การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพ ในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

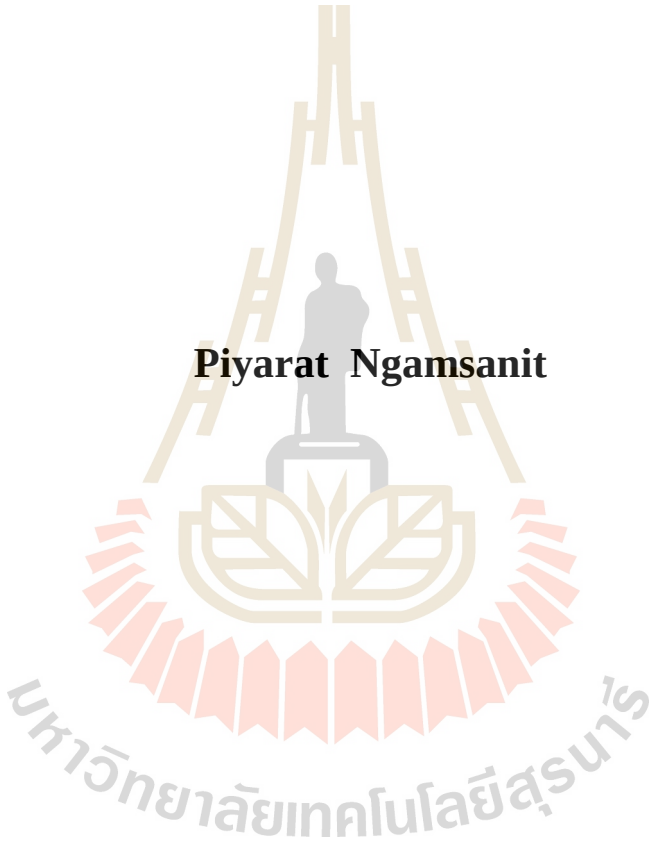
นางสาวปิยรัตน์ งามสนิท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาการสารสนเทศดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT ALGORITHM IN A TRAVEL ITINERARY PLANNER UNDER TIME CONSTRAINTS

Piyarat Ngamsanit



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Information Science in Information Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพ
ในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกฤษฎิ์ นิวัฒนากูล)
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิติมนต์ อั่งสกุล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า)
กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิรปัฐช์ บุญครอง)
กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพันธุ์ รัตนโภคา)
กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรา อั่งสกุล)
กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงษ์ พลนิกรกิจ)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปิยรัตน์ งามสนิท : การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT ALGORITHM IN A TRAVEL ITINERARY PLANNER UNDER TIME CONSTRAINTS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิติมนต์ อั่งสกุล, 224 หน้า.

ปัญหาด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว คือ การค้นหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวให้เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขบังคับที่หลากหลายแตกต่างกัน แต่เงื่อนไขบังคับที่นักท่องเที่ยวทุกคนต่างมีเหมือนกันคือเงื่อนไขบังคับด้านเวลา เพราะเป็นสิ่งที่มีค่าและมีจำกัด ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถไปเที่ยวได้ครบทุกสถานที่ตามที่อยากไปได้ และจากการศึกษาปัญหาด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวดังกล่าวยังพบข้อจำกัดที่ว่า เมื่อต้องการแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมที่สุดตามเงื่อนไขบังคับด้านเวลานั้น ขั้นตอนวิธีที่มีอยู่ใช้เวลาในการคำนวณหาแผนการเดินทางที่เหมาะสมที่สุดมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวได้

งานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่สามารถค้นหาแผนการเดินทางที่เน้นการบริหารเวลากับจุดหมายปลายทางให้เหมาะสม คือไปท่องเที่ยวในสถานที่ที่ผู้ใช้เลือกให้ได้มากแห่งที่สุดภายใต้ระยะเวลาการท่องเที่ยวที่ผู้ใช้กำหนด และแผนการเดินทางนั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในทุกประเด็น และเพื่อให้เห็นประสิทธิภาพของการทำงานของขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกที่ได้พัฒนาอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้ยังได้นำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา ได้ทำในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งเป็นปัญหาหลักในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ ยังได้ขยายการทดสอบในปัญหาการวางแผนท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดซึ่งเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ผลการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 ปัญหา กล่าวคือ ในการทดสอบประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผล ผลการทดสอบพบว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ แต่อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าขั้นตอนวิธีที่มีจุดเด่นด้านความเร็วในการประมวลผล นั่นคือ ขั้นตอนวิธีแบบละโมบเพียงเล็กน้อย สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพด้านคำตอบ ผลการทดสอบพบว่า ขั้นตอน

วิธีที่พัฒนาให้แผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางที่สามารถไปได้มากกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมและขั้นตอนวิธีแบบละโมบ และเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดซึ่งได้แก่ ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดและขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้พบว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาให้แผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางที่สามารถไปได้น้อยกว่าขั้นตอนวิธีเหล่านั้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ใช้ความเร็วในการประมวลผลน้อยกว่ามาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

PIYARAT NGAMSANIT : THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT ALGORITHM IN A TRAVEL ITINERARY PLANNER UNDER TIME CONSTRAINTS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. JITIMON ANGSKUN, D.Eng., 224 PP.

TRAVEL ITINERARY PLANNER / TIME CONSTRAINTS / TRAVEL PLANNING PROBLEM / SIMULATED ANNEALING ALGORITHM

The travel planning problem is a search for a good travel itinerary under different travel constraints. The common constraint of travelers is the time constraint because their time is valuable and limited, i.e., travelers may not have enough time to reach all destinations as their needs. According to the study of the travel planning problem, there are some limitations when looking for the best travel itinerary under the time constraints. The existing algorithms take too much computation time to search an optimal solution, therefore those algorithms cannot be applied in the travel itinerary planner.

This research focuses on designing and developing an efficient algorithm for a travel itinerary planner under time constraints. The designed algorithm can search a travel itinerary that facilitates travelers to reach destinations as much as possible under their limited time. In order to explicitly indicate the performance of the developed meta-heuristic algorithm, this research has also applied the algorithm in an online travel itinerary planner.

The performance evaluation of the developed algorithm is tested on the travel itinerary planner problem under time constraints (TIPP), which is the main problem in this research. In addition, the testing has been extended in a basic travel planning problem, which is the same problem as the traveling salesman problem (TSP).

The evaluation results of TIPP and TSP problems are in the same direction. There are two aspects of evaluation for each problem. The first aspect is to test the elapsed time of algorithms. The experimental results reveal that the developed algorithm spends less elapsed time than a basic simulated annealing algorithm (SA), a progressive routing algorithm (PR), and an exhaustive routing algorithm (ER). However, the developed algorithm is slightly worse than a greedy best first search algorithm (GBFS), which is a high-speed processing algorithm. The second aspect is to test the quality of solution performance. The results indicate that the developed algorithm provides more destinations than SA and GBFS. However, the developed algorithm is slightly worse than PR and ER, which are algorithms that guarantee to find for an optimal solution. Nevertheless, the developed algorithm spends much less elapsed time.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Information Technology

Academic Year 2018

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความดูแล เอาใจใส่ และให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิติมนต์ อั่งสกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรา อั่งสกุล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ผู้วิจัยรักและเคารพยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณความเมตตากรุณาจากอาจารย์ทั้งสอง ที่คอยให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ เป็นกำลังใจ และมีเมตตาต่อศิษย์คนนี้เสมอ แม้บางครั้งที่ผู้วิจัยบกพร่องไปบ้าง แต่ก็ได้รับกำลังใจที่ดีจากท่านทั้งสองเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์ไปได้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกฤษฎิ์ นิวัฒนากูล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า รองศาสตราจารย์ ดร.ศิรปัฐช์ บุญครอง และรองศาสตราจารย์ ดร.ชูพันธุ์ รัตนโภคา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการพิจารณาและให้คำแนะนำในการแก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ เสนอความรู้และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และประสบการณ์อันมีค่าที่ล้วนแต่มีประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุน และคอยช่วยเหลือในทุกเรื่องอันเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้อุปสรรคทั้งหลายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้หมดสิ้นไป ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณทุกคนในครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในทุก ๆ รวมทั้งมอบกำลังใจอันยิ่งใหญ่ที่เป็นแรงผลักดันให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิต

ปิยรัตน์ งามสนิท

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฑ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6
1.3 สมมติฐานการวิจัย 6
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย 11
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 11
1.7 คำอธิบายศัพท์ 12
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.1 ระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ 16
2.2 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง 21
2.2.1 กลุ่มความซับซ้อนของปัญหาการตัดสินใจ 23
2.2.1.1 กลุ่มปัญหาพี 24
2.2.1.2 กลุ่มปัญหาเอ็นพี 24
2.2.1.3 กลุ่มปัญหาโคเอ็นพี 25
2.2.1.4 กลุ่มปัญหาเอ็นพียาก 25
2.2.1.5 กลุ่มปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 ประเภทของคำตอบของปัญหาการวางแผนการเดินทาง 25
2.2.2.1 คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสมโดยรวม 25
2.2.2.2 คำตอบที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสม เฉพาะแห่ง 26
2.2.3 ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง 26
2.2.3.1 การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้.....26
2.2.3.2 การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับปัญหาวิถีสั้นสุด 27
2.2.3.3 การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง 28
2.2.4 ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ 28
2.2.4.1 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบจำกัดความจุ.....30
2.2.4.2 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา.....31
2.2.4.3 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีการรับและส่งสินค้า 31
2.2.5 ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย 32
2.2.6 ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว.....34
2.3 เทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง.....39
2.3.1 วิธีแม่นตรง.....39
2.3.1.1 การค้นหาแบบลึกก่อน 40
2.3.1.2 การค้นหาแบบกว้างก่อน 41
2.3.1.3 การค้นหาที่ผนวกวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตที่ใช้กับปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุด 42
2.3.1.4 การค้นหาโดยใช้ขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด 44
2.3.2 วิธีฮิวริสติก.....52
2.3.2.1 ขั้นตอนวิธีปีนเขา.....54
2.3.2.2 ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ.....56
2.3.2.3 ขั้นตอนวิธีเอสตาร์ 58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3 วิธีเมตาฮิวริสติก 60
2.3.3.1 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู 61
2.3.3.2 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 63
2.3.3.3 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว 66
2.3.3.4 ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด 68
2.4 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว 71
2.4.1 แนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว 72
2.4.2 พารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว 77
2.4.2.1 ตารางจัดการการอบเหนียว 77
2.4.2.2 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น 78
2.4.2.3 ค่าอุณหภูมิสุดท้าย 78
2.4.3 ประเภทของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว 79
2.4.3.1 การอบเหนียวต้นแบบ 80
2.4.3.2 การอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์ 80
2.4.3.3 การอบเหนียวแบบเร็ว 80
2.4.3.4 การอบเหนียวจำลองเชิงปรับตัว 81
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง 84
2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทาง ของยานพาหนะ 84
2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทาง ของพนักงานขาย 89
2.5.3 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว 92
3 วิธีดำเนินการวิจัย 103
3.1 วิธีวิจัย 103
3.1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว 104
3.1.2 ออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผน การเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 108

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2.1 กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น 115
3.1.2.2 กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง 126
3.1.2.3 กระบวนการยุติการทำงาน 134
3.1.3 ทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา 134
3.1.3.1 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 135
3.1.3.2 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 136
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 137
3.2.1 ด้านฮาร์ดแวร์ 138
3.2.2 ด้านซอฟท์แวร์ 138
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 138
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 139
3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 138
3.4.1.1 ประเด็นด้านคำตอบ 138
3.4.1.2 ประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล 139
3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 139
3.4.2.1 ประเด็นด้านคำตอบ 140
3.4.2.2 ประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล 140

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 141
4.1 ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 142
4.1.1 ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล 142
4.1.2 ส่วนคำนวณจุดอุปสรรค 144
4.1.3 ส่วนเลือกแผนการเดินทาง 149
4.1.4 ส่วนคำนวณจุดแวะพัก 151
4.1.5 ส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว 153
4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 156
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 156
4.2.1.1 ประเด็นด้านคำตอบ 160
4.2.1.2 ประเด็นด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล 163
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่โดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 168
4.2.2.1 ประเด็นด้านคำตอบ 171
4.2.2.2 ประเด็นด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล 173
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 176
5.1 สรุปผลการวิจัย 176
5.1.1 สรุปผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 179
5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 180

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา....180

5.1.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย....181

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย....182

5.2.1 ข้อจำกัดเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก....182

5.2.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์....182

5.2.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการวางแผนการท่องเที่ยว....183

5.2.4 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการการรวบรวมข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาของสถานที่ท่องเที่ยว....183

5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย....183

5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป....184

รายการอ้างอิง....186

ภาคผนวก....**198**

ภาคผนวก ก ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณของขั้นตอนวิธี....199

ภาคผนวก ข ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี....209

ประวัติผู้เขียน....224

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 รูปแบบการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว 35
2.2 ปัจจัยด้านเวลาที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว 37
2.3 รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางของการเยือน 4 สถานที่ ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการไปเยือนสถานที่มากแห่งที่สุด 49
2.4 รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่มีจำนวนสถานที่ แตกต่างกันตั้งแต่ 2 - 25 แห่ง 51
2.5 สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ 79
2.6 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง 99
3.1 เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในงานวิจัย 106
3.2 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 111
3.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีอบเหนียวต้นแบบกับในงานวิจัยนี้ 113
3.4 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าเงื่อนไขบังคับด้านเวลา 117
3.5 รหัสเทียมของเทคนิคเอสพีเอส 124
3.6 ตัวอย่างระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ 125
3.7 ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้เบื้องต้นตามเทคนิคเอสพีเอส 126
3.8 ตัวอย่างการประมวลผลขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง 129
4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง ค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดหมายปลายทางที่ไปได้ และค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 158
4.2 ผลของค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบ ($E_{Solution}$) และด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ($E_{CPUtime}$) ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 161

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง ค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดหมายปลายทางที่ไปได้ และค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย....170

4.4 ผลของค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบ ($E_{Solution}$) และด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล ($E_{CPUtime}$) ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย....173

ก.1 เวลาเปิด-ปิดของสถานที่....200

ก.2 ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่แยกตามประเภทการท่องเที่ยว....202

ก.3 อุปสรรคระหว่างทางกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามประเภทอุปสรรคระหว่างทาง....203

ก.4 ลักษณะสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาและเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน....204

ก.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์....205

ก.6 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลวันหยุดนักขัตฤกษ์....206

ก.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน....207

ก.8 ระยะเวลาแวะพักระหว่างทางตามประเภทของสถานที่....208

ข.1 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านเวลา ณ สถานที่....211

ข.2 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่....212

ข.3 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง....213

ข.4 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน....214

ข.5 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่ใช้ในเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน....216

ข.6 ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นในรอบการประมวลผลที่ 1....218

ข.7 ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นในรอบการประมวลผลที่ 2....218

ข.8 ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นในรอบการประมวลผลที่ 3....219

ข.9 ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อปรับปรุงแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธี....220

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาการเดินทาง 3 วัน 17

2.2 ตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาการเดินทาง 5 วัน 18

2.3 ตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวใน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาการเดินทาง 6 วัน 19

2.4 การเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการคำนวณของขั้นตอนวิธี 23

2.5 การจัดกลุ่มปัญหาการตัดสินใจโดยพิจาณาจากความยากง่ายของปัญหา 24

2.6 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบพื้นฐาน 29

2.7 ตัวอย่างแบบที่ 1 ของเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายที่มีจำนวน 15 สถานที่ 33

2.8 ตัวอย่างแบบที่ 2 ของเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายที่มีจำนวน 15 สถานที่ 33

2.9 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบลึกก่อน 40

2.10 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบกว้างก่อน 41

2.11 ปัญหาการหยิบของใส่ในถุงเป้โดยต้องเลือกหยิบของใส่ในถุงเป้ให้ไม่เกินน้ำหนักที่กำหนดไว้ 43

2.12 เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขตสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย 44

2.13 การจัดระดับและกลุ่มของรูปแบบการเดินทางในขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด 45

2.14 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด 47

2.15 การเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่กับค่าที่ดีที่สุดในปริภูมิการค้นหา 56

2.16 ผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย 64

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.17 การจำลองพฤติกรรมการเลือกเส้นทางของมด 69
2.18 ผังขั้นตอนการทำงานอย่างง่ายของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ 72
2.19 ผังขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ 74
2.20 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการจำลองอบเหนียวในปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด 76
2.21 กรอบแนวคิดการวิจัย 102
3.1 ภาพรวมทั้งหมดในการคำนวณเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยเงื่อนไขบังคับด้านเวลา 107
3.2 ผังขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 110
3.3 ภาพรวมของการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 115
3.4 ค่า $g(x)$ และค่า $h(x)$ ในฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ($f(x)$) 123
3.5 แผนผังขั้นตอนการทำงานของเทคนิคเอสพีเอส 123
3.6 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบใหม่เมื่อคำตอบใหม่ไม่ดีไปกว่าคำตอบปัจจุบัน 133
4.1 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ขั้นตอนที่ 1 ป้อนข้อมูล 143
4.2 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ขั้นตอนที่ 2 คำนวณจุดอุปสรรค 145
4.3 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เมื่อเลือกประเภทจุดอุปสรรค 146
4.4 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เมื่อเลือกจุด วันและเวลาที่เกิดอุปสรรค 147
4.5 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เมื่อเลือกจุดอุปสรรคในการคำนวณและการแสดงจุดอุปสรรคที่ถูกบันทึก 148
4.6 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เลือกเพื่อแสดงแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในขั้นตอนที่ 3 เลือกแผนการเดินทาง 150
4.7 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อเลือกสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการเพิ่มจุดแวะพักระหว่างทาง 151
4.8 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อเลือกประเภทของจุดแวะพักระหว่างทาง 152

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.9 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อเลือกจุดแวะพักระหว่างทางที่มีอยู่ในฐานข้อมูล โดยวิธีเลือกจากสถานที่แวะพักบนแผนที่ 153
4.10 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อแสดงรายละเอียดจุดแวะพักระหว่างทางที่ถูกเลือก 154
4.11 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้แสดงคำอธิบายแผนการเดินทาง 155
4.12 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดหมายปลายทางที่ไปได้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 159
4.13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 159
4.14 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 163
4.15 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 165
4.16 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาของแผนการเดินทางในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 170
4.17 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 171
4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 173
4.19 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 174

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

จากสภาวการณ์ปัจจุบันที่เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้เข้ามาเป็นองค์ประกอบหลักในการนำเสนอสารสนเทศเพื่อตอบสนองความต้องการในด้านต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว โดยระบบช่วยสนับสนุนในการให้ข้อมูลด้านการท่องเที่ยว ตลอดจนแผนการเดินทางท่องเที่ยว โดยคำนึงถึงปัจจัยที่หลากหลายและแตกต่างกันในการวางแผน ซึ่งระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเหล่านั้น เป็นการวางแผนการท่องเที่ยวที่กระทำผ่านอินเทอร์เน็ตในลักษณะของเว็บไซต์ โดยนักท่องเที่ยวจะเข้าไปที่เว็บไซต์วางแผนการเดินทางต่าง ๆ ที่มีให้บริการและเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการท่องเที่ยวที่ในระบบหรือในเว็บไซต์นั้น ๆ เตรียมไว้ให้ผู้ใช้เลือก หลังจากนั้นระบบจะนำข้อมูลที่ผู้ใช้ได้ระบุมาใช้ในการสร้างและกำหนดแผนการเดินทางที่เหมาะสมตามขั้นตอนวิธีและพื้นฐานของการวางแผนของระบบนั้น ๆ

โดยระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มุ่งเน้นพัฒนาเพื่อตอบคำถามของนักท่องเที่ยวตามพื้นฐานของการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวใน 3 ประเด็น ได้แก่ 1) จะไปที่ไหน 2) จะไปที่นั่นได้อย่างไร และ 3) จะไปเมื่อไหร่ (จิติมนต์ อั่งสกุล และ ธรา อั่งสกุล, 2551: 33-45) สำหรับประเด็นของคำถามจะไปที่ไหนนั้น จะเป็นการวางแผนเพื่อตอบคำถามของนักท่องเที่ยวให้ได้ว่า ควรจะเดินทางไปสถานที่ใดบ้าง ซึ่งในการคำนวณส่วนมากจะนำข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ที่ได้รับความนิยม เช่น ร้านอาหาร สิ่งอำนวยความสะดวก สถานที่ดึงดูดความสนใจ เทศกาลต่าง ๆ สถานบันเทิง ศูนย์กลางร้านค้า ฯลฯ มาคำนวณร่วมด้วย ส่วนประเด็นของคำถามจะไปที่นั่นได้อย่างไร เกี่ยวข้องกับการค้นหาหรือวางแผนการเดินทางแง่มุมของคำถามนี้จะต้องวางแผนเพื่อตอบคำถามของนักท่องเที่ยวให้ได้ว่า ควรจะเดินทางไปที่ไหนเป็นลำดับก่อนหลัง ในการคำนวณการเพื่อวางแผนการเดินทางหรือจัดเส้นทางของระบบวางแผนการเดินทางเหล่านี้ จะคำนวณอยู่บนพื้นฐานของขั้นตอนวิธีที่มีความเฉพาะเจาะจง เช่น เส้นทางที่เร็วที่สุด การขนส่งที่น้อยที่สุด ระยะการเดินทางที่สั้นที่สุด ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ฯลฯ ส่วนประเด็นของคำถามจะไปเมื่อไหร่ จะเป็นการวางแผนเพื่อตอบคำถามของนักท่องเที่ยวให้ได้ว่าควรจะเดินทางไปยังสถานที่ไหนในเวลาใดบ้าง ในการคำนวณส่วนมากจะนำสภาพของแต่ละสถานที่มาคำนวณร่วมด้วย

ถึงแม้พื้นฐานของการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวจะแบ่งออกเป็นหลายประเด็น แต่ประเด็นสำคัญที่ทุกระบบวางแผนการเดินทางต้องคำนึงถึงคือ การจะไปที่นั่นได้อย่างไร เนื่องจากผลลัพธ์สุดท้ายที่เกือบทุกระบบวางแผนการเดินทางต้องนำเสนอต่อผู้ใช้คือแผนการเดินทาง โดยในการวางแผนการเดินทางจะเป็นหน้าที่ของขั้นตอนวิธีที่จะนำข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ มาพิจารณาจัดให้เป็นเส้นทางที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขที่ระบบต่าง ๆ ได้กำหนดไว้ โดยการคำนวณจะพยายามหาผลเฉลย (Solution) ที่ดีที่สุดหรือคาดว่าน่าจะเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขที่มีอยู่ จนกระทั่งได้เป็นแผนการเดินทางที่เหมาะสมและนำเสนอต่อผู้ใช้ต่อไป ซึ่งระบบเหล่านั้นล้วนใช้ขั้นตอนวิธีที่แตกต่างกันในการจัดเส้นทางตามวัตถุประสงค์ที่แต่ละระบบได้ตั้งไว้ บางระบบใช้ขั้นตอนวิธีที่ให้ผลลัพธ์แบบตามลำดับสถานที่ตามที่ผู้ใช้ป้อน เช่น เว็บไซต์วางแผนการเดินทางของกูเกิล บางระบบให้แผนการเดินทางที่สามารถหลีกเลี่ยงเส้นทางที่เป็นอุปสรรคได้ (Gonzalez, Han, Li, Myslinska, and Sondag, 2007) โดยกุญแจหลักที่ทำให้ระบบเหล่านั้นวางแผนสำเร็จคือขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทาง

ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทาง นักวิจัยได้มีความพยายามที่จะพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางอย่างต่อเนื่องในหลากหลายกลุ่มปัญหา ไม่เพียงแต่เฉพาะงานด้านการท่องเที่ยว เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหล (Flow Shop Scheduling Problem: FSP) และปัญหาการจัดสรรงานกำลังสอง (Quadratic Assignment Problem: QAP) ฯลฯ โดยมีจุดมุ่งหมายคือ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimum) ภายใต้วัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันของแต่ละปัญหา อาทิ เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางเก็บขยะมูลฝอยของชานเมืองเอเธนส์ (Karadimas, Kouzas, Anagnostopoulos, and Loumos, 2005: 45) เพื่อใช้ในระบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองในปัญหาการจัดเส้นทางจราจร (กิตติเดช วงศ์ศักดิ์ และเกียรติศักดิ์ โยชะนัง, 2552: 162) เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายเชิงน่าจะเป็น (The Probabilistic Traveling Salesman Problem: PTSP) (Marinakis and Marinaki, 2010: 439) เพื่อแก้ปัญหาการจัดส่งสินค้าที่มีการจัดส่งพร้อมกันภายใต้เงื่อนไขด้านเวลาโดยที่การเดินทางไปถึงลูกค้าห้ามเร็วหรือช้ากว่าเวลาที่กำหนด (Wang and Chen, 2012: 90) และเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนเส้นทางเดินรถขนส่งแบบเปิดที่ต้องมีการรับและส่งสินค้าภายใต้กรอบเวลากำหนดการส่งมอบและข้อจำกัดความจุในการบรรทุกของรถขนส่ง (อรประไพ จำรุพัฒน์ และปวีณา เชาวลิตวงศ์, 2556: 60)

อย่างไรก็ตาม แม้การพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางจะได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ข้อจำกัดของการนำมาประยุกต์ใช้คือ ขั้นตอนวิธีเหล่านั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาเท่านั้น ดังนั้นขั้นตอนวิธีที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับ

ปัญหาหนึ่ง จึงไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ ส่งผลให้เมื่อจะนำขั้นตอนวิธีเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้นพบว่าเป็นไปได้ยากและไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากคุณสมบัติของเงื่อนไข ปัจจัย และขั้นตอนวิธีที่ออกแบบมาเพื่อปัญหาที่มีความเฉพาะตัว หรือหากจะนำมาประยุกต์ก็นิยมนำมาเพียงแต่แนวคิดเท่านั้น

สำหรับงานด้านการท่องเที่ยว ถึงแม้งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบให้สามารถวางแผนภายใต้ปัจจัยที่ครอบคลุมกับความต้องการของผู้ใช้ แต่ก็มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อวางแผนการเดินทาง ตัวอย่างขั้นตอนวิธีเช่น ขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm: ER) ที่มีการนำวิธีแม่นตรง (Exact Methods) มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลย (Solution) แล้วจึงเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimum/ Optimal Solution) ออกมาจากทั้งหมดนั้น โดยทั่วไปจะอยู่บนพื้นฐานของการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Lawler, Lenstra, Rinnooy, and Shmoys, 1985: 438; Agarwal, Mathur, and Salkin, 1989: 742; Laporte, 1992: 235)ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm: PR) ที่สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องภายใต้ข้อบังคับด้านพลังงานและเวลา ทำให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการวางแผนการท่องเที่ยวให้น้อยลงและเลือกเส้นทางที่ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด (ปิยรัตน์ งามสนิท ธรา อั่งสกุล และ จิติมนต์ อั่งสกุล, 2552) และได้มีการนำขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดนี้ไปประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวเพื่อค้นหาแผนการเดินทางที่เหมาะสมในหลากหลายระบบภายใต้เงื่อนไขบังคับที่แตกต่างกัน (ณัฐชนันย์ เจริญเกียรติ, 2556; ศศิวิมล กอบัว, 2556; สุวรรณา บุเหลา, 2556) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบรวดเร็วโดยประยุกต์จากวิธีการเชิงพันธุกรรม (Fast Route Search Algorithm: FRS) ที่สามารถค้นหาแผนการเดินทางกึ่งเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขเวลา ณ สถานที่ และนำไปใช้ในระบบพี-ทัวร์ (P-Tour) (Maruyama, Shibata, Murata, Yasumoto, and Ito, 2003a) และขั้นตอนวิธีวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ในการวางแผนการเดินทางแบบส่วนบุคคลที่คำนึงถึงสภาพอากาศเป็นสำคัญ (Wu, Murata, Shibata, Yasumoto, and Ito, 2009)

ดูเหมือนว่าจะมีขั้นตอนวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการท่องเที่ยวที่หลากหลาย แต่โดยส่วนใหญ่ขั้นตอนวิธีเหล่านั้นจะนำเทคนิควิธีแม่นตรงมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธี ซึ่งวิธีแม่นตรงนี้มุ่งเน้นให้คำตอบที่ดีที่สุดจึงใช้ปริมาณหน่วยความจำและเวลาในการคำนวณมาก ทำให้มีข้อจำกัดเมื่อต้องการค้นหาแผนการเดินทางที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมากทำได้ยาก หรือบางขั้นตอนวิธีอาจไม่สามารถทำได้เลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ที่เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนในการหาผลเฉลยหากต้องการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด เพราะต้องมีการตัดสินใจเลือกเส้นทางจากรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายใต้ปัจจัยที่

หลากหลายและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน หรือที่เรียกว่าปัญหาเชิงผสมผสาน (Combinatorial Optimization Problems: CO Problems) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าจัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาเอ็นพียาก (NP-Hard Problems) ที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ที่อาจจะมีขอบเขตหรือเป็นอนันต์ที่นับได้ โดยปัญหาที่อยู่ในกลุ่มนี้คือปัญหาที่มีหลายมิติที่ไม่สามารถแก้ด้วยวิธีแม่นตรงได้เนื่องจากใช้เวลานานเกินไป หากยกตัวอย่างปัญหาการวางแผนการเดินทางพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ให้ครบทุกแห่งโดยที่ใช้ระยะทางน้อยที่สุดจะได้ดังนี้ ถ้ามีสถานที่ปลายทางจำนวน 7 สถานที่ รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้คือ 5,040 รูปแบบ ถ้ามี 10 สถานที่จะมี 3,628,800 รูปแบบ และถ้ามี 15 สถานที่จะมีรูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ถึง 1 ล้านล้านกว่ารูปแบบ จะเห็นได้ว่า หากต้องการค้นหาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดใน 7 สถานที่อาจมีความเป็นไปได้ แต่หากต้องการค้นหาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดใน 15 สถานที่ที่ต้องค้นหาทั้งสิ้น 1 ล้านล้านกว่าครั้ง (ปริภูมิการค้นหามีขนาดใหญ่มาก) นั่นหมายถึงการที่ต้องใช้เวลาประมวลผลนานจนเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ

เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนจนไม่สามารถสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในการตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) หรือแก้ด้วยวิธีแม่นตรงได้นั้น นักวิจัยจึงได้พยายามที่จะพัฒนาวิธีที่สามารถให้คำตอบที่น่าพอใจในเวลาที่ยอมรับได้ โดยการนำความรู้แบบหนึ่งที่เรียกว่าฮิวริสติก (Heuristic) มาช่วยในการค้นหาผลเฉลย ซึ่งในภายหลังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางในหลายกลุ่มปัญหา เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ วิธีนี้จะไม่คำนวณทุกรูปแบบของคำตอบ แต่จะคำนวณหาเพียงบางส่วนของรูปแบบที่คาดว่าเป็นคำตอบ (Partial Search) ในการที่จะยอมรับคำตอบ จะมีฟังก์ชันฮิวริสติกช่วยในการพิจารณาทำให้สามารถได้คำตอบที่มีคุณภาพดีเพียงพอในเวลาคำนวณที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งนิยมนำมาใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่ซับซ้อนดังเช่นปัญหาในกลุ่มปัญหาเชิงผสมผสาน เช่น ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ปัญหาถุงเป้ (Knapsack/ Group Problem) ปัญหาวิถีสั้นสุด (Shortest Path Problem) ฯลฯ ที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยขั้นตอนวิธีที่ทำงานในเวลาที่เป็นพหุนาม (Polynomial Time) กับขนาดของข้อมูลอินพุทได้ โดยขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกนี้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใด ๆ ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากให้มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม ถึงแม้จะไม่สามารถประกันคำตอบที่ดีที่สุดในทุกครั้งที่ทำการประมวลผลได้ แต่คำตอบที่ได้เป็นที่ยอมรับและค้นหาได้ภายในระยะเวลาอันเหมาะสม

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการพัฒนาขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางในหลายกลุ่มปัญหา แต่ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มีเงื่อนไขและปัจจัยในการวางแผนเฉพาะตัวพบว่า การพัฒนาขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาให้สามารถรองรับปัจจัยต่าง ๆ ตามที่ระบบกำหนดขึ้นมา ยังไม่มีงานวิจัยใดที่พัฒนาขั้นตอนวิธีที่มุ่งเน้นแก้ข้อจำกัดในการค้นหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวเมื่อมีสถานที่ปลายทางจำนวนมากที่ต้องการแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ครอบคลุมสถานที่ปลายทางได้มากแห่งที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด นอกจากนี้ ยังพบข้อจำกัดในขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ไม่สามารถวางแผนการเดินทางได้หากมีสถานที่ปลายทางจำนวนมาก

สอดคล้องกับการสัมภาษณ์นักท่องเที่ยวที่มีประสบการณ์ในการท่องเที่ยวที่ได้ให้ความเห็นไว้ว่า แผนการเดินทางที่ประกอบไปด้วยสถานที่ปลายทางจำนวนมาก ๆ ต้องใช้ทั้งเวลาประสบการณ์ และความรู้ประกอบกันในการวางแผนการเดินท่องเที่ยว และจากการสัมภาษณ์ยังสามารถสรุปความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวเกี่ยวกับการเลือกแผนการเดินทางท่องเที่ยวหลังจากที่ผ่านการวางแผนแล้วได้จาก 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1. หากมีหลายแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางไม่เท่ากัน นักท่องเที่ยวทุกคนที่ให้สัมภาษณ์มีความเห็นตรงกันว่า เมื่อได้เลือกสถานที่ปลายทางที่อยากไปแล้วก็อยากที่จะเดินทางไปเที่ยวให้ครบทุกสถานที่ หรือหากเดินทางได้ไม่ครบทุกสถานที่ก็อยากไปเที่ยวให้ได้มากแห่งที่สุด เพราะต้องการใช้ระยะเวลาที่กำหนดไว้ในการท่องเที่ยวให้คุ้มค่ามากที่สุด ดังนั้น จึงพอสรุปได้ว่า หากมีแผนการเดินทางหลายแผนที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางมากน้อยไม่เท่ากัน นักท่องเที่ยวจะเลือกแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางมากแห่งที่สุด

กรณีที่ 2. หากมีหลายแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากัน ซึ่งอาจเดินทางไปเที่ยวเหมือนกันทุกสถานที่แต่แตกต่างกันที่ลำดับการเดินทางของสถานที่ หรืออาจไปเที่ยวสถานที่แตกต่างกันแต่จำนวนสถานที่เท่ากัน จากความเห็นในการสัมภาษณ์นักท่องเที่ยวเกี่ยวกับประเด็นที่นักท่องเที่ยวสนใจที่จะนำมาพิจารณาในการเลือกแผนการเดินทาง นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีความเห็นว่า แผนการท่องเที่ยวที่ใช้ระยะเวลาของการเดินทางท่องเที่ยวทั้งหมดน้อยกว่าคือแผนที่ดีกว่าและจะเลือกแผนดังกล่าว เพราะนักท่องเที่ยวมองว่าอย่างไรก็ใช้ระยะเวลาในการแวะพักท่องเที่ยวทำกิจกรรมในระยะเวลาเท่าเดิม แผนการท่องเที่ยวที่ใช้ระยะเวลาทั้งหมดในการท่องเที่ยวมากกว่านั้นเวลาที่ต้องเสียเพิ่มขึ้นคือระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างสถานที่

จึงนำมาสู่แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยมุ่งเน้นแก้ข้อจำกัดของปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมากภายใต้ปัจจัยด้านเวลาในทุกประเด็น

อย่างครบถ้วนตามงานวิจัยของศศิวิมล กอบัว (2556) ที่ได้มีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้านเวลาในการท่องเที่ยวเชิงลึก อาทิ การคำนึงถึงระยะเวลาของการท่องเที่ยวที่จำกัดทั้งที่เป็นแบบระยะเวลาวันเดียวหรือแบบระยะเวลาหลายวัน การคำนึงถึงระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง ระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้เมื่อเกิดอุปสรรคระหว่างทาง ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ท่องเที่ยว เวลา ณ เขตเวลาที่ต่างกัน และเวลาเปิด-ปิดให้บริการ สำหรับขั้นตอนวิธีที่พัฒนาจะค้นหาแผนการเดินทางที่เน้นการบริหารเวลากับจุดหมายปลายทางให้เหมาะสม คือไปท่องเที่ยวในสถานที่ได้มากแห่งที่สุดภายในระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวกำหนด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาสามารถประมวลผลแล้วได้แผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวปลายทางที่ไปได้มากกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นในกลุ่มเดียวกันที่มีจำนวนสถานที่แตกต่างกัน

1.3.2 ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาสามารถประมวลผลได้เร็วกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นในกลุ่มเดียวกันที่มีจำนวนสถานที่แตกต่างกัน

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลานี้ ใช้ความสามารถจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ ดึงข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านเวลา และอธิบายแผนการเดินทางต่อผู้ใช้ ซึ่งระบบดังกล่าวอยู่นอกเหนือจากขอบเขตของงานวิจัยนี้

1.4.2 การวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเป็นการเดินทางโดยใช้รถยนต์ส่วนบุคคล โดยความเร็วในการเดินทางของรถยนต์ใช้มาตรฐานของบริการแผนที่กูเกิล (Google Maps API)

1.4.3 การแบ่งการคำนวณระยะเวลาในการเดินทางของเส้นทางในเมืองและนอกเมืองจะใช้ค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินทางของรถยนต์ หน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งได้จากการคำนวณ

ระยะทางหารด้วยเวลาเดินทางระหว่าง 2 สถานที่เป็นตัวแบ่ง โดยมีเงื่อนไขคือ ถ้าความเร็วเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 70 ก.ม./ช.ม. เป็นเส้นทางในเมือง ถ้าความเร็วโดยเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 70 ก.ม./ช.ม. เป็นเส้นทางนอกเมือง (Global Road Safety Partnership, 2008: 55)

1.4.4 ข้อมูลสถานที่ที่นำมาวางแผนเป็นข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดนครราชสีมาที่นำมาจากกรมการท่องเที่ยวและมีในบริการแผนที่ของกูเกิล เนื่องจากข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดนครราชสีมาก็เพียงพอที่จะทำให้วัดผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาได้ โดยงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลดังกล่าวที่ได้จัดเก็บไว้แล้วมาจากฐานข้อมูลระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

1.4.2 สิ่งที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ผู้ใช้ต้องกำหนดซึ่งระบุผ่านระบบ ได้แก่ จุดเริ่มต้น/ที่อยู่ของนักท่องเที่ยว จุดหมายปลายทางที่ต้องการเดินทางไป และวัน/เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยว

1.4.3 สิ่งที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว ฯ กำหนดแต่ผู้ใช้เปลี่ยนแปลงได้ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ พิกัดของจุดอุปสรรค/ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง และพิกัดของจุดแวะพัก/ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง

1.4.4 สิ่งที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว ฯ วิเคราะห์ให้ ซึ่งผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลง ได้แก่ พิกัดของแต่ละจุดหมายปลายทาง ระยะทางและระยะเวลาระหว่างจุดหมายปลายทาง เวลา ณ เขตเวลาที่ต่างกัน เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ ระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่าง และระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน

1.4.5 การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลานี้ ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านเวลาจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ศศิวิมล กอบัว, 2556) โดยมีเงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังต่อไปนี้

1.4.5.1 เวลา ณ สถานที่ (Time at Attraction) ประกอบด้วยการคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังต่อไปนี้

1) เวลาที่เดินทางไปถึง - ออกจากสถานที่ (Arrival Time: T_a, Departure Time: T_d) คือเวลาที่นักท่องเที่ยวเดินทางไปถึงสถานที่และเวลาที่นักท่องเที่ยวต้องเดินทางออกจากสถานที่ โดยขั้นตอนวิธีจะนำมาเป็นเงื่อนไขในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ โดยคำนวณร่วมกับเงื่อนไขบังคับเวลา ณ เขตเวลา (T_z) ซึ่งจะถูกใช้เพื่อปรับเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ (T_a) ให้ตรงกับเวลา ณ เขตเวลา (ถ้ามี) ของแต่ละสถานที่ปลายทาง สำหรับเวลาออกจากสถานที่ (T_d)

ได้จากการคำนวณของเงื่อนไขด้านเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ (T_a) รวมกับระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ (T_v) โดยเวลาที่เดินทางไปถึง (T_a) และออกจากสถานที่ (T_d) จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขด้านเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ (T_o, T_c) ด้วย กล่าวคือ นักท่องเที่ยวต้องเดินทางไปถึงสถานที่ท่องเที่ยวนั้นในเวลาทำการและต้องเดินทางออกจากสถานที่ท่องเที่ยวก่อนที่จะปิดทำการ

2) เวลาเปิด - ปิดของสถานที่ (Opening Time: T_o, Closing Time: T_c) คือ เวลาที่นักท่องเที่ยวสามารถเข้าชมหรือใช้เวลาอยู่ ณ สถานที่นั้นได้ ซึ่งได้ถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล (แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1) โดยรวบรวมเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยวในวันธรรมดา คือวันจันทร์-วันศุกร์ วันหยุดราชการ และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ จากเว็บไซต์ของจากข้อมูลการท่องเที่ยวกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา และเวลาเปิด-ปิดของสถานที่เก็บ ณ สถานที่จริง (โดยมีการระบุวันปัจจุบันที่เก็บ) โดยขั้นตอนวิธีจะนำมาเป็นเงื่อนไขในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ โดยพิจารณาถึงเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ว่าสามารถเข้าเยี่ยมชมได้หรือไม่

3) เวลา ณ เขตเวลา (Time Zones: T_z) คือเวลา ณ เขตเวลาที่ต่างกันของสถานที่ที่นักท่องเที่ยวต้องการไป ซึ่งมีผลทำให้เวลาที่เดินทางไปถึง-ออกจากสถานที่ (T_a, T_d) และเวลาเปิด-ปิด (T_o, T_c) เปลี่ยนแปลงได้ ในการกำหนดเวลา ณ เขตเวลาให้กับสถานที่ต่าง ๆ นั้นได้จากการส่งตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของสถานที่ท่องเที่ยวไปยังเว็บให้บริการเขตเวลา (Web Service) แต่เนื่องจากข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่นำมาวางแผนเป็นข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดนครราชสีมา เขตเวลาไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้น ในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวจึงได้มีการสมมุติให้เขตเวลามีความแตกต่างกัน เช่น กำหนดให้ฟาร์มโชคชัย มีเขตเวลาเป็น UTC+7 วัดศาลาลอยมีเขตเวลาเป็น UTC+8 โดยขั้นตอนวิธีใช้ข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเขตเวลานี้ในการคำนวณเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในการเยือนสถานที่ท่องเที่ยวที่มีเขตเวลาที่แตกต่างกันต่อไป

4) ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ (Visiting Time: T_v) คือ ระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวจะหยุดรถและแวะท่องเที่ยว ณ สถานที่ท่องเที่ยวนั้น ซึ่งได้ถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล (แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2) เป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวประเภทที่แตกต่างกัน เมื่อผู้ใช้ติดต่อกับส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้โดยการป้อนข้อมูลชื่อสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการไปเข้าสู่ระบบ ระบบ จะดึงระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวนั้น ๆ มาแสดง ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถปรับได้ตามความต้องการ โดยขั้นตอนวิธีจะนำมาเป็นเงื่อนไขในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ โดยนำไปคำนวณร่วมกับเวลาที่เดินทางไปถึง (T_a) และเมื่อบวกเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่แล้ว ต้องสามารถเดินทางออกจากสถานที่ (T_d) ได้ก่อนที่สถานที่นั้นจะปิด (T_c)

1.4.5.2 เวลาระหว่างสถานที่โดยประมาณ (Travel Time Estimation) ประกอบด้วยการคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังต่อไปนี้

1) ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (Travel Time between Locations: T_L) คือระยะเวลาในการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลจากสถานที่ท่องเที่ยวหนึ่งไปยังอีกสถานที่ท่องเที่ยวหนึ่ง ซึ่งได้จากบริการแผนที่กูเกิล

2) ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (Barrier Time: T_b) คือเวลาในการเดินทางที่สามารถเพิ่มขึ้นตามอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดว่าอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการเดินทางท่องเที่ยว ซึ่งได้ถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล (แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.3) โดยรวบรวมจากการสำรวจความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เกี่ยวกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปกับอุปสรรคในการเดินทางด้านประเภทต่าง ๆ และได้กำหนดเวลาที่เปลี่ยนไปโดยแบ่งเป็นเส้นทางในเมืองและเส้นทางนอกเมืองเพื่อให้ขั้นตอนวิธีนำไปคิดคำนวณรวมกับระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (T_L)

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (Time of Different Weather: T_w) คือเวลาในการเดินทางที่สามารถเพิ่มขึ้นตามแต่ละสภาพอากาศที่แตกต่างกัน วิเคราะห์จากลักษณะสภาพอากาศที่ปรากฏในเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา โดยคำนึงถึงการเดินทางในเส้นทางในเมือง/นอกเมือง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกันนี้ได้จากบริการเว็บสภาพอากาศ (แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.4) ซึ่งขั้นตอนวิธีนำเงื่อนไขบังคับด้านเวลาในส่วนนี้ไปคิดคำนวณรวมกับระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่

4) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (Time of Different Period: T_p) คือเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล (แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.5-ก.7) โดยรวบรวมจากการสำรวจความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ ช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ ช่วงวันในสัปดาห์ และช่วงเวลาในแต่ละวัน ซึ่งขั้นตอนวิธีนำเงื่อนไขบังคับด้านเวลาในส่วนนี้ไปคิดคำนวณรวมกับระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่

5) ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (Rest Time: T_r) คือเวลาที่นักท่องเที่ยวจะหยุดรถหรือแวะพักระหว่างสถานที่ท่องเที่ยวสองสถานที่ ซึ่งได้ถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล (แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.8) รวบรวมจากการสำรวจความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน ต่อค่าเฉลี่ยในการแวะพักระหว่างการเดินทางของสถานที่แวะพักแต่ละประเภท โดยหลังจากที่ขั้นตอนวิธีได้ประมวลผลเพื่อหาแผนการเดินทางและเสนอต่อผู้ใช้และผู้ใช้ได้เลือกแผนการเดินทางที่ต้องการแล้ว หากผู้ใช้มีการเพิ่มจุดแวะพักแทรกเข้าไประหว่างสถานที่

ท่องเที่ยวสองแห่งในแผนการเดินทางที่เลือก ขั้นตอนวิธีจะคำนวณแผนการเดินทางอีกครั้งโดยนำระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (T_r) ไปคำนวณเพิ่มในแผนการเดินทางดังกล่าวที่ผู้ใช้เลือก ซึ่งจากเหตุการณ์แทรกจุดแวะพักดังกล่าวนี้ อาจส่งผลกระทบให้ระยะเวลาของแผนการเดินทาง (T_s) เพิ่มขึ้น ขยับเวลาในการเดินทางไปถึง-ออกจากสถานที่ (T_a, T_d) หรือแม้กระทั่งต้องมีการตัดสถานที่ออกจากแผนการเดินทางก็เป็นไปได้ ในการคำนวณแผนอีกครั้งนี้ จะคำนวณรวมกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาอื่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากการแทรกจุดแวะพักเข้าไปในแผนการเดินทาง ได้แก่ ระยะเวลาแวะพัก (T_r) บวกกับระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (T_L) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (T_w) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (T_p) และระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (T_b) จากนั้นคำนวณเวลาที่เดินทางไปถึง – ออกจากสถานที่ (T_a, T_d) ใหม่ รวมถึงตรวจสอบว่าอยู่ในเวลาเปิด – ปิดของสถานที่ (T_o, T_c) และใช้เวลาไม่เกินระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว (T_s) ซึ่งในการคำนวณดังกล่าว จะคำนวณเพียงบางส่วนของแผนการเดินทางที่ได้รับผลกระทบจากการแทรกจุดแวะพักเข้าไปในแผนการเดินทางเท่านั้น

1.4.5.3 เวลาของแผนการเดินทาง (Total Travel Time) คือระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว (Total Travel Time: *Ts*) ที่ผู้ใช้มีซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้ระบุ ในการวางแผนการท่องเที่ยวที่เป็นการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวแบบหลายวัน จะกำหนดเวลาเริ่มต้นการท่องเที่ยววันถัดไปเวลา ณ เวลา 08.00 น. และเวลาสิ้นสุดการท่องเที่ยวในแต่ละวัน ณ เวลา 18.00 น. ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละวันได้ตามที่ต้องการผ่านระบบ

1.4.6 ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้สำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มีลักษณะปัญหา ดังนี้

1.4.6.1 เป็นการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา หากวางแผนการเดินทางแล้วพบว่าไม่อยู่ในเงื่อนไข จะถือว่าแผนการเดินทางที่ได้เป็นแผนการเดินทางที่ไม่เหมาะสม และขั้นตอนวิธีจะพิจารณาตัดบางสถานที่ออกเพื่อให้แผนการเดินทางที่เป็นผลลัพธ์อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา

1.4.6.2 เป็นลักษณะการเดินทางแบบเส้นทางปิด คือการเดินทางต้องมีลักษณะต่อเนื่องกันไป แต่ละการเดินทางจะออกจากสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง โดยเส้นทางการเดินทางนั้น ๆ จะต้องเดินทางผ่านแต่ละสถานที่จนครบเพียงสถานที่ละหนึ่งครั้ง และกลับมายังสถานที่ที่ออกเดินทางเริ่มต้น เหมือนการเดินทางวนรอบ ในการเดินทางจะไม่ย้อนกลับไปในเส้นทางเดิมที่ผ่านมา

1.4.6.3 คำนึงถึงการเดินทางที่สามารถเยือนสถานที่ให้ได้ครบทุกสถานที่หรือมากแห่งที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่กำหนด

1.4.6.4 ได้ผลลัพธ์เป็นแผนการเดินทางที่อยู่ในลักษณะหลายคำตอบ คือมีแผนการเดินทางหลายแผนสำหรับให้ผู้ใช้พิจารณาเลือก โดยมีจุดประสงค์เพื่อความยืดหยุ่นเมื่อมีการนำไปใช้งานจริง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ที่มุ่งเน้นออกแบบขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเมื่อมีสถานที่ปลายทางจำนวนมาก เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถไปเยือนสถานที่ปลายทางที่ต้องการไปให้ได้ครบหรือมากแห่งที่สุดตามที่ผู้ใช้ระบุ โดยคำนึงถึงการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา และนำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาไปประเมินโดยการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับขั้นตอนวิธีอื่นทั้งหมด 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm: ER) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm: PR) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (Simulated Annealing Algorithm: SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Best First Search Algorithm: GBFS) โดยการเปรียบเทียบกันใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี (Elapsed Time) และประเด็นด้านคำตอบ (Solution) โดยทดสอบเปรียบเทียบในรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Travel Itinerary Planner Problem under Time Constraints: TIPP) ซึ่งเป็นปัญหาในงานวิจัยนี้ และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) โดยการกำหนดสถานการณ์จำลองขึ้นมา

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว และได้แผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวปลายทางที่ไปได้มากกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นในกลุ่มเดียวกันที่มีจำนวนสถานที่แตกต่างกัน

1.7 คำอธิบายศัพท์

1.7.1 การท่องเที่ยว (Travel) หมายถึง การเดินทางไปยังแหล่งหรือสถานที่เป้าหมาย เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง อาทิ เพื่อผ่อนคลายอิริยาบถจากงานประจำและสร้างความรื่นรมย์ของจิตใจ เพื่อศึกษา ค้นหาคำตอบ หรือแลกเปลี่ยน ความรู้ และประสบการณ์ เพื่อจรรโลงใจและการโน้มน้าวใจให้เกิดความตระหนักและสำนึก

1.7.2 สถานที่/สถานที่ท่องเที่ยว/สถานที่ปลายทาง/จุดหมายปลายทาง (Destination) หมายถึง สถานที่เป้าหมายที่ต้องการเดินทางไปเยือน ซึ่งในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวในแต่ละครั้งสามารถผ่านสถานที่แต่ละสถานที่ได้เพียงครั้งเดียว และในกระบวนการสร้างคำตอบเบื้องต้น แต่ละสถานที่จะมีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน กล่าวคือ สถานที่ที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางน้อยจะสำคัญมากกว่าสถานที่ที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางมาก

1.7.3 เส้นทางปิด (Closed Route) หมายถึง เส้นทางการเดินทางท่องเที่ยวที่มีลักษณะต่อเนื่องที่เกิดจากการเริ่มต้นเดินทางออกจากสถานที่ใดสถานที่หนึ่งแล้ว ต้องกลับมายังสถานที่เริ่มต้นเสมอ

1.7.4 ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว หมายถึง กระบวนการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

1.7.5 เวลาที่เดินทางไปถึง - ออกจากสถานที่ (T_d) หมายถึง เวลาที่นักท่องเที่ยวเดินทางไปถึงสถานที่และเวลาที่นักท่องเที่ยวต้องเดินทางออกจากสถานที่

1.7.6 เวลาเปิด - ปิดของสถานที่ (T_c) หมายถึง เวลาที่นักท่องเที่ยวสามารถเข้าชมหรือใช้เวลาอยู่ ณ สถานที่นั้นได้

1.7.7 เวลา ณ เขตเวลา (T_z) หมายถึง เวลา ณ เขตเวลาที่ต่างกันของสถานที่ที่นักท่องเที่ยวต้องการไป ซึ่งมีผลทำให้เวลาที่เดินทางไปถึง-ออกจากสถานที่ (T_a, T_d) และเวลาเปิด-ปิด (T_o, T_c) เปลี่ยนแปลงได้

1.7.8 ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ (T_v) หมายถึง ระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวจะหยุดรถและแวะท่องเที่ยว ณ สถานที่ท่องเที่ยวนั้น

1.7.9 ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (T_L) หมายถึง ระยะเวลาในการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลจากสถานที่ท่องเที่ยวหนึ่งไปยังอีกสถานที่ท่องเที่ยวหนึ่ง

1.7.10 ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (T_b) หมายถึง เวลาในการเดินทางที่สามารถเพิ่มขึ้นตามอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดว่าอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการเดินทางท่องเที่ยว

1.7.11 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (T_w) หมายถึง เวลาในการเดินทางที่สามารถเพิ่มขึ้นตามแต่ละสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.7.12 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (T_p) หมายถึง เวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

1.7.13 ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (T_r) หมายถึง เวลาที่ผู้ใช้/นักท่องเที่ยวจะหยุดรถหรือแวะพักระหว่างสถานที่ท่องเที่ยวสองสถานที่

1.7.14 เวลาของแผนการเดินทาง (Total Travel Time) หมายถึง ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว (T_s) ที่ผู้ใช้มีซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้ระบุ

1.7.15 คำตอบ/ ผลเฉลย (Solution) หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของขั้นตอนวิธี ซึ่งคือแผนการเดินทางท่องเที่ยวหรือเส้นทางที่สามารถเยือนสถานที่ได้ครบหรือมากแห่งที่สุดตามข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยแต่ละแผนอาจเดินทางไปเยือนสถานที่ที่แตกต่างกัน มีจำนวนสถานที่ที่บรรจุอยู่ในแผนการเดินทางไม่เท่ากัน หรือมีลำดับการเดินทางของสถานที่ปลายทางที่แตกต่างกันก็ได้ โดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันและอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่กำหนด

1.7.16 คำตอบเบื้องต้น (Initial Solution) หมายถึง แผนการเดินทางแรกหรือเส้นทางคำตอบแรกที่ได้จากการคำนวณในกระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นของขั้นตอนวิธี เป็นเส้นทางที่คาดว่าเยือนสถานที่ได้มากแห่งที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันและอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา เป็นเส้นทางคำตอบที่นำมาใช้เป็นฐานในการค้นหาเส้นทางเพื่อพัฒนาไปสู่เส้นทางคำตอบอื่นที่ดีกว่าในกระบวนการต่อ ๆ ไป

1.7.17 คำตอบที่ดีที่สุด/คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution/Global Optimum) หมายถึง แผนการเดินทางหรือเส้นทางที่มีสถานที่ปลายทางครบทุกแห่งตามที่ผู้ใช้ระบุและอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่กำหนด ตัวอย่างเช่น หากผู้ใช้ระบุสถานที่ปลายทางทั้งหมด 15 แห่ง แล้วมีแผนการเดินทางหนึ่งที่สามารถวางแผนให้มีสถานที่ปลายทางได้ครบทั้ง 15 แห่ง รวมทั้งแผนนั้นใช้ระยะเวลาทั้งหมดในการท่องเที่ยวน้อยที่สุดและอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่กำหนด จะถือว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

1.7.18 คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด (Near Optimal Solution/Local Optimum) หมายถึง แผนการเดินทางหรือเส้นทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางใกล้เคียงกับแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดและอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่กำหนด

1.7.19 ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Travel Itinerary Planner Problem under Time Constraints: TIPP) หมายถึง ปัญหาที่ต้องค้นหาว่าแผนการเดินทางท่องเที่ยวใดที่สามารถไปเยือนสถานที่ปลายทางได้หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ผู้ใช้กำหนด ซึ่งคำตอบหรือแผนการเดินทางที่ได้จากปัญหาในรูปแบบนี้ หมายถึงเส้นทางที่อาจเยือนสถานที่ปลายทางได้ครบหรือไม่

ครบทุกแห่งก็ได้โดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน แต่ทั้งนี้ แผนการเดินทางจะต้องคำนึงถึงการเยือนสถานที่ให้ได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

1.7.20 ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาที่มีลักษณะเดียวกันกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) หมายถึง ปัญหาที่ต้องค้นหาแผนการเดินทางที่สามารถเดินทางไปเยือนสถานที่ปลายทางได้ครบทุกแห่งโดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันและใช้ต้นทุนในการเดินทางน้อยที่สุด ในที่นี้ ต้นทุนในการเดินทางที่น้อยที่สุดคือระยะเวลาในการเดินทางที่สั้นที่สุด

1.7.21 คำตอบ (Solution) นิยามความหมายได้ใน 2 กรณีดังนี้

1.7.21.1 คำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Solution in TIPP) จากรูปแบบปัญหาที่มีการตัดบางสถานที่ปลายทางที่ไม่เข้าเงื่อนไขบังคับด้านเวลาออกจากแผนการเดินทางทิ้งไป ส่งผลให้ในการประมวลผลแต่ละครั้ง แผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้อาจมีจำนวนสถานที่ปลายทางไม่เท่ากัน ดังนั้น คำตอบในปัญหานี้จึงหมายถึงจำนวนสถานที่ปลายทางที่สามารถไปได้ในแผนการเดินทาง โดยแผนการเดินทางใดที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางมากแห่งกว่าตามที่ผู้ใช้ระบุ จะถือว่าแผนนั้นดีกว่าแผนที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางน้อยกว่า

1.7.21.2 คำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Solution in TSP) เนื่องจากการวางแผนการเดินทางตามรูปแบบปัญหานี้ไม่มีเงื่อนไขบังคับด้านเวลาเพียงแต่ต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางให้น้อยที่สุด ส่งผลให้ในการประมวลผลแต่ละครั้ง แผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้มีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากัน กล่าวคือ เดินทางไปเยือนทุกสถานที่ (ไม่มีการตัดสถานที่ปลายทางออกจากแผน) ดังนั้น คำตอบในปัญหานี้จึงหมายถึงระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยวหรือระยะเวลาของแผนการเดินทาง โดยหากแผนการเดินทางใดที่มีระยะเวลาของแผนการเดินทางน้อยกว่า จะถือว่าแผนนั้นดีกว่าแผนที่มีระยะเวลาของแผนการเดินทางมากกว่า

1.7.22 ความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี/ความเร็วในการคำนวณ/ความเร็วในการประมวลผล (Elapsed Time/ Execution Time/ CPU Time) หมายถึง ระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการที่ขั้นตอนวิธีใช้ในการประมวลผลจนได้คำตอบที่ต้องการ ซึ่งไม่รวมเวลาที่ระบบใช้ในการรับส่งข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่น

1.7.23 ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี (Performance of Algorithm) หมายถึง ค่าที่สามารถบอกได้ว่าขั้นตอนวิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าหรือแย่กว่าขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบร้อยละเท่าใด ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบและค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วในการประมวลผล

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึง การทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา เนื้อหาของบทนี้ประกอบด้วย

2.1 ระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์

2.2 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง

- 2.2.1 กลุ่มความซับซ้อนของปัญหาการตัดสินใจ
- 2.2.2 ประเภทคำตอบของปัญหาการวางแผนการเดินทาง
- 2.2.3 ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง
- 2.2.4 ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ
- 2.2.5 ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย
- 2.2.6 ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

2.3 เทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง

- 2.3.1 วิธีแม่นตรง
- 2.3.2 วิธีฮิวริสติก
- 2.3.3 วิธีเมตาฮิวริสติก

2.4 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

- 2.4.1 แนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว
- 2.4.2 พารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว
- 2.4.3 ประเภทของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง

- 2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ
- 2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย
- 2.5.3 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ซึ่งรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ สามารถอธิบายได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1 ระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ (Online Travel Planning System)

ระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ เป็นการวางแผนการท่องเที่ยวที่กระทำผ่านอินเทอร์เน็ต โดยนักท่องเที่ยวจะเข้าไปที่เว็บไซต์วางแผนการเดินทางต่าง ๆ ที่มีให้บริการ และเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการท่องเที่ยวที่ในระบบหรือในเว็บไซต์นั้น ๆ เตรียมไว้ให้ผู้ใช้เลือก หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผู้ใช้ได้ระบุมาใช้ในการกำหนดแผนการเดินทางที่เหมาะสมตามขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ได้กำหนดไว้ สามารถจัดประเภทของระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ 4 ประเภท ตามพื้นฐานของการวางแผนของระบบเหล่านั้น (จิติมนต์ อั่งสกุล และธรา อั่งสกุล, 2551: 33-45) ได้แก่ ระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์ที่วางแผนตามเส้นทางการเดินทาง ระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์ที่วางแผนตามสถานที่ที่น่าสนใจ ระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์ที่วางแผนตามสภาพอากาศ และระบบการวางแผนตามตัวแทนการท่องเที่ยว

สำหรับการเตรียมตัววางแผนการเดินทางท่องเที่ยวซึ่งเว็บไซต์วางแผนการเดินทางท่องเที่ยว (Plan-travel, www, 2012 อ้างถึงใน ศศิวิมล กอบัว, 2556: หน้า 12) ได้กล่าวไว้สอดคล้องกับหนังสือนำเที่ยวหลายเล่มที่ได้แนะนำข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว และ/หรือให้ข้อมูลแผนการเดินทางท่องเที่ยว และกล่าวถึงสิ่งที่ต้องพิจารณาหรือคำนึงถึงเพื่อวางแผนก่อนการเดินทางไปท่องเที่ยว ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ต้องบ่งชี้ความต้องการของนักท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มักตั้งคำถามหลัก ๆ 6 คำถาม ได้แก่ ต้องการไปเที่ยวที่ไหน ต้องการเดินทางเมื่อใด มีงบประมาณเท่าไร ต้องการเดินทางคนเดียวหรือเดินทางเป็นกลุ่ม ต้องการทำกิจกรรมอะไร และเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการเดินทางท่องเที่ยวในครั้งนี้คืออะไร เพื่อที่จะสร้างแผนการเดินทางที่ก่อให้เกิดความพึงพอใจมากที่สุด โดยหนังสือคู่มือนักเดินทางฝรั่งเศส (ประภัสสร มั่งศรี, 2547) ได้กล่าวถึงสิ่งที่นักท่องเที่ยวต้องทำการศึกษา อาทิ ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่จะเดินทางไป เพื่อตอบให้ได้ว่าต้องการไปเที่ยวที่ไหน สถานที่นั้นมีความน่าสนใจมากน้อยเพียงใด หรือในบางครั้งนักท่องเที่ยวอาจจะเริ่มวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยการศึกษาจากตัวอย่างของแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวที่มีความเชี่ยวชาญ สำหรับตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยว แสดงดังรูปที่ 2.1 - 2.3

โปรแกรมทัวร์ ซันสตาร์ ทราเวล

T1 เชียงใหม่ เชียงราย ดอยสุเทพ วัดร่องขุ่น เขื่อนแม่สรวย ทะเลหมอกภูชี้ฟ้า วัดร่องขุ่น 3 วัน 2 คืน

โปรแกรมทัวร์ เชียงใหม่ –ภูชี้ฟ้า-วัดห้วยปลากั้ง 3 วัน 2 คืน (รหัส T1)

ดอยสุเทพ - ดอยคำ – พระตำหนักภูพิงค์-วัดอุโมงค์-ซันโตกดินเนอร์

น้ำพุร้อนแม่ขะจาน – วัดร่องขุ่น – ชมทะเลหมอกภูชี้ฟ้า – วัดห้วยปลากั้ง – วัดร่องเสือเต้น

วันที่หนึ่ง หอคำหลวง – พระธาตุดอยคำ – ดอยสุเทพ – พระตำหนักภูพิงค์ – วัดอุโมงค์

วันที่สอง น้ำพุร้อนแม่ขะจาน เขื่อนแม่สรวย วัดร่องขุ่น ภูชี้ฟ้า

วันที่สาม ภูชี้ฟ้า กะเหรี่ยงรวมมิตร วัดห้วยปลากั้ง วัดร่องเสือเต้น ร้านกาแฟริมน้ำกก

อัตราค่าบริการ 2-4 ท่าน (รถเก๋ง) ราคาท่านละ 6,990 บาท

อัตราค่าบริการ 5-6 ท่าน (รถ 6 ที่นั่ง) ราคาท่านละ 5,990 บาท

อัตราค่าบริการ 7-10 ท่าน (รถตู้) ราคาท่านละ 5,500 บาท

(เดินทางช่วงวันหยุดยาวกรุณาเช็คราคาอีกครั้ง / เด็กอายุเกิน 6 ปี คิดเป็นราคาผู้ใหญ่ /ราคานี้ไม่มีออกบิลภาษี)

ที่พักระดับ 3 ดาว ราคาตามโปรแกรม สามารถเลือกที่พักได้ดังนี้

โรงแรมฮอลิเดย์การ์เด้น/โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ/โรงแรมเมย์ฟลาวเว่อร์

-

ที่พักระดับ 4 ดาว มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม (กรุณาโทรเช็คราคา ราคาขึ้นอยู่กับวันที่และช่วงที่เข้าพัก)

โรงแรมเชียงใหม่แกรนด์วิว/โรงแรมฮอลิเดย์อินน์/โรงแรมดวงตะวันเชียงใหม่

-

อัตรานี้รวม

-ค่ารถเดินทางตามโปรแกรม+คนขับ+น้ำมัน

-ค่าที่พัก 2 คืน พักห้องละ 2 ท่าน (กรณีเศษเสริมเดียงพัก 3 ท่าน)

-ค่าธรรมเนียมเข้าชมตามรายการที่ระบุสำหรับนักท่องเที่ยวชาวไทย

-ค่าอาหาร 7 มื้อ ตามที่ระบุในโปรแกรม

-ค่าประกันอุบัติเหตุในวงเงิน 1,000,000 บาท รักษาพยาบาล 500,000 บาท ตามเงื่อนไขของกรมธรรม์

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาการเดินทาง 3 วัน (ซันสตาร์ทราเวล, www, 2562)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาการเดินทาง 5 วัน (เชียงใหม่ทัวร์ออนไลน์, www, 2562)

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยวสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาการเดินทาง 6 วัน (คนไทยทัวร์, www, 2562)

จากรูปที่ 2.1 - 2.3 ได้แสดงตัวอย่างของแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่จัดโดยบริษัทนำเที่ยว สำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ มีระยะเวลาการเดินทาง 3 วัน จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปทั้งหมด 13 แห่ง ส่วนจังหวัดเชียงราย มีระยะเวลาการเดินทาง 5 วัน จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปทั้งหมด 19 แห่ง และจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีระยะเวลาการเดินทาง 6 วัน จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปทั้งหมด 33 แห่ง ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า สถานที่ท่องเที่ยวที่ถูกจัดไว้ในแต่ละแผนการเดินทางมีจำนวนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายเงื่อนไข เช่น จำนวนวันในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ฯลฯ จากตัวอย่างดังรูปที่ 2.1 -2.3 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยวเพิ่มขึ้น แผนการเดินทางท่องเที่ยวก็จะสามารถบรรจุสถานที่ปลายทางได้มากขึ้น นอกจากสถานที่ท่องเที่ยวปลายทางที่จะต้องถูกจัดไว้ในแผนการเดินทางแล้ว สถานที่อื่น เช่น ร้านอาหาร สถานที่แวะพัก ฯลฯ ส่วนใหญ่ก็จะมีการระบุไว้แล้วเรียบร้อยในแผนการเดินทาง

หากเป็นการเดินทางท่องเที่ยวกับตัวแทนการท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวก็ต้องทำการเปรียบเทียบแผนการเดินทางจากตัวแทนการท่องเที่ยว และเลือกแผนการเดินทางที่ตรงกับความต้องการของตนเองมากที่สุด โดยอาจจะเลือกจากความน่าสนใจของสถานที่ จากระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยวที่นักท่องเที่ยวมี แต่หากเป็นการเดินทางท่องเที่ยวด้วยตนเอง นักท่องเที่ยวก็อาจจะต้องรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวในครั้งนั้นต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางที่ต้องการไปยังสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการไป ห้องพักที่ต้องการพัก การเดินทางไป อย่างไร เช่น รถยนต์ รถโดยสาร เครื่องบิน ฯลฯ (Wake up, 2554) การหาข้อมูลทำให้ลดความเสี่ยงในด้านการเสียเวลา หรือค่าใช้จ่ายที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการตัดสินใจระหว่างท่องเที่ยว วิธีการหาข้อมูล เช่น หาจากบริษัทนำเที่ยว ขอคำแนะนำจากเพื่อน หรือผู้ที่เคยไปท่องเที่ยวสถานที่นั้น ๆ อ่านหนังสือนำเที่ยว ศึกษาแผนที่จากหนังสือ อ่านข่าวหนังสือพิมพ์ นิตยสาร หรือเว็บไซต์ที่จัดโปรโมชั่นนำเที่ยว หรือแม้กระทั่งพึ่งพาระบบวางแผนการท่องเที่ยวที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดการเดินทาง เขียนกำหนดการเดินทางแบบวันต่อวันออกมาเป็นลายลักษณ์อักษร ชื่อโรงแรม/ที่พัก ยานพาหนะ สถานที่ที่ต้องการไปเที่ยวชม ร้านอาหารในแต่ละมื้อ จำนวนเงินค่าห้องพัก และอื่น ๆ โดยใส่ประมาณการค่าใช้จ่ายเป็นตัวเลข ส่วนลดที่คาดว่าจะได้รับ เช่น จากค่าห้องพัก ค่าอาหาร ฯลฯ จากนั้นเตรียมการจองเที่ยวบิน จองโรงแรมที่พัก การเช่ารถ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น หากต้องข้ามประเทศ ต้องมีการแลกเงินตามสกุลเงินของสถานที่ที่จะไป เตรียมทำหนังสือเดินทาง ฯลฯ (กนกศักดิ์ กาญจนวสุนทรา, 2555)

จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนการวางแผนการท่องเที่ยวมีความซับซ้อน ในการไปเที่ยวแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง หากนักท่องเที่ยววางแผนด้วยตนเองจะใช้เวลามาก หากมีระบบที่ช่วยวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวก็จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการวางแผน และอาจส่งผลให้

แผนการท่องเที่ยวมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจากการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการวางแผน และในปัจจุบันพบว่า นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มักวางแผนการท่องเที่ยวด้วยตนเองผ่านระบบแบบออนไลน์ เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถเชื่อมโยงข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนการท่องเที่ยวได้ อาทิ ข้อมูลที่พัก ข้อมูลเที่ยวบิน ข้อมูลสถานที่ที่ต้องการเยี่ยมชม และข้อมูลสภาพอากาศ ด้วยเหตุนี้ ระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์จึงสำคัญต่อนักท่องเที่ยวที่ต้องการวางแผนล่วงหน้า

ซึ่งจากการสำรวจวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์เกือบทุกประเภทล้วนต้องใช้ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทาง กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้เลือกสถานที่ที่ต้องการตามความสนใจ หรือเลือกจากที่ระบบแนะนำสถานที่ให้ตามพื้นฐานของการวางแผนของระบบเหล่านั้น นั่นหมายถึง มีการกำหนดชุดของสถานที่ที่ต้องวางแผนการเดินทางแล้ว จากนั้นในการวางแผนการเดินทางจะเป็นหน้าที่ของขั้นตอนวิธีที่จะนำสถานที่ปลายทางซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้า มาจัดให้เป็นเส้นทางที่มีความต่อเนื่องตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ โดยการคำนวณจะพยายามหาผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือคาดว่าน่าจะเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขที่มีอยู่ จนกระทั่งเป็นแผนการเดินทางที่เหมาะสมและนำเสนอต่อผู้ใช้ต่อไป สำหรับเทคนิคและขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ในการวางแผนการเดินทางจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง

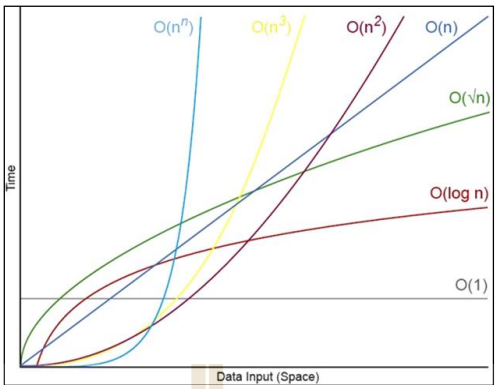
ปัญหาการวางแผนการเดินทาง (The Problem of Searching Route/ Routing Problem) เป็นปัญหาการตัดสินใจอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเส้นทาง (Route) จากข่ายงาน (Network) เป็นการค้นหาคำตอบหรือการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามเงื่อนไขที่กำหนด เป็นปัญหาที่ไม่สมมาตร (Asymmetric Problem) (พัชราภรณ์ เนียมมณี, 2551: 260) เนื่องจากระยะทางจากเมือง i ถึง เมือง j ไม่เท่ากับระยะทางจาก เมือง j ถึง เมือง i ปัญหาการวางแผนการเดินทางเป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน เมื่อต้องการคำตอบของการตัดสินใจที่ดีที่สุด อาจหมายถึงการมีประสิทธิภาพสูงสุด ใช้ระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด หรือเสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด เป็นต้น

ปัญหาการวางแผนการเดินทางเป็นปัญหาของการค้นหาคำตอบซึ่งในที่นี้หมายถึงการค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุด และโดยส่วนใหญ่การค้นหาคำตอบหรือการค้นหาข้อมูลในทางคอมพิวเตอร์มักจะกระทำบนโครงสร้างต้นไม้และกราฟ ทั้งนี้ เพราะโครงสร้างข้อมูลในลักษณะนี้สามารถทำให้การค้นหาสะดวกขึ้น และสามารถพลิกแพลงการค้นหาได้ง่าย แม้ในบางครั้งการค้นหาข้อมูลอาจกระทำบนโครงสร้างชนิดอื่นได้ เช่น แถวลำดับ (Array) กองซ้อน (Stack) และแถวคอย (Queue) ฯลฯ

แต่การจัดการข้อมูลในโครงสร้างนี้มีข้อจำกัดคือ การค้นหาทำได้แบบเรียงลำดับเท่านั้น (Sequential Search) ซึ่งเหมาะกับข้อมูลปริมาณน้อย ดังนั้น ในการค้นหาข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ก่อนการค้นหาหรือระหว่างการค้นหา ข้อมูลที่จะถูกค้นจะต้องถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของต้นไม้หรือกราฟเท่านั้น การค้นหาข้อมูลบนโครงสร้างต้นไม้และกราฟจำแนกได้ 2 แบบ คือ การค้นหาแบบไบลด์ (Blind Search) และการค้นหาแบบฮิวริสติก (Heuristic Search)

เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัญหาการวางแผนการเดินทางจัดเป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน อยู่ในประเภทปัญหาการเรียงสับเปลี่ยนหรือปัญหาเชิงผสมผสาน (Combinatorial Optimization Problems: CO) นอกจากปัญหาการวางแผนการเดินทางแล้ว ก็ยังมีปัญหาเฉพาะปัญหาอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันที่จัดอยู่ในปัญหาเชิงผสมผสาน (Blum and Roli, 2003: 269) เช่น ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว (Travel Routing Problem: TRP) ปัญหาการจัดสรรงานกำลังสอง (Quadratic Assignment Problem: QAP) และปัญหาการจัดสรรตารางเวลา (Timetabling and Scheduling Problems) (Blum and Roli, 2003: 269) โดยปัญหาเชิงผสมผสานนี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพียาก (Non-Deterministic Polynomial Time Hard Problem: NP-Hard Problem) (Garey and Johnson, 2002) การแก้ปัญหามุ่งเน้นไปที่การหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimum) จากโอกาสที่จะเกิดได้ทั้งหมด เป็นปัญหาที่มีความสำคัญจึงมีการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาเชิงผสมผสานอย่างกว้างขวาง ซึ่งบลูมและโลลิ (Blum and Roli, 2003: 269) แยกขั้นตอนวิธีเหล่านั้นออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ขั้นตอนวิธีแบบสมบูรณ์ (Complete Algorithms) และขั้นตอนวิธีแบบประมาณการ (Approximate Algorithms) โดยขั้นตอนวิธีแบบสมบูรณ์นั้น เป็นขั้นตอนวิธีที่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดทุกครั้งที่ประมวลผล (Papadimitriou and Steiglitz, 1982: 20-23; Nemhauser and Wolsey, 1988: 122) ซึ่งมักจะต้องใช้เวลาในการคำนวณนานและใช้ทรัพยากรสูง ส่วนขั้นตอนวิธีแบบประมาณการ จะเน้นลดเวลาในการประมวลผลโดยการคำนวณหาคำตอบเพียงบางส่วนของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Partial Search) แต่ยังให้คำตอบที่ดีเพียงพอในเวลาคำนวณที่ยอมรับได้ ต่อมาขั้นตอนวิธีแบบประมาณการได้รวมวิธีการฮิวริสติกเข้าไปในการค้นหาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นในปริภูมิการค้นหา (Search Space) เรียกวิธีการนี้ว่า เมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) (Glover, 1986: 535)

สำหรับการประมวลผลเพื่อแก้ปัญหาในกลุ่มปัญหาเอ็นพียากเป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลาการคำนวณสูง โดยเวลาการคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามลักษณะเทอมพหุนาม (Polynomial) (n^c) โดยที่ c เป็นค่าคงที่ ส่วน n เป็นขนาดจำนวนตัวแปร อัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการคำนวณของขั้นตอนวิธี

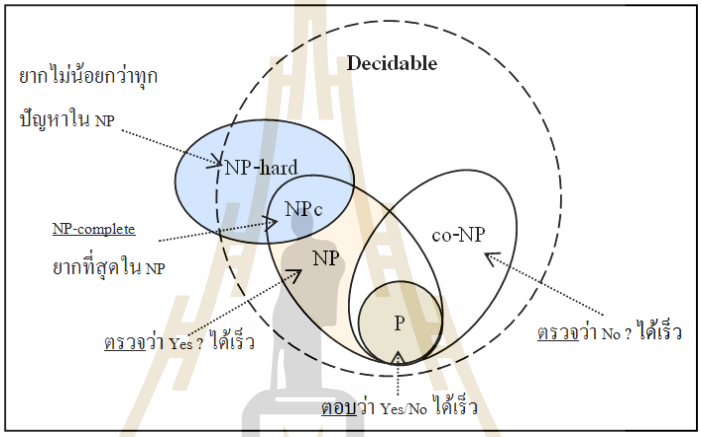
ตัวอย่างการแก้ปัญหาปัญหาหนึ่งในกลุ่มปัญหาเชิงผสมผสานคือ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ที่ต้องเดินทางไปยังเมืองทุกเมืองจำนวน 10 เมือง โดยต้องการหาคำตอบด้วยการเรียงสับเปลี่ยน (Combinatory) ผลลัพธ์คือจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้เท่ากับ $(n-1)!$ เท่ากับ 3,628,880 เส้นทาง จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมาก การพิจารณาด้วยฟังก์ชันการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบเท่ากับ $O(n^3)$ สมมติให้คอมพิวเตอร์ใช้เวลา 1 วินาทีในการประมวลหาเส้นทางที่เป็นไปได้ใน 1 เมือง จากการที่พนักงานต้องเดินทาง 10 เมือง คอมพิวเตอร์จะใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ $\frac{20^3}{10^3} = 8$ วินาที นั่นหมายถึงใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นจากเดิม 8 เท่า

สำหรับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวางแผนการเดินทางที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ได้แก่ กลุ่มความซับซ้อนของปัญหาการตัดสินใจ ประเภทคำตอบของปัญหาการวางแผนการเดินทาง ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 กลุ่มความซับซ้อนของปัญหาการตัดสินใจ

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ปัญหาการวางแผนการเดินทางจัดเป็นปัญหาการตัดสินใจประเภทหนึ่ง ซึ่งปัญหาที่อยู่ในกลุ่มประเภทนี้จะมีคำตอบเพียงสองแบบคือ “ใช่” และ “ไม่ใช่” โดยที่แต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วยปัญหาที่มีความยากเท่ากัน ในศาสตร์ของทฤษฎีเกี่ยวกับความซับซ้อนในการคำนวณ (Computational Complexity Theory) ที่ศึกษาเกี่ยวกับทรัพยากรที่ต้องการสำหรับการแก้ปัญหาหนึ่ง ๆ โดยทั่วไปทรัพยากรที่สนใจ คือเวลาทั้งหมดที่ใช้จนได้คำตอบ

ที่ต้องการ (Elapsed Time) ขั้นตอนการทำงานว่าต้องใช้กี่ขั้นตอนก่อนจะแก้ปัญหาได้ และเนื้อที่ว่าต้องใช้เนื้อที่เท่าใดในการแก้ปัญหา โดยสนใจความสัมพันธ์ของกลุ่มของปัญหาการตัดสินใจอยู่ 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มปัญหาพี (P) กลุ่มปัญหาเอ็นพี (NP) กลุ่มปัญหาโคเอ็นพี (co-NP) กลุ่มปัญหาเอ็นพียาก (NP-Hard) และกลุ่มปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Complete) ซึ่งแบ่งกลุ่มตามความง่าย (Tractable) และความยาก (Intractable) ของปัญหา กล่าวคือ หากขั้นตอนวิธีที่นำมาแก้ปัญหานั้นทำงานในเวลาที่เป็นพหุนาม (Polynomial Time) กับปริมาณของข้อมูลนำเข้า (Input) จะถือว่าเป็นปัญหาที่ง่าย แต่ถ้าไม่ใช่จะถือว่าเป็นปัญหาที่ยาก กลุ่มความซับซ้อนของปัญหาการตัดสินใจ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การจัดกลุ่มปัญหาการตัดสินใจโดยพิจาณาจากความยากง่ายของปัญหา

2.2.1.1 กลุ่มปัญหาพี (Polynomial Time Problem: P-Problems)

กลุ่มปัญหาพี คือกลุ่มของปัญหาการตัดสินใจที่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่เป็นฟังก์ชันพหุนามกับปริมาณข้อมูลนำเข้า ดังนั้น จึงจัดเป็นปัญหาที่ง่ายเนื่องจากสามารถแก้ได้ด้วยขั้นตอนวิธีที่ทำงานในเวลาที่เป็นพหุนามกับขนาดของข้อมูลนำเข้า เช่น การหาค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด การเรียงลำดับข้อมูล การค้นหาผลเฉลยเฉพาะที่ การค้นหาวิถีสั้นสุด ฯลฯ

2.2.1.2 กลุ่มปัญหาเอ็นพี (Non-Deterministic Polynomial Time Problem: NP-Problems)

กลุ่มปัญหาเอ็นพี คือกลุ่มของปัญหาการตัดสินใจที่คำตอบเป็นแบบ “ใช่” และสามารถตรวจสอบคำตอบได้ในเวลาที่เป็นฟังก์ชันพหุนาม กลุ่มปัญหาเอ็นพีมีขนาดใหญ่มากและประกอบด้วยปัญหาเฉพาะมากมาย ปัญหาส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมและการคำนวณต่าง ๆ ก็เป็นปัญหาในกลุ่มเอ็นพีเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ปัญหาการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ราคาถูกที่สุด ปัญหาการวางแผนการเดินทางเดินครบรอบที่ประหยัดที่สุด ปัญหาการแบ่งและจัดลำดับการทำงานสำหรับคอมพิวเตอร์ ฯลฯ

2.2.1.3 กลุ่มปัญหาโคเอ็นพี (Complement-NP Problem: co-NP Problems)

กลุ่มปัญหาโค-เอ็นพี คือกลุ่มของปัญหาการตัดสินใจที่คำตอบเป็นแบบไม่ใช่ และสามารถตรวจสอบคำตอบได้ในเวลาที่เป็นฟังก์ชันพหุนาม เป็นส่วนกลับของกลุ่มปัญหาเอ็นพี

2.2.1.4 กลุ่มปัญหาเอ็นพียาก (NP-Hard Problems)

กลุ่มปัญหาเอ็นพียาก เป็นปัญหาที่ยากไม่น้อยกว่าทุกปัญหาในกลุ่มปัญหาเอ็นพี ตัวอย่างปัญหาในกลุ่มปัญหาเอ็นพียาก เช่น ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ปัญหาการวางแผนการเดินทางที่คำนึงถึงเส้นทางที่ยาวที่สุด (Longest Path) ฯลฯ

2.2.1.5 กลุ่มปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Complete Problems)

กลุ่มปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ เป็นกลุ่มปัญหาหนึ่งในเอ็นพีที่ยากที่สุดและมีความยากเท่ากันหมด กล่าวคือปัญหาใด ๆ ในกลุ่มปัญหาเอ็นพี สามารถลดรูปมาเป็นปัญหาในเอ็นพีบริบูรณ์ได้ แม้ยังไม่ได้รับการพิสูจน์แต่เชื่อกันว่าเป็นกลุ่มปัญหาที่ไม่น่าจะมีขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพใช้แก้ไขได้ ตัวอย่างเช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เป็นอาทิ ปัญหาในกลุ่มเอ็นพีบริบูรณ์สามารถเปลี่ยนแปลงไปมาเป็นปัญหาอื่นในกลุ่มเดียวกันได้ด้วยเวลาพหุนาม ดังนั้นการที่มีขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาใดปัญหาหนึ่งในเอ็นพีบริบูรณ์ จะส่งผลให้สามารถแก้ปัญหาทั้งหมดในกลุ่มเอ็นพีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการแก้ปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์นิยมใช้วิธีดังกล่าวเหล่านี้ เช่น ใช้การประมาณเพื่อหาคำตอบที่พิสูจน์ได้ว่าไม่แย่เกินไปนัก ใช้วิธีฮิวริสติกซึ่งจะทำให้ขั้นตอนวิธีทำงานได้ดีในหลาย ๆ กรณีแต่ไม่ประกันความถูกต้องของคำตอบ ใช้วิธีจงใจตอบเฉพาะกรณีพิเศษเพื่อให้ได้คำตอบ ฯลฯ

ปัญหาที่พบในทางปฏิบัติมากมายถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์และกลุ่มปัญหาเอ็นพียาก ปัญหาการวางแผนการเดินทางก็เช่นเดียวกัน ในปัจจุบันยังหาขั้นตอนวิธีที่แก้ไขปัญหาในเวลาที่เป็นฟังก์ชันพหุนามของปริมาณข้อมูลนำเข้าไม่ได้ จึงจัดเป็นกลุ่มปัญหาที่น่าสนใจกลุ่มหนึ่ง

2.2.2 ประเภทของคำตอบของปัญหาการวางแผนการเดินทาง

ประเภทของคำตอบของปัญหาการวางแผนการเดินทาง แบ่งเป็น 2 ประเภทตามขอบเขตของคำตอบที่พบ ได้แก่ คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมและคำตอบที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะแห่ง

2.2.2.1 คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสมโดยรวม (Optimal Solution/ Global Optimum) ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดจะต้องทำการค้นหาทั้งหมด (Exhaustive Search) เพื่อเปรียบเทียบทุกคำตอบที่สามารถเป็นไปได้ แล้วจึงเลือกคำตอบที่ดีที่สุดออกมาจากทั้งหมดนั้น ดังนั้น จึงใช้เวลาในการประมวลผลสูงและใช้ปริมาณหน่วยความจำมาก ในบางครั้ง

อาจทำไม่ได้ในทางปฏิบัติแต่คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ถูกต้อง เทคนิควิธีการที่นำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบประเภทนี้ใช้วิธีแม่นตรง (Exact Method)

2.2.2.2 คำตอบที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะแห่ง (Near Optimal Solution/ Local Optimum) ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด จะทำการค้นหาเพียงบางส่วนแต่คำตอบที่ได้ไม่ประกันว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด เป็นเพียงคำตอบที่ดีเพียงพอจะยอมรับไปใช้งานได้ ประเภทของคำตอบนี้ถูกยอมรับให้เป็นคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ นิยมแก้ปัญหาโดยวิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติก

สำหรับขั้นตอนวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของปัญหาการวางแผนการเดินทาง จะกล่าวถึงในหัวข้อเทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง ในหัวข้อลำดับถัดไป

2.2.3 ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง

กราฟเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้สำหรับจำลองปัญหาบางอย่างในลักษณะของรูปภาพ โดยใช้จุด (Vertices) แทนจุดยอดแต่ละจุด และลากเส้นเชื่อม (Arcs) ระหว่างจุดยอดถ้าจุดยอดทั้งสองนั้นมีเส้นเชื่อมถึงกัน ทฤษฎีกราฟเป็นหนึ่งในสาขาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่ศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของกราฟ หลักการเกี่ยวกับกราฟสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟได้แก่ การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้ การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับปัญหาวิถีสั้นสุด และการประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง รายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้

ในโครงสร้างข้อมูลของคอมพิวเตอร์ ได้มีการประยุกต์กราฟเชื่อมโยงที่ไม่มีวัฏจักร หรือที่เรียกว่าต้นไม้ (Tree) ไปใช้ในการจัดการโครงสร้างข้อมูลเหล่านั้น นอกจากนี้ยังมีการนำทฤษฎีกราฟไปใช้แก้ปัญหาข้อมูลที่จัดเก็บในลักษณะต้นไม้ ตัวอย่างปัญหาเช่น ต้องการสร้างถนนเชื่อมต่อระหว่างเมืองต่าง ๆ โดยที่ทราบค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนที่เชื่อมเมือง 2 เมืองใด ๆ แล้ว ควรสร้างถนนเชื่อมระหว่างเมืองใดบ้างให้สามารถติดต่อกันได้และเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างน้อยที่สุด จากปัญหาดังกล่าว อาจสร้างกราฟแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Graph) ที่ใช้กับปัญหานี้ได้ โดยให้เมืองแต่ละเมืองแทนด้วยจุดยอด ถนนแทนด้วยเส้นเชื่อม และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแทนค่าน้ำหนักของเส้นเชื่อม คำตอบของปัญหานี้คือ การหากราฟย่อย (Subgraph) แบบแผ่ทั่ว (Spanning Tree) ที่เป็นกราฟเชื่อมโยงและมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด

ในการหาคำตอบจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ ขั้นตอนวิธีของครูสกาวล์ (Kruskal's Algorithm) ที่จัดว่าเป็นขั้นตอนวิธีที่มีชื่อเสียงมากที่สุด และขั้นตอนวิธีของพริม (Prim's Algorithm) โดยแนวคิดของ

ขั้นตอนวิธีของครูสกาวล์คือ การเลือกเส้นที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดจากกราฟเชื่อมโยงถ่วงน้ำหนักติดต่อกันไปเพื่อสร้างกราฟเชื่อมถ่วงน้ำหนัก และการเลือกเส้นดังกล่าวต้องไม่ก่อให้เกิดวัฏจักร การเลือกนี้จะสิ้นสุดลงเมื่อได้ต้นไม้แผ่ทั่ว ส่วนแนวคิดขั้นตอนวิธีของพริมคือ การแทนต้นไม้ T ที่มีอยู่ในการเชื่อมโยงที่มีน้ำหนักด้วยต้นไม้อันใหม่ที่เกิดจากการเพิ่มเส้นที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดลงไปใน T โดยที่เส้น ๆ นี้เป็นเส้นเชื่อมจุดที่อยู่ใน T

2.2.3.2 การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับปัญหาวิถีสั้นสุด

ในทฤษฎีกราฟ ปัญหาวิถีสั้นสุด (Shortest Path Problem) เป็นปัญหาที่ต้องการหาวิถีสั้นสุดระหว่างจุดยอด 2 จุดภายในกราฟ กล่าวคือ ในวิถีสั้นสุดนั้น ผลรวมของน้ำหนักในเส้นเชื่อมแต่ละเส้นรวมกันแล้วน้อยที่สุดในบรรดาวิถีทั้งหมด ตัวอย่างปัญหานี้ เช่น การหาวิธีเดินทางจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งในแผนที่ ในกรณีนี้ จุดยอดแทนด้วยสถานที่ต่าง ๆ ส่วนเส้นเชื่อมแทนด้วยถนนหรือเส้นทาง และน้ำหนักบนเส้นเชื่อมแทนด้วยระยะเวลาในการเดินทางด้วยถนนหรือเส้นทางนั้น ๆ เป็นต้น

ในการหาคำตอบต้องใช้ขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาเช่นเดียวกัน ขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาวิถีสั้นสุด จะใช้แนวคิดของการคลายเส้นเชื่อม (Relaxation) นั่นคือ ขณะเริ่มต้นคำตอบวิถีสั้นสุดจะยังไม่ถูกต้อง เส้นเชื่อม e จะเรียกว่า ตึง (Tense) ถ้าสามารถใช้ e แล้วทำให้มีวิถีที่น้ำหนักรวมน้อยกว่าคำตอบที่มีอยู่ ดังนั้น ขั้นตอนวิธีแก้ปัญหาวิถีสั้นสุดก็จะทำการคลายเส้นเชื่อมที่ตึง นั่นคือใช้เส้นเชื่อมที่ตึงเพื่อให้ได้คำตอบของวิถีสั้นสุดที่ดียิ่งขึ้นเรื่อย ๆ สุดท้ายเมื่อไม่พบเส้นเชื่อมที่ตึงก็แปลว่าวิถีที่ได้เป็นวิถีสั้นสุดแล้ว (Cormen, Leiserson, Rivest, and Stein, 2009) ตัวอย่างขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาวิถีสั้นสุดที่มีความสำคัญและได้รับความนิยม เช่น ขั้นตอนวิธีของไดค์สตรา (Dijkstra's Algorithm) ใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุดแบบแหล่งต้นทางเดียว โดยที่น้ำหนักของเส้นเชื่อมต้องไม่เป็นลบ ขั้นตอนวิธีของเบลแมน-ฟอร์ด (Bellman-Ford Algorithm) ใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุดแบบแหล่งต้นทางเดียว โดยที่น้ำหนักของเส้นเชื่อมอาจเป็นลบได้ ขั้นตอนวิธีเอสตาร์ (A* Algorithm) ใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุดแบบแหล่งต้นทางเดียวโดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเพิ่มความเร็วในการแก้ปัญหา ขั้นตอนวิธีของฟลอยด์-วอร์แชล (Floyd–Warshall Algorithm) ใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุดแบบทุกคู่ และขั้นตอนวิธีของจอห์นสัน (Johnson Algorithm) ใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุดแบบทุกคู่ ซึ่งจะเร็วกว่าขั้นตอนวิธีของฟลอยด์-วอร์แชลในกรณีของกราฟไม่หนาแน่น (Cherkassky, Goldberg, and Radzik, 1996)

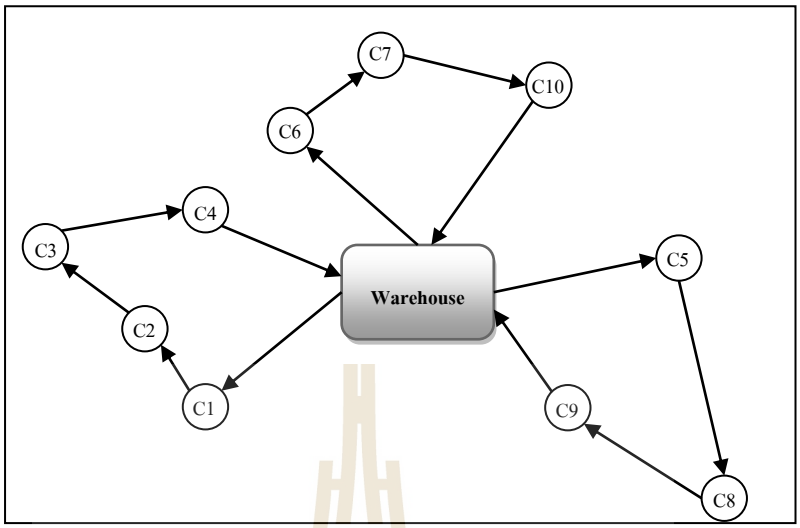
2.2.3.3 การประยุกต์ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง

ในกรณีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง จะคล้ายกันกับปัญหาวิถีสั้นสุด คือจะกำหนดให้เมืองแต่ละเมืองแทนด้วยเซตของจุดในกราฟ และให้เส้นเชื่อมแทนถนนที่เชื่อมต่อระหว่างเมือง โดยกำหนดระยะทางหรือเวลาการเดินทางระหว่างจุดต่อเป็นตัวเลขลงไปในกราฟและเรียกกราฟดังกล่าวว่า กราฟถ่วงน้ำหนัก (Weighted Graph) โดยทั่วไปค่าน้ำหนักอาจแทนค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ค่าระยะทาง หรือระยะเวลาในการเดินทาง ซึ่งจะแทนด้วยจำนวนจริงที่ไม่ติดลบ และเรียกจำนวนจริงดังกล่าวว่าเป็นน้ำหนักของเส้น

2.2.4 ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะหรือปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่ง เกี่ยวข้องกับการออกแบบเส้นทางที่มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดส่งสินค้าตามที่ลูกค้าต้องการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการขนส่งและกระจายสินค้าต่ำที่สุดโดยใช้พาหนะในการขนส่ง ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะเป็นที่รู้จักกันดีในรูปแบบปัญหาการโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming Problem) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพียาก ถึงแม้ว่าปัญหาการโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มจะมีผลเฉลยจำนวนจำกัด (Finite Number of Solutions) แต่สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เช่น ปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็นทวิภาค (Binary) ถ้ามีจำนวนตัวแปรทวิภาค n ตัวแปรแล้ว จำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้เท่ากับ 2^n เช่น ถ้าจำนวน 10 ตัวแปร แล้วจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้เท่ากับ 2^{10} = 1,024 ผลเฉลย และถ้าจำนวนตัวแปรเท่ากับ 20 ตัวแปรแล้ว จำนวนผลเฉลยจะเท่ากับ 2^{20}=1,048,576 ผลเฉลย จะเห็นได้ว่าในกรณีนี้ การเพิ่มขึ้นของตัวแปรตัดสินใจ 1 ตัว จะทำให้จำนวนผลเฉลยเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า การเพิ่มขึ้นของตัวแปรและผลเฉลยในลักษณะนี้ เป็นการเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Growth) หรือแบบแฟกทอเรียล (Factorial) ตามขนาดของปัญหา ดังนั้น แม้แต่คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงก็ไม่สามารถตรวจสอบผลเฉลยทั้งหมดได้

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น จึงนิยมใช้ขั้นตอนวิธีแบบประมาณการคำตอบเพื่อลดเวลาในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นมากดังกล่าว ลักษณะของปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะพื้นฐาน คือ การหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าทุกรายด้วยพาหนะที่มีอยู่ผ่านเส้นทางจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้ โดยมีค่าใช้จ่าย (Cost/ Objective) ต่ำสุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้ากลาง ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) ในการดำเนินงานต่าง ๆ เช่น เงื่อนไขด้านเวลาความจุในการบรรทุก ระยะทาง จำนวนยานพาหนะ ลักษณะยานพาหนะ ฯลฯ โดยเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมนั้น หมายถึงเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยทั่วไปลักษณะของปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะจะแสดงในรูปแบบของทิศทางการเดินรถจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า ณ จุดต่าง ๆ ดังรูปประกอบที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบพื้นฐาน

ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1) กลุ่มปัญหาที่คำนึงถึงระยะทางทั้งหมดของการเดินทางในแต่ละจุดเป็นหลัก (Point to Point Routing Problem) ปัญหากลุ่มนี้คือ การออกแบบเส้นทางให้กับรถขนส่งสินค้าเพื่อให้บริการลูกค้าได้ครบทุกจุดตามจุดต่าง ๆ บนโครงข่ายคมนาคม ตัวอย่างปัญหากลุ่มนี้เช่น การขนส่งสินค้าไปยังร้านค้า และการออกบริการซ่อมสินค้าให้ลูกค้าตามบ้าน เป็นต้น ปัญหาพื้นฐานที่รู้จักกันดี คือ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายที่ต้องเดินทางไปยังเมืองทุกเมือง และ 2) กลุ่มปัญหาที่คำนึงถึงระยะทางระหว่างจุดเป็นหลัก (Arc Routing Problem) ปัญหาในกลุ่มนี้เกี่ยวข้องกับการบริการที่เกิดขึ้นบนเส้นทาง ตัวอย่างปัญหาในกลุ่มนี้เช่น การบริการส่งหนังสือพิมพ์ การเก็บขยะมูลฝอยตามบ้านเรือน และการทำความสะอาดถนนของเมือง ฯลฯ ปัญหาพื้นฐานในกลุ่มนี้คือ การจัดส่งจดหมายบนทุกเส้นทางในโครงข่ายที่รู้จักกันในชื่อปัญหาการวางแผนการเดินทางส่งไปรษณีย์ของบุรุษไปรษณีย์ (Chinese Postman Problem: CPP)

โดยส่วนใหญ่ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะหรือการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในส่วนของการคำนวณของขั้นตอนวิธีเพื่อตัดสินว่าเส้นทางใดเป็นเส้นทางที่ดีที่สุดนั้นจะใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Model Formulation) ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาตรฐานสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ (Parameter) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) และสมการขอบข่าย (Constraints) สำหรับตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะนั้นประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ โครงข่ายถนน (Road Network) ยานพาหนะ

(Vehicle) และลูกค้า (Customer) โดยโครงข่ายถนนหมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างลูกค้าแต่ละราย และศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะทำหน้าที่ในการรับส่งสินค้าระหว่างลูกค้ากับศูนย์กระจายสินค้าบนโครงข่ายถนน และลูกค้าเป็นผู้สั่งซื้อสินค้าและเป็นผู้ที่ต้องนำสินค้าไปส่งให้

สำหรับเงื่อนไขต่าง ๆ ในปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ ได้แก่ กลุ่มของยานพาหนะ ลักษณะเฉพาะของยานพาหนะ และความต้องการของลูกค้าต่างก็มีผลต่อขีดจำกัดในตัวแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะทั้งสิ้น โดยกลุ่มของยานพาหนะและลักษณะเฉพาะของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ใช่ก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ยานพาหนะที่ใช้มักไม่ใช่ชนิดเดียวกันทั้งหมด ยิ่งไปกว่านั้น มิติของยานพาหนะ เช่น ความกว้าง ความยาว และความสามารถในการบรรทุก ฯลฯ ต่างก็มีผลกระทบต่อการขนส่งทั้งสิ้น ในส่วนของความต้องการของลูกค้า ไม่ว่าจะเป็นจำนวนสินค้าที่ต้องการ ชนิดของสินค้า ประเภทในการจัดส่ง เช่น ส่งอย่างเดียว ส่งและรับคืนบางส่วน เงื่อนไขด้านเวลาในการขนส่ง หรือแม้แต่เวลาในการบริการยกสินค้าขึ้น-ลงจากรถ (Service Time) ฯลฯ ต่างก็มีผลต่อการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะทั้งสิ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้ลักษณะปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะมีลักษณะเฉพาะแล้วแต่เงื่อนไขของปัญหา ทำให้เกิดรูปแบบย่อยของปัญหาแตกต่างกันมากมาย ทอธและวิโก้ (Toth and Vigo, 2002: 45-50) ได้สรุปประเภทปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะออกเป็น 3 ประเภทย่อยตามเงื่อนไขของปัญหา ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบจำกัดความจุ ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา และปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีการรับและส่งสินค้า แต่ทั้งนี้ ก็มีผู้แบ่งกลุ่มและแจกแจงประเภทย่อยของปัญหาการวางแผนการเดินทางไว้มากมาย เช่น จัดกลุ่มตามลักษณะของการส่งหรือรับอย่างเดียว หรือมีทั้งการส่งและการรับ ตามจำนวนพาหนะที่ใช้ ตามข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุดหรือจำนวนลูกค้าสูงสุดที่เดินทางไปได้ ฯลฯ ประเภทย่อยของปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะตามที่ทอธและวิโก้ได้แจกแจงไว้มีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบจำกัดความจุ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP)

ปัญหาชนิดนี้ถือเป็นปัญหาขั้นพื้นฐานของการจัดเส้นทางขนส่งที่ลูกค้าจะรับสินค้าจากรถบรรทุกได้เพียงคันเดียวและผู้จัดส่งทราบล่วงหน้า สินค้าที่จัดส่งไม่สามารถแบ่งออกเป็นส่วน ๆ (Split Delivery) เพื่อให้ยานพาหนะไปส่งพร้อมกันทีเดียวหลาย ๆ คันได้ นอกจากนี้ยานพาหนะในปัญหารูปแบบนี้จะเป็นรูปแบบเดียวกัน คือมีความสามารถในการบรรทุกเท่ากันทั้งหมด และทั้งหมดจะกระจายออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยมีจุดมุ่งหมายในการ

แก้ปัญหา คือต้องการลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้ต่ำที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปจะวัดจากระยะทางทั้งหมดที่ต้องเดินทางเพื่อไปส่งสินค้า ดังนั้น เส้นทางที่ใช้จึงต้องเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดและผ่านลูกค้าครบทุกราย ซึ่งแลบบี้ ลาพอท และเมอร์เคียว (Labbé, Laporte, and Mercure, 1991: 619) ได้สรุปว่าปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบจำกัดความจุเป็นปัญหาเอ็นพียากที่สามารถแก้ไขด้วยวิธีแม่นตรงได้ในระยะเวลาที่สมเหตุสมผลในกรณีที่จำนวนลูกค้าไม่เกิน 50 ราย โดยวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบด้วยวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound) วิธีแตกกิ่งและตัดทิ้ง (Branch and Cut) และวิธีการครอบคลุมเซต (Set Covering Approach)

2.2.4.2 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Window: VRPTW)

ปัญหาชนิดนี้เป็นปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะที่กำหนดเงื่อนไขวัตถุประสงค์ด้านเวลาการส่งมอบไว้ด้วย ในขณะที่ข้อจำกัดด้านความจุก็ยังคงอยู่ ลักษณะของปัญหาคือ มีคลังสินค้า 1 แห่ง มียานพาหนะสำหรับขนสินค้า n คัน ซึ่งเป็นยานพาหนะแบบเดียวกัน ขนาดบรรทุกเท่ากัน บรรทุกสินค้าไม่เกินความสามารถของรถ ออกเดินทางไปส่งสินค้าแต่ละแห่ง ซึ่งแต่ละแห่งใช้เวลาไม่เท่ากัน เวลาที่ยานพาหนะแต่ละคันใช้ต้องไม่เกินเวลาที่อนุญาต และจะเดินทางไปถึงลูกค้าเร็วหรือช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่ได้ ซึ่งปัญหาดังกล่าวก็จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพียากเช่นกัน เทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลานี้สามารถใช้ได้ทั้งวิธีแม่นตรง วิธีฮิวริสติก และวิธีเมตาฮิวริสติก

2.2.4.3 ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีการรับและส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery: VRPPD)

สำหรับปัญหานี้สินค้าที่จะส่งจะไม่ได้อยู่แต่ในศูนย์กระจายสินค้าเท่านั้น หากแต่จะกระจายไปตามจุดต่าง ๆ ในโครงข่าย เมื่อยานพาหนะรับสินค้าจากจุดรับแล้วจะต้องไปส่งสินค้ายังลูกค้าเป้าหมายที่ต้องการสินค้าที่กำลังบรรทุกอยู่ ก่อนที่จะไปรับสินค้าที่ลูกค้ารายอื่นได้ โดยที่ปัญหาในการจัดส่งสินค้าครั้งหนึ่ง นอกจากจะระบุถึงจุดรับ จุดส่งสินค้า และจำนวนเที่ยวในการรับส่งสินค้าแล้ว อาจมีการระบุเวลาในการรับและส่งสินค้าอีกด้วย ซึ่งปัญหารูปแบบนี้ผู้วางแผนการจัดส่งต้องตัดสินใจว่า จะทำการจัดส่งแต่ละคำสั่งส่งสินค้าอย่างไร ใช้ยานพาหนะที่ประจำอยู่ที่จุดจอดใด และมีลำดับในการไปรับและส่งสินค้าต่าง ๆ อย่างไรให้สามารถจัดส่งสินค้าทั้งหมดได้ภายในกรอบเวลาของคำสั่งส่งสินค้านั้น และไม่ละเมิดข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการบรรทุก และระยะทางสูงสุดในการจัดส่งของยานพาหนะแต่ละเส้นทาง เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมในการจัดส่งสินค้าต่ำที่สุด

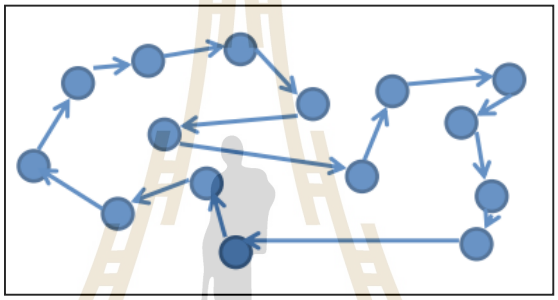
ในช่วงแรกที่ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะได้รับการเผยแพร่นั้น วิธีการที่ใช้แก้ปัญหาส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการแบบแม่นตรง ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของคลาร์คและไวรท์ (Clarke and Wright, 1964) คริสโตเฟอร์ มินกอซซี่ และทอธ (Christofides, Mingozzi, and Toth, 1981a) ลาพอทและโนเบิร์ท (Laporte and Nobert, 1987) และเอกเลซส์และเลทช์ฟอร์ด (Eglese and Letchford, 1998) แต่ในช่วงหลังของการพัฒนาวิธีการที่จะนำมาแก้ปัญหา นักวิจัยเริ่มหันมาสนใจการพัฒนาวิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติก โดยมุ่งเน้นให้สามารถแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่และมีเงื่อนไขซับซ้อนได้ ซึ่งวิธีการนี้ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจในขณะที่ใช้เวลาคำนวณสมเหตุสมผล ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ ธนา สาตรา กมลนัทธ์ ชวลิตธิติกร ณัฐวดี ชนประเสริฐ และวิธิดา วีรินทร (2555) ใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) อรประไพ จำรุพัฒน์ และปวีณา เชาวลิตวงศ์ (2556) ใช้วิธีการจัดแบบแทรกงาน (Insertion Heuristic) ส่วนเหลียง ซาง ซาง หัว และหลิม (Leung, Zhang, Zhang, Hua, and Lim, 2013) ใช้วิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing) และเบลไฮซา ฮันเซน และลาพอท (Belhaiza, Hansen, and Laporte, 2014) ใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) เป็นต้น วิธีการที่นิยมใช้ ยกตัวอย่างเช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการค้นหาแบบทาบู วิธีการจำลองการอบเหนียว วิธีอาณานิคมมด ฯลฯ โดยวิธีการเหล่านี้จะได้อธิบายในลำดับถัดไป

2.2.5 ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP)

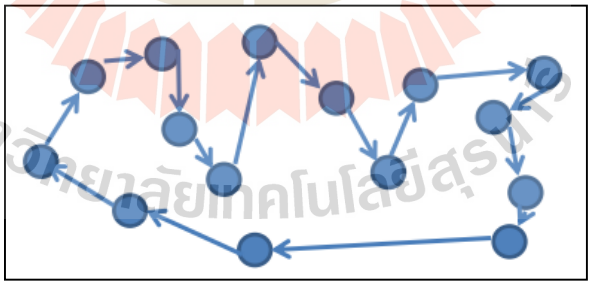
รูปแบบของปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหากรณีพิเศษ (Special Case) อีกรูปแบบหนึ่งของปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ (VRP) ที่รู้จักแพร่หลาย เป็นหนึ่งในปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานในการพัฒนาวิธีการในการหาคำตอบให้ดีและเร็ว โดยปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายนี้เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทาง เมื่อมีเมืองหรือสถานที่ที่ต้องเดินทางไปจำนวน n เมือง หรือ n สถานที่ การเดินทางจะเดินทางออกจากเมืองใดเมืองหนึ่ง โดยเส้นทางการเดินทางนั้น ๆ จะต้องเดินทางผ่านเมืองทุกเมืองจนครบเพียงเมืองละหนึ่งครั้ง และกลับมายังเมืองที่ออกเดินทางในตอนเริ่มต้นเหมือนการเดินวนรอบ เรียกการเดินทางแบบนี้ว่า วงรอบฮาร์มิล-โทเนี่ยน (Hamiltonian Cycle) ในการเดินทางจะไม่ย้อนกลับไปในเส้นทางเดิมที่ผ่านมา และเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางมักเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด ดังนั้น เส้นทางการเดินทางของพนักงานขายจึงมีลักษณะสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ 1) จะผ่านเข้า-ออกแต่ละเมืองเพียงครั้งเดียว 2) เส้นทางมีลักษณะเป็นเส้นทางปิด (Closed Path) ซึ่งมีเพียง 1 เส้นทาง และ 3) เส้นทางนี้จะต่อเนื่องกันไปจนผ่านครบทุกเมือง (Applegate, Bixby, Chvatal, and Cook, 2011: 47)

ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายได้รับการพิสูจน์ทางทฤษฎีแล้วว่าเป็นปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ที่มีความซับซ้อนในการหาผลเฉลย (Savelsbergh, 1985) ที่ใช้เวลาในการ

คำนวณเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล หากมีจำนวนเมืองไม่มาก ในส่วนของขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะนิยมใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์หรือขั้นตอนวิธีแบบสมบูรณ์ แต่ถ้ามีจำนวนเมืองมากมักจะนำขั้นตอนวิธีแบบประมาณการที่สามารถคำนวณหาคำตอบที่ดีเพียงพอในเวลาการประมวลผลที่เหมาะสมมาใช้ในการแก้ปัญหา คำตอบที่ได้จากปัญหานี้คือแผนการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งอาจมีเส้นทางการเดินทางที่แตกต่างกันได้ สาเหตุเนื่องจากใช้ระยะเวลาหรือเงื่อนไขที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนในการเดินทางที่แตกต่างกันตามไปด้วย ตัวอย่างความแตกต่างของเส้นทางการเดินทาง 2 แบบในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายแสดงดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแบบที่ 1 ของเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายที่มีจำนวน 15 สถานที่



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแบบที่ 2 ของเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายที่มีจำนวน 15 สถานที่

โดยทั่วไป ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตร (Symmetrical Distance Matrix) และแบบอสมมาตร (Asymmetrical Distance Matrix) ทั้ง 2 ประเภทแตกต่างกันที่ระยะทางในการเดินทางไปจากเมือง i ถึงเมือง j และเดินทางกลับจากเมือง j ถึงเมือง i ถ้าเป็นแบบ

สมมาตรระยะทางในการเดินทางไปและกลับจะใช้ระยะทางเท่ากัน แต่ถ้าเป็นแบบอสมมาตรจะไม่เท่ากัน ในการจำลองระยะทางมักจะแสดงอยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ที่เรียกว่า เมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix)

ในช่วงแรกที่ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายถูกเผยแพร่ก็ได้เริ่มมีการพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์และนำวิธีการในกลุ่มวิธีแม่นตรงมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งคล้ายกับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ ดังตัวอย่างงานวิจัยของเบเกอร์ (Baker, 1983) แพดเบิร์กและจีโอวานนี่ (Padberg and Giovanni, 1991) ลาพอท (Laporte, 1992) และเพซันท์ ฌองดรัว พูทวิน และรวัสซัว (Pesant, Gendreau, Potvin, and Rousseau, 1998) ที่ใช้วิธีการในกลุ่มวิธีแม่นตรงในการแก้ปัญหา และในช่วงหลังก็ได้มีการพัฒนาวิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติกเพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายที่มีจำนวนเมืองหลายเมืองมาก ๆ หรือเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีหลายเงื่อนไขจนไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ อรรถนิติ วงศ์จักร์ กฤตวัน ศิริบูรณ์ และบุญธีร์ เครือตราชู (2554) ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมและวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) อาร์ทส์ คอร์สท์ และมิชิลส์ (Aarts, Korst, and Michiels, 2005) ใช้วิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) ฟาง เชน และหลิว (Fang, Chen, and Liu, 2007) ใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) และมิสเซวิเซียส (Misevicius, 2015) ใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู จะเห็นได้ว่า วิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติกที่นิยมใช้จะคล้ายกันกับที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ โดยวิธีการเหล่านี้จะได้อธิบายในลำดับถัดไป

2.2.6 ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว (Travel Routing Problem: TRP)

ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเป็นอีกปัญหาหนึ่งของการค้นหาเส้นทาง โดยเส้นทางดังกล่าวหมายถึงเส้นทางการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขหรือปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อแผนการเดินทางท่องเที่ยว เพื่อให้การเดินทางท่องเที่ยวเป็นไปโดยเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพที่สุด ควรมีการกำหนดจุดหมายปลายทางที่ต้องการเดินทางไปเยือน พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดทางเลือก เปรียบเทียบทางเลือก เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด และกำหนดวิธีสนับสนุนแผนนั้น ซึ่งแผนการเดินทางท่องเที่ยวครั้งหนึ่ง ๆ สามารถเลือกเดินทางได้หลายเส้นทาง และมีระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางที่แตกต่างกันออกไป ในการเลือกวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวไม่เพียงแต่พิจารณาถึงปัจจัยด้านระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางเท่านั้น แต่ควรพิจารณาถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่มีความสำคัญควบคู่กันไป เช่น เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ที่ต้องการไป เวลาที่ใช้เดินทางในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน หรือเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่ต่างกัน ฯลฯ

จะเห็นได้ว่า ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้นมีเงื่อนไขและปัจจัยต่าง ๆ มากมายที่ต้องคำนึงถึงในการวางแผนเข้ามาเกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางดังที่ได้กล่าวมา ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวจึงจัดเป็นซุปเปอร์คลาส (Super class) ของปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (Maruyama, Shibata, Murata, Yasumoto, and Ito, 2004a) ที่เป็นที่ทราบกันดีว่าอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพียาก ดังนั้น การที่จะได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณสูงมาก และด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากเงื่อนไขและปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนี้ จึงส่งผลให้แผนการเดินทางหรือผลเฉลย (Solution) ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวมีความแตกต่างจากผลเฉลยในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย โดยผลเฉลยในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวอาจไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุดตามที่กำหนดเหมือนในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย

จากขั้นตอนการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ได้กล่าวข้างต้นยังชี้ให้เห็นว่าการวางแผนสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจของนักท่องเที่ยวมีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง อีกทั้งในปัจจุบันพบว่า รูปแบบหรือลักษณะในการวางแผนสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจของนักท่องเที่ยว (Souffriau and Vansteenwegen, 2010 อ้างถึงใน ศศิวิมล กอบัว, 2556, หน้า 13) มีหลากหลายลักษณะ ดังตารางที่ 2.1 ที่ได้จำแนกรูปแบบของการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเป็น 14 ลักษณะ ซึ่งประเด็นต่าง ๆ เหล่านี้ ได้มีการนำไปต่อยอดแนวคิดหรือศึกษาเชิงลึก เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีที่จะทำให้สามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนแผนการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยวมากที่สุด

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ลักษณะ	คำอธิบาย
1. การวางแผนตามความสนใจส่วนบุคคล (Selection and Routing)	ให้ความสำคัญกับความสนใจส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว เช่น การเลือกจากสถานที่ที่น่าสนใจ ความเหมาะสมของโรงแรม และความสวยงามของทัศนียภาพของเส้นทาง ฯลฯ
2. การเลือกและการค้นหาเส้นทางการเดินทางท่องเที่ยว (Mandatory POIs)	นำเสนอแบบอัตโนมัติได้ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งปัจจุบัน ปลายทางและระยะเวลาที่กำหนดโดยนักท่องเที่ยว ซึ่งมีผลต่อการเลือกสถานที่ที่น่าสนใจให้เหมาะสมกับระยะเวลาที่เป็นไปได้

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว (ต่อ)

ลักษณะ	คำอธิบาย
3. การวางแผนตามสถานที่ที่ควรไปเยี่ยมชม (Dynamic Recalculation)	เมื่อใดก็ตามที่นักท่องเที่ยวอยู่พื้นที่ใกล้เคียงกับสถานที่ที่น่าสนใจที่ควรไปเยี่ยมชมก็ควรแนะนำให้กับนักท่องเที่ยว
4. การคำนวณแผนได้ใหม่ตลอดเวลา (Dynamic Recalculation)	ระบบจะต้องปรับปรุง แก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงการวางแผนได้
5. การวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวแบบใช้ระยะเวลาหลายวัน (Multiple Day)	สามารถวางแผนการท่องเที่ยวได้ในระยะเวลาหลายวัน สามารถเลือกเข้าชมสถานที่ที่น่าสนใจได้ตามลำดับของวันที่ที่กำหนด
6. การวางแผนตามเวลาเปิด-ปิดให้บริการ (Opening Hours)	การวางแผนเส้นทางจะคำนึงถึงเวลาเปิด-ปิดให้บริการของสถานที่
7. การวางแผนภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ (Budget Limitations)	งบประมาณในการท่องเที่ยวทำให้มีผลต่อการเลือกสถานที่ที่น่าสนใจ
8. การวางแผนภายใต้ข้อจำกัดด้านสภาพอากาศ (Weather Dependency)	สภาพอากาศมีอิทธิพลต่อการคาดคะเนความคุ้มค่าในการเลือกสถานที่ที่น่าสนใจ
9. การวางแผนโดยมีเงื่อนไขสูงสุดของสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละวัน (Max - n Type constrains)	กำหนดจำนวนสูงสุดในการเลือกสถานที่ที่น่าสนใจที่สามารถไปได้ในแต่ละวัน
10. การวางแผนตามประเภทของสถานที่ที่ควรเข้าเยี่ยมชม (Mandatory Types)	ควรแนะนำสถานที่ที่ควรเยี่ยมชม เช่น วัด คริสตจักร ฯลฯ
11. การวางแผนตามสภาพภูมิประเทศของเส้นทาง (Scenic Routes)	บางครั้งเส้นทางสวยงามไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุด แต่นักท่องเที่ยวสามารถยอมรับได้เนื่องจากการเดินทางเหมือนได้รับการท่องเที่ยวไประหว่างทาง
12. การเลือกโรงแรม (Hotel Selection)	การท่องเที่ยวหลายวันอาจต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายในการเลือกโรงแรมเพื่อประเมินราคา

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว (ต่อ)

ลักษณะ	คำอธิบาย
13. การวางแผนตามเวลาการเดินทางของขนส่งสาธารณะ (Public Transportation)	คำนึงถึงตารางการเดินรถขนส่งสาธารณะ เช่น รถร่วมบริการ รถไฟฟ้า รถไฟฟ้าใต้ดิน ฯลฯ
14. การวางแผนตามข้อมูลโดยรวมของกลุ่ม (Group Profiles)	สำหรับนักท่องเที่ยวที่ท่องเที่ยวเป็นกลุ่มจะมีความแตกต่างจากการวางแผนสำหรับนักท่องเที่ยวที่ท่องเที่ยวแบบเดี่ยว อาจมีการให้สมาชิกผลัดเปลี่ยนกันเลือกสถานที่ที่น่าสนใจ

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า รูปแบบการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวเปลี่ยนไปตามปัจจัยที่คำนึงถึง และจากตารางยังชี้ให้เห็นว่าในการวางแผนการเดินทางแต่ละครั้งประกอบด้วยหลายปัจจัยเพื่อสนองตอบต่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันของนักท่องเที่ยว แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยพื้นฐานที่นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีอย่างจำกัดเหมือนกันและต้องคำนึงถึงในการตัดสินใจในการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว นั่นคือ ปัจจัยด้านเวลา ศศิวิมล กอบัว (2556) ได้ศึกษาปัจจัยเชิงลึกที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเวลาที่ส่งผลต่อการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้คำนึงถึงการสร้างแผนการเดินทางตามปัจจัยทางด้านเวลาดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยด้านเวลาที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ประเภทเวลา	ประกอบด้วย
เวลา ณ สถานที่	1. เวลาที่เดินทางไปถึง (Arrival Time) 2. เวลาออกจากสถานที่ (Departure Time) 3. เวลาเปิดของสถานที่ (Opening Time) 4. เวลาปิดของสถานที่ (Closing Time) 5. ระยะเวลาที่ใช้ท่องเที่ยว ณ สถานที่ท่องเที่ยว (Visiting Time) 6. เวลา ณ เขตเวลา (Time Zone)
เวลาระหว่างสถานที่	1. ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (Travel Time between Locations) 2. ระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (Time of Different Weather) 3. ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Time of Different Periods) 4. ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (Rest Time) 5. ระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง (Barrier Time)
เวลาของแผนการเดินทาง	1. ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยววันเดียว 2. ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยวหลายวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ถึงแม้งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบและการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางแต่ก็มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อวางแผนการเดินทาง เช่น ขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm) ที่มีการนำวิธีแม่นตรงมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลยแล้วจึงเลือกคำตอบที่ดีที่สุด โดยทั่วไปจะอยู่บนพื้นฐานของการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Lawler et al., 1985: 438; Agarwal et al., 1989: 742; Laporte, 1992: 235) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด ที่สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องภายใต้ข้อบังคับด้านพลังงานและเวลา ทำให้สามารถช่วยลดเวลาในการวางแผนการท่องเที่ยวให้น้อยลงและเลือกเส้นทางที่ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด (ปิยรัตน์ งามสนิท และคณะ, 2552) และได้มีการนำขั้นตอนวิธีดังกล่าวไปพัฒนาต่อและขยายไปใช้ในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับวางแผนการท่องเที่ยวส่วนบุคคล (ปิยรัตน์ งามสนิท, 2553)

จากนั้นมีการนำขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดนี้ไปใช้เพื่อคำนวณหาแผนการเดินทางที่เหมาะสมในระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวหลากหลายระบบภายใต้วัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไปตามเงื่อนไข (ณัฐชนันย์ เจริญเกียรติ, 2556; ศศิวิมล กอบัว, 2556; สุวรรณา บุเหลา, 2556) ส่วนขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางโดยใช้จาวาเซิร์ฟเล็ต (Java Servlet) ที่สามารถคำนวณแผนการเดินทางกึ่งเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาโดยนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้และนำไปใช้ในระบบพี-ทัวร์ (P-Tour) (Maruyama, Shibata, Murata, Yasumoto, and Ito, 2004a) งานวิจัยได้ถูกพัฒนาต่อ โดยนำเสนอระบบนำทางที่เรียกว่าพีเอ็นเอส (PNS) โดยพัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและทำงานได้บนพีดีเอ (PDAs) (Maruyama, Shibata, Murata, Yasumoto, and Ito, 2004b) ขั้นตอนวิธีวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ในการวางแผนการเดินทางแบบส่วนบุคคลที่คำนึงถึงสภาพอากาศเป็นสำคัญ (Wu, Murata, Shibata, Yasumoto, and Ito, 2009) และขั้นตอนวิธีวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ใช้พื้นฐานจากเหมืองข้อมูลที่สร้างด้วยด้วยขั้นตอนวิธีเส้นเชื่อมฐาน (Baseline) จากข้อมูลที่เก็บได้ เช่น จุดที่ผู้ใช้อยู่ สถานที่ท่องเที่ยว ระยะเวลาในการอยู่ ณ สถานที่ ระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยว สถานที่ที่น่าสนใจ เส้นทาง ฯลฯ (Yoon, Zheng, Xie, and Woo, 2010) จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่งานวิจัยเหล่านี้ไม่ได้มุ่งเน้นเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางในกรณีที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมาก แต่มุ่งเน้นการพัฒนาเพื่อวางแผนการเดินทางให้ครอบคลุมปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยโดยการประยุกต์เทคนิควิธีการที่หลากหลาย มีการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกด้วยเช่นกัน ซึ่งจะได้อธิบายในลำดับถัดไป

นอกจากรูปแบบของปัญหาการวางแผนการเดินทางหรือปัญหาการวางแผนการเดินทางที่ได้กล่าวถึงในข้างต้นที่ประกอบไปด้วย ทฤษฎีกราฟกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวแล้ว ยังมีปัญหาการวางแผนการเดินทางในรูปแบบอื่นอีกที่นักวิจัยได้วิจัยวิธีการเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง อาทิ สุทธิชา ทับดารา และเสรี เศวตเศรนี (2554) ได้วิจัยเพื่อออกแบบและวางแผนการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะชุมชนในกรุงเทพมหานครโดยใช้วิธีการวางแผนเส้นทางเดินรถก่อนแล้วจึงแบ่งกลุ่มรับสินค้า (Route First-Cluster Second) และธนิสรา บุตรสิงขรณ์ (2555) วิจัยวิธีฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางเดินรถประจำทาง โดยนำวิธีทีอาร์บี (Transportation Research Board: TRB) หรือวิธีการวางแผนการให้บริการของรถประจำทางที่มีนโยบายและการพัฒนาการจัดตารางเวลาการให้บริการรถประจำทางตามรูปแบบของคณะกรรมการวิจัยการขนส่งปี คศ. 1980 มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาในการเดินรถประจำทาง วัตถุประสงค์คือเพื่อจัดตารางเวลาเดินรถที่มีประสิทธิภาพและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ได้กำหนดขึ้นมาตามความเหมาะสม จากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นได้ชี้ให้เห็นว่า ปัญหาการวางแผนการเดินทางนั้นมีรูปแบบที่หลากหลายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ ปัญหายังมีความซับซ้อนและเป็นปัญหาที่นักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจพัฒนาเทคนิคและวิธีการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้และคำนวณได้เร็ว ในลำดับถัดไปจะกล่าวถึงเทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหา

2.3 เทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง

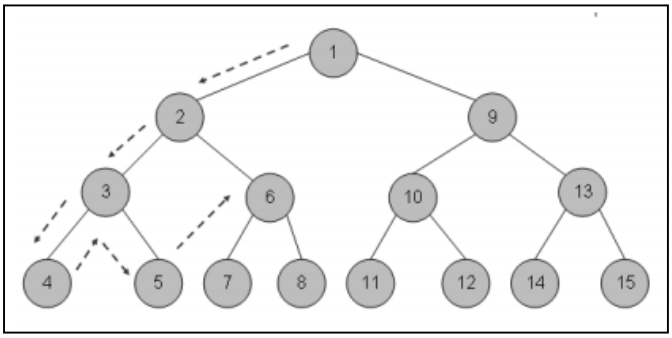
ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง มีวิธีการมากมายที่นักวิจัยนำมาใช้ เช่น การโปรแกรมแบบพลวัต (Dynamic Programming) การโปรแกรมแบบเลขจำนวนเต็ม ฯลฯ ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นวิธีการที่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดแต่เหมาะกับปัญหาขนาดเล็ก เนื่องจากใช้เวลาและทรัพยากรในการคำนวณมาก นอกจากนี้แล้ว ยังมีการนำขั้นตอนวิธีอื่นมาใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางด้วยเช่นกัน สำหรับขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางนั้นหมายถึงกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางหรือการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนเส้นทางนั้นมีหลากหลาย ในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของขั้นตอนวิธีที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง ได้แก่ วิธีแม่นตรง วิธีฮิวริสติก และวิธีเมตาฮิวริสติก โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 วิธีแม่นตรง (Exact Methods)

วิธีแม่นตรงเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ประกันได้ว่าให้คำตอบที่ดี เนื่องจากเป็นวิธีการคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลยแล้วจึงเลือกผลเฉลยที่ให้ค่าที่ดีที่สุด โดยทั่วไปจะอยู่บนพื้นฐานของการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เช่นงานวิจัยของอากาวอล แมเธอร์ และแซลคิน (Agarwal et al., 1989) ที่ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนของเซตผลเฉลย (Set Partitioning) บนพื้นฐานของวิธีแม่นตรงเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ ส่วนการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้มีการอธิบายในรายละเอียดโดยลอว์เลอร์ เลนสตรา รินนอย และชมอยส์ (Lawler et al., 1985) และลาพอท (Laporte, 1992) เนื่องจากวิธีแม่นตรงมุ่งเน้นให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยมากจึงใช้ปริมาณหน่วยความจำมากและใช้เวลาในการคำนวณสูง ถ้าเป็นปัญหาที่มีปริภูมิการค้นหาขนาดใหญ่อาจไม่สามารถทำได้ในเชิงปฏิบัติ วิธีแม่นตรงจึงเหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีปริภูมิการค้นหาขนาดเล็ก สำหรับวิธีแม่นตรงนั้นมีหลายเทคนิควิธีการที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีพื้นฐาน 3 วิธี ได้แก่ การค้นหาแบบลึกก่อน การค้นหาแบบกว้างก่อน และการค้นหาที่ผนวกวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตที่ใช้กับปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 การค้นหาแบบลึกก่อน (Dept First Search: DFS)

การค้นหาแบบลึกก่อนเป็นการค้นหาที่กำหนดทิศทางจากรูปของโครงสร้างต้นไม้ที่เริ่มต้นจากโหนดราก (Root Node) ที่อยู่บนสุด แล้วสำรวจโหนดในระดับรองลงมาให้ลึกที่สุด เมื่อถึงโหนดล่างสุดแล้ว ให้ย้อนขึ้นมาที่จุดสูงสุดของกิ่งเดียวกันที่มีกิ่งแยกและยังไม่ได้เดินผ่าน แล้วเริ่มสำรวจลงจนถึงโหนดลึกสุดอีก ทำเช่นนี้สลับไปเรื่อยจนกระทั่งพบโหนดที่ต้องการหาหรือหยุดเมื่อสำรวจครบทุกโหนดแล้ว สำหรับการค้นหาแบบลึกก่อนบนโครงสร้างต้นไม้จะอาศัยโครงสร้างข้อมูลแบบกองซ้อนมาช่วย แสดงตัวอย่างขั้นตอนการค้นหาแบบลึกก่อนดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบลึกก่อน

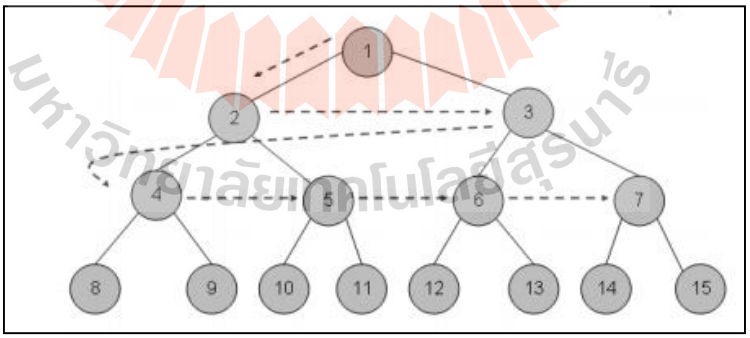
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 2.9 โหนดรากคือโหนดที่ 1 ในการเริ่มต้นสำรวจจะเริ่มต้นที่โหนดที่ 1 จากนั้นเลื่อนลงมาสำรวจในโหนดที่อยู่ระดับรองลงมาคือ โหนดที่ 2 โหนดที่ 3 และโหนดที่ 4 ซึ่งเป็นโหนดที่ลึกที่สุด จากนั้นย้อนกลับขึ้นมาสำรวจโหนดที่จุดสูงสุดที่อยู่กิ่งเดียวกัน ในที่นี้คือโหนดที่ 3 ซึ่งโหนดที่ 3 ได้มีการสำรวจแล้ว จึงเลื่อนลงมาสำรวจในโหนดที่มีระดับรองลงมาคือโหนดที่ 5 และเลื่อนขึ้นไปสำรวจโหนดที่อยู่ในกิ่งเดียวกันที่แยกไปและยังไม่ได้สำรวจ นั่นคือโหนดที่ 6 ทำเช่นนี้จนกระทั่งพบโหนดที่ต้องการหา หรือเมื่อสำรวจครบทุกโหนดแล้ว

ข้อดีของการค้นหาแบบลึกก่อนนี้คือ ใช้หน่วยความจำน้อยเนื่องจากเก็บเฉพาะเส้นทางปัจจุบัน และให้คำตอบที่ดีที่สุด ข้อเสียคือ ใช้เวลาในการคำนวณสูงเนื่องจากต้องค้นหาไปทีละโหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากโหนดหรือคำตอบที่ต้องการอยู่ในลำดับสุดท้ายของการผ่านโหนดในครั้งนั้น และหากเป็นกิ่งที่ยาวไม่มีที่สิ้นสุดอาจติดอยู่ที่กิ่งที่ลึกมากนั้นโดยไม่พบคำตอบ ซึ่งการค้นหาแบบนี้จะข้ามไปกิ่งอื่นไม่ได้

2.3.1.2 การค้นหาแบบกว้างก่อน (Breadth First Search: BFS)

การค้นหาแบบกว้างก่อนเป็นการกำหนดทิศทางการค้นหาแบบไล่ไปทีละระดับบนโครงสร้างต้นไม้ โดยเริ่มการค้นหาจากโหนดรากที่อยู่บนสุด (ระดับที่ 0) แล้วลงมาระดับรองลงมา คือระดับที่ 1 สำรวจโหนดจากซ้ายไปขวาจนกว่าจะครบทุกโหนดในระดับเดียวกัน เมื่อสำรวจครบทุกโหนดในระดับที่ 1 แล้ว ไประดับที่ 2 จากซ้ายไปขวาเช่นกัน ทำเช่นนี้จนกระทั่งพบโหนดที่ต้องการ สำหรับการค้นหาแบบกว้างก่อนบนโครงสร้างต้นไม้จะอาศัยโครงสร้างข้อมูลแบบแถวคอยมาช่วย แสดงตัวอย่างขั้นตอนการค้นหาแบบกว้างก่อนดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบกว้างก่อน

จากรูปที่ 2.10 โหนดรากคือโหนดที่ 1 ในการเริ่มต้นสำรวจจะเริ่มต้นที่โหนดที่ 1 จากนั้นเลื่อนลงมาสำรวจในโหนดที่อยู่ระดับรองลงมาโดยสำรวจจากซ้ายไปขวา นั่นคือ โหนดที่ 2 และโหนดที่ 3 ตามลำดับ จากนั้นเลื่อนลงมาสำรวจในระดับรองลงมาจากซ้ายไปขวาเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้จนกระทั่งพบโหนดที่ต้องการหา หรือเมื่อสำรวจครบทุกโหนดแล้ว

ข้อดีของการค้นหาแบบกว้างก่อนนี้คือ คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากมีการค้นหาทุกโหนดและได้เส้นทางที่สั้นที่สุดหากระยะห่างหรือต้นทุนระหว่าง 2 โหนดใด ๆ มีค่าเท่ากันหมด ข้อเสียคือ ใช้ปริมาณหน่วยความจำมาก เนื่องจากต้องเก็บสถานะไว้ทุกโหนดเพื่อหาเส้นทางจากสถานะเริ่มต้นไปหาคำตอบ และเวลาในการคำนวณที่สูงเช่นเดียวกับการค้นหาแบบลึกก่อน

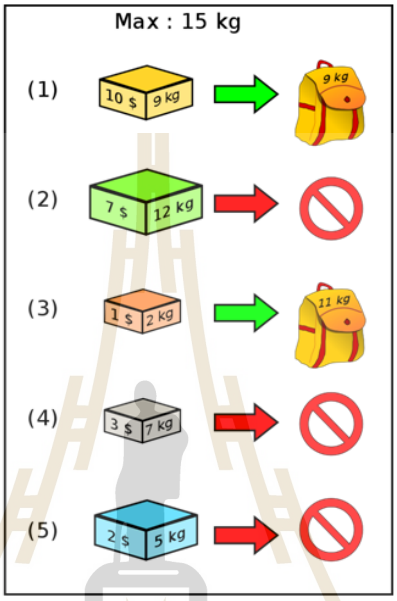
2.3.1.3 การค้นหาที่ผนวกวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตที่ใช้กับปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Branch and Bound: B&B)

แลนด์และดั๊ก (Land and Doig, 1960) ได้นำเสนอวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Problem) โดยแนวคิดของวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตคือ จากปัญหาเริ่มต้นที่มีขนาดใหญ่ มีผลเฉลยที่เป็นไปได้จำนวนมากทำให้ยากแก่การแก้ปัญหา จะถูกแบ่งเป็นปัญหาย่อยลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งปัญหาย่อยจะสามารถหาผลเฉลยเหมาะสมที่สุดได้ ซึ่งการแบ่งนี้เรียกว่า การแตกกิ่ง (Branching) จะทำเพื่อแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อย คำถามถัดมาคือ จะแตกปัญหาย่อยนี้ออกเป็นปัญหาย่อยต่อไปอีก หรือควรหยุดการแตกกิ่ง การหยุดการแตกกิ่งปัญหาย่อยนี้ ประกอบด้วยหลัก 2 ประการ ได้แก่ 1) การกำหนดขอบเขต (Bound) ของผลเฉลยที่ดีที่สุดในขณะที่ดำเนินการอยู่โดยไม่จำเป็นต้องแตกเป็นปัญหาย่อย และ 2) การขจัดปัญหาย่อยที่มีเซตของผลเฉลยที่ไม่มีโอกาสที่จะมีผลเฉลยเหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาเริ่มต้น ซึ่งจะเรียกว่า การถ่วง (Fathoming) ดังนั้น ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตจึงได้แก่ การแตกกิ่ง การกำหนดขอบเขต และการถ่วง

วิธีดังกล่าวนี้ จะช่วยลดขนาดของแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างมาก สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งของวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตคือ วิธีการตัดโหนด หรือที่เรียกว่า การตัดแต่งกิ่งต้นไม้ (Pruning) วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตจะตัดโหนดออกไปอย่างถาวรเมื่อทราบว่าโหนดลูกที่กำลังจะแตกออกมาจากโหนดหลักนั้นจะให้คำตอบที่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Infeasible Solution) หรือไม่มีความเป็นไปได้ที่จะให้คำตอบที่ดีที่สุด การตัดแต่งกิ่งต้นไม้นี้เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญต่อวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตเป็นอย่างมากด้วยเช่นกัน เนื่องจากการตัดแต่งกิ่งต้นไม้ที่ดีจะช่วยลดขนาดของแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างมาก ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในเวลาอันรวดเร็ว (John, Little, Murty, and Sweeney, 1963)

ตัวอย่างการใช้วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตแก้ปัญหาเอ็นพียาก เช่น ปัญหาถุงเป้ (Knapsack Problem) คือปัญหาการเลือกหยิบสิ่งของใส่ในถุงเป้ที่ห้ามใส่ของเกินน้ำหนักที่กำหนดไว้ (Limited Weight) และห้ามแบ่งสิ่งของออกเป็นชิ้นย่อย ๆ โดยของแต่ละชิ้นก็จะมีน้ำหนัก (Weight) และมูลค่าที่แตกต่างกันออกไป เมื่อหยิบสิ่งของจนครบและไม่เกินน้ำหนักที่

กำหนด ก็จะคำนวณมูลค่ารวม (Value) ของสิ่งของที่อยู่ในถุงเป้ สำหรับการแก้ปัญหาที่ตรงไปตรงมาที่สุดในปัญหานี้ก็คือการทดลองหยิบ/ไม่หยิบสิ่งของแต่ละชิ้น จากนั้นคิดน้ำหนักรวม โดยหาน้ำหนักรวมที่มากที่สุดที่ถุงยังรับได้แต่ไม่เกินน้ำหนักที่กำหนดไว้ หากไม่เกินก็จะหยิบสิ่งของชิ้นต่อไป ดังตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 2.11

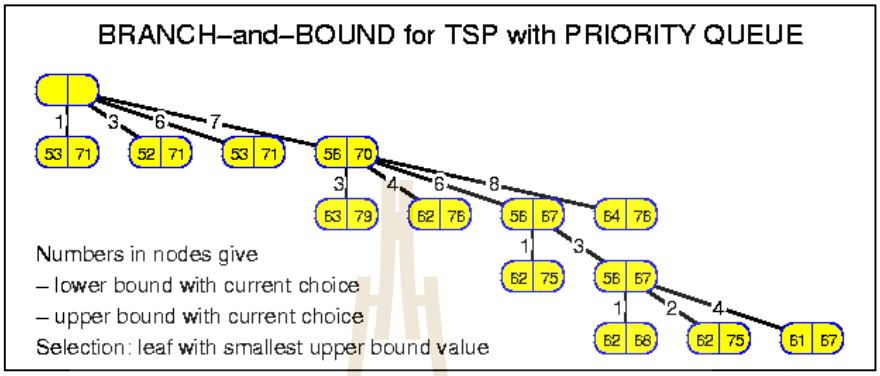


รูปที่ 2.11 เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขตสำหรับปัญหาการหยิบสิ่งของใส่ในถุงเป้

สำหรับการแก้ปัญหาการหยิบสิ่งของใส่ในถุงเป้ สามารถใช้เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขตร่วมกับการค้นหาแบบลึกก่อนในการค้นหาคำตอบได้ แต่วิธีการแก้ปัญหานี้ไม่สนใจลำดับการเรียงตัวกันของสิ่งของ แต่สนใจเฉพาะน้ำหนักรวมของสิ่งของที่อยู่ในเป้ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Bin Packing Problem) อย่างไรก็ตาม หากต้องการวิธีการแก้ปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องพิจารณาลำดับของการเรียงตัวกันของสิ่งของนั้น จะจัดเป็นอีกปัญหาหนึ่ง เช่น ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งจะเห็นได้ว่า รูปแบบคำตอบที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลถึงการเลือกขั้นตอนวิธีที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นแตกต่างกันตามไปด้วย ตัวอย่างการใช้วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตในปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแสดงดังรูปที่ 2.12

นอกจากนี้ยังได้มีการประยุกต์ใช้วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตในปัญหาการวางแผนการเดินทางรูปแบบต่าง ๆ อาทิ ในปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งแบบจำกัดความจุสินค้า โดยปัญหานี้มีจุดมุ่งหมายคือต้องการลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งทั่วไปจะวัดจากระยะทางทั้งหมดที่ต้องเดินทางเพื่อไปส่งสินค้า แลบเบ้และคณะ (Labbé et al., 1991: 619)

ได้สรุปไว้ว่า ปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งแบบจำกัดความจุสินค้านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีแม่นตรงในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล โดยวิธีขยายและจำกัดเขตเป็นหนึ่งในวิธีที่ร่วมใช้แก้ปัญหา แต่ทั้งนี้จำนวนลูกค้าต้องไม่เกิน 50 ราย



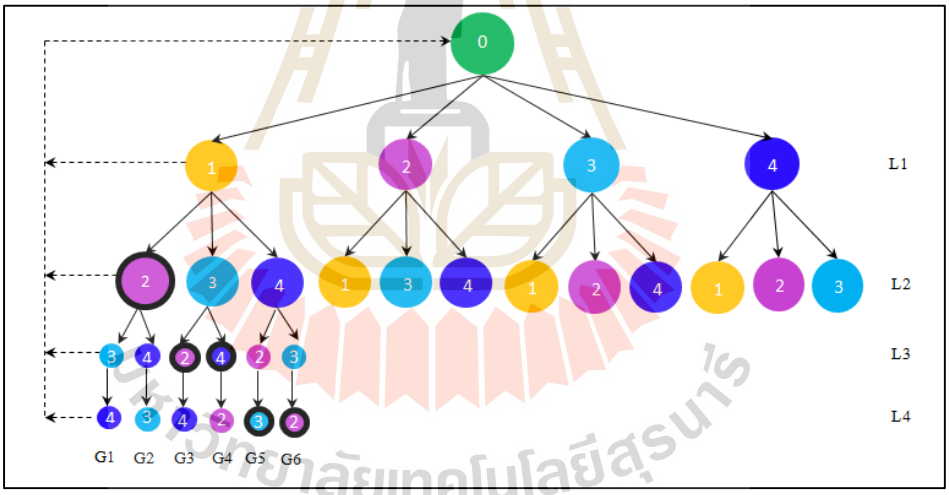
รูปที่ 2.12 เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขตสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (Carrabs, Cerulli, and Cordeau, 2007, p.226)

2.3.1.4 การค้นหาขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm: PR)

แนวคิดของขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดพบครั้งแรกในงานวิจัยเรื่อง ระบบวางแผนการท่องเที่ยวออนไลน์ภายใต้ข้อบังคับด้านพลังงานและเวลา (ปิยรัตน์ งามสนิท และคณะ, 2552) โดยขั้นตอนวิธีนี้สามารถประมวลผลเพื่อหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ขั้นตอนวิธีช่วยลดเวลาในทำงานของระบบโดยสามารถลดระยะเวลาในการค้นหาแผนการท่องเที่ยวให้น้อยลงและสามารถเลือกเส้นทางที่ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด ขั้นตอนวิธีดังกล่าวถูกนำมาขยายและพัฒนาต่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับวางแผนการท่องเที่ยวส่วนบุคคล (ปิยรัตน์ งามสนิท, 2553) โดยขั้นตอนวิธีสามารถลดเวลาในการคำนวณลงได้ถึงร้อยละ 38.33 เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีแบบค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้

ยิ่งไปกว่านั้น แนวคิดของขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดนี้ ยังได้ถูกนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้ในการท่องเที่ยวภายใต้วัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันของระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้น ๆ ดังเช่นในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ศศิวิมล กอบัว, 2556) ที่มุ่งเน้นพัฒนาระบบให้สามารถวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวได้ตามเงื่อนไขเชิงลึก

ด้านเวลาที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว โดยนำขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดไปใช้เพื่อค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมตามเงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังกล่าว นอกจากนี้ ขั้นตอนวิธีดังกล่าวยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านการประหยัดพลังงาน ที่มุ่งเน้นออกแบบระบบให้สามารถวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ (ณัฐชนันย์ เจริญเกียรติ, 2556) และได้ถูกนำไปใช้เป็นขั้นตอนวิธีเพื่อการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวผ่านระบบออนไลน์ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านความปลอดภัย เพื่อค้นหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงความปลอดภัยในการท่องเที่ยวเป็นสำคัญ (สุวรรณา บุเหลา, 2556) โดยขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดมีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดระดับชั้น การจัดกลุ่มการเดินทาง และการเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้ ซึ่งในรูปที่ 2.13 ได้แสดงการจัดระดับและกลุ่มของรูปแบบการเดินทาง สำหรับกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.13 การจัดระดับและกลุ่มของรูปแบบการเดินทางในขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด

ขั้นตอนที่ 1 การจัดระดับชั้น (Level) ของการเดินทางเรียงจากน้อยไปมากตามจำนวนสถานที่ที่ต้องการเดินทางไปท่องเที่ยว ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13 ถ้าเส้นทางที่มีสถานที่ท่องเที่ยว 4 แห่ง หากนักท่องเที่ยวมีเวลาพอและสามารถไปได้ทุกแห่ง ระดับของการเดินทางนั้นคือ 4 (L4) นั่นคือ จากจุดเริ่มต้น 0 ไปยังสถานที่ท่องเที่ยว 4 แห่ง และวนกลับมายังจุดเริ่มต้นซึ่งอาจจะมีรูปแบบการเดินทางได้หลายแบบ ยกตัวอย่าง จากจุดเริ่มต้น 0 ไปยังสถานที่ท่องเที่ยวที่ 1 2 3 และ

4 ตามลำดับ และวนกลับมาจุดเริ่มต้น 0 ซึ่งสัญลักษณ์แทนรูปแบบการเดินทางนี้คือ (0-1-2-3-4-0) จากรูปจะเห็นว่าการเดินทางอาจเกิดได้หลายรูปแบบ ซึ่งจะนำไปใช้จัดกลุ่มการเดินทางถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 การจัดกลุ่มการเดินทาง (Group) โดยการเดินทางในเส้นทางเดียวกันจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ละกลุ่มการเดินทางสามารถประกอบด้วยเส้นทางการเดินทางหลายรูปแบบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13 การเดินทางกลุ่มที่ 1 (G1) อาจเกิดรูปแบบการเดินทางได้ 4 รูปแบบ ตามระดับชั้นของการเดินทาง คือ L1 = (0-1-0); L2 = (0-1-2-0); L3 = (0-1-2-3-0); และ L4 = (0-1-2-3-4-0) หากผู้ใช้กำหนดสถานที่ที่ต้องการมา 5 แห่ง (จุดเริ่มต้น + สถานที่ท่องเที่ยว 4 แห่ง) จะเกิดกลุ่มการเดินทางได้ทั้งหมด 24 กลุ่ม และแต่ละกลุ่มประกอบด้วยเส้นทาง 4 ระดับดังรูป ในการคำนวณหาเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดนั้น จะใช้ประโยชน์จากการแยกเป็นระดับและการจัดเป็นกลุ่มนี้

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้ จะคำนวณหาเส้นทางทั้งหมดที่สามารถเดินทางได้ตามเวลาที่ผู้ใช้กำหนด และไปยังสถานที่ท่องเที่ยวได้มากแห่งที่สุด ซึ่งระบบจะเริ่มคำนวณหาเวลาที่ใช้ในรูปแบบการเดินทางของกลุ่มแรกก่อน โดยตรวจสอบเวลาที่ใช้ในเส้นทางของแต่ละระดับ (คำนวณค่าฮิวริสติก) หากระดับใดใช้เวลาเกินที่กำหนดแล้ว ผลลัพธ์จะถูกแทนที่เส้นทางก่อนหน้าของระดับที่ต่ำกว่า และข้ามไปยังกลุ่มถัดไป ในการคำนวณกลุ่มใหม่ถัดไป จะตรวจสอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มที่แล้วว่าอยู่ในระดับใดและจะกระโดดไปเริ่มการคำนวณที่ระดับนั้น โดยข้ามไปไม่คำนวณในระดับที่ต่ำกว่า จากนั้นจะคำนวณหาเวลาที่ใช้ตามกระบวนการเดิมต่อไป และถ้ากลุ่มใหม่นั้นมีระดับที่เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากกลุ่มก่อนจะถูกลบทิ้งไป และทำกระบวนการเดิมต่อไปให้ครบทุกกลุ่มจะได้รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยตัดสถานที่บางแห่งที่เกินเวลาที่กำหนดออก และสามารถเดินทางที่ไปสถานที่ท่องเที่ยวได้มากแห่งที่สุด แสดงรหัสเทียม (Pseudo Code) ของขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดได้ดังรูปที่ 2.14

โดยที่

CR (Complete Route) คือ เซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ถูกเก็บไว้

SL (Start Level) คือ ระดับเริ่มต้น

ST (Specific Time) คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางได้

G (Group list) คือ กลุ่มการเดินทาง

```
Algorithm 1. Progressive Routing.
Input: Specific_Time (ST), Group_List (G)
Output: Candidate routes (CR).
1)  CR = Ø
2)  SL = 0   //SL is a start level
3)  for each group g ∈ G do
4)    for each route R in each group g do
5)      if((level(R)>SL) and (time(R)<=ST)) then
6)         CR = insert(R)
7)         SL = level(R)
8)         CR = remove(cr|level(cr)<SL,cr∈CR)
9)      end if
10)   end for
11) end for
12) Return CR
```

รูปที่ 2.14 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดด
(ปิยรัตน์ งามสนิท, 2553, น.61)

จากขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดในการเลือกเส้นทางจะสร้างเซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ถูกเก็บไว้ (*CR*) ไว้รองรับเส้นทางที่เป็นไปได้ กำหนดระดับเริ่มต้น (*SL*) เริ่มต้น ณ ระดับที่ 0 ทำการค้นหาเส้นทางทีละกลุ่ม ว่าในแต่ละกลุ่มมีรูปแบบใดบ้างที่สามารถเดินทางได้ภายในเวลาที่จำกัด โดยเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ถูกเก็บไว้ (*CR*) จะเก็บรูปแบบที่สามารถเดินทางไปเยือนสถานที่จำนวนมากที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อจบกลุ่มแรก ก็จะข้ามไปทำกลุ่มถัดไป กระโดดไปยังระดับที่สูงกว่ากลุ่มก่อนหน้า หมายถึงกลุ่มนี้สามารถไปยังสถานที่หลายแห่งมากกว่าภายในระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางได้ (*ST*) ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากกลุ่มก่อนจะถูกลบทิ้งไป และทำกระบวนการเดิมต่อไปให้ครบทุกกลุ่ม การพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดมีประสิทธิภาพการทำงานหรือบิ๊กโอ (Big O) ดังสมการที่ 2.1 ที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยที่ในกรณีที่ดีที่สุด (Best Case) จะเท่ากับ O (n) และในกรณีที่แย่ที่สุด (Worse Case) จะเท่ากับ O ($n! + n$) เมื่อ n คือ จำนวนสถานที่ที่ต้องการไป (ไม่รวมจุดเริ่มต้น)

ในการทดสอบขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้ในการท่องเที่ยวแบบก้าวกระโดดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบในแง่ความเร็วและความถูกต้องในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยใช้ 5 สถานที่กับ 7 สถานการณ์ทางด้าน

เวลาที่แตกต่างกันพบว่า ขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดดใช้เวลาในการวางแผนน้อยกว่าขั้นตอนวิธีแบบค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ โดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทุกสถานการณ์คิดเป็นร้อยละ 18.45 และมีความถูกต้องเท่ากันทุกสถานการณ์ และเมื่อเปรียบเทียบในแง่ของความเร็วในการวางแผนการเดินทางซึ่งมีจำนวนจุดหมายปลายทางที่แตกต่างกันตั้งแต่ 3 แห่ง จนถึง 8 แห่ง พบว่า ขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดดใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าขั้นตอนวิธีแบบค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ คิดเป็นค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 46.02 (ศศิวิมล กอบัว, 2556)

ถึงแม้ว่าขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้ในการท่องเที่ยวแบบก้าวกระโดดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจะให้ผลลัพธ์ที่ดี คือสามารถวางแผนการท่องเที่ยวได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของขั้นตอนวิธีดังกล่าวคือ ไม่สามารถประมวลผลได้เมื่อมีจำนวนสถานที่ปลายทางเกินกว่า 9 แห่ง เนื่องจากใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากจากการที่ต้องพิจารณาทุกรูปแบบแผนการเดินทาง จนต้องรอเวลาการประมวลผลนานจนเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการหาเส้นทางที่สามารถไปเยี่ยมสถานที่ได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขด้านเวลาที่จำนวนสถานที่ 9 แห่ง ซึ่งมีรูปแบบเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด 986,409 รูปแบบ โดยที่รู้ระยะห่างระหว่างสถานที่และเงื่อนไขด้านเวลาทั้งหมด ปัญหานี้สามารถใช้ขั้นตอนวิธีดังกล่าวแก้ไขได้โดยการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในแต่ละสถานที่รวมกับเงื่อนไขด้านเวลาอื่น ๆ แล้วเปรียบเทียบกันตามกระบวนการของขั้นตอนวิธีเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด แต่ไม่สามารถทำได้ในการเดินทาง 15 สถานที่ ที่มีรูปแบบการเดินทางมากถึง 3 ล้านล้านรูปแบบ หรือในการเดินทาง 20 สถานที่ ที่มีรูปแบบการเดินทางมากถึง 6 แสนล้านล้านรูปแบบ

จากการค้นหาด้วยวิธีแม่นตรงที่กล่าวมา ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการไปเยือนสถานที่ให้ได้มากแห่งที่สุด (ศศิวิมล กอบัว, 2556) โดยมีรูปแบบปัญหาคือ เริ่มต้นเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นไปเยือนสถานที่ต่าง ๆ ที่ไม่ซ้ำกันและเดินทางกลับมาสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นอีกครั้ง เป็นการท่องไปทุกเส้นทางที่สามารถไปได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นขั้นตอนวิธีที่ค้นหาทุกเส้นทาง ซึ่งเส้นทางเหล่านั้นอาจจะไปเยือนสถานที่ซ้ำกันก็ได้ อย่างไรก็ตาม หากมีจำนวนสถานที่เพิ่มมากขึ้น จำนวนเส้นทางที่สามารถเดินทางได้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Hui and Yonghui, 2010) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางของการเยือน 4 สถานที่ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการไปเยือนสถานที่มากแห่งที่สุด

ระดับที่ (Level)	จำนวนสถานที่ที่สามารถเดินทางไปท่องเที่ยวได้ (แห่ง)	รูปแบบการเดินทาง
1	1	(0-1-0) , (0-2-0) , (0-3-0) , (0-4-0)
2	2	(0-1-2-0) , (0-1-3-0) , (0-1-4-0) , (0-2-1-0) , (0-2-3-0) , (0-2-4-0) , (0-3-1-0) , (0-3-2-0) , (0-3-4-0) , (0-4-1-0) , (0-4-2-0) , (0-4-3-0)
3	3	(0-1-2-3-0) , (0-1-2-4-0) , (0-1-3-2-0) , (0-1-3-4-0) , (0-1-4-2-0) , (0-1-4-3-0) , (0-2-1-3-0) , (0-2-1-4-0) , (0-2-3-1-0) , (0-2-3-4-0) , (0-2-4-1-0) , (0-2-4-3-0) , (0-3-1-2-0) , (0-3-1-4-0) , (0-3-2-1-0) , (0-3-2-4-0), (0-3-4-1-0) , (0-3-4-2-0) , (0-4-1-2-0) , (0-4-1-3-0) , (0-4-2-1-0) , (0-4-2-3-0) , (0-4-3-1-0) , (0-4-3-2-0)
4	4	(0-1-2-3-4-0) , (0-1-2-4-3-0) , (0-1-3-2-4-0) , (0-1-3-4-2-0) , (0-1-4-2-3-0) , (0-1-4-3-2-0) , (0-2-1-3-4-0) , (0-2-1-4-3-0) , (0-2-3-1-4-0) , (0-2-3-4-1-0) , (0-2-4-1-3-0) , (0-2-4-3-1-0) , (0-3-1-2-4-0) , (0-3-1-4-2-0) , (0-3-2-1-4-0) , (0-3-2-4-1-0) , (0-3-4-1-2-0) , (0-3-4-2-1-0) , (0-4-1-2-3-0) , (0-4-1-3-2-0) , (0-4-2-1-3-0) , (0-4-2-3-1-0) , (0-4-3-3-2-0) , (0-4-3-2-1-0)

สำหรับตัวอย่างการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเมื่อต้องการเดินทางไป 4 สถานที่ (ไม่รวมจุดเริ่มต้น) มีดังนี้

จุดเริ่มต้น แทนด้วยเลข 0 อ.เมือง จ.นครราชสีมา

สถานที่ที่ 1 แทนด้วยเลข 1 โรงแรมสีมาธานี

สถานที่ที่ 2 แทนด้วยเลข 2 วังน้ำเขียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถานที่ที่ 3 แทนด้วยเลข 3 เขาใหญ่

สถานที่ที่ 4 แทนด้วยเลข 4 ปากช่อง

เส้นทางการเดินทางที่สามารถไปได้ ยกตัวอย่างเช่น

1) อ.เมือง จ.นครราชสีมา – โรงแรมสีมาธานี – อ.เมือง จ.นครราชสีมา ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 0 – 1 – 0

2) อ.เมือง จ.นครราชสีมา – โรงแรมสีมาธานี – วังน้ำเขียว – อ.เมือง จ.นครราชสีมา ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 0 – 1 – 2 – 0

3) อ.เมือง จ.นครราชสีมา – โรงแรมสีมาธานี – วังน้ำเขียว – เขาใหญ่ – อ.เมือง จ.นครราชสีมา ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 0 – 1 – 2 – 3 – 0

4) อ.เมือง จ.นครราชสีมา – โรงแรมสีมาธานี – เขาใหญ่ – วังน้ำเขียว – อ.เมือง จ.นครราชสีมา ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 0 – 1 – 3 – 2 – 0

5) อ.เมือง จ.นครราชสีมา – โรงแรมสีมาธานี – วังน้ำเขียว – เขาใหญ่ – ปากช่อง – อ.เมือง จ.นครราชสีมา ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 0

6) อ.เมือง จ.นครราชสีมา – ปากช่อง – วังน้ำเขียว – เขาใหญ่ – โรงแรมสีมาธานี – อ.เมือง จ.นครราชสีมา ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 0 – 1 – 4 – 3 – 2 – 0

โดยที่เส้นทางการเดินทาง 0 – 1 – 2 – 3 – 0 กับ 0 – 1 – 3 – 2 – 0 และ 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 0 กับ 0 – 1 – 4 – 3 – 2 – 0 มีระยะทางและเวลาไม่เท่ากัน (Asymmetrical Distance Matrix)

การคำนวณหาเส้นทางการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวไปยังสถานที่ปลายทาง 4 แห่ง สามารถคำนวณได้จากการเดินทางผ่านทุกสถานที่ที่เป็นไปได้ แบ่งเป็น 4 ระดับตามจำนวนสถานที่ปลายทาง ซึ่งประกอบด้วยระดับที่ 1 (Level 1*: L*1) สามารถเดินทางไปท่องเที่ยวได้ 1 แห่ง ได้แก่ (0-1-0), (0-2-0), (0-3-0) และ (0-4-0) ระดับที่ 2 (Level 2*: L*2) สามารถเดินทางไปท่องเที่ยวได้ 2 แห่ง เช่น (0-1-2-0), (0-1-3-0)…(0-4-3-0) ฯลฯ ระดับที่ 3 (Level 3*: L*3) สามารถเดินทางไปท่องเที่ยวได้ 3 แห่ง เช่น (0-1-2-3-0), (0-1-3-2-0)…(0-4-3-2-0) และระดับที่ 4 (Level 4*: L*4) สามารถเดินทางไปท่องเที่ยวได้ 4 แห่ง เช่น (0-1-2-3-4-0), (0-1-2-4-3-0)…(0-4-3-2-1-0) รวมทั้งหมด 64 รูปแบบเส้นทางที่เป็นไปได้

ประสิทธิภาพในการคำนวณเพื่อสร้างแผนการเดินทางที่สามารถเดินทางไปได้ทั้งหมด ขั้นตอนวิธีการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้จะค้นหารูปแบบการเดินทางที่สามารถไปได้ทุกเส้นทางจนสิ้นสุดขั้นตอนวิธี โดยมีค่าประสิทธิภาพหรือบิกโอ (Big-O) ดังสมการที่ 2.1

$$\sum_{l=0}^{n-1} \frac{n!}{l!} \qquad (2.1)$$

โดยที่ n คือ จำนวนสถานที่ที่ต้องการไป (ไม่รวมจุดเริ่มต้น)

l คือ มีค่าเริ่มต้นตั้งแต่ 0 ถึง $n-1$

และจากสมการที่ 2.1 สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณเส้นทางที่เป็นไปได้ของสถานที่ท่องเที่ยว 10 แห่ง (ไม่รวมจุดเริ่มต้น) ได้ดังนี้

$$\text{เส้นทางที่เป็นไปได้} = \frac{10!}{0!} + \frac{10!}{1!} + \frac{10!}{2!} + \ldots + \frac{10!}{9!}$$

$$= 3{,}628{,}800 + 3{,}628{,}800 + 1{,}814{,}400 + 604{,}800 + 51{,}200 + 30240 + 5040 + 720 + 90 + 10$$

$$= 9{,}864{,}100 \text{ รูปแบบ}$$

รวมทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ของการเดินทางไปเที่ยวสถานที่ท่องเที่ยว 10 แห่งคือ 9,864,100 รูปแบบ ในการใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้นั้น หากมีสถานที่ที่ต้องการวางแผนการเดินทางเป็นจำนวนมากขึ้น รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็นหลายเท่าตัว ส่งผลให้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น ตัวอย่างรูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่มีจำนวนสถานที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่มีจำนวนสถานที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 – 25 แห่ง

สถานที่ท่องเที่ยว (*n*)	**จำนวน/รูปแบบเส้นทาง**
2 สถานที่	4 รูปแบบ
3 สถานที่	15 รูปแบบ
4 สถานที่	64 รูปแบบ
5 สถานที่	325 รูปแบบ
6 สถานที่	1,956 รูปแบบ

ตารางที่ 2.4 รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่มีจำนวนสถานที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 – 25 แห่ง (ต่อ)

สถานที่ท่องเที่ยว (n)	จำนวน/รูปแบบเส้นทาง
7 สถานที่	13,699 รูปแบบ
8 สถานที่	109,600 รูปแบบ
9 สถานที่	986,409 รูปแบบ
10 สถานที่	9,864,100 รูปแบบ
15 สถานที่	3.55×10^{12} รูปแบบ
20 สถานที่	6.61×10^{18} รูปแบบ
25 สถานที่	4.22×10^{25} รูปแบบ
…	…

ถึงแม้ว่าวิธีแม่นตรงที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางดังที่กล่าวข้างต้น ทั้งการค้นหาแบบลึกก่อน การค้นหาแบบกว้างก่อน และวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต จะเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ประกันได้ว่าให้คำตอบที่ดีที่สุดและไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนด แต่วิธีการเหล่านั้นใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบนาน ยกตัวอย่างเช่น เราสามารถคำนวณเพื่อเปรียบเทียบคำตอบของทุกรูปแบบเส้นทางที่เป็นไปได้ในการเดินทาง 7 สถานที่ ที่มี 13,699 รูปแบบเส้นทาง แต่เราไม่สามารถทำได้ในการเดินทาง 15 สถานที่ ที่มีรูปแบบการเดินทางมากถึง 3 ล้านล้านรูปแบบ ซึ่งการใช้เวลาในการหาคำตอบที่มากเช่นนี้ย่อมไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เพราะอาจต้องรอเวลาการประมวลผลนานจนเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ ในส่วนถัดไปจึงจะได้กล่าวถึงเทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางที่เหมาะกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากยิ่งขึ้น นั่นคือ วิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติก ที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีได้ในเวลาที่สมเหตุสมผล

2.3.2 วิธีฮิวริสติก (Heuristic Methods)

วิธีฮิวริสติกหรือการค้นหาแบบฮิวริสติก เป็นเทคนิคการค้นหาผลเฉลยแบบมีข้อมูล (Informed Search Techniques) มาช่วยชี้แนะว่าควรจะเลือกเส้นทางใดหรือสถานะใดเพื่อทำการค้นหาต่อไปให้ได้มาซึ่งคำตอบที่มีประสิทธิภาพ เป็นเทคนิคที่ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการค้นหา โดยคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ถูกต้อง แต่เป็นคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาคำนวณที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เป็นวิธีการที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะที่ไม่มีแบบแผนแน่นอนตายตัว โดยการสร้างฮิวริสติกนั้นต้องอาศัยศึกษาสำนึก

ซึ่งหมายถึงความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหานั้น ๆ เป็นอย่างดี วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่เมื่อตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหามีจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการหรือขั้นตอน-วิธีใด ๆ ที่จะมาหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ วิธีฮิวริสติกเหมาะสมกับปัญหาที่ปริภูมิการค้นหามีขนาดใหญ่จนการค้นหาทำได้ยาก หรือกรณีที่แย่ที่สุดคือไม่สามารถค้นหาได้ทั่วทั้งปริภูมินั่นเอง

วิธีฮิวริสติกนั้นแตกต่างจากวิธีแม่นตรงตรงที่วิธีฮิวริสติกจะคำนวณผลเฉลยเพียงบางส่วน (Partial Search) ในขณะที่วิธีแม่นตรงจะคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลย (Exhaustive Search) โดยวิธีฮิวริสติกเป็นการนำความรู้แบบหนึ่งที่เรียกว่า “วิทยาการศึกษาสำนึก” หรือ “ฮิวริสติก” มาช่วยในการค้นหาผลเฉลย เช่น ในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ถ้าใช้สามัญสำนึกคาดเดาอย่างมีเหตุผลว่า เมื่อต้องการระยะทางโดยรวมที่สั้นที่สุด ก็น่าจะเลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุดกับเมืองที่อยู่ปัจจุบัน แล้วเดินทางไปเมืองนั้นก่อน เมื่อไปถึงเมืองนั้นแล้วค่อยทำในทำนองเดียวกันอีกว่า จะเดินทางไปยังเมืองที่ใกล้ที่สุดเมืองถัดไป ทำเช่นนี้จนกระทั่งเดินครบทุกเมืองก็น่าจะได้ระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด แม้ว่าวิธีการเช่นนี้จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคำตอบที่ได้มีแนวโน้มว่าจะดี แต่อย่างไรก็ดี คำตอบที่ได้โดยวิธีนี้อาจไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุดก็ได้ วิธีการเช่นนี้ก็คือการนำความรู้แบบหนึ่งมาแก้ไขปัญหา แม้จะไม่ใช่ความรู้ที่สมบูรณ์ แต่ก็พอที่จะนำมาแก้ไขปัญหาได้ และช่วยแนะให้รู้ว่าควรจะค้นหาเส้นทางอย่างไร เรียกความรู้ที่ไม่สมบูรณ์หรือการคาดเดาอย่างมีเหตุผลแบบนี้ว่า ฮิวริสติก

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า วิธีฮิวริสติกถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาเท่านั้น ดังนั้น วิธีฮิวริสติกที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับปัญหาหนึ่งจึงไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ในเวลาคำนวณที่เหมาะสม และสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในการตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ได้

ในการค้นหาผลเฉลยในปัญหาการวางแผนการเดินทาง ส่วนใหญ่ของวิธีฮิวริสติกจะใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าเพื่อเลือกเส้นทางที่คาดว่าเหมาะสม ฟังก์ชันพื้นฐานที่นำมาใช้ประกอบการค้นหาแบบฮิวริสติกมี 2 ชนิด ได้แก่ 1) ฟังก์ชันการประมาณค่าฮิวริสติกทั้งหมด (Evaluation Heuristic Function) ใช้สัญลักษณ์ $f(x)$ ทำหน้าที่ประมาณค่าใช้จ่าย/ทรัพยากร (Cost) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเส้นทาง ตั้งแต่ตำแหน่งที่พิจารณา x จนถึงตำแหน่งเป้าหมาย และ 2) ฟังก์ชันฮิวริสติก (Heuristic Function) ใช้สัญลักษณ์ $h(x)$ ทำหน้าที่บอกปริมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปตั้งแต่

ตำแหน่งที่พิจารณา x จนถึงตำแหน่งเป้าหมาย ทั้งนี้ ในความหลากหลายการค้นหาผลเฉลยของบางปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ส่งผลให้ต้องพิจารณาในข้อมูลอื่น ๆ เพิ่มเติม ฟังก์ชันการประมาณค่าฮิวริสติกก็สามารถปรับปรุงไปจากพื้นฐานได้ หรือวิธีฮิวริสติกบางวิธีอาจไม่กำหนดฟังก์ชันที่นำมาใช้ประกอบการค้นหาแบบฮิวริสติก แต่กำหนดให้อยู่ในรูปแบบอื่น เช่น คำบรรยายโดยย่อหลักการในการค้นหา ฯลฯ เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานก็ได้เช่นเดียวกัน

จากที่กล่าวมาจึงพอสรุปได้ว่า วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ 1) ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถเขียนขั้นตอนวิธีในการหาผลเฉลยที่ชัดเจนได้ เช่น ปัญหาที่ไม่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ ฯลฯ 2) ปัญหาที่มีตัวแปรการตัดสินใจและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก และ 3) ปัญหาที่ไม่มีขั้นตอนวิธีการใด ๆ ที่สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้

ในหลายกรณี นักวิจัยพยายามที่จะแก้ไขปัญหาที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์นี้ โดยเลือกไม่พิจารณาเงื่อนไขบางประการ หรือแม้กระทั่งตั้งสมมติฐานของปัญหาให้ง่ายขึ้นเพื่อให้ปัญหามีโครงสร้างที่สมบูรณ์และสามารถนำวิธีการที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะที่สุด ตัวอย่างของวิธีการนี้ พัฒนาขึ้นโดยฟิชเชอร์และไจคูมาร์ (Fisher and Jaikumar, 1981) และคริสโตไฟเดอร์ มินกอซซี่ และทอธ (Christofides, Mingozzi, and Toth, 1981b) ได้อธิบายการใช้วิธีการผ่อนปรนแบบลากรานจ์เจียน (Lagrangean Relaxation) สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ และในกรณีที่ปัญหาการตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก ถึงแม้บางปัญหาสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ขั้นตอนวิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งมักพบโดยทั่วไปในปัญหาของภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัตินักวางแผนอาจไม่ต้องการผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ต้องการผลเฉลยที่ดีเพียงพอที่สามารถหาได้ภายในเวลาที่กำหนดและด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก

สำหรับกรณีของปัญหาการวางแผนการเดินทางที่อาจสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ด้วยรูปแบบที่ยุ่งยากซับซ้อน การประยุกต์ใช้วิธีแม่นตรงหรือใช้เทคนิควิธีกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming) กระทำได้ยาก หรือไม่สามารถกระทำได้เลยเมื่อจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้ไม่สามารถหาขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้ วิธีฮิวริสติกจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางในขณะนี้ มีวิธีฮิวริสติกหลายประเภทที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางแล้วได้ผลดี ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีปีนเขา ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ และขั้นตอนวิธีแบบเอสตาร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

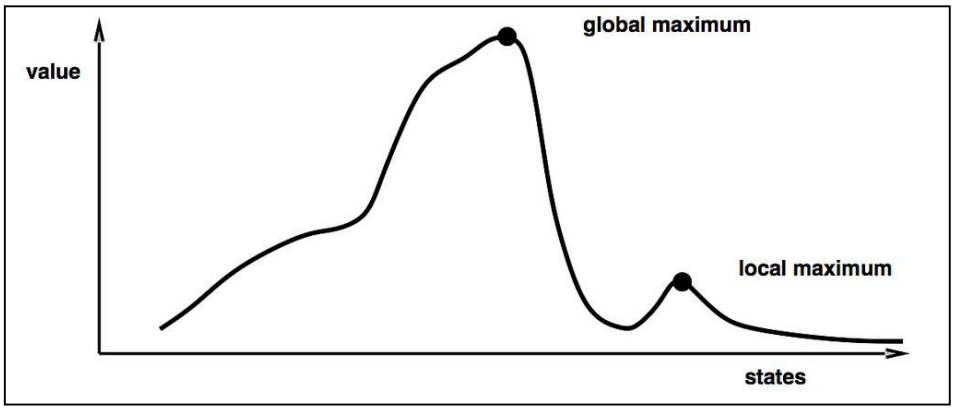
2.3.2.1 ขั้นตอนวิธีปีนเขา (Hill Climbing Algorithm)

ขั้นตอนวิธีปีนเขา เป็นขั้นตอนวิธีการค้นหาเฉพาะที่ที่นำฟังก์ชันฮิวริสติกมาช่วยค้นหาผลเฉลย เป็นวิธีการค้นหาผลเฉลยที่มีลักษณะคล้ายกับการปีนขึ้นสู่ยอดเขา โดยที่การขึ้นจะกระทำในแนวดิ่ง หากเจอทางแยกก็จะเลือกทางที่ตรงดิ่งขึ้นสู่ยอดเขา ลักษณะการทำงานของขั้นตอนวิธีปีนเขาคือ ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการค้นหาว่าจะดำเนินไปในทิศทางใด จะนำค่าฮิวริสติกเข้ามาช่วยตัดสินใจโดยจะเลือกจากตำแหน่งที่มีค่าฮิวริสติกที่ดีขึ้นจากสถานะปัจจุบันคือจะคำนึงถึงเฉพาะสถานะปัจจุบันเท่านั้น เปรียบเสมือนการปีนเขาที่มีการปีนขึ้นไปยังจุดที่มีความสูงกว่าตำแหน่งปัจจุบันเท่านั้น

ขั้นตอนวิธีปีนเขา มี 2 แบบ ได้แก่ 1) ขั้นตอนวิธีปีนเขาแบบธรรมดา (Simple Ascent Hill Climbing) และ 2) ขั้นตอนวิธีปีนเขาแบบปีนเขาชันสุด (Steepest Ascent Hill Climbing) โดยที่ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนวิธีปีนเขาแบบธรรมดากับแบบปีนเขาชันสุดคือ แบบธรรมดาจะไม่พิจารณาสถานะลูกทุกตัว แต่เมื่อพบสถานะลูกตัวใดตัวหนึ่งที่ดีขึ้นก็จะเลือกเส้นทางนั้นทันทีแล้วสร้างโหนดของรุ่นถัดไปเพื่อเปรียบเทียบต่อไปอีก แต่สำหรับขั้นตอนวิธีปีนเขาแบบปีนเขาชันสุดนั้น จะต้องพิจารณาสถานะลูกทุกตัวให้ครบก่อน แล้วเลือกสถานะลูกตัวที่มีค่าฮิวริสติกสูงสุด เมื่อทำเช่นนี้ก็จะทำให้ขั้นตอนวิธีได้พิจารณาเส้นทางที่ดีที่สุด ณ ขณะหนึ่ง ๆ ได้ดีขึ้น

จุดเด่นของขั้นตอนวิธีปีนเขาคือ คำตอบที่ได้มีแนวโน้มว่าจะดี เพราะขั้นตอนวิธีปีนเขาจะไม่ยอมเลือกโหนดที่สถานะแย่กว่าสถานะปัจจุบัน นั่นหมายถึง การปีนขึ้นอย่างเดียวไม่มีปีนลง ทำให้บางทีเส้นทางที่ดีที่สุดอาจจะไม่สามารถทำให้ถึงเป้าหมายได้ (แต่หากค่าฮิวริสติกที่ใช้มีคุณภาพดีพออาจจะสามารถพบสถานะเป้าหมายได้) ดังนั้น การแก้ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนวิธีปีนเขาจะทำให้เกิดปัญหา 3 ลักษณะ ได้แก่

1) ปัญหาค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum/ Local Maximum) ค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่คือ จุดที่พบค่าที่ดีที่สุดที่คาดว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา แต่เมื่อตรวจสอบกับสถานะอื่น ๆ ที่อยู่ห่างออกไปหรือตรวจสอบทั้งปริภูมิการค้นหาแล้วอาจไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะกลายเป็นกับดักที่ทำให้ขั้นตอนวิธีเดินทางไปไม่ถึงค่าที่ดีที่สุดในปริภูมิการค้นหา เพราะขั้นตอนวิธีปีนเขาไม่มีเทคนิคที่ช่วยให้เกิดการกระโดดข้ามจุดที่เป็นเพียงค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ไม่มีเทคนิคที่สามารถเปลี่ยนปริภูมิสถานะ (State Space) เพื่อหลุดจากค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่แล้วออกไปสู่จุดที่ดีกว่าเพื่อใช้เป็นสถานะตั้งต้นในการค้นหาข้อมูลต่อไปได้ สำหรับการเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่กับค่าที่ดีที่สุดในปริภูมิสถานะแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่กับค่าที่ดีที่สุดในปริภูมิการค้นหา

2) ปัญหาริดจ์ (Ridges) เป็นปัญหาที่การเข้าสู่เป้าหมายเป็นไปได้ช้ามาก เนื่องจากการกำหนดฟังก์ชันฮิวริสติกที่ไม่เหมาะสม การแก้ปัญหาควรพิจารณาหาฟังก์ชันฮิวริสติกใหม่ที่ให้ผลดีกว่าเดิม

3) ปัญหาเพลทู (Plateau) เป็นปัญหาที่ฟังก์ชันฮิวริสติกให้ค่าฮิวริสติกเท่ากันในเส้นทางตัดสินใจ ทำให้ไม่สามารถเลือกเส้นทางเพื่อเดินต่อได้ ในกรณีนี้อาจทำให้ระบบติดอยู่และไม่สามารถดำเนินการใด ๆ ต่อ การแก้ปัญหาอาจทำโดยสุ่มเส้นทางขึ้นมาแล้วใช้เส้นทางนั้นในการเดินต่อ

สำหรับปัญหาค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ของขั้นตอนวิธีปีนเขาที่ไม่ยอมเลือกเส้นทางที่แย่กว่าจนทำให้ตกไปในภูเขาที่ไม่ใช่ยอดที่สูงที่สุดจนได้ค่าที่ดีสุดเฉพาะที่ออกมานั้น สามารถแก้ด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีที่มีกลวิธีให้ยอมรับคำตอบที่แย่กว่าบ้าง หนึ่งในขั้นตอนวิธีนั้นคือ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA) ซึ่งวิธีนี้จะยอมให้มีการเลือกเส้นทางที่แย่บ้างโดยเฉพาะช่วงแรกของการค้นหา แล้วดูแนวโน้มทางเส้นทางว่าดีขึ้นหรือไม่ เนื่องจากการที่ยอมรับค่าที่แย่กว่าบ้าง เป็นการเปลี่ยนเส้นทางการค้นหาและนำไปสู่ค่าที่ดีที่สุดในปริภูมิการค้นหาหรือค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดในปริภูมิการค้นหา (Near Global Optimum) ได้ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อที่ 2.4 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

2.3.2.2 ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Best first Search Algorithm: GBFS)

ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ เป็นรูปแบบหนึ่งของการค้นหาแบบดีที่สุดก่อน (Best first Search) ที่ง่ายที่สุด เป็นกระบวนการค้นหาข้อมูลที่นำข้อดีของทั้งการค้นหาแบบลึกก่อนและการค้นหาแบบกว้างก่อนมารวมกันเป็นวิธีการเดียว หลักการของการค้นหาแบบนี้คือ การเลือกจุดที่พบค่าที่ดีที่สุดในขณะใดขณะหนึ่ง (Most Promising) ตลอดเวลาภายใต้เงื่อนไขหรือเกณฑ์ที่

กำหนดเพื่อให้เข้าใกล้เป้าหมายได้เร็ว ๆ และการที่จะทราบว่าจุดใดให้ค่าดีที่สุดนั้น สามารถทำได้โดยการพิจารณาจากค่าฮิวริสติกที่ได้จากฮิวริสติกฟังก์ชัน ซึ่งทำหน้าที่เหมือนตัววัดผลและให้ผลของการวัดนี้ออกมาเป็นคะแนน โดยสมการของขั้นตอนวิธีแบบละโมบแสดงดังสมการที่ 2.2

$$f(x) = h(x) \tag{2.2}$$

โดยที่ $f(x)$ คือ ค่าประมาณของค่าฮิวริสติกทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเส้นทาง

$h(x)$ คือ ค่าฮิวริสติกตั้งแต่ตำแหน่งที่พิจารณาจนถึงตำแหน่งเป้าหมาย

จุดเด่นของขั้นตอนวิธีแบบละโมบคือทำงานได้เร็ว แต่มักไม่ได้คำตอบที่ดีสุดของปัญหาเสมอไป ตัวอย่างเช่นในปัญหาถุงเป้ หากสมมติว่า มีสิ่งของอยู่ 3 อย่าง แต่ละอย่างไม่สามารถแบ่งแยกเป็นเศษส่วนย่อย ๆ ได้ โดยที่

ของอย่างที่ 1 หนัก 10 กิโลกรัม มูลค่า 70 บาท

ของอย่างที่ 2 หนัก 20 กิโลกรัม มูลค่า 100 บาท

ของอย่างที่ 3 หนัก 30 กิโลกรัม มูลค่า 120 บาท

หากต้องการหยิบของให้รวมกันแล้วมีมูลค่ามากที่สุด แต่ถุงเป้ใส่ได้แค่ 50 กิโลกรัม ปัญหาคือ ควรหยิบของสิ่งใดบ้างจึงจะได้มูลค่าของมากที่สุด ถ้าใช้หลักการของขั้นตอนวิธีแบบละโมบ เลือกสิ่งของที่มีมูลค่าต่อหน่วยมากที่สุดก่อน

ของอย่างที่ 1 จะมีมูลค่า 70/10 = 7 บาทต่อกิโลกรัม

ของอย่างที่ 2 จะมีมูลค่า 100/20 = 5 บาทต่อกิโลกรัม

ของอย่างที่ 3 จะมีมูลค่า 120/30 = 4 บาทต่อกิโลกรัม

จึงเลือกของอย่างที่ 1 กับ 2 เพราะมีมูลค่าต่อหน่วยมากที่สุด คือได้มูลค่ารวม 170 บาท ซึ่งไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด คำตอบที่ดีที่สุดควรเลือกของอย่างที่ 2 กับ 3 ซึ่งมีมูลค่ารวม 220 บาท แต่อย่างไรก็ตาม มีบางปัญหาที่สามารถพิสูจน์ได้ว่า ขั้นตอนวิธีแบบละโมบนั้นให้คำตอบที่ดีสุดได้ ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติ 2 อย่างที่จะพอช่วยให้ตัดสินใจได้ว่าควรจะใช้ขั้นตอนวิธีแบบละโมบหรือไม่ คุณสมบัตินั้นได้แก่ คำตอบที่ดีที่สุดที่เลือกในขณะใดขณะหนึ่งต้องนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา (Greedy-Choice Property) และคำตอบที่อยู่ในคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาจะต้องเป็นคำตอบที่อยู่ในคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อย (Optimal Substructure)

ยกตัวอย่างการนำขั้นตอนวิธีแบบละโมบไปใช้กับการวางแผนการเดินทาง เช่น นำไปใช้กับปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายตามขั้นตอนวิธีดังนี้ “*ในแต่ละขั้นให้แวะเมืองที่ยังไม่เคยไปมาก่อนซึ่งใกล้กับเมืองที่อยู่ในปัจจุบัน*” จากตัวอย่างปัญหา สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบละโมบได้ดังต่อไปนี้

1) เลือกเส้นทางเริ่มต้นมาหนึ่งเส้นทาง

2) ให้เส้นทางที่เลือกมานี้เป็นสถานะปัจจุบัน

3) ให้ทำตามกระบวนการข้างล่างนี้จนกว่าจะไม่สามารถสร้างเส้นทางลูกได้อีก

3.1) สร้างสถานะใหม่ที่เป็นเส้นทางลูกที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากสถานะปัจจุบัน

3.2) จากสถานะใหม่ที่สร้างขึ้นมาทั้งหมดให้เลือกสถานะ หรือ เส้นทางลูกที่ดีที่สุดออกมาเพียงเส้นทางเดียว

4) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งพบเงื่อนไขหยุด

2.3.2.3 ขั้นตอนวิธีเอสตาร์ (A* Algorithm)

ขั้นตอนวิธีเอสตาร์ เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการค้นหาแบบดีที่สุดก่อน ชุด (Set) ของเอสตาร์นั้นเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนวิธีแบบละโมบเชิงการค้นหาแนวกว้าง เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในกระบวนการหาเส้นทางระหว่างจุดและการท่องในกราฟ ขั้นตอนวิธีเอสตาร์ขยายมาจากขั้นตอนวิธีของไดค์สตรา (Dijkstra's Algorithm) แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าจากการนำเทคนิคฮิวริสติกมาใช้ แต่ถ้าฮิวริสติกเป็นแบบโมโนโทนหรือโมโนโทนิก (Monotonic) จะทำให้ความเร็วในการทำงานเท่ากับขั้นตอนวิธีของไดค์สตรา (ฮิวริสติกแบบโมโนโทนิกคือ การหาเหตุผลที่ความจริงใดถูกตรวจสอบแล้วว่าเป็นจริง ความจริงนั้นจะคงอยู่ตลอดไปจนกว่าการทำงานของระบบจะสิ้นสุด ซึ่งแตกต่างจากแบบนอนโมโนโทนิก (Nonmonotonic) ที่ความจริงสามารถเปลี่ยนแปลงภายหลังได้) นอกจากนี้ ขั้นตอนวิธีเอสตาร์ยังได้รับความนิยมมากกว่าขั้นตอนวิธีของไดค์สตรา สาเหตุที่เป็นเช่นนั้น เพราะขั้นตอนวิธีเอสตาร์ใช้ความจำน้อยกว่าและทำงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าฟังก์ชันการประมาณค่าฮิวริสติสไม่ดีพอ ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเอสตาร์จะดีพอ ๆ กับการใช้การค้นหาตามแนวกว้างทั่วไป

ตัวอย่างของขั้นตอนวิธีเอสตาร์ที่ออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาวิถีสั้นสุดจากจุดหนึ่งใด ๆ สำหรับกราฟที่มีความยาวของเส้นเชื่อมที่ไม่เป็นลบ สำหรับขั้นตอนวิธีนี้จะหาระยะทางสั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังจุดใด ๆ ในกราฟ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เส้นทางการเดินทางในปัญหาการวางแผนการเดินทางนั่นเอง โดยจะหาเส้นทางที่มีระยะทางน้อยที่สุดไปทีละจุดยอดเรื่อย ๆ จนครบตามที่ต้องการซึ่งอาจมีได้หลายจุด โดยอาศัยฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะทาง ขั้นตอนวิธีเอสตาร์มีการนำข้อมูลมาพิจารณาเพิ่มเติมจากขั้นตอนวิธีแบบละโมบตามสมการที่ 2.2 คือข้อมูลค่าใช้จ่าย/ทรัพยากรที่ใช้ตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งที่พิจารณา x (ใช้สัญลักษณ์ $g(x)$) สมการของขั้นตอนวิธีเอสตาร์แสดงดังสมการที่ 2.3

$$f(x) = h(x) + g(x) \quad (2.3)$$

โดยที่ $f(x)$ คือ ค่าประมาณของค่าฮิวริสติกทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเส้นทาง

$h(x)$ คือ ค่าฮิวริสติกตั้งแต่ตำแหน่งที่พิจารณาจนถึงตำแหน่งเป้าหมาย

$g(x)$ คือ ค่าฮิวริสติกตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งที่พิจารณา

หลักการทำงานของขั้นตอนวิธีเอสตาร์จะค้นหาโดยวิธีเดียวกันกับขั้นตอนวิธีแบบละโมบแทบทุกประการ ยกเว้นฟังก์ชันประมาณค่าฮิวริสติกที่ใช้ กล่าวคือ ในการค้นหาเส้นทางจะพิจารณาจุดแต่ละจุดแล้วเลือกจุดที่มีค่าดีที่สุด หรือจุดที่ $f(x)$ ดีที่สุดมาใส่ในเส้นทาง โดยคงแถวคอยลำดับความสำคัญของจุดอื่น ๆ ระหว่างนั้นที่เรียบเรียงไว้แล้ว ถ้าระหว่างที่เอสตาร์ท่องไปแต่ละจุดแล้วเจอจุดที่มีค่ามากกว่าจุดอื่น ขั้นตอนวิธีเอสตาร์นี้จะไม่พิจารณาจุดที่มีค่ามากกว่า แต่จะไปเลือกจุดที่มีค่าน้อยกว่าแทน (ในกรณีปัญหาที่ต้องการหาระยะทางสั้นที่สุด) กระบวนการนี้จะทำต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดหมาย

ความซับซ้อน (Complexity) ของขั้นตอนวิธีเอสตาร์ (ในที่นี้หมายถึงเวลาทั้งหมดที่ขั้นตอนวิธีใช้จนได้คำตอบที่ต้องการ) จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการประมาณค่าฮิวริสติกทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเส้นทาง ในกรณีที่แย่ที่สุด (Worse Case) คือจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันเลขชี้กำลังของความยาวที่สั้นที่สุด และจะเป็นฟังก์ชันพหุนาม (Polynomial Function) เมื่อกราฟที่ต้องการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดซึ่งมีสภาพที่เป็นเป้าหมายอย่างเดียว โดยทั่วไป นิยมนำแนวคิดของขั้นตอนวิธีเอสตาร์มาประยุกต์เป็นแนวทางเพื่อใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุดโดยปรับแต่งฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะทางให้มีความเหมาะสมในแต่ละปัญหา ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานยืนยันว่าให้ผลที่ดี (Wang et al, 2011, August; Vijay, and Jagadeeswari, 2012; Le, Prabakaran, Sivanantham, and Mohan, 2018) แต่แนวทางในการประยุกต์ส่วนใหญ่จะเป็นการประยุกต์เพื่อใช้ในการหาผลเฉลยที่เฉพาะเจาะจงในแต่ละปัญหาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ แม้ว่าจะเป็นปัญหาที่ใกล้เคียงกันหรือต่างกันเพียงแค่เงื่อนไขเดียว (Koenig, Maxim, Yaxin, and David, 2004) ทำให้เมื่อต้องนำขั้นตอนวิธีเอสตาร์ไปใช้ จึงต้องปรับฟังก์ชันฮิวริสติกต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับรูปแบบปัญหานั้น ๆ

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิธีแบบฮิวริสติกก็พอที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางได้ แต่วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหา วิธีฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถหาผลเฉลยในปัญหาอื่น ๆ ได้ หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ทำให้มีข้อจำกัดเมื่อปัญหาการวางแผนการเดินทางถูกดัดแปลงไปจากรูปแบบปัญหาดั้งเดิมและมีความซับซ้อนจาก

เงื่อนไขที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น การพัฒนาวิธีฮิวริสติกจึงมุ่งเน้นให้วิธีมีความยืดหยุ่นมากขึ้น หรือแม้กระทั่งสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาใด ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ วิธีฮิวริสติกที่ถูกพัฒนาแล้วเหล่านั้นเรียกว่า วิธีเมตาฮิวริสติก ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อลำดับถัดไป

2.3.3 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics Methods)

วิธีเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใด ๆ ที่มีความซับซ้อน และมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากให้มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด หรือไม่สามารถรับประกันผลเฉลยที่ดีในทุกครั้งที่ทำการประมวลผล แต่ผลเฉลยที่ได้นั้นดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานและค้นหาได้ภายในระยะเวลาอันเหมาะสม วิธีเมตาฮิวริสติกจึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเชิงผสมผสานทุกแขนง

สำหรับวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นเป็นวิธีฮิวริสติกแบบมาตรฐานที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยบลูมและโลลิ (Blum and Roli, 2003: 270-271) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติกไว้ 9 ประการ ดังนี้ 1) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) 2) เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม 3) วิธีเมตาฮิวริสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน 4) เมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนของการประมาณคำตอบ 5) เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมกันของหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ 6) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา 7) เมตาฮิวริสติกสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย 8) เมตาฮิวริสติกอาจเป็นคำบรรยายโดยย่อหรือเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ก็ได้ และ 9) เมตาฮิวริสติกบางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวในการจดจำคำตอบเดิมเพื่อประโยชน์ในการค้นหาคำตอบใหม่ที่ไม่ซ้ำที่เดิม

วิธีเมตาฮิวริสติกส่วนใหญ่ถูกพัฒนามาเพื่อแก้ปัญหาเชิงผสมผสาน สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางที่มีรูปแบบปัญหาเชิงผสมผสานแล้วต้องการคำตอบที่ดีที่สุด การแก้ปัญหานี้ด้วยวิธีการปกติคือ หาเส้นทางเดินที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วนำมาเปรียบเทียบกันและเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด จะเห็นได้ว่า หากต้องการหาการรวมกัน (Combination) ที่ดีที่สุดของข้อมูลนำเข้า อาจหมายถึงการต้องหาการรวมกันของทุก ๆ รูปแบบที่เป็นไปได้แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเมืองจำนวน 10 เมือง ต้องหาถึง 10! หรือ 3,628,800 เส้นทาง ถ้านำเส้นทางมาเปรียบเทียบกันทั้งหมดก็ต้องใช้เวลาและ

ทรัพยากรในการคำนวณสูง ดังนั้น วิธีเมตาฮิวริสติกจึงถูกพัฒนาเพื่อเป็นวิธีการหาคำตอบที่ให้คำตอบใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดและในบางครั้งอาจได้ค่าดีที่สุด คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีเพียงพอสามารถยอมรับได้ภายใต้เงื่อนเวลาการคำนวณที่กำหนดในขณะนั้น ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบเมตาฮิวริสติกเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

มีขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบเมตาฮิวริสติกหลายประเภทที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพดี เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง โดยการเลือกขั้นตอนวิธีในกลุ่มเมตาฮิวริสติกเพื่อไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมนั้นต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้กับรูปแบบปัญหาและความยืดหยุ่นเมื่อนำไปใช้งาน เนื่องจากบางขั้นตอนวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีกับรูปแบบปัญหาหนึ่งอาจไม่ได้ให้ผลที่ดีกับอีกรูปแบบปัญหาหนึ่งก็ได้ นอกจากนี้ บางขั้นตอนวิธีอาจมีกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนเกินไปเมื่อนำมาปรับใช้กับบางรูปแบบปัญหา ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก 4 ขั้นตอนวิธี ประกอบด้วย ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว และขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด รายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search: TS)

ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดยโกลเวอร์และลากูน่า (Glover and Laguna,1997) เป็นเทคนิคการประมาณค่าสำหรับการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ เป็นการผสมผสานระหว่างการวนซ้ำเชิงกำหนด (Deterministic) และแบบความน่าจะเป็นเพื่อการยอมรับ นิยามคำว่าทาบู (Tabu) หมายถึง ข้อห้ามหรือการห้าม ดังนั้น วิธีการค้นหาแบบทาบูจึงหมายถึงการค้นหาแบบมีข้อห้าม การค้นหาของทาบูใช้วิธีการค้นหาแบบพื้นฐานเพื่อหาค่าที่ดีกว่าจากจุดข้างเคียงตามวิธีค้นผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) และมีการป้องกันการเกิดปัญหาค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่

วิธีการค้นหาแบบทาบูใช้หน่วยความจำในการค้นหา 2 ชนิด ได้แก่ 1) หน่วยความจำตามเวลา (Recency-Based Memory) เป็นหน่วยความจำที่จะปรับเปลี่ยนไปตามขั้นตอนในการค้นหา และ 2) หน่วยความจำตามความถี่ (Frequency-Based Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับจำว่าตัวกระทำการตัวไหนใช้งานบ่อย โดยหน่วยความจำนี้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสภาพแวดล้อมในระหว่างกระบวนการค้นหา ลักษณะการค้นหาของทาบูเป็นแบบทางตรง คือเมื่อเจอค่าต่ำสุดเฉพาะที่แล้ว จึงจะเลื่อนไปตามผลเฉลยข้างเคียง หากพบว่า ผลเฉลยนั้นให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น ก็จะปรับปรุงให้เป็นผลเฉลยปัจจุบัน แต่หากพบว่า ผลเฉลยแย่ลงกว่าเดิม ผลเฉลยนั้นจะถูกป้องกันด้วยวิธีการทาบูเพื่อไม่ให้มีการเลือกซ้ำได้อีก

ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบูสามารถค้นหาคำตอบดีที่สุดได้โดยใช้หน่วยความจำทั้งสองแบบที่กล่าวถึงในข้างต้นสำหรับการค้นหาใน 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) ความละเอียด (Intensification) คือเมื่อพบผลเฉลยอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งแล้ว ก็จะพยายามค้นหาในบริเวณใกล้เคียงให้มากขึ้นเพื่อหาผลเฉลยที่ดีกว่า และ 2) ความหลากหลาย (Diversification) คือเมื่อพบผลเฉลยอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งแล้ว ให้เลือกเส้นทางการค้นหาใหม่ที่แตกต่างจากเดิมบ้างเพื่อที่อาจจะได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น แม้ว่าเส้นทางใหม่นั้นจะเป็นเส้นทางที่มีค่าฮิวริสติกแย่กว่าก็ตาม โดยขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบูจะใช้หลักการในการเลือกคำตอบใหม่จากรายการทาบู (Tabu List) ผลเฉลยใด ๆ ที่อยู่ในรายการทาบูจะมีภาวะต้องห้าม (Tabu Active) ซึ่งรายการทาบูนี้เป็นรายการที่ใช้บันทึกจุดค้นหาที่ผ่านมาเพื่อเป็นการห้ามไม่ให้เคลื่อนที่ไปยังจุดเดิมเป็นการหลีกเลี่ยงคำตอบลู่เข้าสู่จุดเดิม (Cycling Back) อย่างไรก็ตาม ในแต่ละจำนวนครั้งของการเคลื่อนที่ อาจยอมรับการเคลื่อนที่สู่จุดที่อยู่ในรายการทาบู ถ้าค่านั้นให้คำตอบที่ดีกว่าจุดที่ผ่านมาด้วยการตรวจสอบค่าซ้ำที่อยู่ในรายการทาบู และใช้เกณฑ์แห่งความหวัง (Aspiration Criteria) เพื่อเปลี่ยนสภาพต้องห้ามของผลเฉลยใด ๆ ที่อยู่ในภาวะต้องห้ามให้เป็นภาวะไม่ห้าม (Tabu Non-Active) เนื่องจากในบางครั้งผลเฉลยที่มีสถานภาพเป็นภาวะต้องห้ามอาจเป็นคำตอบที่ดี และโดยทั่วไปจะใช้เกณฑ์ที่ว่าถ้าเป็นผลเฉลยที่ให้ค่า $f(x)$ น้อยที่สุดเท่าที่เคยมีมาจะยอมรับผลเฉลยนั้นได้ คือเปลี่ยนจากภาวะต้องห้ามเป็นภาวะไม่ห้ามนั่นเอง (Glover and Laguna, 2013: 3261-3362) ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูโดยทั่วไปมี 8 ขั้นตอน เป็นดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: การกำหนดค่าเริ่มต้น ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้ ซึ่งหมายถึงจำนวนรอบสูงสุดที่จะทำการค้นหาคำตอบ ระยะเวลาความคงอยู่ของสถานะต้องห้าม จำนวนครั้งสูงสุดของการเดิน

ขั้นตอนที่ 2: สร้างคำตอบเริ่มต้นโดยใช้การสุ่ม (Random)

ขั้นตอนที่ 3: กำหนดให้คำตอบที่มีอยู่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นสร้างเซตของจุดข้างเคียง (Neighborhood Points)

ขั้นตอนที่ 4: ประเมินคำตอบที่ดีที่สุดจากเซตของจุดข้างเคียงด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วเลือกจุดใหม่ที่ให้ค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 5: ดำเนินการค้นหาคำตอบจากเซตของจุดข้างเคียงที่ไม่ซ้ำกับเส้นทางที่ผ่านมาแล้ว โดยคำตอบข้างเคียงนั้นต้องไม่เป็นทาบูและเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 6: ตรวจสอบค่าซ้ำที่อยู่ในรายการทาบูของคำตอบข้างเคียง ถ้าคำตอบข้างเคียงนั้นเป็นทาบูแต่สามารถให้คำตอบที่ดีที่ไม่เคยพบมาก่อนก็สามารถเลือกเป็นคำตอบได้

ขั้นตอนที่ 7: ย้ายตำแหน่งไปยังคำตอบปัจจุบันที่ถูกเลือก แล้วปรับปรุงรายการทาบูให้เป็นปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 8: ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการหรือครบตามเงื่อนไขการหยุดทำงาน

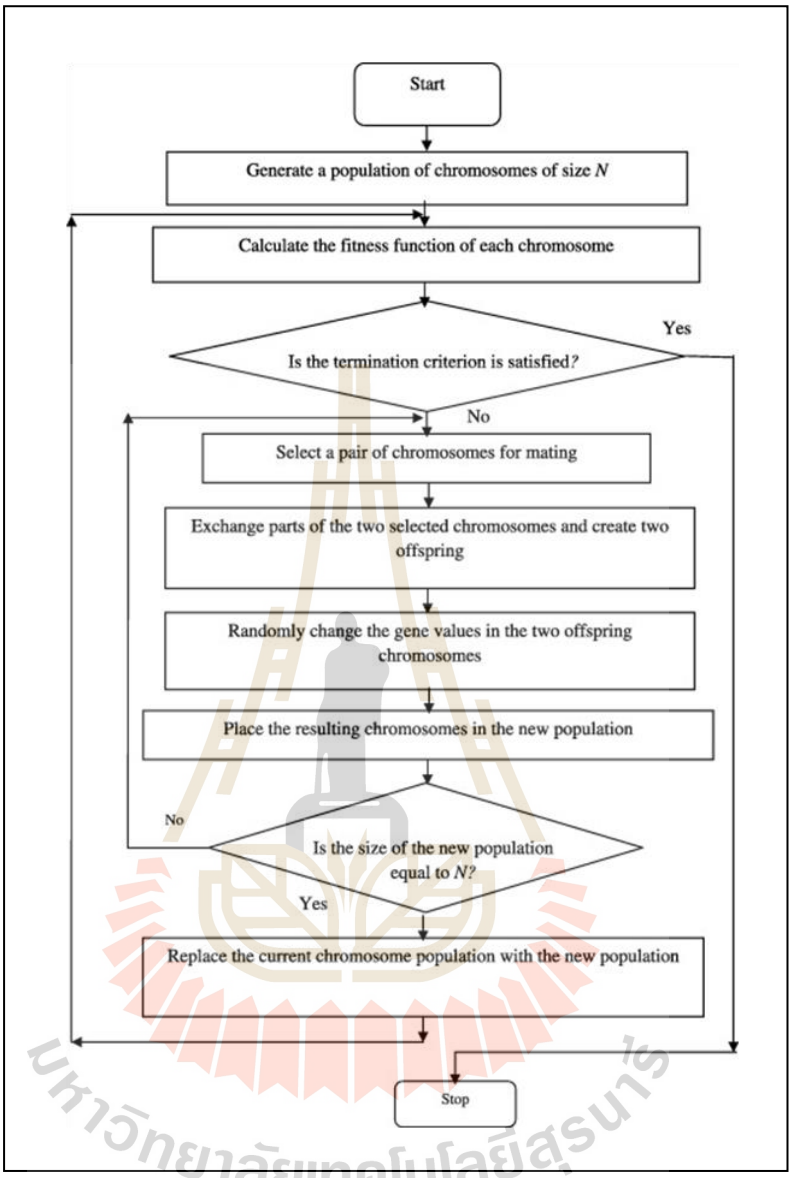
เนื่องจากแนวคิดของขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูที่ต้องใช้หน่วยความจำหลายแบบจึงจะค้นหาผลเฉลยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากหน่วยความจำที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น ยังต้องใช้หน่วยความจำแบบอื่นอีก เช่น ใช้หน่วยความจำระยะสั้น (Short Term Memory) และหน่วยความจำระยะยาว (Long Term Memory) เพื่อเปลี่ยนค่าสถานะข้างเคียงของตำแหน่งปัจจุบัน (Neighborhood of x) และเก็บคุณสมบัติของผลเฉลย ใช้หน่วยความจำเหตุการณ์วิกฤต (Critical Event Memory) เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างสถานภาพต้องห้าม ฯลฯ ส่งผลให้ในการคำนวณแต่ละครั้งต้องใช้ปริมาณหน่วยความจำเป็นจำนวนมาก จากสาเหตุนี้ จึงทำให้เป็นข้อด้อยของขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบู

ในการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูในปัญหาการวางแผนการเดินทางได้มีการสร้างขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางแบบทาบู (Tabu Route) สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางโดยเฉพาะ โดยพัฒนามาจากขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูพื้นฐาน (Gendreau, Laporte, Musaraganyi, and Taillard, 1999: 1160) และนิยมนำไปใช้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ โดยมีลักษณะที่แตกต่างจากขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูพื้นฐาน ยกตัวอย่างเช่น วิธีการจัดเส้นทางแบบทาบูจะไม่ใช้รายการทาบูที่บันทึกไว้ตามลำดับแต่ใช้วิธีการเลือกแบบสุ่มแทน โครงสร้างของผลเฉลยข้างเคียงนิยามจากผลเฉลยทั้งหมดที่สามารถหาได้จากผลเฉลยในปัจจุบันโดยการย้ายปมลูกค้าจากเส้นทางหนึ่งไปแทรกอีกเส้นทางหนึ่งที่ใกล้เคียง ฯลฯ

2.3.3.2 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนำเสนอครั้งแรกโดยจอห์นฮอลแลนด์ ในปี ค.ศ. 1975 (Holland, 1975) เป็นขั้นตอนวิธีหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของขั้นตอนวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation Field: EC) (Eiben and Schippers, 1998: 1) ตามกลไกการวิวัฒนาการทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติในระบบชีววิทยา ขั้นตอนวิธีนี้อาศัยหลักการและทฤษฎีจากการทำให้เกิดพันธุกรรมประชากร ในการสร้างขั้นตอนวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมดังกล่าว โดยวิธีการจับคู่ และการเกิดใหม่ของยีนเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้แนวคิดคือ สิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีลักษณะทั้งดีและไม่ดี สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ดีจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ดีขึ้น (Pirlot, 1996: 496) ผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple GA Flow Chart) แสดงดังรูปที่ 2.16 สำหรับขั้นตอนทั่วไปของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมี 4 ขั้นตอน (Chambers, 1998: 374) ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างกลุ่มของการแก้ปัญหาหรือกลุ่มคำตอบเริ่มต้นในรูปแบบสุ่ม (Initial Population) แปลงค่าคำตอบจริง (Encoding) ให้อยู่ในรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation)



รูปที่ 2.16 ผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Mohamed, Elarini and Othman, 2014, p.401)

ขั้นตอนที่ 2: เข้าสู่ขบวนการการเจเนติก (Genetic Operation) โดยการสุ่มโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่เพื่อที่จะสร้างโครโมโซมลูก (Next Generation) จากนั้นรวม 2 โครโมโซมจากรุ่นปัจจุบัน (Current Generation) โดยการดำเนินการไขว้สายพันธุ์ (Cross Over) ซึ่งบางครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่เกิดเป็นโครโมโซมที่ไม่เคยมีมาก่อน เรียกลักษณะการเกิดโครโมโซมแบบนี้ว่า การกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งจะให้ประชากรใหม่ที่ประกอบด้วย โครโมโซมพ่อแม่ (Parent) และลูก (Offspring)

ขั้นตอนที่ 3: การหาค่าความเหมาะสมโดยการคัดเลือก (Selecting) ประชากรใหม่จากสายโครโมโซมที่สอดคล้องกับค่าความเหมาะสมที่โครโมโซมจะอยู่รอดในรุ่นถัดไป (Fitness Values) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุด และคัดโครโมโซมที่ไม่สอดคล้องกับค่าความเหมาะสมทิ้ง เพื่อให้ประชากรคงที่ด้วยวิธีการสุ่ม (Roulette Wheel Selection) ซึ่งโครโมโซมที่เหมาะสมกว่าจะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกสูงกว่า

ขั้นตอนที่ 4: หากพบคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหา กระบวนการทำงานก็จะจบลง แต่หากไม่เป็นไปตามนั้นก็จะวนซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนกว่าจะนำประชากรรุ่นลูกที่ได้ไปแทนที่ (Replacement) ประชากรรุ่นพ่อแม่ ซึ่งการแทนที่นั้นก็จะมีการพิจารณาว่าควรจะเอาประชากรรุ่นลูกในกลุ่มใด จำนวนเท่าไหร่ ไปแทนประชากรรุ่นพ่อแม่ในกลุ่มใด เมื่อทำการแทนที่เสร็จแล้วก็จะนำประชากรกลุ่มนั้นกลับเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกใหม่ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะดำเนินซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหาหรือจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขในการหยุดทำงาน เช่น ครบจำนวนรุ่นที่กำหนดไว้

การดำเนินการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรที่มีผลกระทบ ได้แก่ จำนวนประชากรเริ่มต้น วิธีการคัดเลือก วิธีการที่ใช้ในการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ วิธีการแทนที่ จำนวนรุ่นที่ใช้ ฯลฯ สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีการที่มุ่งเน้นค้นหาคำตอบในวงกว้าง (Exploration) ซึ่งทำให้มีจุดเด่นคือ สามารถค้นหาคำตอบในวงกว้างได้ดี เพราะใช้คำตอบเริ่มต้นมากกว่าหนึ่งคำตอบเช่นเดียวกันกับขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด โดยจะทำการสร้างคำตอบเริ่มต้นมาจำนวนหนึ่งด้วยวิธีการสุ่มเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา คำตอบเริ่มต้นที่สร้างมานั้นจำเป็นที่จะต้องมีความหลากหลาย ซึ่งนั่นหมายความว่า คำตอบเหล่านั้นจะต้องไม่มีความเหมือนหรือใกล้เคียงกันมากจนเกินไป จากนั้นจะค่อย ๆ พัฒนาคำตอบเหล่านี้ให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธี

จากสาเหตุนี้ จึงทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีจุดเด่นอีกข้อคือ มักจะประมวลผลได้เร็วกว่าวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นเพียงคำตอบเดียว แต่ในขณะเดียวกัน หากไม่สามารถสร้างกลุ่มของคำตอบเริ่มต้นที่มีความหลากหลายได้ จะทำให้การพัฒนาคำตอบหรือการค้นหาคำตอบทำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลให้คำตอบที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทำงานอาจเป็นคำตอบที่ยังไม่ได้รับ

การพัฒนาอย่างเต็มที่และไม่ดีพอเมื่อเทียบกับวิธีการที่มุ่งเน้นพัฒนาคำตอบเริ่มต้นเพียงคำตอบเดียว เช่น ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบทาบู ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว ฯลฯ ที่ถึงแม้คำตอบที่ได้จากวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นเพียงคำตอบเดียว เมื่อสิ้นสุดการทำงานอาจจะเป็นเพียงคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ แต่คำตอบนั้นก็อาจจะดีกว่าได้ ซึ่งตรงกับผลการทดลองของงานวิจัยหนึ่งที่ได้เปรียบเทียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอน (Pongcharoen, Promtet, Yenradee, and Hicks, 2008: 916) ซึ่งได้รายงานไว้ว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสามารถใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนได้เป็นอย่างดี แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวนั้นมีดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ (Feasible Timetable) มากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ถึงแม้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะสามารถประมวลผลได้เร็วกว่าก็ตาม นอกจากนี้ การใช้คำตอบเริ่มต้นมากกว่าหนึ่งคำตอบ ยังส่งผลให้ต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากกว่าวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นคำตอบเดียว (Chiarandini, Birattari, Socha, and Rossi-Doria, 2006: 422; Yang and Jat, 2011:104)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่นิยมนำไปประยุกต์ผสมผสานกับวิธีการอื่น ๆ (Hybrid Algorithm) เช่นงานวิจัยของมุน คิม ชอย และโซ (Moon, Kim, Choi, and Seo, 2002) ที่นำวิธีการเชิงพันธุกรรมไปใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายที่มีการพิจารณาหลายเงื่อนไข (TSP with Precedence Constraints: TSPPC) อัมบูกิ รอส และฮันชา (Ombuki, Ross, and Hanshar, 2006) ได้นำไปใช้กับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาที่มีหลายวัตถุประสงค์ และงานวิจัยของโฮ โฮ จิ และเหลา (Ho, Ho, Ji, and Lau, 2008) ได้นำไปใช้กับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะที่มีจุดกระจายสินค้าหลายจุด ฯลฯ นอกจากนี้ ยังมีนักวิจัยได้ดัดแปลงกระบวนการบางอย่างโดยใช้แนวคิดจากวิธีการเชิงพันธุกรรมพื้นฐาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบปัญหา โดยมีผู้คิดค้นและดัดแปลงวิธีในการกลายพันธุ์และการไขว้สายพันธุ์มากมาย ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของเกนและชาง (Gen and Cheng, 1997: 56-82) ที่ดัดแปลงวิธีการกลายพันธุ์แบบกลับด้าน (Inverse Mutation) วิธีการกลายพันธุ์แบบจุดต่อจุด (Single Bit Mutation) และวิธีการกลายพันธุ์แบบแลกเปลี่ยน (Swap Mutation) ส่วนวิธีการไขว้สายพันธุ์ก็มีผู้ดัดแปลงวิธีการไขว้สายพันธุ์แบบอื่น เช่น การไขว้สายพันธุ์แบบตามลำดับ (Order Crossover) การไขว้สายพันธุ์แบบยึดตำแหน่งเป็นหลัก (Position Based Crossover) การไขว้สายพันธุ์แบบการจับคู่ปรับบางส่วน (Partial Mapped Crossover) ฯลฯ

2.3.3.3 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA)

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบจากการสุ่มจุดตามที่สำรวจซ้ำจากการพัฒนาคำตอบเบื้องต้นเพื่อหาคำตอบอื่นที่ดีกว่า ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1983 โดยเคิร์กแพททริก เจลัท และเวคชิ (Kirkpatrick, Gelatt , and Vecchi, 1983: 671–680) เป็นหนึ่งในขั้นตอนวิธีที่ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาเชิงผสมผสานหลายปัญหา อาทิ ปัญหาการจัดสรรงานกำลังสอง (QAP) (Connolly, 1990) ปัญหาการกำหนดงานผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job Shop Scheduling Problem: JSS) (Van Laarhoven, Aarts, and Lenstra, 1992)

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เป็นเทคนิคที่เลียนแบบกระบวนอบเหนียวของเหล็กที่มีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะให้ร้อนแล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างผลึกที่มีพลังงานภายในน้อยที่สุด คุณลักษณะดังกล่าวจะทำให้โลหะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แข็งแกร่งและทนทาน ในทางตรงกันข้าม ถ้าไม่ทำการควบคุมการทำให้เย็นของโลหะร้อนแล้ว โครงสร้างที่ได้จะมีจุดตำหนิหรือบกพร่อง เป็นโลหะที่มีความแข็งแต่เปราะ กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะดังกล่าวเรียกว่า การอบเหนียว (Annealing Process) โดยต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการอบเหนียวซึ่งคือการปรับค่าพารามิเตอร์ในการค้นหาคำตอบของระบบ ลักษณะเด่นของวิธีการนี้คือ มีขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพดีเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นที่อยู่ในกลุ่มวิธีการค้นหาคำตอบที่มีวัตถุประสงค์เหมือนกัน คือเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดภายในเวลาคำนวณที่เหมาะสม และจากการที่ขั้นตอนวิธีมีแนวคิดให้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ จึงทำให้มีความยืดหยุ่นมากเมื่อนำไปใช้กับรูปแบบปัญหาที่มีขนาดของปริภูมิสถานะที่ไม่แน่นอน นอกจากนี้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยังเป็นวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นคำตอบเดียวและมุ่งเน้นในการพัฒนาคำตอบเริ่มต้น (Exploitation) จึงทำให้ใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยและในบางกรณียังสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมีความแตกต่างไปจากการค้นหาคำตอบแบบวนรอบดีขึ้น (Iterative Improvement Search) ตรงที่มีการใส่ค่าสุ่ม เข้าไปในการค้นหาคำตอบ การสุ่มค่าดังกล่าวทำให้ขั้นตอนวิธีสามารถกระโดดเพื่อเปลี่ยนสถานะในการค้นหาให้ไปค้นหาในพื้นที่ใหม่ ๆ ทำให้สามารถหลุดออกจากปัญหาคำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ได้ การกระโดดดังกล่าวคือการปรับอุณหภูมิในกระบวนการอบเหนียวข้างต้นนั่นเอง และด้วยลักษณะการทำงานแบบสุ่มดังกล่าว อาจเรียกขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวว่า เป็นขั้นตอนวิธีเชิงน่าจะเป็น (Probabilistic Algorithm) สำหรับการปรับอุณหภูมิของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสามารถพิจารณาได้ใน 2 แง่มุม กล่าวคือ หากกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นสูง ระบบจะทำการค้นหาแบบหยาบ ๆ ซึ่งหมายถึงการกระโดดไปมาอย่างแรงซึ่งทำให้เกิดการค้นหาในแนวกว้าง ในขณะที่หากต้องการ

การค้นหาแบบละเอียดจะได้จากระบบที่มีอุณหภูมิต่ำ ๆ ดังนั้น การปรับอุณหภูมิของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเพราะมีผลกระทบต่อการค้นหาในปริภูมิสถานะและการได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับเทคนิควิธีการโดยละเอียดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว จะขยายความโดยละเอียดในหัวข้อใหญ่ของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

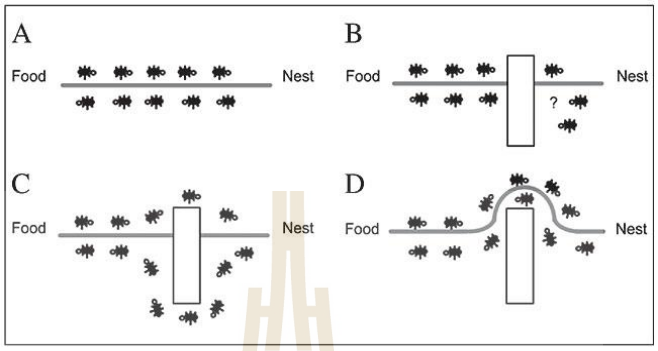
2.3.3.4 ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO)

ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดนำเสนอครั้งแรกโดยดอริโก้ (Dorigo, 1992) เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย เป็นขั้นตอนวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมดที่สามารถเดินทางไปยังแหล่งอาหารและกลับมาสู่รังได้ โดยมดจะเลือกเส้นทางในการหาอาหารให้มีระยะทางรวมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร ซึ่งมดเหล่านี้ในขณะที่ออกเดินทางไปหาอาหารจะปล่อยฟีโรโมน (Pheromone) ไว้ระหว่างทางที่เดินผ่าน เพื่อใช้ในการสื่อสารกับมดตัวอื่น ๆ ในฝูงว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางไปหาอาหาร ซึ่งมดตัวอื่นที่อยู่ในฝูงเดียวกันก็จะเดินตามเส้นทางที่มีฟีโรโมนอยู่และก็จะปล่อยฟีโรโมนในเส้นทางนั้นด้วย ทำให้เส้นทางนั้นมีการสะสมของฟีโรโมนมากยิ่งขึ้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะดำเนินซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้เส้นทางที่เหมาะสม หรือจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขในการหยุดทำงาน

สามารถอธิบายหลักการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดได้ดังนี้ ในขั้นตอนเริ่มแรกในการเดินออกจากรังของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร เส้นทางในการเดินทางไปสู่แหล่งอาหารจะมีหลายเส้นทางด้วยกัน เนื่องจากว่าไม่มีร่องรอยใดที่แสดงให้เห็นว่าเส้นทางไหนดีกว่ากัน พวกมดจึงจำเป็นต้องสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง ดังนั้น แต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากันที่มดแต่ละตัวในฝูงจะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร จึงสันนิษฐานได้ว่า ในแต่ละเส้นทางมีมดที่เลือกเดินจำนวนเท่ากันทุกเส้นทาง สมมติว่า มดแต่ละตัวเดินทางด้วยความเร็วใกล้เคียงกัน มดที่เดินในเส้นทางที่สั้นกว่าจะใช้เวลาน้อยกว่ามดที่เดินในเส้นทางที่ไกลกว่า เนื่องจากฟีโรโมนมีคุณสมบัติสามารถระเหยไปได้เมื่อระยะเวลาผ่านไป ดังนั้น ในเส้นทางที่สั้นกว่าจะมีความเข้มข้นของฟีโรโมนมากกว่า จากพฤติกรรมของมดจะเลือกเดินตามกลิ่นฟีโรโมนที่แรงหรือเข้มข้นกว่า จึงส่งผลให้มดตัวที่เดินตามหลังมาจะเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า และท้ายที่สุดมดทุกตัวก็จะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร การจำลองพฤติกรรมการเลือกเส้นทางของมดแสดงดังรูปที่ 2.17

จากรูปที่ 2.17 รูป A คือการที่มดเดินตามกลิ่นฟีโรโมนจากรังไปยังแหล่งอาหารตามปกติ เมื่อมดเจออุปสรรคตามรูป B มดจะทำการหาเส้นทางเดินใหม่และปล่อยฟีโรโมนออกมาดังรูป C จากนั้นเส้นทางใหม่ที่สร้างจะถูกเลือกให้เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดดังรูป D จากหลักการพื้นฐานของวิธีอาณานิคมมดที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการนำแนวคิดดังกล่าวมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาเชิงผสมผสานเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด ในการจำลองพฤติกรรมนี้ มดเทียมจะ

ถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสภาวะแวดล้อมในการค้นหาคำตอบในปริภูมิสถานะ วัตถุประสงค์คือค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพและดัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยมดเทียมนี้สร้างขึ้นจากฟังก์ชันฮิวริสติกเฉพาะที่เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาเซตผลเฉลยที่เป็นไปได้ต่อไป



รูปที่ 2.17 การจำลองพฤติกรรมการเลือกเส้นทางของมด
(Parpinelli, Lopes and Freitas, 2002, p.325)

การทำงานของขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดประกอบด้วย มดเทียมจำนวน n ตัว จากจุดเริ่มต้น (รัง) จะสร้างเส้นทางไป-กลับ จากรังไปยังแหล่งอาหารด้วยการสุ่ม มดแต่ละตัวจะเลือกเส้นทางเดินที่เชื่อมต่อกันหรือลิงค์ (Link) ตามค่าความน่าจะเป็นที่ขึ้นอยู่กับค่าสารฟีโรโมนในแต่ละลิงค์ เดินทางต่อเนื่องจากลิงค์สู่ลิงค์ถึงแหล่งอาหาร และเลือกเส้นทางกลับจากเส้นทางที่สั้นที่สุดจากการค้นพบของมดทั้งหมด ในระหว่างเดินทางกลับมดจะปล่อยสารฟีโรโมนลงบนลิงค์ของเส้นทาง (Pheromone Update) ในขั้นตอนต่อ ๆ ไป การสร้างเส้นทางไป-กลับ ก็จะเป็นไปตามหลักการดังกล่าวข้างต้น แต่เส้นทางใหม่จะเปลี่ยนไปตามผลของค่าฟีโรโมนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบนลิงค์ที่เป็นส่วนของเส้นทางสั้นที่สุดและมีการปรับค่าฟีโรโมนบนเส้นทางที่ดี (Good Solution) ซึ่งเมื่อจำนวนการทำซ้ำเพิ่มขึ้นจะได้คำตอบ (เส้นทางไป-กลับ) ที่ดีที่สุด (Global Solution)

ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดเป็นวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นมากกว่าหนึ่งคำตอบ และมุ่งเน้นในการค้นหาคำตอบในวงกว้าง จึงทำให้จุดเด่นและจุดด้อยของขั้นตอนวิธีอาณา-นิคมมดคล้ายกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม กล่าวคือ สามารถค้นหาคำตอบในวงกว้างได้ดีและมักจะประมวลผลได้เร็วกว่าวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นเพียงคำตอบเดียว แต่คำตอบที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทำงานอาจจะยังไม่ได้รับการพัฒนาอย่างเต็มที่และไม่ดีพอเมื่อเทียบกับวิธีการที่มุ่งเน้นพัฒนาคำตอบเริ่มต้นเพียงคำตอบเดียว และจากการใช้คำตอบเริ่มต้นมากกว่าหนึ่งคำตอบ จึงส่งผลให้ต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากกว่าวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นคำตอบเดียว

ในปัญหาการวางแผนการเดินทาง ได้มีนักวิจัยนำขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดไปประยุกต์ใช้ เช่นงานวิจัยของ กิตติเดช วงศ์ศักดิ์ และเกียรติศักดิ์ โยชะนัง (2552) ที่ได้พัฒนาระบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองโดยใช้ขั้นตอนวิธีวิธีอาณานิคมมด จันจิและดิงเหว่ย (Junjie and Dingwei, 2006) ประยุกต์ใช้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย และเบลล์และแมคมัลเลน (Bell and McMullen, 2004) ประยุกต์ใช้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะ ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้มีการประยุกต์ใช้ในการค้นหาเส้นทางในระบบสื่อสารโทรคมนาคม โดยนำระบบการค้นหาเส้นทางโดยใช้การเคลื่อนที่แบบมด (Ant-Based Routing) ไปใช้ในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดในระบบจริงที่ไม่รู้ค่านำเข้า (Input Value) โดยระบบจะปล่อยตัวแทน (Agent) รูปแบบมดเทียมให้ท่องไปในเครือข่าย (Network) เพื่อค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดตามกระบวนการทำงานที่ได้ดัดแปลงจากขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดต้นแบบ

จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกพบว่า ยังมีวิธีอื่นอีกนอกเหนือจากที่ได้นำเสนอในหัวข้อนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความนิยมในการใช้ขั้นตอนวิธีเมตา-ฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาที่ยังคงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง นอกจากขั้นตอนวิธีที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว ยังมีเมตาฮิวริสติกอีกหลายขั้นตอนวิธีที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางได้ เช่น ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) (Marinakis and Marinaki, 2010: 432-442; Fang et al., 2007: 16-19) ขั้นตอนวิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony: ABC) (พนาวัลย์ อยู่เจริญ และกฤษดา อัศวรุ่งแสงสกุล, ตุลาคม 2556: 1-6) ฯลฯ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เนื่องจากเป็นขั้นตอนวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นขั้นตอนวิธีที่ไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นที่มีกระบวนการทำงานใกล้เคียงกัน และยังมีความยืดหยุ่น เหมาะกับรูปแบบปัญหาในงานวิจัยนี้ โดยรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวจะได้อธิบายโดยละเอียดในลำดับถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

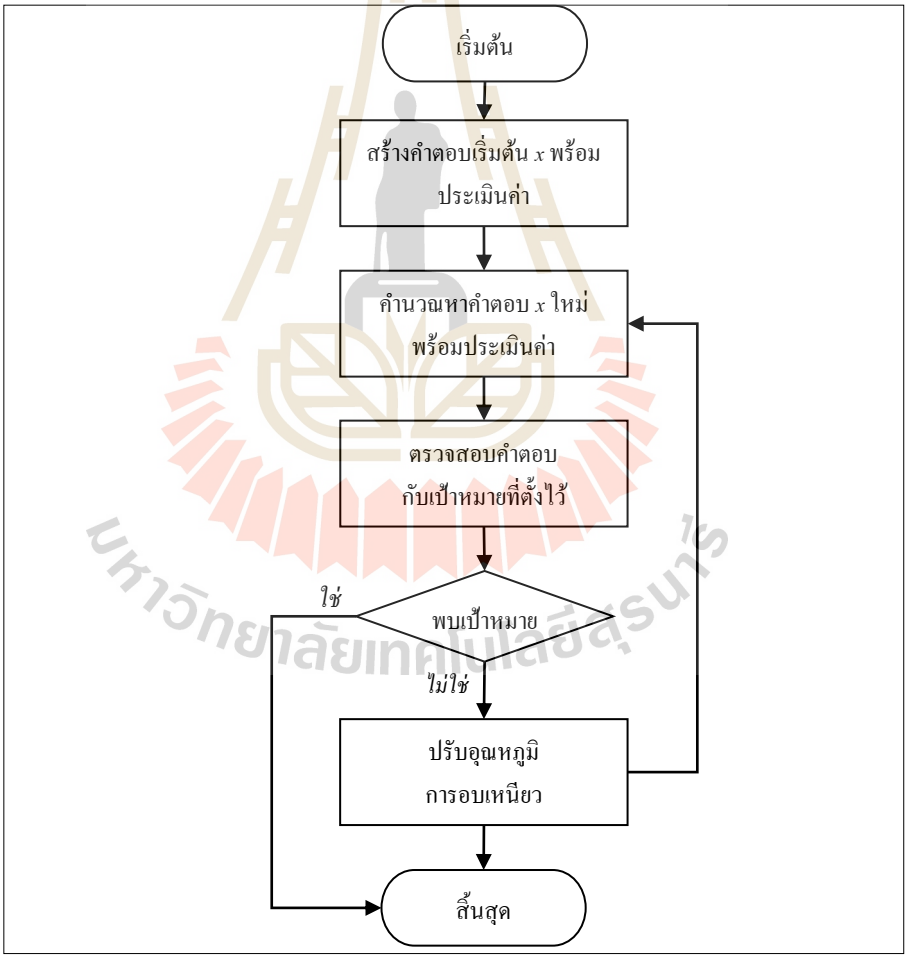
2.4 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA)

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมมากในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงผสมผสาน เป็นวิธีการค้นผลเฉลยแบบเฉพาะที่ซึ่งมีกระบวนการทำงานแบบวนซ้ำ (Iterative) เพื่อค้นคำตอบในปริภูมิสถานะ (Search State Space) อื่นที่น่าจะดีกว่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่พอใจโดยเริ่มจากคำตอบเบื้องต้นที่ได้จากการสุ่ม เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับว่าให้ผลเฉลยที่ดี (Kirkpatrick et al., 1983: 671–680; Cerny, 1985: 41-51) กลไกการค้นหาของวิธีการจำลองการอบเหนียวมีวิธีการลู่เข้าสู่ผลเฉลยที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาเอ็นพียาก ในแต่ละรอบของการวนซ้ำในวิธีการจำลองการอบเหนียว จะสร้างผลเฉลยที่คาดว่าจะเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยการใช้ฟังก์ชันการหาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood Function) ที่ออกแบบให้เหมาะสมกับปัญหานั้น ๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของวิธีการนี้ ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับให้เป็นผลเฉลยปัจจุบันหรือไม่นั้น หากผลเฉลยใหม่ดีกว่าผลเฉลยปัจจุบันก็จะถูกยอมรับให้เป็นผลเฉลยปัจจุบันแทน แต่ถ้าผลเฉลยใหม่ไม่ดีกว่าผลเฉลยในปัจจุบันก็อาจจะถูกยอมรับหรือไม่ยอมรับก็ได้ โดยทั่วไปนิยมใช้การพิจารณาการยอมรับคำตอบนั้นบนกฎบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann's Probability: β) กล่าวคือ จะมีการสุ่มตัวเลข β ในช่วง 0 - 1 ขึ้นมาและถ้า $\beta \leq e^{-\Delta C/kT}$ ก็จะยอมรับผลเฉลยใหม่ (เมื่อ ΔC คือ ผลต่างระหว่างค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของผลเฉลยทั้งสอง และ T คือ อุณหภูมิ) (Yu, Lin, Lee, and Ting, 2010: 93)

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เป็นวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นคำตอบเดียวและมุ่งเน้นที่การพัฒนาคำตอบเริ่มต้น โดยเริ่มต้นจากการสร้างคำตอบเริ่มต้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหามาหนึ่งคำตอบ และเมื่อได้คำตอบเบื้องต้นแล้ว จะค่อย ๆ ค้นหาคำตอบอื่นที่อาจดีกว่าจากคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบเบื้องต้น โดยใช้คำตอบเบื้องต้นเป็นหลักมากกว่าที่จะค้นหาคำตอบอื่น ๆ ที่ไม่ใกล้เคียงกับคำตอบเบื้องต้น กล่าวคือ จะค่อย ๆ พัฒนาคำตอบนั้นให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดด้วยกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธี จากการมุ่งเน้นที่การพัฒนาคำตอบเบื้องต้นนี้ จึงทำให้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมีจุดเด่นที่ใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยและได้คำตอบที่ค่อนข้างดี แต่ประเด็นที่ควรคำนึงถึงคือการใช้คำตอบเริ่มต้นเพียงคำตอบเดียวนั้นคือการค้นหาจากคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบเบื้องต้น จึงอาจทำให้ไม่สามารถค้นหาไปถึงคำตอบอื่น ๆ ที่ไม่ใกล้เคียงกับคำตอบเบื้องต้นได้ ดังนั้น กระบวนการสร้างคำตอบเบื้องต้นที่ดีจึงเป็นประเด็นที่สำคัญ เพราะนอกจากจะทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้ว ยังสามารถช่วยประหยัดเวลาในการคำนวณได้อีกด้วย และจากการที่วิธีการนี้มุ่งเน้นที่การพัฒนาคำตอบเบื้องต้น ก็อาจส่งผลให้คำตอบที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทำงานเป็นผลเฉลยหรือคำตอบที่ดีที่สุดแบบเฉพาะที่ (Local Search) แต่คำตอบนั้นก็อาจเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Pongcharoen et al., 2008: 903-918) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม กลไกของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวก็ยังมีเทคนิคที่จะช่วยให้หลุดจากปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะที่และลู่เข้าสู่ผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่ดีที่สุดได้ โดยจะอธิบายในลำดับถัดไป

2.4.1 แนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

การทำงานของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวนั้น ได้เลียนแบบอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการอบเหนียว (Annealing) ที่เป็นแนวคิดทางธรรมชาติจากการทำให้เหล็กที่กำลังร้อนเย็นตัวลง ซึ่งเป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมโลหะเพื่อให้ได้โลหะที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะที่สุด (เหนียวพอดีและไม่เปราะ) นำไปสู่การออกแบบขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว ซึ่งมีจุดเด่นที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ขั้นตอนวิธีนี้ได้รับความสนใจมากมายคือ การที่ขั้นตอนวิธีมีโครงสร้างหรือหลักการทำงานที่ไม่มีความซับซ้อนดังแสดงในรูปที่ 2.18 แต่ยังคงให้คำตอบที่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ และรูปที่ 2.19 ได้แสดงผังขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ



รูปที่ 2.18 ผังขั้นตอนการทำงานอย่างง่ายของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ

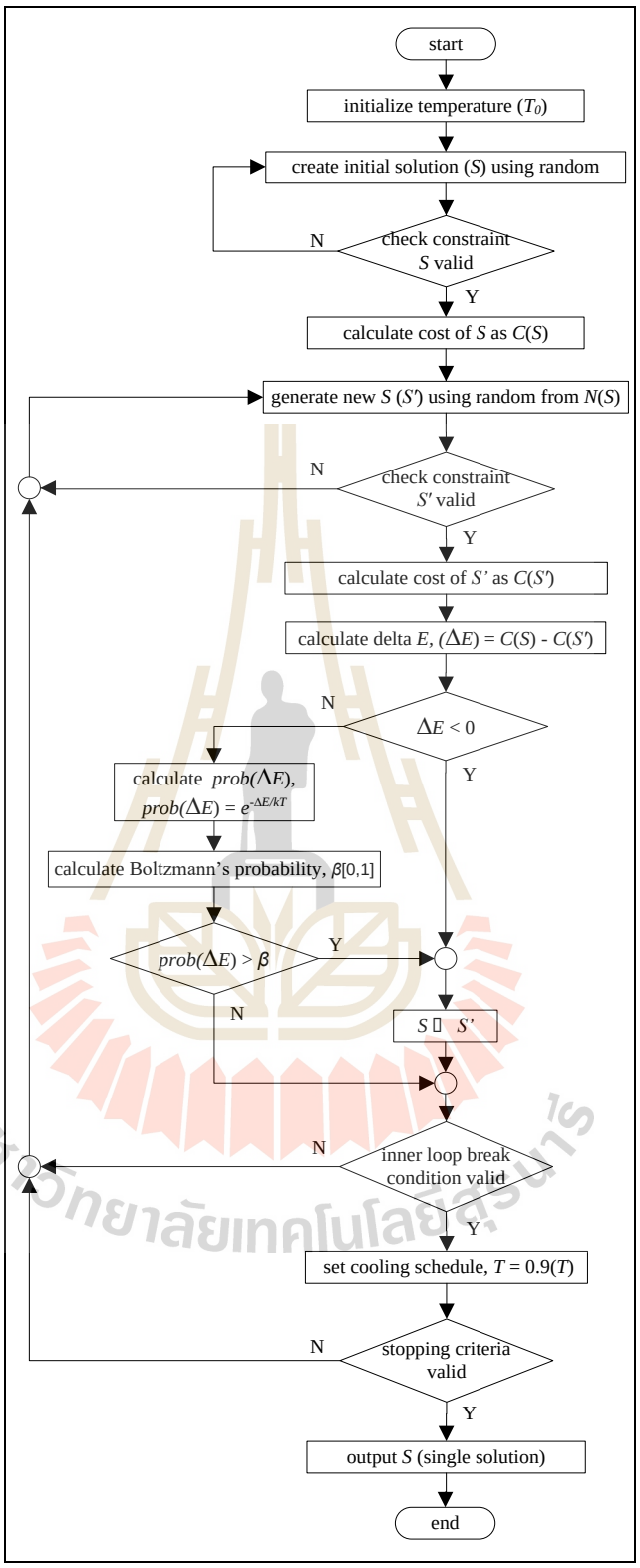
จากรูปที่ 2.18 สามารถอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบในปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด (Minimize Problem) ได้ทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดตารางการอบเหนียวสำหรับพารามิเตอร์ T (ค่าอุณหภูมิ) และตั้งค่าเริ่มต้นของ T_0 ให้มีค่าสูงเพียงพอ (Initialize Parameter)

ขั้นตอนที่ 2: สร้างคำตอบเริ่มต้นหรือคำตอบแรก S โดยการสุ่มเพื่อเป็นคำตอบเบื้องต้น (Create Initial Solution) ให้กับปริภูมิการค้นหา

ขั้นตอนที่ 3: ตรวจสอบว่า S เป็นคำตอบที่เป็นไปได้หรืออยู่ในเงื่อนไขหรือไม่ (Check Constraint S) หากใช่จะคำนวณต้นทุนของ S (Calculate Cost of S: C(S)) แต่หาก S ไม่อยู่ในเงื่อนไขจะวนกลับไปสร้างคำตอบแรก S จนกว่าจะได้ S ที่อยู่ในเงื่อนไข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.19 ผังขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 4: เข้าสู่การปรับปรุงคำตอบ โดยการสร้างคำตอบใหม่ S' จากฟังก์ชันการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Generate new S (S') from Neighbor of S ($N(S)$)) โดยวิธีการสุ่มเพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้อื่นที่อยู่รอบ ๆ S ที่อาจจะเป็นคำตอบที่ดีกว่า

ขั้นตอนที่ 5: เมื่อได้ S'ให้ตรวจสอบว่า S'อยู่ในเงื่อนไขหรือไม่ (Check Constraint S') หากใช่ให้คำนวณ $C(S')$ แต่หาก S' ไม่อยู่ในเงื่อนไขจะวนกลับไปสร้าง S' ใหม่ จนกว่าจะได้ S ที่อยู่ในเงื่อนไข

ขั้นตอนที่ 6: คำนวณหาว่าควรจะใช้ S' เป็นคำตอบหรือสถานะใหม่ของระบบหรือไม่เพื่อที่จะกระจายความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบไป โดยการเปรียบเทียบคำตอบว่า S' ดีกว่า S หรือไม่ ซึ่งได้จากการคำนวณสถานะหรือค่าที่เปลี่ยนไปจากคำตอบปัจจุบัน ใช้สัญลักษณ์ ΔE (Calculate Delta E: ΔE) การคำนวณ ΔE ได้จากสมการที่ 2.4

$$\Delta E = C(S) - C(S') \tag{2.4}$$

โดยที่ ΔE คือ ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง

$C(S)$ คือ ต้นทุนของคำตอบเริ่มต้นหรือคำตอบแรก S

$C(S')$ คือ ต้นทุนของคำตอบใหม่ S'

หาก $\Delta E < 0$ (คำตอบใหม่ดีกว่าคำตอบเก่า) จะปรับปรุงให้ S' เป็นคำตอบของระบบ แต่ถ้า $\Delta E > 0$ (คำตอบใหม่แย่กว่าคำตอบเก่า) นั่นหมายถึง S' ไม่ดีกว่า S ปัจจุบัน การที่จะยอมรับคำตอบใหม่ให้เป็นคำตอบปัจจุบัน จะคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายคำตอบ (Probability of ΔE: $prob(\Delta E)$) ดังสมการที่ 2.5

$$prob(\Delta E) = e^{-\Delta E/kT} \tag{2.5}$$

โดยที่ ΔE คือ ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง

k คือ ค่าที่โบลทซ์มันน์ (Boltzmann Constant: k_B or k)

T คือ อุณหภูมิปัจจุบันของการอบเหนียว

ในการกระจายของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบนั้นขึ้นอยู่กับค่า ΔE และค่า T โดยทั่วไปนิยมใช้กฎบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann's Probability: β) โดยการสุ่มตัวเลข β ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมา เพื่อเปรียบเทียบกับ $prob(\Delta E)$ ถ้า $prob(\Delta E) > \beta$ แล้ว จะให้ S' เป็นคำตอบของระบบ แต่หากไม่ใช่ให้คงคำตอบไว้ที่ S เหมือนเดิม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 7: ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4-6 จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า (Inner Loop Break Condition Valid) ขั้นตอนนี้จะทำให้ระบบมีคำตอบหรือสถานะที่เข้าใกล้คำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่

ขั้นตอนที่ 8: ปรับค่าอุณหภูมิ T ตามฟังก์ชันการลดอุณหภูมิ (Set Cooling Schedule) แล้วเริ่มทำซ้ำขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ (ขั้นตอนที่ 4-6) ทั้งหมดใหม่อีกครั้ง กระบวนการยุติ (ระบบถูกแช่แข็ง) เมื่อค่าอุณหภูมิ T มีค่าเป็น 0 หรือเงื่อนไขการหยุดอื่นเป็นจริง ระบบให้ผลลัพธ์ 1 ผลลัพธ์ (คำตอบ S)

รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการอบเหนียวในปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.20

```
Procedure Simulated Annealing
    S ← Generate initial solution
    T(0) ← Generate initialize temperature
    α← a temperature reduction function
Start from point i
    Evaluate Objective Function f(i)
    k = 0
    Repeat
        s' ← Generate neighbor point j from i
        s ← Accept solution [ T(k), s, s' ]
    if f(j) <= f(i)
        move to point j
        else if exp {f(i) – f(j)} / T(k) > Random (0,1)
        move to point j
            Sbest ← s
        end if
    end if
Update Temperature
    Calculate T(k) = α T(k-1)
    Iteration count k = k+1
Until stop criteria
```

รูปที่ 2.20 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการจำลองอบเหนียวในปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด

2.4.2 พารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

รายละเอียดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องได้รับการตั้งค่าของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Lin, Vincent, and Lu, 2011: 15248) มีดังต่อไปนี้

2.4.2.1 ตารางจัดการการอบเหนียว (Annealing Schedule)

ในความเป็นจริงแล้ว ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวจะขึ้นอยู่กับการเลือกตารางจัดการการอบเหนียว (พารามิเตอร์อุณหภูมิ T) ตารางจัดการการอบเหนียวจะเป็นตัวกำหนดการเคลื่อนที่หรือย้ายคำตอบของระบบในระหว่างการค้นหาให้เหมาะสมกับปริภูมิสถานะการค้นหา หลักในการเลือกตารางจัดการการอบเหนียวที่เหมาะสมคือค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีการอบเหนียวจำลองระบบควรจะสูงพอที่จะหลอมละลายระบบอย่างสมบูรณ์ และในระหว่างขั้นตอนการค้นหาควรจะมีค่าลดลงไปจนถึงจุดเยือกแข็ง การเลือกตารางจัดการการอบเหนียวจึงค่อนข้างเป็นงานที่เฉพาะแล้วแต่ปัญหา ถ้าระบบถูกลดอุณหภูมิลงเร็วเกินไป การลู่เข้าสู่คำตอบอาจจะเร็วเกินไปด้วย ทำให้ระบบลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดแบบเฉพาะที่ ในทางตรงกันข้าม ถ้าระบบมีอุณหภูมิลดลงช้าเกินไป จะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากเกินไปด้วยเช่นกัน จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น การเลือกตารางจัดการการอบเหนียวหลาย ๆ วิธีจึงได้ถูกนำเสนอ ไม่ว่าจะเป็นวิธีการใช้ลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) มาจำกัดในการลดอุณหภูมิ (Isaacson and Madsen, 1976: 115) หรือวิธีการปรับอุณหภูมิจากสจ้วตเจมันและโดนัลด์เจมัน (Geman and Geman, 1984: 732) ดังสมการที่ 2.6

$$T(i) = \frac{T(0)}{\log(1+i)} \quad , i = 1,2, \ldots \tag{2.6}$$

โดยที่ i คือ จำนวนรอบที่กำลังทำซ้ำ

T_i คือ ค่าอุณหภูมิลำดับที่ i

T_0 คือ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่มีค่าเป็นบวก

สำหรับ T_0 ที่เป็นค่าอุณหภูมิเริ่มต้นควรมีค่าเป็นบวกและมากเพียงพอ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวรับประกันว่าจะลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x)$ เมื่อ $i \longrightarrow \infty$ หรือในรูปแบบการลดอุณหภูมิอย่างง่าย ๆ ดังสมการที่ 2.7

$$T(i) = \alpha T(i-1) \tag{2.7}$$

โดยที่ i คือ จำนวนรอบที่กำลังทำซ้ำ

T_i คือ ค่าอุณหภูมิลำดับที่ i

α คือ ค่าคงที่ที่มีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่า 1

การลดค่าอุณหภูมิลักษณะนี้เรียกว่า การลดอุณหภูมิแบบเลขชี้กำลัง (Exponential Cooling Scheme: ECS) นำเสนอครั้งแรกด้วยการใช้ค่า α = 0.95 ส่วนการลดอุณหภูมิแบบเชิงเส้น (Linear Cooling Scheme: LCS) กำหนดการลดค่าอุณหภูมิดังสมการที่ 2.8 ข้อควรระวังของการลดอุณหภูมิแบบเชิง-เส้นคือ ค่าอุณหภูมิสามารถติดลบได้

$$T(i) = T(k-1) - T' \tag{2.8}$$

โดยที่ i คือ จำนวนรอบที่กำลังทำซ้ำ

T_i คือ ค่าอุณหภูมิลำดับที่ i

T' คือ ค่าอุณหภูมิที่ลดลงไปในช่วงจำนวนการวนรอบที่กำหนด

2.4.2.2 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature)

ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น T_0 ที่เหมาะสมจะทำให้ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบหรือสถานะใหม่ของระบบสูงถึง 0.8 กล่าวคือมีโอกาสร้อยละ 80 ที่การเปลี่ยนแปลงของคำตอบหรือสถานะของระบบจะถูกยอมรับ ค่าของ T_0 จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ f ดังนั้น ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นดังกล่าวจึงมีค่าเฉพาะของแต่ละปัญหา

2.4.2.3 ค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Final Temperature)

ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่ไม่ซับซ้อน ค่าอุณหภูมิสุดท้าย T_{final} ของระบบสามารถหาได้จากจำนวนรอบของการทำซ้ำ จำนวนคำตอบใหม่ที่ได้ทั้งหมด หรือจำนวนค่าอุณหภูมิที่ใช้ไป ในการยุติการทำงาน สามารถใช้ค่าอุณหภูมิสุดท้าย T_{final} เป็นเงื่อนไขในการยุติการทำงานของขั้นตอนวิธีได้ นอกจากนี้ ยังสามารถยุติขั้นตอนการทำงานได้เมื่อระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคำตอบหรือสถานะใหม่แล้ว สามารถสรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ

พารามิเตอร์	ความหมายในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ
T	ค่าอุณหภูมิปัจจุบันของการอบเหนียว
T_0	ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อเริ่มการอบเหนียว
T_{final}	ค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการอบเหนียว
T'	ค่าอุณหภูมิที่ลดลงไปในช่วงจำนวนการวนรอบที่กำหนด
S	ค่าพลังงานเบื้องต้น/ค่าพลังงานปัจจุบัน
S'	ค่าพลังงานใหม่ที่ปรับปรุงมาจากค่า S
k	ค่าคงที่โบลทซ์มันน์
i	จำนวนรอบของการลดอุณหภูมิ
C	ต้นทุนในการอบเหนียว/ค่าที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์
α	ค่าคงที่ที่มีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่า 1 ใช้ควบคุมการลดอุณหภูมิ
β	ค่าความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์
e	ค่าคงตัว มีค่าประมาณ 2.71828
ΔE	ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง
$prob(\Delta E)$	ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ

2.4.3 ประเภทของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

สำหรับวิธีการจำลองการอบเหนียวแล้ว ประเด็นสำคัญประการหนึ่งของขั้นตอนวิธีคือ ตารางจัดการการอบเหนียว จะเห็นได้ว่า หากมีการจัดการอุณหภูมิของระบบที่ถูกต้องเหมาะสม ระบบจะสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ กล่าวคือ คำตอบที่ได้จากระบบจะเป็นคำตอบที่มีค่าดีที่สุด ในการวิเคราะห์ศึกษาขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว จึงได้มีผู้พัฒนาตารางจัดการการอบเหนียวในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้ได้กระบวนการอบเหนียวที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ นั่นคือ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบจะต้องรวดเร็วและคำตอบที่ได้จะต้องดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งาน มีงานวิจัยหลายงานพัฒนาขั้นตอนวิธีใหม่ที่ได้จากการประยุกต์จากวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ ซึ่งขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใหม่เหล่านั้นบางขั้นตอนวิธีเกิดจากการรวมกันของประเภทการจำลองการอบเหนียวมากกว่าหนึ่งประเภท หากแยกประเภทขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวตามรูปแบบของตารางการจัดการการอบเหนียวจะได้ทั้งหมด 4 ประเภท โดยรายละเอียดของแต่ละประเภทมีดังนี้

2.4.3.1 การอบเหนียวต้นแบบ (Classical SA/ Simple SA/ Basic SA)

ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบที่ใช้กันทั่วไป (Kirkpatrick et al., 1983) เดิมทีเป็นเพียงขั้นตอนวิธีการของเมโทรโพลิส (Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, A. H. Teller, and E. Teller, 1953: 1089) ที่มีตารางการจัดการอุณหภูมิเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ โดยขั้นตอนวิธีการของเมโทรโพลิสนี้ได้จำลองการเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบที่แปรผัน โดยกระบวนการเย็นตัวจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงนั้นลู่เข้าสู่สภาวะคงที่ หลังจากการนำเสนอดังกล่าว ได้มีผู้พัฒนาและนำขั้นตอนวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่ต่ำสุดหรือสูงสุด จนภายหลังจึงได้รู้จักงานข้างต้นในชื่อของวิธีการจำลองการอบเหนียว ซึ่งเปรียบเสมือนว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว จะค่อย ๆ ลู่เข้าสู่ผลเฉลยที่ดีที่สุดเหมือนในช่วงเวลาการเย็นตัวลงของวัสดุ

2.4.3.2 การอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์ (Boltzmann SA: BSA)

วิธีการจำลองการอบเหนียวที่เป็นที่ยอมรับและนิยมคือ วิธีการอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์ (Szu and Hartley, 1987) โดยวิธีการอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์นี้ คือการกระจายของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบโดยใช้กฎบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ คือจะมีการสุ่มตัวเลข β ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาและถ้า $\beta \leq e^{-\Delta C/kt}$ ก็จะยอมรับผลเฉลยใหม่ ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งคือการเลือกช่วงของพารามิเตอร์ที่จะค้นหา ดังนั้น จึงได้มีการนำเสนอเทคนิคต่าง ๆ ที่จะทำให้สามารถเลือกช่วงการค้นหาพารามิเตอร์ที่แคบลงได้ ผลลัพธ์ที่ได้จะปรากฏในรูปของตารางจัดการการอบเหนียวแบบต่าง ๆ สำหรับวิธีการอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์ที่ซึ่งสามารถพิจารณาฟังก์ชันพลังงานในรูปการกระจายแบบโบลทซ์มันน์ (Boltzmann Distribution) ได้นั้น การจัดการอุณหภูมิของการอบเหนียวจะอยู่ในรูปลอการิทึม (Logarithm) หรือในบางครั้งก็มีการใช้ในรูปของเลขชี้กำลังแทนรูปลอการิทึม ซึ่งเงื่อนไขของการปรับอุณหภูมินี้เป็นสิ่งที่ทำให้ขั้นตอนวิธีการอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันแต่ได้ผลดี เนื่องจากสามารถนำไปปรับใช้ในรูปแบบปัญหาที่หลากหลายได้เป็นอย่างดี ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวแบบต่าง ๆ จึงได้ถูกนำเสนอเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบตามแบบดังกล่าว

2.4.3.3 การอบเหนียวแบบเร็ว (Fast SA: FSA)

มีงานวิจัยมากมายที่เน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของวิธีการจำลองการอบเหนียวให้ดีขึ้น ในงานของซูและฮาร์ทลี่ (Szu and Hartley, 1987) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวในรูปการกระจายของพลังงานแบบคัวชี (Cauchy Distribution) เป็นขั้นตอนวิธีที่เน้นการค้นหาในครึ่งหนึ่งของปริภูมิการค้นหาเฉพาะที่ (Semi-Local Search Algorithm) มีการบันทึกว่า การกระจายแบบคัวชีมีข้อได้เปรียบเหนือการกระจายแบบโบลทซ์มันน์

แบบเลขชี้กำลัง เพราะบางครั้งสามารถเปลี่ยนปริภูมิสถานะการค้นหาหรือกระโดดได้ไกล (Very Long Jumps) เพื่อออกจากปัญหาคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ ทำให้สามารถหลุดจากการติดอยู่ที่คำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ได้เร็วกว่าการอบเหนียวแบบโบลทซ์มันน์ นำไปสู่การปรับอุณหภูมิของระบบตามความสัมพันธ์ $T_k = T_0 / k$ แต่ทั้งนี้ ตารางการจัดการอุณหภูมิการอบเหนียวที่มีการปรับอย่างเร็วนี้ ส่วนใหญ่เหมาะสำหรับปัญหาที่มีปริภูมิขนาดใหญ่มาก เพราะจะทำให้การค้นหาในปริภูมิการค้นหาครอบคลุมได้เร็ว แต่ในขณะเดียวกัน อาจไม่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างละเอียดเพียงพอ จนทำให้บางครั้งคำตอบที่ได้ไม่ดีพอต่อการนำไปใช้งาน (Yao, 1995: 166)

2.4.3.4 การอบเหนียวจำลองเชิงปรับตัว (Adaptive SA: ASA)

การอบเหนียวจำลองเชิงปรับตัว เป็นขั้นตอนวิธีที่พัฒนาต่อจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวแบบความเร็วสูง (Very Fast Simulated Reannealing: VFSR) (Ingber, 1993: 30) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การอบเหนียวจำลองเชิงปรับตัวเป็นวิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดที่ใช้หลักการสุ่มในปริภูมิของพารามิเตอร์ ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีการจำลองการอบเหนียวอื่น ๆ ตรงที่พารามิเตอร์แต่ละตัวจะมีตารางการปรับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่า มีผู้นำเอาวิธีการจำลองการอบเหนียวมาปรับปรุงให้เป็นขั้นตอนวิธีในหลายรูปแบบ โดยมีจุดประสงค์หลักคือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ซึ่งวิธีการจำลองการอบเหนียวแบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นนั้นมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกันในหลาย ๆ งาน วิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบหรือแบบพื้นฐานก็เพียงพอต่อการใช้งานแล้ว อีกหนึ่งวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวก็คือ การค้นหาวิธีการเพื่อที่จะปรับตารางการจัดการอุณหภูมิให้เหมาะสมสำหรับปริภูมิสถานะการค้นหาที่มีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละขนาดของปัญหา ทั้งเพื่อการค้นหาคำตอบเฉพาะที่และคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทางออกก็คือ การพัฒนาขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่มีความเหมาะสมสำหรับรูปแบบปัญหานั้น ๆ โดยเฉพาะ

สำหรับการนำแนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาปรับใช้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่มีรูปแบบปัญหาคือ เป็นการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ในระนาบสองมิติ สิ่งที่ต้องการหาคือ เส้นทางที่ดีที่สุด (ดีที่สุดอาจหมายถึง สั้นที่สุด เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือเยี่ยมสถานที่ได้มากที่สุด) ที่ผ่านสถานที่ทุก ๆ สถานที่ สถานที่ละหนึ่งครั้ง แล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นโดยการวางแผนการเดินทางนั้น ต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการวางแผนการเดินทาง ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเป็นปัญหาย่อยหนึ่งที่อยู่ในปัญหาการวางแผนการเดินทางที่จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเชิงผสมผสาน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีใครพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบสมบูรณ์ (Complete Algorithm) ที่ประมวลผลแล้วให้แผนการเดินทางที่ดีที่สุดสำหรับทุก ๆ

กรณีตัวอย่าง (Instances) ของปัญหาได้ในเวลาที่เป็นพหุนาม อย่างไรก็ตาม ยังสามารถใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวหาแผนการเดินทางที่ดี ๆ ในเวลาที่ยอมรับได้

ในกรณีที่นำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว สามารถเปรียบเส้นทางการเดินทางที่หาได้ปัจจุบันเสมือนกับเป็นสถานะปัจจุบันของโครงสร้างโลหะในระบบ เปรียบความยาวของเส้นทางเสมือนพลังงานของโครงสร้างของโลหะ และเปรียบการทำงานแบบวนซ้ำเสมือนกับการค่อย ๆ ลดอุณหภูมิลงเรื่อย ๆ ระหว่างการอบเหนียว ในวงวนการทำงานนั้นจะประกอบด้วยการสร้างเส้นทางใหม่โดยการปรับเปลี่ยนเส้นทางปัจจุบัน จากนั้นตัดสินใจว่าจะยอมรับเส้นทางใหม่ที่หาได้หรือไม่ ซึ่งเปรียบเสมือนกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะระหว่างการอบเหนียว

ในการตัดสินใจยอมรับเส้นทางใหม่ที่ถือว่าเป็นประเด็นสำคัญ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่าจะมีการยอมรับโครงสร้างใหม่เสมอถ้าดีกว่า แต่ถ้าแย่ลงก็อาจจะยอมรับภายใต้ความน่าจะเป็นซึ่งแปรตามอุณหภูมิขณะนั้นในรูปแบบ $e^{-\Delta E/kT}$ สำหรับกรณีปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้น จะยอมรับเส้นทางใหม่ที่หาได้เสมอถ้าเส้นทางใหม่นั้นดีกว่า แต่ถ้าแย่กว่าก็อาจจะยอมรับภายใต้ความน่าจะเป็นในลักษณะเดียวกัน โดยในระยะแรกของการวนซ้ำ (เมื่อพารามิเตอร์อุณหภูมิ T สูง) ระบบจะยอมรับเส้นทางที่แย่กว่าได้ง่าย แต่จะยอมรับเส้นทางที่แย่กว่ายากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิ T ลดลง และยอมรับเส้นทางที่แย่กว่าน้อยได้ง่ายกว่าที่แย่กว่ามาก การวนซ้ำจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็ง

จากที่กล่าวมาข้างต้น พอจะสรุปลักษณะเด่นของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวได้ 2 ประการ ดังนี้ ประการที่ 1 คือ การที่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการตกอยู่ในผลเฉลยที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขแต่มีค่าผลเฉลยที่ไม่ดี (Poor Feasible Solution) ได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ผลเฉลยที่ได้อยู่ห่างจากค่าเหมาะที่สุด เรียกปัญหานี้ว่า ค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ ซึ่งขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวจะแก้ปัญหาโดยอนุญาตให้ขั้นตอนวิธีกระโดดออกจากจุดเหมาะที่สุดเฉพาะที่ด้วยความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในขณะนั้น และลักษณะเด่นประการที่ 2 คือ การลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุด (Convergence to Optimal Solution) โดยขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวนี้ เมื่อจำนวนรอบการกระทำซ้ำในการหาผลเฉลยเพิ่มมากขึ้น ผลเฉลยที่ได้ในปัจจุบันจะค่อย ๆ ลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุดโดยอาศัยพื้นฐานทฤษฎีความน่าจะเป็น

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยังเหมาะกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีโอกาสได้ผลเฉลยหรือคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ค่อนข้างมาก ยกตัวอย่างปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ที่ต้องการแผนการเดินทางที่ประกอบด้วยสถานที่ครบหรือหลายแห่งมากที่สุดตามที่ผู้ใช้ระบุ สมมติให้เป็นการวางแผนการเดินทางที่มีสถานที่จำนวน 10 แห่งไม่รวม

จุดเริ่มต้น จะมีรูปแบบที่เป็นไปได้ในการเดินทางทั้งหมด 9,864,100 รูปแบบ และมีรูปแบบการเดินทางที่ถือว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาในงานวิจัยนี้ (เดินทางได้ครบ 10 แห่ง) จำนวน 3,083,518 รูปแบบ เหลือคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ถึง 6,780,582 รูปแบบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ในการแก้ปัญหาครั้งนี้มีโอกาสได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่คิดเป็นกว่าร้อยละ 68.74 (Liao, Yau, and Chen, 2012)

มีงานวิจัยหลายงานได้สรุปไว้ว่า ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเป็นขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง เนื่องจากเป็นขั้นตอนวิธีที่มีโอกาสได้คำตอบที่เป็นค่าที่ดีที่สุดในเวลาคำนวณที่สามารถยอมรับได้ และยังเป็นวิธีที่ใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อย มีขั้นตอนการทำงานที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เห็นได้จากที่ได้นำเสนอในข้างต้นที่หากเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะพบว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถึงแม้จะได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในหลาย ๆ แขนงวิชา แต่ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ผสมผสานกับวิธีการอื่น และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมยังมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่า ในขณะที่แนวความคิดไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว และถึงแม้การใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่เป็นวิธีการที่ใช้คำตอบเริ่มต้นคำตอบเดียว อาจส่งผลให้บางครั้งใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าขั้นตอนวิธีในกลุ่มเมตาฮิวริสติกบางขั้นตอนวิธีที่ใช้คำตอบเริ่มต้นหลายคำตอบ แต่สุดท้ายแล้วคำตอบที่ได้มักจะดีกว่า ซึ่งคำตอบในที่นี้คือแผนการเดินทางที่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานที่ย่อมเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด

นอกจากนี้ ในการที่ขั้นตอนวิธีนี้มีคุณสมบัติที่สามารถปรับพารามิเตอร์ในการค้นหาเมื่อปริภูมิสถานะมีความแตกต่างกัน ก็จะช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างการพัฒนาคำตอบเบื้องต้นและการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมในวงกว้างได้ อีกทั้งยังมีความเหมาะสมกับรูปแบบปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ที่ต้องการแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางครบหรือมากแห่งที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาเพื่อนำเสนอต่อนักท่องเที่ยว และสามารถปรับบางกระบวนการในการแก้ปัญหาในขั้นตอนวิธี ซึ่งน่าจะช่วยให้คำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดและอาจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดก็ได้

ยิ่งไปกว่านั้น จากรูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้ที่พอจะทราบได้ว่า คำตอบที่ดีที่สุดคือแผนการเดินทางที่ประกอบไปด้วยจำนวนสถานที่ครบทุกแห่งตามที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งหากมองคำตอบให้อยู่ในลักษณะของแผนภูมิต้นไม้ คำตอบที่ดีที่สุดนี้จะอยู่ที่โหนดล่างสุด ซึ่งขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเป็นขั้นตอนวิธีที่เริ่มค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบเบื้องต้นคำตอบเดียว ซึ่งก็คือการมุ่งเน้นค้นหาคำตอบลงไปในแนวดิ่ง แตกต่างจากบางขั้นตอนวิธีที่ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบเบื้องต้นหลายคำตอบ ซึ่งวิธีนั้นจะเป็นการค้นหาตามแนวกว้าง เน้นคำตอบที่อาจเกิดจากลักษณะที่หลากหลาย จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า หากใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่มุ่งเน้นการค้นหาคำตอบในแนวลึกมาแก้ปัญหานี้ ก็น่าจะทำให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดได้เร็วกว่าขั้นตอนวิธีที่มุ่งเน้นค้นหาในคำตอบในแนวกว้าง

สำหรับงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวกับการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง ดังเช่นในงานวิจัยของเทียน หม่า และซาง (Tian, Ma, and Zhang, 1999: 91-93) ยืนยันว่า การใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวกับปัญหาการวางแผนการเดินทางและปัญหาการตัดสินใจ ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหล (Flow Shop Scheduling Problem: FSP) และปัญหาการจัดสรรงานกำลังสอง (QAP) ได้ผลดี นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาเชิงผสมผสานในหลายปัญหาที่มีความแตกต่างกัน (Different CO Problems) งานวิจัยของจียอน คิม คิม ชิน และลี (Jeon, Kim, Kim, Shin, and Lee, 2002: 1076) ยืนยันว่า ขั้นตอน-วิธีการจำลองการอบเหนียวสามารถใช้ได้ผลดีในการแก้ปัญหาเชิงผสมผสานที่มีขนาดใหญ่ (Large CO Problems) และงานวิจัยของอาร์ทและคณะ (Aarts, et al., 2005: 207) ยืนยันว่า ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเชิงผสมผสาน ดังนั้น ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ที่ต้องการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงเส้นทางที่สามารถไปเยี่ยมสถานที่ได้ครบทุกแห่งหรือมากแห่งที่สุดภายในเงื่อนไขด้านเวลา

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยจำแนกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย และงานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ

ปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ คือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเส้นทางการขนส่งที่ใช้ยานพาหนะในการขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เส้นทางการเดินทางขนส่งที่สามารถจัดส่งสินค้าตามที่ลูกค้าต้องการ โดยที่ต้นทุนการขนส่งและกระจายสินค้าต่ำที่สุด ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะมีลักษณะเฉพาะแล้วแต่เงื่อนไขของปัญหาทำให้เกิดรูปแบบย่อยตามเงื่อนไขของปัญหาแตกต่างกันมากมาย มีงานวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งตามวัตถุประสงค์ที่หลากหลายแตกต่างกัน โดยรายละเอียดดังนี้

บูท ซิสท์ล่า วอล์ฟสัน และครูซ (Booth, Sistla, Wolfson, and Cruz, 2009) ได้นำแบบจำลองข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Data Model: RDM) มาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนวิธีสำหรับการวางแผนการเดินทางด้วยการขนส่งสาธารณะหลายประเภทรวมกัน เช่น รถขนส่งสาธารณะ คนเดินเท้า และรถไฟ ฯลฯ โดยแสดงแบบจำลองนั้นในลักษณะของกราฟซึ่งรองรับการขนส่งแบบตามลำดับ เช่น ไปโดยรถขนส่งสาธารณะ แล้วต่อด้วยรถไฟใต้ดิน และเดินทางต่อด้วยเครื่องบิน ฯลฯ คณะผู้วิจัยใช้ภาษาสอบถามเอสทีคิวแอล (Spatio-Temporal Query Language: STQL) ในการใช้สอบถามข้อมูล (Query) เพื่อสร้างแผนการเดินทาง รวมถึงได้ทำการแบ่งชนิดการขนส่งและประเภทของการเดินทางเพื่อสร้างความสัมพันธ์ให้กับแบบจำลองข้อมูลนั้น

ซานโตส คัวทินโฮ-โรดริกิวส์ และเคอร์เรนท์ (Santos, Coutinho-Rodrigues, and Current, 2010) ศึกษาการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนเส้นทางการขนส่งกรณีที่รถแต่ละคันมีข้อจำกัดด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้และรถแต่ละคันมีข้อจำกัดไม่เหมือนหรือไม่เท่ากัน หรือที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อปัญหาซีเออาร์พี (The Capacitated Arc Routing Problem: CARP) เช่น การเก็บขยะตามบ้านและการส่งจดหมาย โดยมีเงื่อนไขคือ แต่ละเส้นทางที่มีปริมาณความต้องการจะได้รับการบริการจากรถบรรทุกเพียงคันเดียว แต่ละเส้นทางต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า และผลรวมค่าใช้จ่ายบนเส้นทางต้องลดลง สำหรับการแก้ปัญหาซีเออาร์พีด้วยวิธีอาณานิคมมด (Ant - CARP) ในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการหาคำตอบโดยเริ่มต้นจากการเลือกเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกแบบสุ่ม (Random Arc Selection: RS) ด้วยการพิจารณาเงื่อนไขความสามารถในการรับน้ำหนักของรถ จากนั้นปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นด้วยวิธีค้นผลเฉลยเฉพาะที่ แล้วอัพเดทฟีโรโมนเฉพาะคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น ทำการวนซ้ำกระบวนการหาคำตอบจนพบเงื่อนไขการหยุด ในการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาซีเออาร์พีด้วยวิธีอาณานิคมมดกับวิธีเมตาฮิวริสติกอีก 5 วิธี ได้แก่ วิธีค้นหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่แบบมีการนำทาง (Guided Local Search: GLS) วิธีการเชิงพันธุกรรมต้นแบบ วิธีอาณานิคมมด วิธีการค้นหาแบบทาบู และวิธีการค้นหาข้างเคียงด้วยตัวแปร (Variable Neighborhood Search: VNS) ผลการทดสอบพบว่า การแก้ปัญหาซีเออาร์พีด้วยวิธีอาณานิคมมดที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีทั้งในด้านคำตอบและด้านเวลาคำนวณที่เหมาะสม

ทาวัคโคลิ-มอกฮัดดัม กาแซนฟารี อลินาเงียน ซาลามัทแบคฮ์ และโนเราซิ (Tavakkoli-Moghaddam, Gazanfari, Alinaghian, Salamatbakhsh, and Norouzi, 2011) วิจัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาที่ต้องพิจารณาเงื่อนไขเปรียบเทียบ (Competitive Vehicle Routing Problem with Time Windows: CVRPTW) โดยนำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวไปประยุกต์เป็นแนวทางในการแก้ปัญหานี้ สำหรับปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นส่วนขยายของปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRPTW) เพื่อหา

เส้นทางที่สั้นที่มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำและการขายสูง โดยที่ยังสามารถให้บริการที่ดีแก่ลูกค้าก่อนที่ลูกค้าจะตอบรับผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายโดยคู่แข่งคนอื่น ๆ โดยมุ่งเน้นที่การจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ลูกค้ามีความต้องการสูง ดังนั้น เงื่อนไขเวลาจะมีอิทธิพลต่อจำนวนสินค้าที่จะขายได้เป็นอย่างมาก ซึ่งปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งต้นแบบ (VRP) ไม่ได้คำนึงถึงส่วนนี้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่เพื่อปัญหานี้โดยเฉพาะ และนำแนวทางของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหา ในการทดลอง สำหรับปัญหาขนาดเล็กจะถูกทดลองในโปรแกรมลิงโก (Lingo 8.0) และสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ได้ใช้ชุดข้อมูลมาตรฐานโซโลมอน (Solomon's Benchmark) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ในเวลาที่สมเหตุสมผล

หวัง ไซ สุ และหลิน (Wang, Tsai, Su, and Lin, 2012) ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับการขนส่งที่คำนึงถึงต้นทุนที่มีประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้คือ การกำหนดเส้นทางรถที่มีสถานีเดียวและลูกค้าหลายคน ในการศึกษาครั้งนี้ได้แยกสถานีออกจากลูกค้าที่หลากหลายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะพิจารณาการขนส่ง อัตราการอยู่รอด และการจำแนกประเภทต้นทุนของผลิตภัณฑ์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวถูกนำมาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกการขนส่งยานพาหนะของลูกค้าที่มีความหลากหลายในปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะบนการเลือกผู้ให้บริการและการมีปฏิสัมพันธ์ของพวกเขา ตัวแบบที่นำเสนอถูกนำไปใช้กับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับหลายต้นทุน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของตัวแบบสำหรับการแก้ปัญหาในการขนส่งสินค้าที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการนำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวไปประยุกต์ใช้

หวังและเชน (Wang and Chen, 2012) ประยุกต์วิธีการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดส่งสินค้าที่มีการจัดส่งพร้อมกันภายใต้เงื่อนไขด้านเวลา (Simultaneous Delivery and Pickup Problem with Time Windows: SDPPTW) รูปแบบของคำตอบอยู่ในรูปแบบของทวิภาค (Binary) ผสมกับแบบจำนวนเต็ม ใช้วิธีการจัดแบบแทรก (Insertion Heuristic) เมื่อถูกที่สุด ในการเพิ่มความเร็วในกระบวนการค้นหาผลเฉลย เนื่องจากเป็นปัญหาที่ยังไม่มีชุดข้อมูลทดสอบที่เป็นมาตรฐาน ในการทดสอบจึงใช้ชุดข้อมูลทดสอบของโซโลมอนที่พัฒนาสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา ใช้ซอฟต์แวร์ซีเพล็กซ์ (Cplex Software) ในการดำเนินงาน (Run) และทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีการเชิงพันธุกรรมต้นแบบ (Classical GA) ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นในระยะเวลาการคำนวณที่น้อยลง

พนาวัลย์ อยู่เจริญ และกฤษดา อัศวรุ่งแสงสกุล (ตุลาคม 2556) นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา และประยุกต์ขั้นตอนวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลานี้ จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในประเด็นด้านความสามารถในการนำไปใช้งานได้ของคำตอบ โดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับคำตอบที่ดีที่สุด ในการทดสอบ ได้ใช้ชุดข้อมูลทดสอบของโซโลมอน แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ขนาดคือ ปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลาง มีคลังสินค้า 1 แห่ง และลูกค้าตั้งแต่ 25-50 ราย ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นใช้ได้ดีกับปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลางบางปัญหา เนื่องมาจากกรอบเวลาที่มีความซับซ้อนทำให้การค้นหาคำตอบในปัญหาขนาดกลางทำได้ค่อนข้างยาก

อรประไพ จำรุพัฒน์ และปวีณา เชาวลิตวงศ์ (2556) ได้พัฒนาวิธีเมตา-ฮิวริสติกสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing: OVR) ที่ต้องมีการรับและส่งสินค้าภายใต้กรอบเวลากำหนดการส่งมอบและข้อจำกัดความจุในการบรรทุกของรถขนส่งเพื่อให้ได้ระยะทางขนส่งรวมที่สั้นที่สุด โดยวิธีเมตาฮิวริสติกที่นำมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้คือการจัดแบบแทรกงาน ในการทดสอบฮิวริสติกกับปัญหาตัวอย่างพบว่า เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอกับวิธีการหาโหนดที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor) พบว่า การจัดเส้นทางเดินรถแบบที่เสนอให้คำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 6.51 และผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าต้นทุนที่ต่ำกว่าในทุกลักษณะของตัวอย่างการขนส่ง

บาโนส ออเทกา กิล เฟอร์นันเดซ และเดอโทโร (Banos, Ortega, Gil, Fernandez, and De Toro, 2013) นำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์ใช้เป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาแบบมีวัตถุประสงค์หลายอย่าง (Multi-Objective VRPTW) วัตถุประสงค์ของปัญหานี้คือ เพื่อช่วยลดระยะทางและความไม่สมดุลของเส้นทางขนส่งใน 2 แง่มุม ได้แก่ ความไม่สมดุลของเส้นทางในการขนส่งของยานพาหนะ และความไม่สมดุลในน้ำหนักที่ได้จัดส่งของยานพาหนะนั้น ๆ ในงานวิจัยได้ปรับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวให้มีหลายอุณหภูมิ เพื่อให้สามารถปรับเข้ากับปัญหาที่มีหลายเงื่อนไขและมีวัตถุประสงค์หลายอย่างนี้ได้โดยที่ผลเฉลยต้องเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดอย่างแท้จริงหรือที่เรียกว่า ผลเฉลยพาเรโตที่แท้จริง และจะต้องเป็นคำตอบที่มีความหลากหลายด้วย เรียกวิธีนี้ว่า เอ็มทีพีเอสเอ (the Multiple Temperature Pareto Simulated Annealing: MT-PSA) ในการประเมิน ได้ทำการประเมินเวอร์ชันตามลำดับ (The Sequential Versions) ของวิธีเอ็มทีพีเอสเอเปรียบเทียบกับเวอร์ชันตามลำดับของขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการพาเรโตแข็งแรงแบบ 2 หรือเอสพีอีเอ2 (Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2: SPEA2) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลเฉลยส่วนใหญ่ของขั้นตอนวิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าเอสพีอีเอ2 ทั้งในแง่ของคำตอบและเวลาในการคำนวณ

หลวง ซาง ซาง หัว และหลิม (Leung, Zhang, Zhang, Hua, and Lim, 2013) นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดในการบรรทุกแบบสองมิติ (Two-Dimensional Loading Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem: 2L-HFVRP) ซึ่งเป็นปัญหาที่แตกต่างจากปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งแบบดั้งเดิม เนื่องจากการที่มีรถขนส่งหลายขนาดไว้คอยให้บริการแก่ลูกค้า โดยในมิติที่ 1 ประกอบด้วย รถขนส่งที่มีขนาดบรรจุและต้นทุนการดำเนินงานที่ต่างกัน ส่วนในมิติที่ 2 ได้เพิ่มข้อจำกัดด้านน้ำหนักในการบรรจุของการขนส่งแต่ละครั้งเข้าไปด้วย วัตถุประสงค์หลักของการแก้ไขปัญหานี้คือ จัดเส้นทางเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ในการศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาผลเฉลย ผู้วิจัยได้นำวิธีการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบฮิวริสติก (Simulated Annealing with Heuristic Local Search: SA_HLS) และในส่วนของการค้นหาพิเศษนี้ได้ถูกต่อยอดไปใช้กับการรวบรวมวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในกระบวนการบรรจุสินค้า (Collection of Packing Heuristics) เพื่อแก้ปัญหาเรื่องข้อจำกัดด้านน้ำหนักบรรจุของปัญหานี้ ในการเพิ่มความเร็วในกระบวนการค้นหา ผู้วิจัยได้นำเทคนิคโครงสร้างข้อมูลมาใช้ในการบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ในการโหลดสินค้าร่วมด้วย การทดสอบประสิทธิผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาได้ถูกทดสอบกับกรณีตัวอย่างมาตรฐาน (Benchmark Instance) ที่เกิดจากปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งที่คำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกแบบสองมิติ (Two-Dimensional Loading Vehicle Routing Problem: 2L-CVRP) นอกจากนี้ ยังได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับแบบจำลองอื่นในปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งที่คำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกแบบสองมิติทั้งหมด 3 แบบจำลอง และเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีที่ใช้กับปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดในการบรรทุก (HFVRP) อีก 4 ขั้นตอนวิธี

เบลไฮซา ฮันเซ่น และลาพอเต้ (Belhaiza, Hansen, and Laporte, 2014) ได้นำเสนองานวิจัยการค้นหาแบบฮิวริสติกที่ใช้ตัวแปรแบบผสม (Hybrid) แบบใหม่ของการค้นหาในฟังก์ชันการหาคำตอบใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูสำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางยานพาหนะแบบมีหลายกรอบเวลา (VRP with Multiple Time Windows: VRPMTW) นอกจากนี้ ยังได้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการหาเวลาขั้นต่ำสุดที่สามารถล่าช้าได้ในลักษณะย้อนกลับ (Minimum Backward Time Slack Algorithm) ที่สามารถใช้ได้กับสภาพแวดล้อมของการรับส่งแบบมีหลายกรอบเวลานี้ ขั้นตอนวิธีได้บันทึกเวลารอคอยขั้นต่ำและเวลาล่าช้าขั้นต่ำในระหว่างการสร้างเส้นทาง และได้ปรับเวลาที่เดินทางมาถึงและเวลาการออกเดินทางในลักษณะย้อนกลับ ผลการทดลองเปรียบเทียบในส่วนของเวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับการค้นหาเส้นทางการเดินทางแบบมี

หลายกรอบเวลาของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอกับขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีที่เสนอให้คำตอบที่ดีกว่า

ลีส์การ์ด และวอร์ค (Lysgaard and Wohlk, 2014) ศึกษาปัญหาการวางแผนการเดินทางเดินรถขนส่งแบบที่สามารถสะสมน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ได้ (Cumulative Capacitated VRP: CCVRP) ซึ่งจัดเป็นรูปแบบหนึ่งที่รู้จักกันดีของปัญหาการวางแผนการเดินทางเดินรถที่มีข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่ง (Capacitated VRP: CVRP) โดยวัตถุประสงค์ดั้งเดิมของการแก้ไขปัญหาในลักษณะนี้คือ การลดระยะทางทั้งหมดหรือระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางให้น้อยที่สุด แต่ในบทความนี้ได้ใช้วิธีการลดผลรวมของเวลาที่เดินทางถึงลูกค้าแทน โดยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีที่ประยุกต์จากวิธีการแตกกิ่งและเพิ่มระนาบตัด (Branch-and-Cut-and-Price Algorithm) สำหรับการค้นหาผลเฉลยที่มีค่าเหมาะสม ขั้นตอนวิธีที่ผู้วิจัยได้เผยแพร่ในครั้งนี้ เป็นครั้งแรกที่นำขั้นตอนวิธีแบบแม่นตรงมาใช้กับปัญหาการวางแผนการเดินทางเดินรถขนส่งแบบที่สามารถสะสมน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ ในบทความได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของปัญหาการวางแผนการเดินทางเดินรถที่มีข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่ง และได้ดำเนินการตรวจสอบถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อปรับจำนวนของรถขนส่งอีกด้วย

2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย

ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) เป็นรูปแบบปัญหาหนึ่งที่ต้องการค้นหาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดจากโอกาสที่เกิดได้ทั้งหมด โดยแผนการเดินทางนั้นต้องเป็นเส้นทางที่สามารถเดินทางไปเยือนเมืองทุกเมืองที่กำหนดเมืองละหนึ่งครั้ง และเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นที่ออกเดินทางเหมือนการเดินวนรอบต่อเนื่องกันไปจนผ่านครบทุกเมือง ในการเดินทางจะไม่ย้อนกลับไปในเส้นทางเดิมที่ผ่านมา และเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางมักเป็นเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำที่สุด (ต้นทุนต่ำที่สุดอาจหมายถึง ใช้ระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ใช้ระยะทางสั้นที่สุด) ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย และมีงานวิจัยที่มุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในการหาคำตอบให้ดีและเร็วโดยการประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการที่หลากหลายแตกต่างกัน สำหรับการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย มีรายละเอียดดังนี้

เทียน หม่า และซาง (Tian, Ma, and Zhang, 1999) วิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวในการแก้ปัญหาเชิงผสมผสานที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ในการวิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การสร้างกลไกของการแก้ปัญหาโดยได้ปรับกระบวนการในการสุ่มของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว 6 ประเภท และได้นำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่ปรับรูปแบบนี้ไปใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางและปัญหาการตัดสินใจ ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหล และปัญหาการจัดสรรงานกำลัง

สอง จากการประเมินผลการทดลองพบว่า หากมีการปรับรูปแบบการสุ่มที่เหมาะสม จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ฟางและคณะ (Fang, Chen, and Liu, 2007) ได้ปรับปรุงข้อบกพร่องของขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบพื้นฐานที่มักติดอยู่ในผลเฉลยเฉพาะที่ งานวิจัยนำเสนอขั้นตอนวิธีแบบผสม (Hybrid Algorithm) โดยประยุกต์ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคขั้นสูง (Advanced PSO Algorithm) ร่วมกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว และได้ใช้ขั้นตอนวิธีใหม่นี้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย หัวใจหลักของขั้นตอนวิธีที่นำเสนออยู่บนพื้นฐานของขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ในส่วนของการประยุกต์จากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวได้ใช้ในกระบวนการชะลอความเสื่อม (Degeneration) ของการจับกลุ่มอนุภาคและเพิ่มความหลากหลายของกลุ่ม การทดลองเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธีที่นำเสนอคือ ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (PSO-SA) เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ (Classical SA) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมต้นแบบ (Classical GA) และขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดต้นแบบ (Classical ACO) ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ผลการทดสอบปรากฏว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีอื่น

ฮัสซินและไคนัน (Hassin and Keinan, 2008) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย โดยนำขั้นตอนวิธีแบบละโมบมาประยุกต์ใช้ ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาจะพิจารณาตัวแปรบางตัวแปรเพื่อเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำสุด การทดสอบได้ทดสอบกับสถานที่จำนวน 6 สถานที่ กับชุดทดสอบปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย (TSP Library: TSPLIB) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาช่วยลดข้อผิดพลาดในการวางแผนเส้นทางได้ในหลายกรณีอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

มารินาคิส และมารินากิ (Marinakis and Marinaki, 2010) ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีแบบผสมที่นำวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค การค้นหาแบบละโมบเชิงปรับตัวแบบสุ่ม (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure: GRASP) และการค้นหาแบบขยายไปยังการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียง (Expanding Neighborhood Search: ENS) มาประยุกต์ร่วมกันเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายเชิงน่าจะเป็น (The Probabilistic Traveling Salesman Problem: PTSP) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายและเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญแบบเส้นทางสุ่ม ในการทดสอบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ คณะผู้วิจัยได้นำชุดทดสอบปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายซึ่งเป็นชุดโปรแกรม (Library) มาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ทดสอบกับขั้นตอนวิธีที่นำมาแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย

โดยทดสอบเปรียบเทียบกับ 3 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบละโมบเชิงปรับตัวแบบสุ่มต้นแบบ (Classical GRASP) ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคต้นแบบ (Classical PSO) และขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู ผลการทดสอบพบว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ นอกจากนี้ยังดำเนินการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด ผลการทดสอบพบว่า ขั้นตอนวิธีที่เสนอให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดใน 13 กรณีตัวอย่าง (Instance) จาก 20 กรณีตัวอย่าง

เชนและเชียน (Chen and Chien, 2011a) พัฒนาวิธีการใหม่ที่เรียกว่าระบบอาณานิคมมดพันธุกรรมแบบขนาน (Parallelized Genetic Ant Colony System: PGACS) สำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย วิธีการที่เสนอเป็นขั้นตอนวิธีแบบผสมที่มีการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประยุกต์ร่วมกับขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด โดยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในส่วนของกระบวนการสลับสายพันธุ์แบบใหม่ และกระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครโมโซมแบบผสม (Hybrid) จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอกับชุดทดสอบของปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า วิธีการระบบอาณานิคมมดพันธุกรรมแบบขนานที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีของ ชู ร้อดดิก และแพน (Chu, Roddick, and Pan, 2004) ที่ใช้ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดเพียงเทคนิคเดียว จากนั้นได้มีการพัฒนาต่อยอดโดยพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมที่ใช้แนวทางจาก 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด และขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคนำมาประยุกต์ (Chen and Chien, 2011b: 14439-14450) เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ในการทดลองได้ใช้ชุดข้อมูล 25 ชุด จากชุดทดสอบของปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย และเปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีที่นำเสนอกับวิธีจากงานวิจัยอื่นอีก 4 วิธี ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีแบบผสมที่นำเสนอมีค่าเฉลี่ยของผลเฉลยและค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนดีกว่างานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบทุกงาน

เกง เชน หยาง และเซา (Geng, Chen, Yang, Shi, and Zhao, 2011) ได้นำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธีแบบละโมบในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อให้ได้การแก้ปัญหาที่ถูกต้องมากขึ้น โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้นำกระบวนการจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบมาทำการปรับการรวมกันของ 3 รูปแบบของการกลายพันธุ์ที่มีความน่าจะเป็นที่แตกต่างกันในระหว่างการค้นหา จากนั้นนำขั้นตอนวิธีแบบละโมบมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในกระบวนการค้นหา สุดท้าย พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ตารางการอบเหนียว เวลาในส่วนของการค้นหา และเวลาในส่วนที่จะยอมรับผลเฉลยจากพื้นฐานความน่าจะเป็น จะมีการปรับตัวไปตามขนาดของกรณีปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลที่ดีกว่าระหว่างเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลย และคุณภาพของผลเฉลย เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย

ไลเอา เยา และเชน (Liao et al., 2012) นำขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมาเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ โดยมุ่งเน้นแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายที่มีขนาดใหญ่หรือมีจำนวนหลายเมืองมาก ขั้นตอนวิธีที่ประยุกต์ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกได้รวมวิธีการจัดกลุ่มฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means Clustering) กฎพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงเส้นทาง (Rule Based Route Permutation) กลยุทธ์การแลกเปลี่ยนสุ่ม (Random Swap Strategy) และขั้นตอนในการรวมกลุ่ม (Cluster Merge Procedure) เข้าด้วยกัน ส่วนแรกใช้เพื่อสร้างเส้นทางเริ่มต้น (Initial Route) ผลจากการออกแบบดังกล่าวได้ชี้ให้เห็นว่า การแบ่งกลุ่มย่อยนั้นช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณและให้ผลที่ดีหากนำไปใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายที่มีหลายเมืองมาก สำหรับส่วนที่สองได้ประยุกต์ใช้พื้นฐานทางพันธุกรรมจากขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ผลการวิจัยพบว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดเวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขายที่มีขนาดใหญ่หรือมีจำนวนหลายเมืองมาก

มิสซิวีเซียส (Misevicius, 2015) นำเสนอวิธีการค้นหาทาบูแบบไม่ซ้ำ (Iterated Tabu Search: ITS) สำหรับการแก้ปัญหาเชิงการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย วิธีการค้นหาทาบูแบบไม่ซ้ำอยู่บนพื้นฐานที่เรียกว่า การทำให้แรงขึ้น (Intensification) และการกระจาย (Diversification) เป้าหมายของการทำให้แรงขึ้นคือการค้นหาผลเฉลยเฉพาะที่ในพื้นที่ใกล้เคียงของผลเฉลยที่เป็นปัจจุบัน การกระจายคือการหลีกเลี่ยงการติดอยู่ที่ผลเฉลยเฉพาะที่ และกระโดดออกเพื่อเคลื่อนไปยังปริภูมิสถานะการค้นใหม่ สองส่วนนี้จะช่วยปรับปรุงผลเฉลยเฉพาะที่ให้ดีขึ้น จากการทดสอบเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นด้วยการใช้ชุดทดสอบของปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย พบว่า วิธีการค้นหาทาบูแบบไม่ซ้ำให้ผลที่ดี

2.5.3 งานวิจัยเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว (TRP) เป็นอีกปัญหาหนึ่งของการค้นหาหรือวางแผนการเดินทาง โดยแผนการเดินทางดังกล่าวหมายถึงเส้นทางการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขหรือปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนด ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวมีเงื่อนไขและปัจจัยต่าง ๆเข้ามาเกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางซึ่งจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการเดินทางท่องเที่ยว และจากเงื่อนไขและปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนี้ อาจส่งผลให้แผนการเดินทางในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุดตามที่กำหนดเหมือนในปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย มีงานวิจัยที่มุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อค้นหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น เพื่อให้ได้แผนการเดินทางที่สามารถเลี่ยงสภาพอากาศที่เลวร้าย เพื่อให้ได้แผนการเดินทางที่ประหยัดพลังงาน เพื่อให้ได้แผนการเดินทางตามลักษณะส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว ฯลฯ สำหรับการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว มีรายละเอียดดังนี้

มารุยามา ชิบาตะ มารูโตะ ยาซูโมโต้ และอิโตะ (Maruyama, Shibata, Murata, Yasumoto, and Ito, 2004a) ได้นำเสนอระบบที่เรียกว่าพี-ทัวร์ (P-Tour) ที่สามารถคำนวณหาเส้นทางในการเดินทางท่องเที่ยวโดยรถยนต์ไปยังสถานที่ที่ผู้ใช้ต้องการ โดยพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางที่ดำเนินการ (Implement) โดยจาวาเซิร์ฟเลต (Java Servlet) และเพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณหาผลเฉลยงานวิจัยนี้จึงเก็บข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งงานวิจัยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบรวดเร็วโดยประยุกต์จากวิธีการเชิงพันธุกรรม (Fast Route Search Algorithm: FRS) สำหรับขั้นตอนวิธีที่เสนอจะค้นหาแผนการ-เดินทางกึ่งเหมาะสมที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเวลา ณ สถานที่ (Time Restrictions at Those Destinations) เช่น เวลาที่เดินทางมาถึง/ออกจาก/เยี่ยมชมสถานที่นั้น เวลาเปิดปิดสถานที่ ฯลฯ ในการทำงาน ผู้ใช้เรียกใช้ระบบผ่านเวิลด์ไวด์เว็บ (WWW) เพื่อระบุข้อมูล ได้แก่ สถานที่ต้นทาง สถานที่ปลายทางที่จะไป เวลาที่ต้องการเดินทางไปถึงสถานที่นั้น เวลาที่ต้องการออกจากสถานที่นั้น และเวลาที่จะอยู่ในสถานที่นั้น จากนั้นระบบจะสร้างแผนการเดินทางตามเงื่อนไขเวลา ณ สถานที่ในแต่ละสถานที่ที่ผู้ใช้เลือกและแสดงแผนการเดินทางแก่ผู้ใช้ โดยในแผนการเดินทาง ผู้ใช้สามารถเดินทางไปเที่ยวได้ครบทุกจุดตามที่ผู้ใช้กำหนด และมีแผนการเดินทางหลายแผนให้ผู้ใช้เลือก โดยงานวิจัยได้ถูกพัฒนาต่อให้สามารถทำงานได้บนพีดีเอ (PDAs) เรียกระบบนำทางนี้ว่า พีเอ็นเอส (Personal Tourism Navigation System: PNS) โดยปรับปรุงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะค้นหาวิถี (Path) เริ่มต้นระหว่างสองสถานที่ ขั้นตอนที่สองใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อสร้างลำดับการเดินทางหรือผลเฉลย กระบวนการย่อยในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมใช้วิธีการสุ่มทั้งหมด เช่น การระบุจำนวนผลเฉลยแข่งขัน (Candidate Solutions) กระบวนการไขว้สายพันธุ์ กระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครโมโซม ฯลฯ ขั้นตอนที่สองจะดำเนินการไปเรื่อย ๆ ตามกระบวนการของขั้นตอนวิธี การค้นหาผลเฉลยจะหยุดลงเมื่อตัวแปรที่ใช้กำหนดเวลาในการค้นหา (Search-Time Variable) หมดลง ในการทดลองวางแผนการเดินทางใน 12-13 สถานที่ปลายทาง ได้กำหนดเงื่อนไขเวลาให้กับสถานที่ 4 แห่งจากสถานที่ปลายทางทั้งหมดนั้น ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาสามารถสร้างแผนการเดินทางจากสถานที่ได้มากที่สุด 20 สถานที่ และใช้เวลาในการประมวลผล 47.3 วินาที (Maruyama, Shibata, Murata, Yasumoto, and Ito, 2004b)

คาสทิลโลและคณะ (Castillo, et al., 2008) พัฒนาขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางเพื่อใช้ในระบบแนะนำการท่องเที่ยวในชื่อเอสเอแม็พ (SAMAP System) โดยประยุกต์มาจากขั้นตอนวิธีเอสตาร์ ในการค้นหาเส้นทางจะทำการสำรวจเส้นทางที่เป็นไปได้ในลักษณะโครงสร้างแบบลำดับชั้น จากนั้นขั้นตอนวิธีจะทำการวางแผนการเดินทางโดยการนำภววิทยา (Ontology) มาใช้ร่วมด้วย มีทั้งหมด 3 มอดูล ได้แก่ มอดูลผู้ใช้งาน (User Module) มอดูลแบบฐานกรณี (Case-

Based Module) และมอดูลการวางแผน (Planning Module) ในภววิทยาจะเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเมือง ข้อมูลความสนใจส่วนบุคคล สถานที่ที่ผู้ใช้น่าจะสนใจ และบริการพื้นฐานต่าง ๆ เมื่อได้แผนการเดินทางที่เป็นไปได้ ระบบจะนำเสนอแผนการเดินทางนั้นต่อผู้ใช้ผ่านอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เช่น โทรศัพท์มือถือ พีดีเอ ฯลฯ

ซู ชาง และโฮ (Su, Chang, and Ho, 2008) ได้พัฒนาระบบการวางแผนการเดินทางในการขนส่งสาธารณะในไต้หวัน โดยพิจารณาถึงลักษณะเครือข่ายของการขนส่งสาธารณะ และพัฒนาขั้นตอนวิธีวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยใช้ขั้นตอนวิธีในการหาวิถีสั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ซึ่งประยุกต์จากขั้นตอนวิธีของไดค์สตรา เพื่อคำนวณเส้นทางและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง โดยคำนึงถึงระยะเวลาที่เร็วที่สุดและเที่ยวรถที่หยุดแต่ละสถานี ผลลัพธ์ที่ได้ได้แก่ ขั้นตอนวิธี การแสดงเส้นทาง และแผนการเดินทางให้แก่ผู้ใช้งาน

สมจินต์ เปียโคกสูง ปิยรัตน์ งามสนิท พิชญสินี กิจวัฒนาถาวร จิติมนต์ อั่งสกุล และ ธรา อั่งสกุล (2552: 67-72) ได้พัฒนาระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวอัจฉริยะเพื่อประหยัดพลังงาน โดยออกแบบขั้นตอนวิธีใหม่ในการคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และสร้างระบบวางแผนการเดินทางแบบออนไลน์ที่มุ่งเน้นจัดเส้นทางที่คำนึงถึงการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยผู้ใช้สามารถเลือกสถานที่ที่ต้องการเดินทางด้วยตนเอง จากนั้นระบบจะจัดเส้นทางในลักษณะของแผนการเดินทางและนำเสนอต่อผู้ใช้ ผลลัพธ์ที่ได้คือ เส้นทางการเดินทางที่มีสถานที่ตามที่ผู้ใช้เลือกและเป็นเส้นทางที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด

ลี ชาง และหวัง (Lee, Chang, and Wang, 2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคำแนะนำของตัวแทนการท่องเที่ยวหลาย ๆ คน ของเมืองไทหนัน (Tainan City) โดยใช้เทคนิคหลัก ๆ ได้แก่ ภววิทยาและตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Logic) พัฒนาเป็นตัวแทน (Agent) ที่สามารถแนะนำนักท่องเที่ยวได้ตามความต้องการของนักท่องเที่ยว เช่น คำแนะนำในการตัดสินใจเพื่อการท่องเที่ยว ที่ตั้งของสถานที่ท่องเที่ยว แสดงข้อมูลตามบริบทของสถานที่ท่องเที่ยวนั้น ๆ และคำแนะนำในการเดินทางตามเส้นทางต่าง ๆ ซึ่งจะตอบสนองตามความต้องการส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว โดยแสดงแผนที่ผ่านแผนที่กูเกิล (Google Map) นอกจากนี้ ยังแนะนำสถานที่ทางวัฒนธรรมและร้านอาหารท้องถิ่น โดยระบบสามารถให้ผู้ใช้เลือกได้ว่าจะท่องเที่ยวกี่วัน เลือกระดับความนิยมของสถานที่ เลือกภาคที่ต้องการไป เลือกสถานที่ท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์ และประเภทอาหารที่ต้องการ จากนั้นระบบจะเสนอสถานที่ที่ควรไปในแต่ละวัน และแสดงแผนการเดินทางให้กับนักท่องเที่ยวได้เลือก

นิอาระกิ และคิม (Niaraki and Kim, 2009) ได้พัฒนาระบบวางแผนเส้นทางส่วนบุคคล โดยใช้ขั้นตอนวิธีที่ประยุกต์จากกระบวนการตัดสินใจเชิงโครงสร้าง (Analytic Hierarchy Process: AHP) และภววิทยาของถนน เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางภายใต้ปัจจัยที่ได้กำหนด เช่น

สถานที่ สภาพอากาศ ความปลอดภัย และสิ่งอำนวยความสะดวก ฯลฯ และได้มีการนำเสนอเส้นทางที่ได้วางแผนผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) โดยระบบเปิดให้ผู้ใช้สามารถเลือกเส้นทางการเดินทางตามประเภทของถนนได้ตามความต้องการของผู้ใช้

วู มูราตะ ชิบาตะ ยาสุโมโต้ และอิโตะ (Wu, Murata, Shibata, Yasumoto, and Ito, 2009) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยคำนึงถึงสภาพอากาศเป็นสำคัญ ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาประยุกต์จากขั้นตอนวิธีแบบละโมบร่วมกับเทคนิคการค้นหาแบบใช้ค่าของพื้นที่ใกล้เคียง (Neighborhood Search Techniques: NbS Techniques) ในการจัดเส้นทางการเดินทาง ระบบจะรับข้อมูลสถานที่และระยะเวลาที่ต้องการเดินทางท่องเที่ยวจากผู้ใช้และนำไปสร้างแผนการเดินทางโดยคำนึงถึงปัจจัยสภาพอากาศเป็นหลัก ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองวางแผนการท่องเที่ยวในเมืองปักกิ่งจำนวน 6 จุดหมาย พบว่า การจัดเส้นทางที่ใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 6 วินาที ในขณะที่การค้นหาแบบทุกกรณี (ER Search) ใช้เวลาประมวลผล 16 ชั่วโมง และหากใช้จุดหมายจำนวน 20 จุด เวลาในการประมวลผลจะดีกว่าการค้นหาที่ใช้ขั้นตอนวิธีแบบละโมบร้อยละ 17.9

ปิยรัตน์ งามสนิท (2553) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm) เพื่อใช้ในระบบอัจฉริยะสำหรับวางแผนการท่องเที่ยวส่วนบุคคล ขั้นตอนวิธีสามารถช่วยลดการคำนวณซ้ำในกรณีที่เส้นทางการเดินทางที่ระบบเลือกให้เป็นเส้นทางที่เป็นไปไม่ได้ ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดที่นำเสนอวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยคำนึงถึงปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ การวางแผนตามการจัดอันดับความนิยมของสถานที่ท่องเที่ยว การวางแผนตามเส้นทาง และการวางแผนตามสภาพอากาศ เน้นการเดินทางแบบไปกลับภายในวันเดียว โดยระบบสามารถแสดงแผนที่จากกูเกิล ระยะเวลาการเดินทาง แผนการท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ และความน่าจะเป็นในการไปในสถานที่ที่ผู้ใช้ต้องการ ระบบมีการวางแผนเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดที่พัฒนาที่สามารถเลือกเส้นทางการท่องเที่ยวที่สามารถไปเที่ยวได้หลายแห่งที่สุดภายใต้เงื่อนไขเวลาที่จำกัด ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดนี้ยังได้ถูกนำไปใช้เพื่อเป็นขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวของระบบวางแผนแผนการเดินท่องเที่ยวแบบออนไลน์หลายระบบ (ณัฐชนันย์ เจริญเกียรติ, 2556; ศศิวิมล กอบัว, 2556; สุวรรณา บุเหลา, 2556) ที่มุ่งเน้นวางแผนภายใต้ปัจจัยที่แตกต่างกัน

กาเซีย อาเบเลียทซ์ ลินาซ่า วันทีนสเกน และซัฟฟรัว (Garcia, Arbelaitz, Linaza, Vansteenwegen, and Souffriau, 2010) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีที่ประยุกต์จากขั้นตอนวิธีแบบฮิวริสติกเพื่อสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวแบบส่วนบุคคลที่ประยุกต์มาจากการค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search: ILS) ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาถูกนำไปประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวในเมือง (The City Trip Planner) (Vansteenwegen, Souffriau, Vanden Berghe, and Van

Oudheusden, 2011) จากนั้นนำมาพัฒนาต่อเป็นขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อใช้ในการแนะนำการท่องเที่ยวอิเล็กทรอนิกส์แบบส่วนบุคคลซึ่งเน้นการเดินทางโดยการขนส่งสาธารณะ โดยขั้นตอนวิธีจะสร้างคำตอบใหม่หลายคำตอบจากผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ และเลือกคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อที่จะเริ่มต้นการค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำในรอบต่อไป ทำซ้ำกระบวนการนี้จนกว่าเกณฑ์การหยุดจะเป็นจริง (Garcia, Vansteenwegen, Arbelaitz, Souffriau, and Linaza, 2013)

ยุน เซ็ง เซีย และวู (Yoon, Zheng, Xie, and Woo, 2010) สร้างขั้นตอนวิธีเพื่อใช้ในระบบแนะนำแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยสร้างกราฟหรือแผนการเดินทางท่องเที่ยวจากการใช้ระบบระบุตำแหน่ง (GPS) ในการระบุว่าสถานที่ท่องเที่ยวใดบ้างที่นักท่องเที่ยวไปเยือน จากนักท่องเที่ยวจำนวน 17,745 คน โดยใช้ข้อมูลที่เก็บได้ เช่น จุดที่ผู้ใช้อยู่ สถานที่ท่องเที่ยว ระยะเวลาในการอยู่ ณ สถานที่ ความถี่ในการเข้าเยี่ยมชม ระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยว สถานที่ที่น่าสนใจ และเส้นทางการเดินทาง ฯลฯ มาทำเหมืองข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธีเบสไลน์ (Baseline) ได้แก่ จัดอันดับโดยเงื่อนไขเวลา (Rank-by-Time) และจัดอันดับโดยเงื่อนไขความน่าสนใจของสถานที่ (Rank-by-Interest) ด้วยการสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ได้เพื่อให้ได้แผนการเดินทางที่ดีที่สุด จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่แตกต่างกันจากผู้ใช้จำนวน 125 คน ในเมืองปักกิ่งของประเทศจีน

อาบาสเพอร์และซามัดซาดิเกน (Abbaspour and Samadzadegan, 2011) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมเพื่อค้นหาแผนการเดินทางในเมืองใหญ่ ๆ ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด การเดินทางจะใช้ระบบขนส่งสาธารณะที่มีหลากหลายแบบ ขั้นตอนวิธีแบบผสมนี้ประยุกต์จากเทคนิคการค้นหาวิถีสั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จากนั้นได้พัฒนาระบบการวางแผนการท่องเที่ยวและการเดินทางในเมืองหนึ่งโดยขึ้นกับเวลาในพื้นที่เมืองขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนซึ่งอาจจะสำคัญต่อกลุ่มผู้เดินทาง โดยทำการพิจารณาความต่อเนื่องของลำดับเวลาของจุดที่น่าสนใจในการเดินทางที่ใช้ระบบขนส่งสาธารณะที่มีหลากหลายรูปแบบเป็นหลัก สถาปัตยกรรมที่ใช้จะเลือกเส้นทางการวางแผนท่องเที่ยวที่สั้นที่สุดในการสร้างแผนการเดินทางบนฐานของความพอใจของผู้ใช้และข้อจำกัดของจุดที่สนใจ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 2 แบบที่ถูกดัดแปลงเพื่อใช้เลือกเส้นทาง กระบวนการที่นำเสนอได้ทดสอบบนฐานข้อมูลของกรุงเตฮาราน ประเทศอิหร่าน การพัฒนาประกอบด้วยการเตรียม 40 สถานที่ปลายทาง มีการกำหนดจุดเริ่มต้น เวลาเริ่มเดินทาง เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ และเวลาที่ใช้ในสถานที่นั้น ๆ ในการเดินทางไปยังจุดที่สนใจสามารถเดินทางได้โดยรถขนส่งและรถไฟ ผลลัพธ์ที่ได้ ได้แก่ ขั้นตอนวิธีในการเลือกเส้นทางที่ขึ้นกับเวลา และแผนที่การเดินทาง โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถหาเส้นทางการท่องเที่ยวได้ตามข้อจำกัดที่กำหนด

ซัฟฟรัว วันทีนสเกน เบิร์ก และอุดฮัสเดน (Souffriau, Vansteenwegen, Berghe, and Oudheusden, 2011) นำเสนอวิธีการใหม่เพื่อแก้ปัญหาเอโอพี (Arc Orienteering Problem: AOP) ซึ่งเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางในกราฟระบุทิศทาง (Directed Graph) ที่มีคะแนนสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการเดินทางจะสามารถผ่านแต่ละเส้นเชื่อม (Arc) ได้ครั้งเดียว โดยที่แต่ละเส้นเชื่อมจะมีคะแนน (Score) ไม่เท่ากัน และต้นทุนรวมทั้งหมดหรือความยาวทั้งหมดของเส้นทาง (Total Cost) ต้องไม่เกินที่กำหนดไว้ ในงานวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาเอโอพี และพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาเอโอพีที่ประยุกต์มาจากเทคนิคการค้นหาแบบปรับตัวโดยการสุ่มแบบละโมบ (GRASP) เพื่อใช้ในระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวในเมืองโดยคำนึงถึงการเยือนสถานที่เป็นสำคัญ ในแต่ละรอบของการวนซ้ำเส้นทางการเดินทางที่เป็นไปได้จะถูกสร้างต่อจากเส้นทางเบื้องต้น (Initial Solution) โดยการสุ่ม ในการสร้างเส้นทางเบื้องต้นจะต้องกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแต่ละทัวร์ซึ่งสามารถเป็นคนละจุดกันได้ จากนั้นขั้นตอนวิธีจะสุ่มเลือกสถานที่ให้มาอยู่ในแผนและสร้างเป็นแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ที่มีจำนวนหลายแผน ท้ายสุดเส้นทางที่เป็นไปไม่ได้บางเส้นทางจะถูกตัดทิ้งไป

ศศิวิมล กอบัว (2556) ได้พัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยของปิยรัตน์ งามสนิท (2553) โดยนำขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดนี้ไปประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยนำปัจจัยทางด้านเวลาที่ครอบคลุมทุกประเด็นมาพิจารณารวมกันในการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยว และพัฒนาระบบขึ้นมา ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางแบบก้าวกระโดดถูกนำไปใช้เพื่อค้นหาแผนการเดินทางตามวัตถุประสงค์ของระบบ คือเน้นการบริหารเวลากับจุดหมายปลายทางให้เหมาะสม ในที่นี้คือไปท่องเที่ยวในสถานที่ได้มากแห่งที่สุดภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเวลาดังกล่าว ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสรุปได้ว่า ขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดดที่นำไปใช้ในระบบให้ประสิทธิภาพที่ดี และยังได้ทดสอบความสามารถในการใช้งานได้ของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ โดยผลการทดสอบพบว่า ระบบมีความสามารถในการใช้งานโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คุราตะและฮาร่า (Kurata and Hara, 2013) ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นพื้นฐานในการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเพื่อชมเมือง และพัฒนาระบบซีทีแพลนเนอร์ 4 (CT-Planner4) เพื่อใช้ในการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ ในแต่ละรอบของกระบวนการในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีการพิจารณาประชากรหรือสถานที่ของแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกัน และเลือกประชากรที่ดีที่สุดเพื่อเข้าสู่กระบวนการสลับสายพันธุ์และกระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครโมโซมเพื่อสร้างประชากรซ้ำอีกต่อไป หลังจากที่มีการวนซ้ำกระบวนการดังกล่าวจำนวนหนึ่งแล้ว ขั้นตอนวิธีจะเลือกแผนการเดินทางที่ดีที่สุดและเสนอต่อผู้ใช้ผ่านระบบซีทีแพลนเนอร์ 4 ที่พัฒนา

มีฮัน ลุนนี่ เคอรัน และแมคคอชนี่ (Meehan, Lunney, Curran, and McCaughey, 2013) พัฒนาระบบวิสิท (VISIT System) เพื่อให้คำแนะนำทางด้านการท่องเที่ยวที่สามารถปรับให้เข้ากับบริบทของผู้ใช้ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ สถานที่ เวลา สภาพอากาศ ความนิยมจากเครือข่ายทางสังคม (Social Media) และจากการตั้งค่าของผู้ใช้ โดยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในระบบวิสิทได้นำแนวคิดเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเกี่ยวข้องของส่วนประกอบในแต่ละบริบทสำหรับผู้ใช้แต่ละคน และนำเสนอคำแนะนำทางด้านการท่องเที่ยวนั้นผ่านระบบวิสิทที่ได้พัฒนาขึ้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง ได้สรุปการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางที่ได้ทบทวนในข้างต้นดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง

Type of Routing Problem	**Author**	**Constraints**				**Methods Used**
		Closed Route	Time Window	Multiple Solution	Maxi mum	
VRP	Booth et al. (2009)	✓				Relational Data Model + STQL
	Santos et al. (2010)	✓				ACO
	Tavakkoli et al. (2011)	✓	✓			SA
	Wang et al. (2012)	✓	✓	✓		SA
	Wang and Chen (2012)	✓	✓	✓		GA
	พนาวัลย์ และกฤษดา (2013)	✓	✓			ABC
	อรประไพ และปวีณา (2013)		✓			Insertion Heuristic
	Banos et al. (2013)	✓	✓	✓		SA
	Leung et al. (2013)	✓				SA+HLS
	Belhaiza et al. (2014)	✓	✓			TS
	Lysgaard et al. (2014)		✓			Branch-and-Cut-and-Price

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง (ต่อ)

Type of Routing Problem	Author	Constraints				Methods Used
		Closed Route	Time Window	Multiple Solution	Maxi mum	
TSP	Tian et al. (1999)	✓			✓	SA
	Fang et al. (2007)	✓		✓	✓	PSO+SA
	Hassin et al. (2008)	✓			✓	GBSF
	Marinakis et al. (2010)	✓			✓	PSO+GRASP+ENS
	Chen et al. (2011a)	✓			✓	GA+ACO
	Chen et al. (2011b)	✓			✓	GA+SA+ACO+PSO
	Geng et al. (2011)	✓			✓	SA+Greedy
	Liao et al. (2012)	✓	✓		✓	PSO
	Misevicius et al. (2015)	✓			✓	ITS
TRP	Maruyama et al. (2004a)		✓		✓	GA+ Java Servlet
	Maruyama et al. (2004b)		✓		✓	A*+GA+ Java Servlet
	Su et al. (2008)	✓	✓		✓	Dijkstra Algorithm
	Castillo, et al. (2008)	✓			✓	A*+ AI Planning Techniques
TRP	สมจินต์และคณะ (2552)	✓		✓		ขั้นตอนวิธีประหยัดพลังงาน
	Lee et al. (2009)		✓	✓		Ontology+Fuzzy+ACO
	Niaraki et al. (2009)			✓	✓	AHP+Ontology
	Wu et al. (2009)		✓		✓	NbS Techniques+GBSF
	ปิยรัตน์ งามสนิท (2553)	✓	✓	✓	✓	PR
	ศศิวิมล กอบัว (2556)	✓	✓	✓	✓	PR
	Garcia et al. (2010)			✓	✓	ILS
	Yoon et al. (2010)	✓	✓		✓	Data Mining

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้แก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง (ต่อ)

Type of Routing Problem	Author	Constraints				Methods Used
		Closed Route	Time Window	Multiple Solution	Maxi mum	
	Abbaspour et al. (2011)		✓		✓	GA+ Shortest path
	Souffriau et al. (2011)			✓	✓	GRAS
	Kurata & Hara (2013)	✓		✓		GA
	Meehan et al. (2013)		✓		✓	ANN

หมายเหตุ : Closed Route หมายถึง ลักษณะการเดินทางแบบต่อเนื่องและกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอ

Time Window หมายถึง การวางแผนการเดินทางที่คำนึงถึงเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งมีได้หลายเงื่อนไขย่อย เช่น เวลาที่เดินทางมาถึง/ออกจาก/เยี่ยมชมสถานที่นั้น เวลาเปิดปิดสถานที่ ความเหมาะสมในการเดินทางไปเยือนสถานที่เมื่อคำนึงถึงเวลา ระยะเวลาที่ต้องการเดินทางท่องเที่ยว เวลาที่ออกเดินทาง เวลาที่ใช้ในสถานที่นั้น ๆ ฯลฯ

Maximum Destinations หมายถึง การวางแผนการเดินทางที่คำนึงถึงการเยือนสถานที่ปลายทางให้ได้มากแห่งที่สุด

Multiple Solution หมายถึง การแสดงผลลัพธ์ในลักษณะหลายคำตอบ

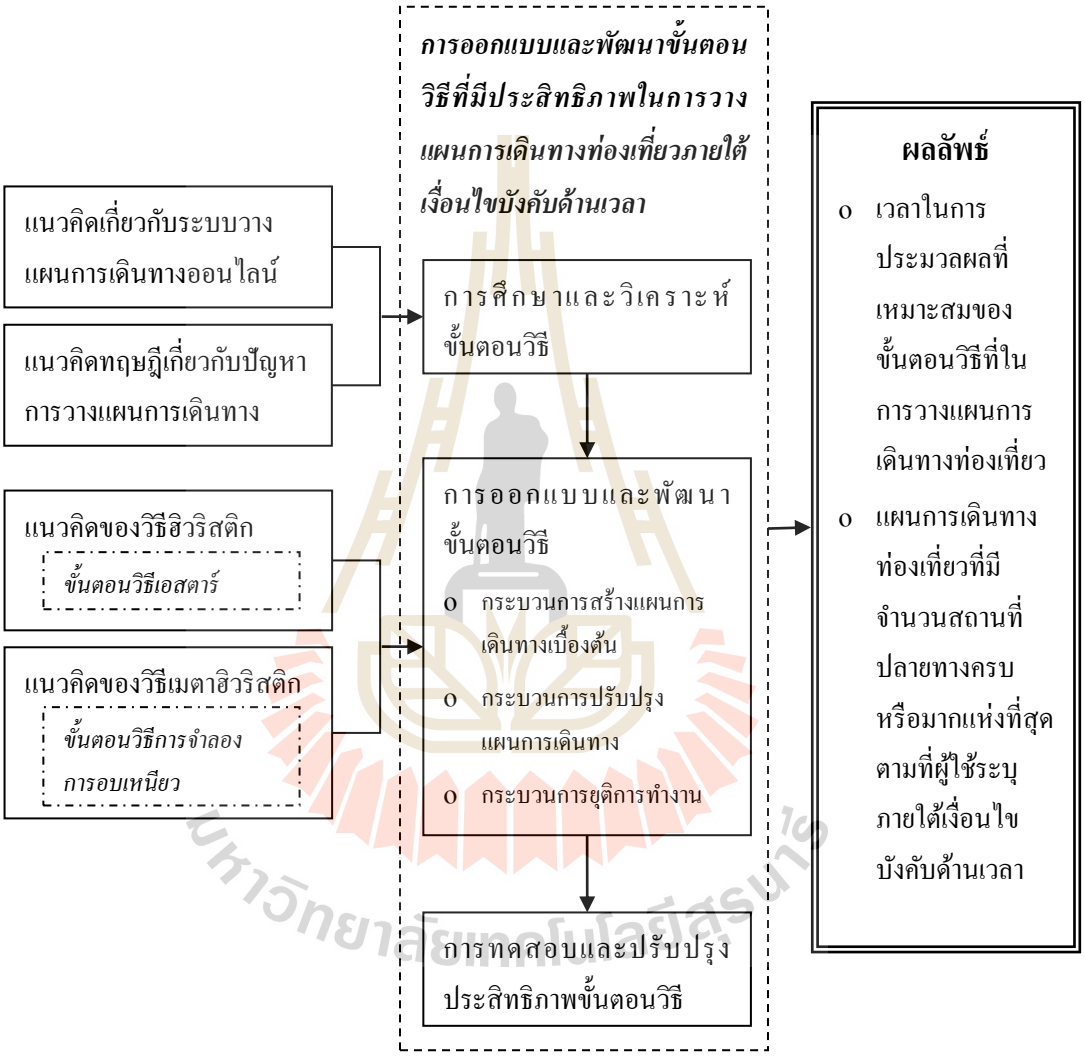
จากตารางที่ 2.6 ชี้ให้เห็นว่า มีการประยุกต์ใช้แนวคิดหรือเทคนิควิธีการที่หลากหลาย (Methods Used) เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง มีทั้งขั้นตอนวิธีที่อยู่ในกลุ่มของวิธีแม่นตรง ขั้นตอนวิธีที่อยู่ในกลุ่มของวิธีฮิวริสติก และขั้นตอนวิธีที่อยู่ในกลุ่มของวิธีเมตาฮิวริสติก สำหรับขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกที่นิยมใช้ ส่วนใหญ่จะนำมาประยุกต์ใช้โดยมุ่งเน้นพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนโดยเฉพาะ และถูกใช้อย่างแพร่หลายในกลุ่มปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งและปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย ส่วนในกลุ่มปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้น ยังมีการประยุกต์ใช้จำนวนน้อย และจากการทบทวนงานวิจัยยังพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ให้ผลลัพธ์เพียงคำตอบเดียว ไม่ได้มุ่งเน้นค้นหาผลลัพธ์ในลักษณะหลายคำตอบที่มีความเหมาะสมและหลากหลาย (Multiple Solution) และในส่วนของรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทาง ส่วนใหญ่จำนวนจุดหรือสถานที่ปลายทางจะถูกระบุไว้แบบตายตัว เป็นข้อมูลที่ถูกกำหนดมาอยู่แล้ว ดังนั้น ปัญหาในการวางแผนการเดินทางที่กล่าวมาตามงานวิจัยที่ทบทวนข้างต้น ส่วนใหญ่จึงเป็นปัญหาที่ต้องหาว่าจะจัดเส้นทางอย่างไรจึงจะเยี่ยมสถานที่เหล่านั้นให้ครบโดยที่ใช้ต้นทุน (Cost) น้อยที่สุด

สำหรับการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในงานวิจัยนี้ ด้วยเงื่อนไขของกรอบเวลาที่ผู้ใช้มีอยู่อย่างจำกัดจะทำให้ไม่สามารถระบุหรือกำหนดได้อย่างตายตัวว่าต้องเดินทางผ่านสถานที่ใดเป็นลำดับก่อนหลัง และไม่สามารถประกันได้ว่าเส้นทางที่ได้จะเป็นเส้นทางที่สามารถเดินทางเยี่ยมสถานที่ครบทุกสถานที่ เนื่องจากอาจไม่อยู่ในเงื่อนไขของกรอบเวลา ซึ่งจะทำให้ปัญหาทวีความซับซ้อนกว่างานวิจัยที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น กล่าวคือ นอกจากที่ต้องหาว่าจะจัดเส้นทางอย่างไรจึงจะเยี่ยมสถานที่เหล่านั้นให้ครบโดยที่ใช้ต้นทุน (ระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยว) ให้เหมาะสมที่สุดแล้ว ยังต้องพิจารณาว่า หากมีเวลาที่จำกัดแล้วไม่สามารถเดินทางผ่านสถานที่ได้ครบทุกสถานที่ การวางแผนการเดินทางในครั้งนั้นควรจะผ่านสถานที่ใดและไม่ผ่านสถานที่ใดบ้าง จึงจะได้ผลเฉลยที่เป็นแผนการเดินทางที่เหมาะสม คือสามารถเยี่ยมสถานที่ได้ครบหรือมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Maximum Destinations) ในเงื่อนไขของกรอบเวลาที่จำกัด (Time Window) นั้น นอกจากนี้ การเดินทางยังจะต้องกลับมาที่จุดเริ่มต้นเสมอหรือเป็นเส้นทางแบบปิด (Closed Route) โดยเส้นทางแบบปิดนั้นเมื่อไปถึงยังสถานที่ใด ๆ นอกจากต้องหาว่าจะเดินต่อไปยังสถานที่ใดแล้ว ยังต้องคำนวณว่ามีเวลาเพียงพอที่จะเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นหรือไม่เสมอ ทำให้ต้องเพิ่มการพิจารณาเงื่อนไขและต้องใช้เวลาในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

และจากการทบทวนงานวิจัยยังพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่เกี่ยวกับขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวในกรณีที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมาก ซึ่งจะเห็นได้จากการทบทวนงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ที่การพัฒนาขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวส่วนใหญ่นั้นมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาให้สามารถรองรับปัจจัยต่าง ๆ ตามที่ระบบหรือผู้ใช้กำหนดขึ้นมา นอกจากนี้ ยังพบข้อจำกัดของขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ไม่สามารถวางแผนการเดินทางได้หากมีสถานที่ปลายทางจำนวนมาก สาเหตุอันเนื่องมาจากความซับซ้อนของเงื่อนไขส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง สอดคล้องกับการสัมภาษณ์นักท่องเที่ยวที่มีประสบการณ์ในการท่องเที่ยวที่โดยส่วนใหญ่ได้ให้ความเห็นไว้ว่า นักท่องเที่ยวต้องการเลือกแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางมากแห่งที่สุดภายใต้ระยะเวลาที่มีในการท่องเที่ยว เพราะต้องการใช้ระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้แล้วในการท่องเที่ยวให้คุ้มค่ามากที่สุด ดังนั้น ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวในกรณีที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมากจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

จึงนำมาสู่แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยมุ่งเน้นออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อทำหน้าที่ในการวางแผนการเดินทางที่เดินทางออกจากจุดเริ่มต้นไปเยือนสถานที่ต่าง ๆ ตามที่

ผู้ใช้กำหนดและย้อนกลับมายังจุดเริ่มต้นที่สามารถเยี่ยมสถานที่ได้ครบหรือมากสถานที่ที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในทุกประเด็น และสามารถให้คำตอบในลักษณะหลายคำตอบที่มีความเหมาะสมและหลากหลาย เพื่อความยืดหยุ่นในการที่นักท่องเที่ยวนำแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้นไปใช้งานจริง สำหรับกรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยมุ่งเน้นออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่สามารถสร้างแผนการเดินทางที่ช่วยให้นักท่องเที่ยวไปท่องเที่ยวในสถานที่ที่ต้องการไปได้มากแห่งที่สุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา สำหรับหัวข้อในบทที่ 3 มีดังต่อไปนี้

3.1 วิธีวิจัย

3.1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

3.1.2 ออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

3.1.3 ทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ด้านฮาร์ดแวร์

3.2.2 ด้านซอฟต์แวร์

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ซึ่งรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1 วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงวิธีวิจัยที่ใช้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา และทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว

จากการศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพบว่าได้มีการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางอย่างต่อเนื่องในหลากหลายกลุ่มปัญหา โดยมีจุดมุ่งหมายคือ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดภายใต้วัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน แต่ถึงแม้การพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางจะได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ส่วนใหญ่จะมีข้อจำกัดเมื่อต้องนำมาประยุกต์ใช้ สาเหตุเพราะขั้นตอนวิธีเหล่านั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาที่มีความเฉพาะเจาะจง ดังนั้น ขั้นตอนวิธีที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับปัญหาหนึ่ง จึงเป็นการยากที่จะนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ เมื่อจะนำขั้นตอนวิธีที่ใช้แก้ปัญหาการวางแผนเดินทางทั่วไปมาใช้กับงานด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว จะพบว่าเป็นไปได้ยาก เนื่องจากคุณสมบัติของเงื่อนไขและปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวแตกต่างจากปัญหาการวางแผนการเดินทางทั่วไป อีกทั้งปัญหาของงานด้านการวางแผนการท่องเที่ยวที่มีความเฉพาะตัว

และจากการศึกษางานวิจัยด้านการท่องเที่ยวส่วนใหญ่พบว่า มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบเพื่อวางแผนการเดินทางภายใต้ปัจจัยตามที่ระบบได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ แม้จะมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่มุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทาง แต่โดยส่วนใหญ่ขั้นตอนวิธีเหล่านั้นจะนำเทคนิควิธีแม่นตรง (Exact Methods) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเนื่องจากต้องการคำตอบที่ถูกต้องหรือคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) เพื่อนำเสนอต่อผู้ใช้หรือนักท่องเที่ยว ซึ่งวิธีแม่นตรงนี้มุ่งเน้นการให้คำตอบที่ดีที่สุดจึงทำให้ใช้ปริมาณทรัพยากรและเวลาในการคำนวณ (Elapsed Time) มาก ส่งผลให้มีข้อจำกัดเมื่อต้องการค้นหาแผนการเดินทางที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมากเพราะต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน หรือบางขั้นตอนวิธีอาจไม่สามารถทำได้เลย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นปัญหาการตัดสินใจที่จัดอยู่ในประเภทปัญหาการเรียงสับเปลี่ยนหรือปัญหาเชิงผสมผสาน (Combinatorial Optimization Problems: CO) ที่มีความสำคัญต่อทฤษฎีวิทยาการคอมพิวเตอร์ และมีการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่สำคัญในหลายหลากสาขา และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าปัญหานี้จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพียาก (NP-Hard Problem) ซึ่งเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่อาจจะมีขอบเขตหรือเป็นอนันต์ที่นับได้ โดยลักษณะทั่วไปของปัญหาที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ ปัญหาขนาดใหญ่หรือมีหลายมิติ (หลายเงื่อนไข) หรือปัญหาที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยขั้นตอนวิธีที่ทำงานในเวลาที่เป็นพหุนาม (Polynomial Time) กับขนาดของข้อมูลนำเข้า (Input) ได้ หรือไม่สามารถแก้ด้วยวิธีแม่นตรงได้นั่นเองเพราะใช้เวลานานเกินไป (Blum, and Roli, 2003: 269) ปัญหาเชิงผสมผสานมีความซับซ้อนในการหาผลเฉลยหากต้องการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด เพราะต้องมีการเปรียบเทียบเส้นทางจาก

รูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วจึงตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดภายใต้ปัจจัยที่หลากหลายและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

จากปัญหาดังกล่าว เมื่อศึกษาและวิเคราะห์เทคนิควิธีการที่มีการนำขั้นตอนวิธีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางจากหลากหลายแขนงพบว่า วิธีแบบเมตา-ฮิวริสติก (Metaheuristic Methods) สามารถแก้ปัญหาในกลุ่มปัญหาเอ็นพียากที่มีเงื่อนไขหลากหลายและซับซ้อนนั้นได้ดี โดยวิธีแบบเมตาฮิวริสติกสามารถประหยัดเวลาคำนวณได้ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีแนวคิดในการคำนวณหาผลเฉลยเพียงบางส่วนของรูปแบบที่คาดว่าเป็นคำตอบ (Partial Search) และมีเทคนิคที่ใช้เพื่อช่วยในการประมาณค่าเพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุดโดยการใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าฮิวริสติก (Evaluation Heuristic Function) ตลอดจนใช้พิจารณาเพื่อเคลื่อนย้ายการค้นหาได้ทั่วในปริภูมิการค้นหา (Search Space) และยังมีความยืดหยุ่นมากกว่าขั้นตอนวิธีแบบฮิวริสติกเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริง ถึงแม้ว่าขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกจะไม่รับประกันคำตอบที่ดีที่สุดทุกครั้งที่ประมวลผล แต่ขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกก็สามารถให้คำตอบที่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้งานภายในระยะเวลาการคำนวณที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่า มีขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกจำนวนหนึ่งที่นิยมนำมาเป็นแนวทางหรือฐาน (Base) ในการพัฒนาต่อยอดให้สามารถใช้แก้ปัญหาในงานต่าง ๆ โดยแต่ละวิธีต่างมีกระบวนการในการหาผลเฉลยที่แตกต่างกัน ในการนำไปพัฒนาต่อยอดจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับรูปแบบของปัญหา ถึงแม้จะเป็นการยากที่จะระบุได้ว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาใด ๆ ก็ตาม จากรูปแบบของปัญหาของงานวิจัยในครั้งนี้ที่เป็นปัญหาเชิงผสมผสานที่ต้องการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือดีเพียงพอที่จะใช้งานจากโอกาสที่จะเกิดได้ทั้งหมดและมีเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึง อีกทั้งไม่สามารถกำหนดจำนวนสถานที่ปลายทางที่จะนำมาวางแผนการเดินทางเนื่องจากขึ้นอยู่กับที่ผู้ใช้ระบุ จึงทำให้ไม่ทราบขนาดของปริภูมิการค้นหาที่แน่นอน

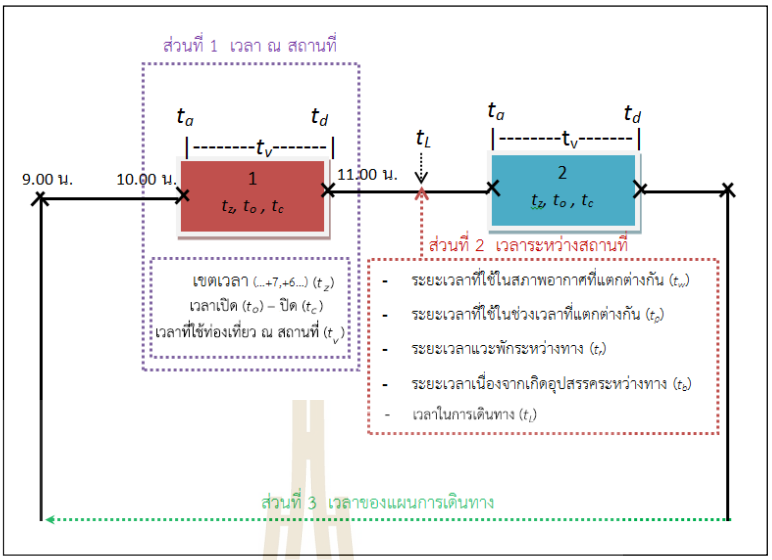
และจากการศึกษายังพบว่า ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปนักเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นในกลุ่มที่มีจุดมุ่งหมายเดียวกัน แต่ยังคงให้คำตอบที่ดีเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นที่มีความซับซ้อนมากกว่า นอกจากนี้ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยังเหมาะกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีโอกาสได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ค่อนข้างมาก และขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยังสามารถให้ลำดับการเดินทางไปเยือนสถานที่ในแผนการเดินทางได้ และจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังพบว่า ในงานด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ยังไม่มีงานวิจัยใดที่มุ่งเน้นแก้ข้อจำกัดในการวางแผนการเดินทางเมื่อมีสถานที่ปลายทางจำนวนมากเป็นสำคัญ และนำเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ครอบคลุมทุกประเด็นมาพิจารณารวมกันในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว โดยการนำขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก

มาประยุกต์ใช้ จึงได้นำแนวคิดจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาเป็นฐานในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในครั้งนี้ จะนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านเวลาจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ศศิวิมล กอบัว, 2556: 38) ที่ได้รวบรวมประเด็นด้านเวลาเชิงลึกที่ควรคำนึงถึงในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวมาคำนวณร่วมด้วย โดยปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณของแผนการเดินทางตามเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1 (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ก. ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณของขั้นตอนวิธี) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในงานวิจัย

ประเภท	เงื่อนไขที่	รายละเอียดของเงื่อนไขบังคับด้านเวลา
เวลา ณ สถานที่ (Time at Attraction)	1	เวลาที่เดินทางไปถึง - ออกจากสถานที่ (Arrival Time: T_a, Departure Time: T_d)
	2	เวลา ณ เขตเวลา (Time Zones: T_z)
	3	เวลาเปิด - ปิดของสถานที่ (Opening Time: T_o, Closing Time: T_c)
	4	ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ (Visiting Time: T_v)
เวลาระหว่างสถานที่โดยประมาณ (Travel Time Estimation)	5	ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (Barrier Time: T_b)
	6	ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (Time of Different Weather: T_w)
	7	ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (Time of Different Period: T_p)
	8	ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (Rest Time: T_r)
	9	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (Travel Time between Locations: T_L)
เวลาของแผนการเดินทาง (Total Travel Time)	10	ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว (Total Travel Time: T_s)



รูปที่ 3.1 ภาพรวมทั้งหมดในการคำนวณเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยเงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ศศิวิมล กอบัว, 2556, น.38)

จากตารางที่ 3.1 ได้สรุปการรวบรวมเงื่อนไขบังคับด้านเวลาแยกตามประเภทของเงื่อนไขบังคับด้านเวลา และรูปที่ 3.1 ได้แสดงภาพรวมถึงความสัมพันธ์ของเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยเงื่อนไขด้านเวลาต่าง ๆ ได้มาจากการวิเคราะห์เวลา ณ สถานที่ เวลาระหว่างสถานที่โดยประมาณ และระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยวหรือระยะเวลาของแผนการเดินทาง ซึ่งแบ่งประเภทเวลาเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1: เวลา ณ สถานที่ (Time at Attraction) ประกอบด้วยการคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่เดินทางไปถึง (Arrival Time: T_a) เวลาออกจากสถานที่ (Departure Time: T_d) เวลาเปิดของสถานที่ (Opening Time: T_o) เวลาปิดของสถานที่ (Closing Time: T_c) ระยะเวลาที่ใช้ท่องเที่ยว ณ สถานที่ท่องเที่ยว (Visiting Time: T_v) และเวลา ณ เขตเวลา (Time Zone: T_z) ซึ่งมีค่าตามเขตเวลาของพื้นที่ตั้งของสถานที่ เช่น รัฐฟลอริด้า ประเทศสหรัฐอเมริกาเท่ากับ -5 รัฐเทกซัส ประเทศสหรัฐอเมริกาเท่ากับ -6 หรือรัฐโคโรลาโด ประเทศสหรัฐอเมริกาเท่ากับ -7 ฯลฯ ซึ่งเงื่อนไขบังคับด้านเขตเวลา (T_z) จะถูกใช้เพื่อปรับเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ (Arrival Time: T_a) เพื่อให้ตรงกับเวลา ณ เขตเวลา (ถ้ามี) ของแต่ละสถานที่ปลายทาง สำหรับเงื่อนไขด้านเวลาออกจากสถานที่ (Departure Time: T_d) ได้จากการคำนวณของเงื่อนไขด้านเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ (T_a) รวมกับเงื่อนไขด้านระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ (T_v) โดยเงื่อนไขด้านเวลาที่เดินทางไปถึง (T_a) และออกจากสถานที่ (T_d) จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขด้านเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ (T_o, T_c) ด้วย กล่าวคือ นักท่องเที่ยวต้องเดินทางไปถึงสถานที่ท่องเที่ยวนั้นในเวลาทำการและต้องเดินทางออกจากสถานที่ท่องเที่ยวก่อนที่จะปิดทำการ

ส่วนที่ 2: เวลาระหว่างสถานที่โดยประมาณ (Travel Time Estimation) ได้แก่ ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (Travel Time between Locations: T_L) ระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (Time of Different Weather: T_w) ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Time of Different Periods: T_p) ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (Rest Time: T_r) และระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง (Barrier Time: T_b) โดยระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสองสถานที่โดยประมาณนี้ จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสองสถานที่ ความเร็วของรถยนต์ที่กำหนดให้ใช้ได้ สภาพอากาศระหว่างการเดินทาง วันและเวลาที่ใช้ในการเดินทางซึ่งอาจเป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกัน อุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทาง และระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง

ส่วนที่ 3: เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยวหรือระยะเวลาของแผนการเดินทาง (Total Travel Time: T_s) ได้แก่ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยววันหรือหลายวันซึ่งได้มาจากการที่ผู้ใช้ระบุวันเวลาเริ่มต้นและวันสิ้นสุดของการเดินทาง โดยระยะเวลาของแผนการเดินทาง (T_s) จะต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลาการเดินทางทั้งหมดที่ยอมรับได้ซึ่งระบุโดยผู้ใช้

3.1.2 ออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีในงานวิจัยนี้ ได้นำแนวคิดจากกระบวนการคำนวณของขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา จากรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวของงานวิจัยในครั้งนี้ ได้เลือกแนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาประยุกต์ใช้ ซึ่งขั้นตอนวิธีนี้มีกระบวนการที่สามารถประหยัดเวลาในการคำนวณได้ กล่าวคือ ไม่คำนวณหาทุกรูปแบบของคำตอบ แต่จะคำนวณหาเพียงบางส่วนของรูปแบบคำตอบที่คาดว่าเป็นคำตอบจากโอกาสที่จะเกิดได้ทั้งหมด จึงทำให้สามารถคำนวณได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถกำหนดฟังก์ชันในการประมาณค่าของการพิจารณาการยอมรับคำตอบ ทำให้สามารถหลุดจากปัญหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) ได้ และมีกระบวนการที่สามารถลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้การปรับอุณหภูมิในตารางจัดการการอบเหนียว (Annealing Schedule) ทำให้คำตอบที่ได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดหรืออาจให้คำตอบที่ดีที่สุดได้ และจากรูปแบบปัญหาของงานวิจัยในครั้งนี้ที่มีปัจจัยทางด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องหลายเงื่อนไข มีจำนวนสถานที่ปลายทางที่จะต้องนำมาคำนวณในแต่ละครั้งที่แตกต่างกัน และมุ่งเน้นการบริหารเวลากับสถานที่ปลายทางให้เหมาะสม นั่นคือ การไปเยือนสถานที่ได้มากแห่งที่สุดในเวลาที่ผู้ใช้กำหนด จึงทำให้ไม่สามารถนำกระบวนการในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาใช้โดยตรงได้ แต่จะนำมาเป็นฐานในการพัฒนาขั้นตอนวิธีในงานวิจัยครั้งนี้เพียงบางส่วนของกระบวนการทั้งหมดเท่านั้น

สำหรับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากการสุ่มจุดตามที่สำรวจซ้ำจากการพัฒนาคำตอบเบื้องต้นเพื่อหาคำตอบอื่นที่ดีกว่า

โดยจำลองมาจากวิธีการอบเหนียวของเหล็กที่ต้องมีการค่อย ๆ ลดอุณหภูมิให้เหล็กเย็นลงอย่างช้า ๆ เพื่อให้เหล็กมีความเหนียวและแกร่งที่สุด กระบวนการทำงานพื้นฐานหลัก ๆ ของขั้นตอนวิธีนี้ ได้แก่ การสร้างคำตอบเริ่มต้นหรือคำตอบเบื้องต้น (Initial Solution) โดยการสุ่มขึ้นมาหนึ่งคำตอบ จากนั้นปรับปรุงคำตอบเบื้องต้นหรือคำตอบปัจจุบันที่ได้จากการคำนวณในตอนแรกโดยการค้นหาคำตอบใหม่ที่ใกล้เคียงกับคำตอบเบื้องต้นที่คาดว่าจะดีกว่าไปเรื่อย ๆ โดยใช้คำตอบเบื้องต้น/คำตอบปัจจุบันเป็นฐานในการคำนวณ หากคำตอบใหม่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันก็จะถูกยอมรับให้เป็นคำตอบปัจจุบันแทนและย้ายสถานะการค้นหาไปที่จุดที่คำตอบนั้นอยู่ แต่ถ้าคำตอบใหม่ไม่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันก็อาจจะถูกยอมรับหรือไม่ยอมรับก็ได้ ในส่วนของการพิจารณายอมรับคำตอบ ส่วนใหญ่นิยมพิจารณาบนกฎพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลท์ซมันน์ (Kirkpatrick, Gelatt, and Vecchi, 1983: 673) จากนั้นจะมีการวนซ้ำตามจำนวนรอบที่กำหนด (Inner Loop) เมื่อออกจากการวนซ้ำจะปรับค่าอุณหภูมิตามตารางจัดการการอบเหนียวด้วยฟังก์ชันการลดอุณหภูมิ (αT) และเริ่มกระบวนการวนซ้ำ (Outer Loop) อีกครั้ง โดยกระบวนการทั้งหมดจะยุติได้เมื่อค่าอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดหรืออาจยุติได้เมื่อตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดให้หยุด (Stopping Criteria) ซึ่งขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (Classical Simulated Annealing Algorithm: CSA) ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

จากที่กล่าวข้างต้นถึงรูปแบบปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ที่ไม่สามารถนำขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวมาใช้เพื่อแก้ปัญหาได้โดยตรง แต่จะนำแนวคิดของขั้นตอนวิธีดังกล่าวมาเป็นเพียงฐานในการประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธี และเพื่อให้การค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในแง่มุมด้านความเร็วในการคำนวณและด้านคำตอบที่ได้ และมีความเหมาะสมกับรูปแบบปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจึงได้มีการดัดแปลงและแทรกกระบวนการอื่นเพิ่มเติมจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยการดัดแปลงขั้นตอนการทำงานแสดงเส้นกรอบเป็นเส้นจุดประ และการเพิ่มเติมขั้นตอนการทำงานแสดงเส้นกรอบเป็นเส้นขีดประ สำหรับรหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงดังตารางที่ 3.2 (ปิยรัตน์ งามสนิท จิติมนต์ อั่งสกุล และธราอั่งสกุล, 2560: 716)

ตารางที่ 3.2 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

SA_SPS(place demands, time constraints)

create constraints, initialize parameter

generate the initial solution as current solution (S) by using SPS_Technique ()

while stopping criteria not met **do** //improve solution

assign *Layer* for the places in S, based on the least position, start swap on the first *Layer*

for i=1 to *max Iter* **do**

while accept the S' as S not met **do**

generate a new candidate solution (S') based on S, by using the priority queue in SPS_Technique () for selecting remaining places to swap with the place at the current *Layer*

S will be swapped as a new solution (S')

If check constraints $f(S')$ valid **then**

get a feasible solution

if S' is better than the current one **then**

accept S' as S

accept the $f(S')$ as current Cost of S, $C(S)$

modified a heuristic f, h, g of places in priority queue

else

accept the new solution through the acceptance probability function

end if

else

go to generate S' again

end if

end while

Add_remaining_place () by using SPS_Technique () for *push* remaining places into S as new solution (S'')

If check constraints $f(S'')$ valid **then**

get a new feasible solution

if S'' is better than the best one **then**

replace the current solution with this new one

end if

update the best solution when the solution is better than it

end if

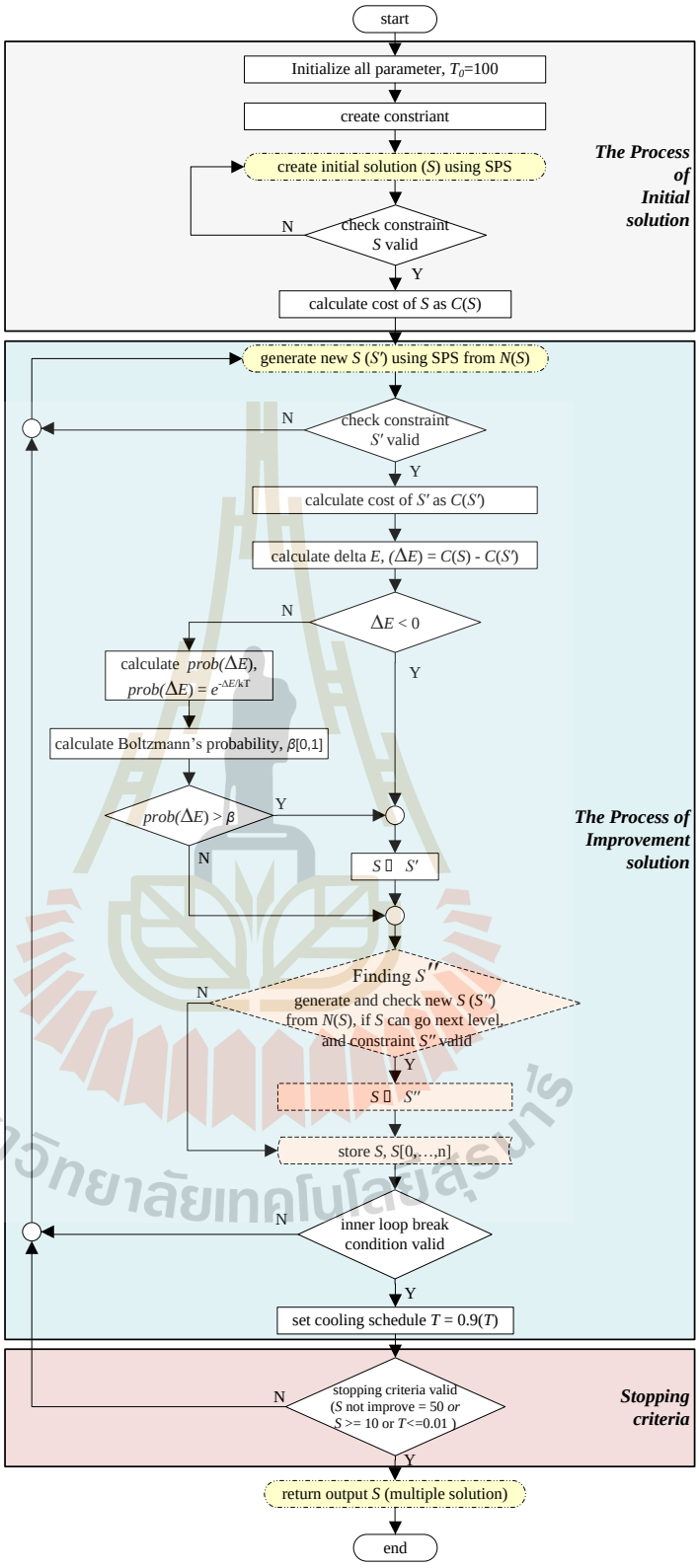
end for

set cooling schedule, *Iter*=*Iter*+1, *Layer*= *Layer*+1

end while

return the best solution

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 ผังขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

จากรูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดแผนผังขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Simulated Annealing Shortest Path Search: SA_SPS) ที่คำนึงถึงการเยือนสถานที่มากที่สุด ที่ได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ ในการดัดแปลงและเพิ่มเติมการทำงานของขั้นตอนวิธีเป็นดังต่อไปนี้

ในส่วนของการดัดแปลงขั้นตอนวิธี ได้ดัดแปลง 3 ขั้นตอนย่อยใน 2 กระบวนการดังนี้ ในกระบวนการสร้างคำตอบเบื้องต้น (The Process of Initial Solution) ได้ดัดแปลงในขั้นตอนการจัดแผนการเดินทางเบื้องต้น (Create Initial Solution (S) using SPS) และในกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง (The Process of Improvement Solution) ได้ดัดแปลงในขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Generate New S (S′ or S″) using SPS from N(S or S′)) นอกจากนี้ ยังได้ดัดแปลงให้ขั้นตอนวิธีสามารถจัดเก็บผลลัพธ์ได้หลายผลลัพธ์ (Return Output S (Multiple Solution)) การทำงานในส่วนที่ได้ดัดแปลงแสดงเส้นกรอบเป็นเส้นจุดประ

ในส่วนของการเพิ่มเติมขั้นตอนการทำงานจากขั้นตอนวิธีต้นแบบ ได้เพิ่มขั้นตอนพิเศษในกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง (The Process of Improvement Solution) ซึ่งเป็นขั้นตอนการพิจารณาก่อนที่จะเคลื่อนย้ายคำตอบหรือปรับปรุงให้ S' เป็นคำตอบของระบบ (Finding S'') โดยใช้หลักการสำรวจพิเศษที่จะทำให้สามารถเพิ่มโอกาสการเดินทางไปเยือนสถานที่ได้ครบทุกสถานที่หรือเยือนสถานที่ปลายทางได้มากที่สุดตามที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งการทำงานในส่วนที่ได้เพิ่มเติมแสดงเส้นกรอบเป็นเส้นขีดประ

สำหรับการค้นหาแผนการเดินทางเบื้องต้นซึ่งถือว่าเป็นคำตอบเบื้องต้น และการสร้างคำตอบจากฟังก์ชันการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighbor Function) จะใช้เทคนิคการเลือกเส้นทางโดยพิจารณาจากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดจากสถานที่ปัจจุบันและต้องเป็นสถานที่ที่ไม่เคยไปมาก่อนหรือเทคนิคเอสพีเอส (Shortest Path Search: SPS) โดยใช้แนวทางการค้นหาที่ประยุกต์มาจากขั้นตอนวิธีเอสตาร์ (A* Algorithm) และดัดแปลงให้มีการจัดเก็บคำตอบในลักษณะหลายคำตอบ (Multiple Solution) สำหรับให้ผู้ใช้พิจารณาเลือกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานแผนการเดินทาง นอกจากนี้ ยังได้เพิ่มขั้นตอนพิเศษเพื่อการพิจารณาก่อนที่จะเคลื่อนย้ายคำตอบหรือปรับปรุงให้ S' เป็นคำตอบหรือสถานะของระบบ โดยใช้หลักการสำรวจว่าหากมีบางสถานที่ปลายทางที่ผู้ใช้ได้ระบุแล้วยังไม่ถูกจัดไว้ในแผนการเดินทางแล้วสามารถเพิ่มสถานที่นั้นเข้าไปในแผนการเดินทางได้อีกหรือไม่ (Finding S'') ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้มีโอกาสเดินทางไปเยือนสถานที่ปลายทางได้มากขึ้น หรือเยือนสถานที่ปลายทางได้มากที่สุด หรืออาจเยือนได้ครบทุกแห่งตามที่ผู้ใช้ระบุเข้ามา สำหรับกระบวนการทำงานและขั้นตอนการทำงานย่อยในแต่ละกระบวนการที่กล่าวนี้ จะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป สำหรับการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบกับในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 3.3

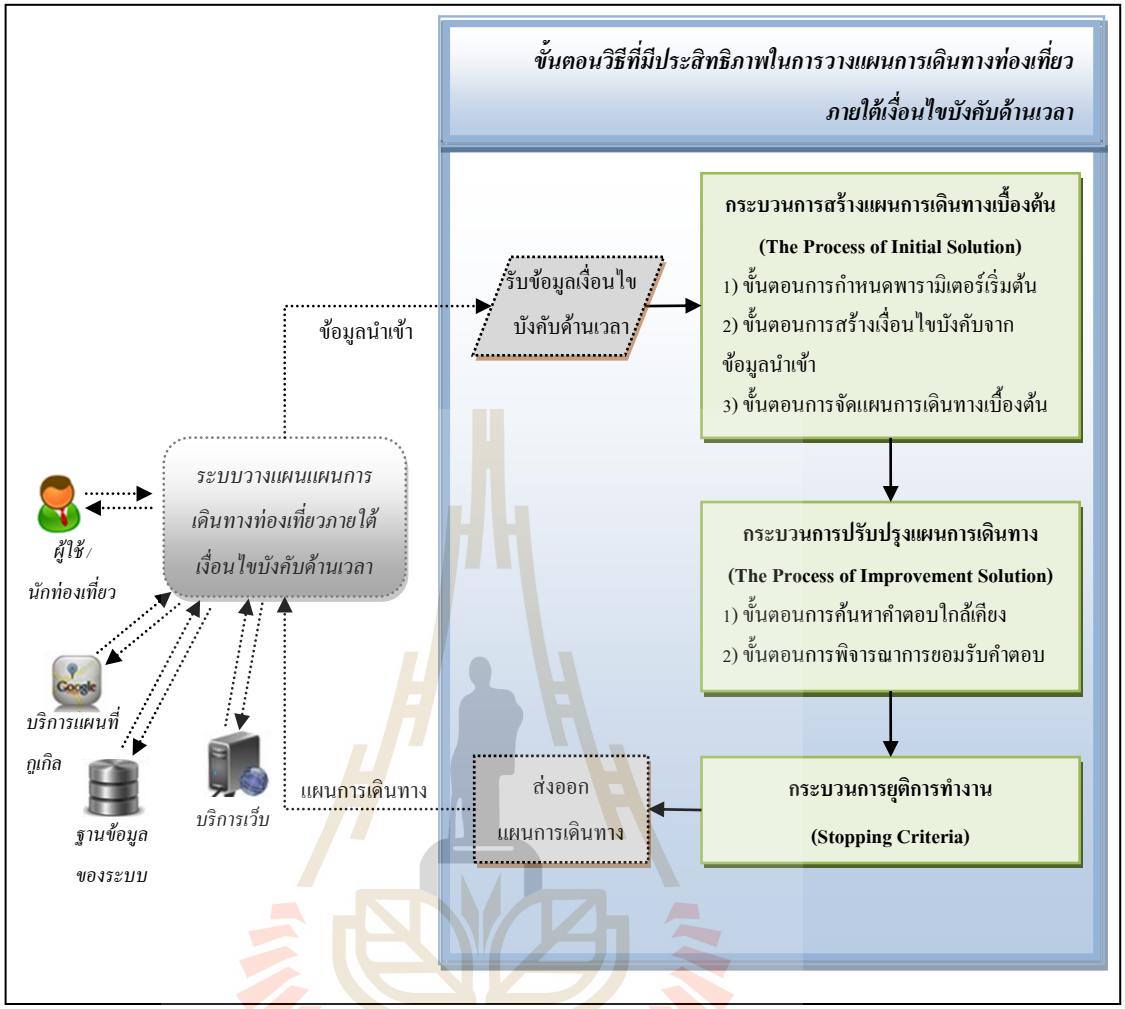
ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีอบเหนียวต้นแบบกับในงานวิจัยนี้

พารามิเตอร์	ความหมายในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวต้นแบบ	ความหมายในงานวิจัยนี้
ΔE	ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง	ค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยวที่เปลี่ยนแปลงไป
$prob(\Delta E)$	ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ	ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ
T	ค่าอุณหภูมิปัจจุบันของการอบเหนียว	ค่าคงที่ปัจจุบันที่ใช้เพื่อควบคุมพารามิเตอร์ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ
T_0	ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อเริ่มการอบเหนียว	ค่าคงที่เริ่มต้นที่ใช้เพื่อควบคุมพารามิเตอร์ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ
T_{final}	ค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการอบเหนียว	ค่าคงที่สุดท้ายที่ใช้เพื่อควบคุมพารามิเตอร์ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ
T'	ค่าอุณหภูมิที่ลดลงไปในช่วงจำนวนการวนรอบที่กำหนด	ค่าคงที่ที่ใช้เพื่อควบคุมพารามิเตอร์ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบที่ลดลงไปในช่วงจำนวนรอบการวนซ้ำเพื่อหาแผนการเดินทาง
S	ค่าพลังงานเบื้องต้น/ค่าพลังงานปัจจุบัน	แผนการเดินทางเบื้องต้น/แผนการเดินทางปัจจุบัน
S'	ค่าพลังงานใหม่ที่ปรับปรุงมาจากค่า S	แผนการเดินทางใหม่ที่ปรับปรุงมาจาก S
k	ค่าคงที่โบลทซ์มันน์	ค่าคงที่โบลทซ์มันน์
i	จำนวนรอบของการวนซ้ำเพื่ออบเหนียว	จำนวนรอบการวนซ้ำเพื่อหาแผนการเดินทาง
C	ต้นทุนในการอบเหนียว/ค่าที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์	ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยว
α	ค่าคงที่ที่มีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่า 1 ใช้ควบคุมการลดอุณหภูมิ	ค่าคงที่ที่มีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่า 1 ใช้ในการควบคุมพารามิเตอร์ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ
β	ค่าความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์	ค่าความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์
e	ค่าคงตัว มีค่าประมาณ 2.71828	ค่าคงตัว มีค่าประมาณ 2.71828

ในการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา จะใช้ความสามารถจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ในการดึงข้อมูลปัจจัยด้านเวลา

และอธิบายแผนการเดินทางต่อผู้ใช้ สำหรับการรับข้อมูลนำเข้าซึ่งคือข้อมูลปัจจัยบังคับด้านเวลา จะรับข้อมูลผ่านระบบดังกล่าวซึ่งมาจาก 4 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ระบบ โดยผู้ใช้ต้องกรอกข้อมูลปัจจัยที่ผู้ใช้กำหนด ได้แก่ จุดเริ่มต้น/ที่อยู่ของนักท่องเที่ยว สถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปทั้งหมด วัน/เวลาเริ่มการเดินทาง วัน/เวลาสิ้นสุดการเดินทาง และระยะเวลาที่ต้องการใช้ท่องเที่ยวในแต่ละสถานที่ 2) บริการแผนที่กูเกิลผ่านกูเกิลเอพีไอ (Google Map API) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ระบบกำหนดแต่ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ ตำแหน่งที่เกิดอุปสรรค ประเภท และระยะเวลาของอุปสรรคนั้น และระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง จากนั้นระบบจะกำหนดปัจจัยอื่น ๆ อาทิ ข้อมูลสถานที่ปลายทาง พิกัดของแต่ละสถานที่ปลายทาง เวลาและระยะทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยว 3) ฐานข้อมูลที่จัดเก็บเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ และ 4) บริการเว็บ โดยนำข้อมูลสภาพอากาศในวันที่ผู้ใช้กำหนด นำมาคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (วันหยุดนักขัตฤกษ์ วันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน) ข้อมูลเวลา ณ เขตเวลาที่แตกต่างกัน ที่ได้จากการส่งตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของสถานที่ท่องเที่ยวไปยังเว็บให้บริการเขตเวลา

หลังจากนั้น ข้อมูลนำเข้าเหล่านี้จะถูกส่งไปประมวลผลโดยขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวซึ่งจะประมวลผลภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากข้อมูลนำเข้าดังกล่าว โดยขั้นตอนวิธีที่พัฒนาประกอบด้วย กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง และกระบวนการยุติการทำงาน (Stopping Criteria) เมื่อขั้นตอนวิธีประมวลผลเสร็จสิ้น จะส่งออกผลลัพธ์ที่ได้คือ แผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ และมีความเหมาะสมกับผู้ใช้/นักท่องเที่ยวตามเงื่อนไขบังคับด้านเวลาต่าง ๆ โดยใช้เวลาประมวลผลที่เหมาะสม ในการนำเสนอข้อมูลแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการประมวลผลของขั้นตอนวิธีต่อผู้ใช้ จะเป็นหน้าที่ของระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาต่อไป สำหรับภาพรวมของการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพรวมของการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

3.1.2.1 กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น (The Process of Initial Solution) งานวิจัยหลายงานได้บ่งชี้ว่า บ่อยครั้งที่ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกขึ้นอยู่กับการสร้างคำตอบเริ่มต้นหรือคำตอบเบื้องต้นที่ดี ซึ่งในที่นี้คือแผนการเดินทางท่องเที่ยวเบื้องต้น เนื่องจากการเริ่มต้นคำตอบที่ดีจะช่วยให้การลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ประหยัดทรัพยากรและเวลาในการคำนวณ สำหรับกระบวนการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวเบื้องต้นจะเริ่มหลังจากที่รับข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้ จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นและสร้างเงื่อนไขบังคับ แล้วเริ่มขั้นตอนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นโดยใช้หลักการพิจารณาเลือกสถานที่ที่ไม่เคยไปมาก่อนที่ใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุดจากสถานที่ปัจจุบัน ในการเลือกสถานที่จะมีการตรวจสอบว่าอยู่ในเงื่อนไขบังคับหรือไม่ และพิจารณาความเป็นไปได้ในการเดินทางกลับสู่จุดเริ่มต้นเสมอ ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือ แผนการเดินทาง

ที่เป็นคำตอบเบื้องต้นที่คาดว่าเยือนสถานที่ได้มากที่สุดและใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุดภายในกรอบเวลาที่ผู้ใช้กำหนด 1 แผนการเดินทาง แผนผังขั้นตอนการทำงานของกระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 3.3 กรอบที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) ขั้นตอนการกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้น 2) ขั้นตอนการสร้างเงื่อนไขบังคับจากข้อมูลนำเข้า และ 3) ขั้นตอนการจัดแผนการเดินทางเบื้องต้น รายละเอียดดังนี้

1) ขั้นตอนการกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้น (Initialize Parameters)

สำหรับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว การกำหนดพารามิเตอร์ที่สำคัญก่อนการเริ่มต้นการทำงาน ได้แก่ พารามิเตอร์ T_0 ให้มีค่าที่สูงเพียงพอ โดยปกตินิยมกำหนดค่า T_0 ที่ 100 (Lin, Vincent, and Lu, 2011: 15248; Vincent, Lin, Lee, and Ting, 2010: 293) เพื่อใช้เป็นค่าคงที่เริ่มต้นที่ควบคุมพารามิเตอร์ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายสถานะของระบบ ($prob(\Delta E)$) ต่อไป และกำหนดฟังก์ชันการลดพารามิเตอร์ T ใช้สัญลักษณ์ $\alpha(T)$ โดยที่ α เป็นค่าคงที่ที่มีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่า 1 และ T คืออุณหภูมิ ($T= \alpha(T), 0 < \alpha < 1$) ซึ่ง α นี้ใช้กำหนดการปรับลดลงของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการค้นหาคำตอบ ถ้า α มีค่าน้อย การลดลงของ T จะไวขึ้น ทำให้การลู่เข้าสู่คำตอบเร็ว ในทางตรงข้ามเมื่อ α มีค่ามาก การลดลงของ T ก็จะช้าลง ส่งผลให้เวลาการค้นหาคำตอบก็จะเพิ่มมากขึ้น จากการสังเกตการทดลองเบื้องต้น พบว่า เมื่อพื้นที่การค้นหามีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ยังใช้เวลาเพียงไม่กี่ไมโครวินาที ดังนั้น เวลาไม่กี่ไมโครวินาทีจึงไม่เป็นปัญหา จึงกำหนดค่า α เท่ากับ 0.9 (Lin, Vincent, and Chou, 2009: 1687; Vincent, Lin, Lee, and Ting, 2010: 293) หรือ $\alpha(T) = 0.9 * \alpha(T_{-1})$

นอกจากนี้ ยังต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์อื่นอีก ได้แก่ เกณฑ์การหยุดทำซ้ำของกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง โดยมากนิยมกำหนดเป็นจำนวนรอบที่แน่นอน (Vincent, Lin, Lee, and Ting, 2010: 293) ทั้งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้

2) ขั้นตอนการสร้างเงื่อนไขบังคับจากข้อมูลนำเข้า (Create Constraints)

ในส่วนของการสร้างเงื่อนไขบังคับจากข้อมูลนำเข้า กระบวนการนี้จะรับข้อมูลนำเข้าซึ่งเป็นปัจจัยด้านเวลามาจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังรูปที่ 3.3 ตัวอย่างการรับข้อมูลนำเข้ามีดังนี้ สมมติให้มีการเดินทาง 4 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ 0 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด สถานที่ปลายทาง 1 สถานที่ปลายทาง 2 และสถานที่ปลายทาง 3 โดยกำหนดให้เป็นเส้นทางนอกเมือง วันและเวลาในการเดินทางคือ 15-16 กุมภาพันธ์ 2562 สมมติให้เป็นวันเสาร์และอาทิตย์ติดวันมาฆบูชา วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 วางแผนท่องเที่ยวเวลา 06.00 - 18.00 น. และวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2562 วางแผนการท่องเที่ยวเวลา 06.00 - 19.00 น. สภาพอากาศมีหมอกเล็กน้อย อุณหภูมิในวันดังกล่าวอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส มีอุปสรรคระหว่างการเดินทางจากเมืองนครราชสีมา (0) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) คือซ่อมถนน

และเกิดอุปสรรควางท่อในเส้นทางฟาร์มโชคชัย (2) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2562 การแวะพักระหว่างทาง ได้แก่ แวะพักปั้มระหว่าง เมืองนครราชสีมา (0) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) ทั้งขาไปและกลับ ((1) ถึง (0)) ครั้งละ 15 นาที และแวะร้านอาหารระหว่างทางจากวัดบ้านไร่ (3) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) เป็นเวลา 30 นาที ส่วนข้อมูลนำเข้าอื่นที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ ข้อมูลเวลา ณ เขตเวลา เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ และระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ แสดงเพิ่มเติมดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าเงื่อนไขบังคับด้านเวลา

	สถานที่ท่องเที่ยว	**เวลา ณ เขตเวลา**	**เวลาเปิด - ปิดของสถานที่**	**ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่**
⓪	จุดเริ่มต้น/จุดสิ้นสุด อ.เมืองนครราชสีมา จ. นครราชสีมา	UTC+7	-	-
①	อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่	UTC+7	06.00 - 21.00 น.	2 ชม.
②	ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	UTC+8 (สมมติ)	10.00 – 15.00 น.	1 ชม.
③	วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา	UTC+8 (สมมติ)	08:00 – 17.00 น.	30 นาที

จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นเงื่อนไขบังคับด้านเวลาเพื่อส่งต่อให้ทุกขั้นตอนของการจัดแผนการเดินทางนำไปพิจารณา เงื่อนไขเหล่านั้น ได้แก่

- เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ณ สถานที่ ประกอบด้วยการสร้างเงื่อนไขเวลา ณ เขตเวลาที่ต่างกัน การสร้างเงื่อนไขเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ และการสร้างเงื่อนไขระยะเวลาที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ สำหรับการสร้างเงื่อนไขเวลา ณ เขตเวลาที่ต่างกัน จะต้องทำการวิเคราะห์เวลา ณ เขตเวลา (T_z) ที่ต่างกันของสถานที่ที่นักท่องเที่ยวต้องการไป ซึ่งเวลา ณ เขตเวลาที่แตกต่างกันจะมีผลทำให้เวลาที่เดินทางไปถึง (T_a) เวลาออกจากสถานที่ (T_d) และเวลาเปิด-ปิด (T_o, T_c) ของสถานที่นั้น ๆ เปลี่ยนแปลงได้ โดยเวลา ณ เขตเวลานี้ได้จากการดึงข้อมูลมาจากบริการเว็บ (Web Service) ในส่วนของการสร้างเงื่อนไขเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ ได้จากการดึงข้อมูลเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยวจากฐานข้อมูล ซึ่งได้มีการรวบรวมเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยวในวันจันทร์-วันศุกร์ วันหยุดราชการ และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มาจากเว็บไซต์ของจากข้อมูลการท่องเที่ยวกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาที่ได้มีการจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล (ศศิวิมล กอบัว, 2556: 43) โดยจะนำมาเป็นเงื่อนไขในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ โดยพิจารณาถึงเวลาเปิด-ปิดของสถานที่และสุดท้ายการสร้างเงื่อนไขระยะเวลาที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ ได้จากการดึงระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่

ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ จากฐานข้อมูลที่ได้จากการสอบถามกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เพื่อเก็บข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ยที่นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวนั้น ๆ

ตัวอย่างการคำนวณเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่จากตารางที่ 3.4 นักท่องเที่ยวเดินทางออกจากอำเภอเมืองนครราชสีมา ไปยัง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (เวลาทำการ 06.00 - 21.00 น.) ไปยัง ฟาร์มโชคชัย (เวลาทำการ 10.00 - 15.00 น.) ไปยังวัดบ้านไร่ (เวลาทำการ 08.00 - 17.00 น.) และกลับไปยังเมืองนครราชสีมา เริ่มออกเดินทางจากเมืองนครราชสีมาเวลา 06.00 น. ซึ่งมีเขตเวลาเป็น UTC+7 ใช้เวลาเดินทาง 2 ชั่วโมง ไปถึงอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่เวลา 08.00 น. มีเขตเวลาเป็น UTC+7 ซึ่งเป็นเขตเวลาเดียวกับสถานที่ก่อนหน้า เพราะฉะนั้นเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เขตเวลาที่แตกต่างกันจึงเท่ากับ 0 อยู่ท่องเที่ยว 2 ชั่วโมง ซึ่งยังอยู่ในเวลาทำการของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ในวันหยุดนักขัตฤกษ์สามารถท่องเที่ยวได้ จากนั้นออกเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่เวลา 10.00 น. เพื่อเดินทางต่อ 1 ชั่วโมงไปยังฟาร์มโชคชัย ไปถึงฟาร์มโชคชัยเวลา 11.00 น. สมมติให้ฟาร์มโชคชัย มีเขตเวลาเป็น UTC+8 เขตเวลามีความแตกต่างกันจึงต้องทำการบวกเขตเวลาที่แตกต่างเพิ่มไป 1 ชั่วโมง เวลาจริงที่ถึง ฟาร์มโชคชัย จึงเป็นเวลา 12.00 น. ใช้เวลาท่องเที่ยว 1 ชั่วโมง ซึ่งยังอยู่ในเวลาทำการสามารถท่องเที่ยวได้ จากนั้นเดินทางออกจากฟาร์มโชคชัยเวลา 13.00 น. เดินทางต่อ 2 ชั่วโมง ไปยังวัดบ้านไร่ ไปถึงวัดบ้านไร่เวลา 15.00 น. สมมติให้วัดบ้านไร่มีเขตเวลาเป็น UTC+8 ซึ่งเป็นเขตเวลาเดียวกับสถานที่ก่อนหน้า เพราะฉะนั้นเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เขตเวลาที่แตกต่างกันจึงเท่ากับ 0 ใช้เวลาท่องเที่ยว 30 นาที จากนั้นเดินทางกลับไปยังสถานที่เริ่มต้นคืออำเภอเมืองนครราชสีมาใช้เวลาเดินทาง 1 ชั่วโมง ถึงอำเภอเมืองนครราชสีมาเวลา 16.30 น. สรุปได้ว่าตัวอย่างของแผนดังกล่าวสามารถเดินทางและท่องเที่ยวโดยอยู่ในเงื่อนไขด้านเวลาคือ เวลาเปิด-ปิด และระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกันในการคำนวณ หากแผนใด ๆ ไม่อยู่ในเงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด และเวลาที่ใช้อยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวระบบจะตัดแผนนั้นทิ้งทันที

- เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่โดยประมาณประกอบด้วยการสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (T_b) การสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (T_w) การสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (T_p) และการสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (T_r)

สำหรับการสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (T_b) ได้จากการดึงระยะเวลาเนื่องจากเกิดอุปสรรคระหว่างทางจากฐานข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เกี่ยวกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปกับอุปสรรคในการเดินทางด้านประเภทต่าง ๆ และได้กำหนดเวลาที่เปลี่ยนไปโดยแบ่งเป็นเส้นทางในเมืองและเส้นทาง

นอกเมืองเพื่อนำไปคิดคำนวณรวมกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ศศิวิมล กอบัว, 2556: 51) ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาเนื่องจากเกิดอุปสรรคระหว่างทาง จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ 3.4 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทางเริ่มต้นที่ อำเภอเมืองนครราชสีมาไปยังอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์มโชคชัยไปยังวัดบ้านไร่และสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นคืออำเภอเมืองนครราชสีมา ยกตัวอย่างการพบอุปสรรคระหว่างทางระหว่าง 2 สถานที่ในแผนการเดินทางดังกล่าว เช่น การเดินทางจากอำเภอเมืองนครราชสีมาไปฟาร์มโชคชัยใช้ความเร็วเฉลี่ย 77.7 กม./ชม. ใช้เวลา 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมง เป็นเส้นทางนอกเมือง พบอุปสรรคระหว่างการเดินทางคือวางท่อ (เกิดระหว่างวันที่ 1-25 กุมภาพันธ์ 2562 เวลา 08.00 - 17.00 น. ของทุกวัน) เวลาเนื่องจากอุปสรรคซ่อมถนนเส้นทางนอกเมือง คือ 1.5 เท่าของระยะเวลาเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ดังนั้น สามารถคิดเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุปสรรคที่เกิดจากการซ่อมถนนระหว่างอำเภอเมืองนครราชสีมาไปฟาร์มโชคชัย คือ 30 นาที (ระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทางที่เพิ่มขึ้น = เวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง (เท่า) คูณ เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (นาที) = 1.5 x 60 = 90 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 60 นาที ดังนั้น ระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรค = 30 นาที)

การสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (T_w) ได้จากการดึงข้อมูลมาจากบริการเว็บสภาพอากาศโดยส่งข้อมูลพิกัดพื้นที่ที่ต้องการพยากรณ์ไปยังเว็บให้บริการค้นหาข้อมูลการพยากรณ์จากเว็บไซต์วันเดอร์กราวด์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากบริการเว็บมาวิเคราะห์ร่วมกับเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันซึ่งแบ่งตามเงื่อนไขการแบ่งลักษณะสภาพอากาศตามเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, www, 25562) ที่ได้จัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล จะได้ค่าเฉลี่ยจำนวนเท่าของเวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ ทั้งนี้ ในการคำนวณจะตรวจสอบว่าเส้นทางระหว่าง 2 สถานที่ปลายทางนั้นเป็นเส้นทางในเมืองหรือนอกเมือง เพื่อนำค่าเวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศที่ได้ไปคำนวณร่วมกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างสถานที่ปลายทาง 2 สถานที่ต่อไป ตัวอย่างการคำนวณเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ 3.4 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทางเริ่มต้นที่ อำเภอเมืองนครราชสีมาไปยังอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์มโชคชัยไปยังวัดบ้านไร่และสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นคืออำเภอเมืองนครราชสีมา ต้องการวางแผนการเดินทางวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 ต้องการคำนวณเวลาที่เปลี่ยนไปเนื่องจากปัจจัยทางสภาพอากาศระหว่าง 2 สถานที่ ได้แก่ อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ไป ฟาร์มโชคชัย ซึ่งปกติแล้วใช้เวลาเดินทาง 25 นาที ใช้ความเร็วเฉลี่ย 51.75 กม./ชม. เป็นเส้นทางในเมือง หากวันเดินทางตรงกับวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 เมื่อดึงค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกันพบว่ามีค่า 2 เท่าของระยะเวลาเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ดังนั้น สามารถคิดเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพอากาศระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปฟาร์มโชคชัยคือ 25 นาที (เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพ

อากาศ (เท่า) x เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (นาที) เท่ากับ 2 x 25 = 50 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 25 นาที ดังนั้น เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ คือ 25 นาที)

การสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (T_p) ได้จากการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลซึ่งเก็บรวบรวมจากการสอบถามข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คนเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (ศศิวิมล กอบัว, 2556: 54) ได้แก่ ช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ และช่วงวันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน ทั้งนี้ ในการคำนวณจะตรวจสอบว่าเส้นทางระหว่าง 2 สถานที่ท่องเที่ยวนั้นเป็นเส้นทางในเมืองหรือนอกเมือง เพื่อนำค่าเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไปคำนวณร่วมกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยว 2 สถานที่ต่อไป ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ 3.4 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทางเริ่มต้นที่อำเภอเมืองนครราชสีมาไปยังอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์ม-โชคชัย ไปยังวัดบ้านไร่และสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นคืออำเภอเมืองนครราชสีมา ต้องการวางแผนการเดินทางวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 สมมติให้เป็นวันเสาร์และอาทิตย์ติดวันมาฆบูชา (หากวิ่งเส้นทางในเมืองหรือนอกเมืองจะมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เท่า) ระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์มโชคชัย ปกติแล้วใช้เวลาเดินทาง 25 นาที ใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ 51.75 กม./ชม. เนื่องจากเป็นวันเสาร์และอาทิตย์ติดวันมาฆบูชา เพราะฉะนั้นใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นในช่วงดังกล่าวโดยวิ่งเส้นทางในเมืองคือ 2 เท่า ดังนั้น สามารถคิดเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปฟาร์มโชคชัยได้เท่ากับ 25 นาที (ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงวันหยุด (เท่า) x เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (นาที) = 2 x 25 = 50 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 25 นาที จะได้เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปฟาร์มโชคชัย คือ 25 นาที)

การสร้างเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (T_r) ได้จากการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลซึ่งเก็บรวบรวมจากการสอบถามข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คนเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยในการแวะพักระหว่างการเดินทางของสถานที่แวะพักแต่ละประเภท (ศศิวิมล กอบัว, 2556: 58) จากนั้นระบบทำการกำหนดค่าให้อย่างอัตโนมัติ ทั้งนี้ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการแวะพักระหว่างทาง จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ 3.4 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทางเริ่มต้นที่ อำเภอเมืองนครราชสีมาไปยังอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์มโชคชัยไปยังวัดบ้านไร่และสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นคืออำเภอเมืองนครราชสีมา ระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์มโชคชัย ใช้เวลาเดินทาง 25 นาที ต้องการแวะพักที่ปั๊มน้ำมัน และร้านอาหาร (ค่าเฉลี่ยในการแวะพักปั๊มน้ำมันคือ 20 นาที และร้านอาหาร 30 นาที ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้) ดังนั้น สามารถคิดระยะเวลาที่ใช้ในการ

เดินทางรวมระยะเวลาแวะพักระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปฟาร์มโชคชัยคือ 1 ชั่วโมง 15 นาที (ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางรวมระยะเวลาแวะพัก = ระยะเวลาเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ + ระยะเวลาแวะพัก = 25 + 50 = 75 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 15 นาที)

- เงื่อนไขบังคับด้านเวลาของแผนการเดินทาง ได้แก่ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว แบ่งเป็นแบบวันเดียวและหลายวัน ได้จากผู้ใช้ระบุวันเวลาเริ่มต้น/สิ้นสุดของการเดินทาง

3) ขั้นตอนการจัดแผนการเดินทางเบื้องต้น (Create Initial Solution by using SPS)

ในขั้นตอนการจัดแผนการเดินทางเบื้องต้น (Initial Solution) นี้ จะใช้เทคนิคการหาลำดับการผ่านสถานที่ที่พิจารณาเลือกสถานที่จากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดจากสถานที่ปัจจุบันและต้องเป็นสถานที่ที่ยังไม่เคยไปมาก่อนให้มาอยู่ในแผนการเดินทาง ในการเลือกสถานที่ต้องมีการตรวจสอบว่าอยู่ในเงื่อนไขบังคับหรือไม่และพิจารณาความเป็นไปได้ในการเดินทางกลับสู่จุดเริ่มต้นเสมอ (Shortest Path Search Technique: SPS) เรียกเทคนิคนี้โดยย่อว่าเทคนิคเอสพีเอส (SPS) ทำซ้ำขั้นตอนการเลือกสถานที่จนกระทั่งไม่มีสถานที่ให้พิจารณาแล้วหรือเมื่อแผนการเดินทางใช้ระยะเวลามากกว่ากรอบระยะเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้มีในการท่องเที่ยว แผนการเดินทางที่ได้จะประกอบไปด้วยหลายสถานที่ปลายทางที่มีลำดับต่อเนื่องกันไป

สำหรับเทคนิคเอสพีเอสนี้ได้ประยุกต์มาจากแนวทางการค้นหาของขั้นตอนวิธีเอสตาร์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แก้ปัญหาวิถีสั้นสุด โดยในงานวิจัยนี้ได้ปรับแต่งฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะทางของขั้นตอนวิธีเอสตาร์จากสมการที่ 2.3 ให้มีความเหมาะสมเข้ากับรูปแบบปัญหาในงานวิจัยนี้ แนวคิดของเทคนิคเอสพีเอสจะใช้ฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ในการคาดเดาอย่างมีเหตุผล โดยในปัญหาการวิจัยครั้งนี้ที่นักท่องเที่ยวต้องการเยี่ยมสถานที่ให้ได้ครบหรือมากสถานที่ที่สุดภายในกรอบเวลาที่จำกัด ซึ่งในการเลือกแผนการเดินทางเบื้องต้นที่มีระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่โดยรวมน้อยที่สุดก็มีความน่าจะเป็นที่ทำให้ได้แผนการเดินทางที่ประกอบด้วยสถานที่ท่องเที่ยวหลายแห่งมากที่สุด ดังนั้นการที่เลือกสถานที่ที่อยู่ใกล้ที่สุดกับสถานที่ที่อยู่ปัจจุบันแล้วเดินทางไปสถานที่นั้นก่อน เมื่อไปถึงสถานที่นั้นแล้วค่อยทำในทำนองเดียวกันอีกว่า จะเดินทางไปยังสถานที่ที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่น้อยที่สุดสถานที่ถัดไป ทำเช่นนี้จนกระทั่งเยือนครบทุกสถานที่หรือจนกระทั่งไม่อยู่ในเงื่อนไขของกรอบเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว ก็น่าจะได้แผนการเดินทางที่มีหลายสถานที่มากที่สุดที่เป็นแผนการเดินทางเบื้องต้นเพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทางเพื่อค้นหาแผนการเดินทางอื่นที่น่าจะเป็นคำตอบที่ดีกว่าต่อไป สำหรับสมการของเทคนิคเอสพีเอสที่ได้ปรับแต่งฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่นั้นแสดงดังสมการที่ 3.1

$$f(x) = h(x) + g(x) \quad (3.1)$$

โดยที่ $f(x)$ คือ ค่าประมาณของค่าฮิวริสติกทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแผนการเดินทาง

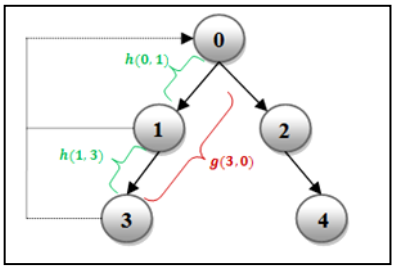
$h(x)$ คือ ค่าฮิวริสติกที่ยอมรับได้ของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่ปัจจุบันถึงสถานที่เป้าหมาย

$g(x)$ คือ ค่าฮิวริสติกที่ยอมรับได้ที่เก็บเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่ปลายทางสุดท้ายกลับไปยังสถานที่เริ่มต้น

โดยเซตของเทคนิคเอสพีเอสนี้จะเก็บค่าของระยะเวลาในการเดินทางของสถานที่ที่ไปมาแล้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของฮิวริสติกที่เก็บค่าระยะเวลาการเดินทางจากจุดเริ่มต้น เพื่อเทียบกับกรอบระยะเวลาของแผนการเดินทาง (Time of Itinerary) หรือระยะเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้มีในการท่องเที่ยว สำหรับรูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการคำนวณ $f(x)$ จากสถานที่เริ่มต้น 0 ผ่านสถานที่ปลายทาง 1 และ 3 จากนั้นย้อนกลับมายังสถานที่เริ่มต้น 0 ซึ่งการคำนวณ $f(0,3)$ เป็นดังนี้

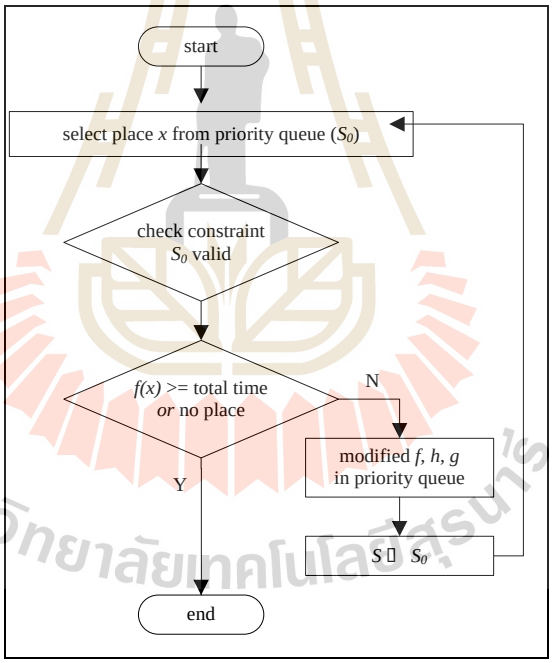
$$f(0,3) = h(0,1) + h(1,3) + g(3,0)$$

อธิบายได้ดังนี้ ค่าประมาณของค่าฮิวริสติกทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแผนการเดินทางจากสถานที่เริ่มต้น 0 ไปสถานที่ปลายทาง 3 และกลับมายังสถานที่เริ่มต้น 0 เท่ากับค่าฮิวริสติกที่ยอมรับได้ของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่เริ่มต้น 0 ถึงสถานที่ปลายทาง 1 บวกกับค่าฮิวริสติกที่ยอมรับได้ของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่ปลายทาง 1 ถึงสถานที่ปลายทาง 3 บวกกับค่าฮิวริสติกที่ยอมรับได้ที่เก็บระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่ 3 กลับไปยังสถานที่เริ่มต้น 0 และเมื่อคำนวณแล้ว $f(x)$ ต้องเป็นค่าที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ต้องไม่มากไปกว่าค่าระยะเวลาของแผนการเดินทาง



รูปที่ 3.4 ค่า $g(x)$ และค่า $h(x)$ ในฟังก์ชันฮิวริสติกแบบค่าของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ($f(x)$)

สำหรับแผนผังขั้นตอนการทำงานของเทคนิคเอสพีเอส แสดงดังรูปที่ 3.5 และรหัสเทียมของเทคนิคเอสพีเอส (ปิยรัตน์ งามสนิท จิติมนต์ อั่งสกุล และธรา อั่งสกุล, 2560: 717) แสดงดังตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังขั้นตอนการทำงานของเทคนิคเอสพีเอส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.5 รหัสเทียมของเทคนิคเอสพีเอส

```
SPS_Technique(Itinerary)
prioritize all places x in priority queue based on the least value of f(x), sort ascending
  while stopping criteria not met do
    for i=1 to count_all_places do
      pop the first place x from priority queue which is not visited
      push the place x into the Route, modified Route
    f(route) = f(x) + Visiting Time
      If check constraints  f(route) valid then
          accept the Route as current solution (S)
          accept the f(route) as current Cost of S, C(S)
          modified a heuristic f, h, g of all places in priority queue
        else
          go to pop the first place x from priority queue again
      end if
    end for
  end while
return generated solution, priority queue
```

จากรูปที่ 3.5 ในการทำงานของเทคนิคเอสพีเอสจะใช้แถวคอยลำดับความสำคัญ (Priority Queue) เพื่อจัดอันดับความสำคัญให้สถานที่ x ที่มีค่า $f(x)$ น้อยที่สุดหรือใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุดให้มีความสำคัญมากกว่า ในแต่ละรอบการทำงานของขั้นตอนวิธี จะเลือกสถานที่ x ที่ไม่เคยไปมาก่อนและมีค่า $f(x)$ ต่ำที่สุด (select place x from priority queue ($S0$)) เมื่อเลือกสถานที่ x แล้ว จากนั้นจะปรับค่า f ค่าฮิวริสติก h และ g ของสถานที่ที่จะถูกพิจารณาต่อในแถวคอย (modified f, h, g in priority queue) ในการยอมรับให้สถานที่ x มาอยู่ในเส้นทางจะมีการตรวจสอบเงื่อนไขบังคับด้านเวลา (check constraint $S0$ valid) และตรวจสอบค่า $f(x)$ ทุกรอบการทำงาน ทำซ้ำขั้นตอนนี้ต่อไปจนกระทั่ง $f(x)$ มีค่าที่ยอมรับไม่ได้ กล่าวคือ มีค่าสูงกว่าค่าระยะเวลาของแผนการเดินทางหรือหยุดเมื่อแถวคอยไม่มีข้อมูลสถานที่แล้ว ($f(x)$ >= total time *or* no place) ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ แผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้นที่คาดว่าเยือนสถานที่ได้มากที่สุดและใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุดภายในกรอบเวลาที่กำหนด 1 เส้นทาง (S) เมื่อได้คำตอบเบื้องต้น S แล้ว ต้องตรวจสอบว่า S เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ หรืออยู่ในเงื่อนไขหรือไม่ (Check Constraint S) หากใช่จะคำนวณต้นทุนของ S (Calculate Cost of S: $C(S)$) แต่หาก S ไม่อยู่ในเงื่อนไขจะวนกลับไปสร้างคำตอบแรก S ใหม่จนกว่าจะได้ S ที่อยู่ในเงื่อนไข

ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้นที่เป็นไปได้ตามเทคนิคเทคนิคเอสพีเอสในกรณีที่สามารถเดินทางได้ตามเงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ไม่มีสถานที่ใดถูกตัดออกจากแผนการเดินทาง) มีข้อมูลตัวอย่างระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง สถานที่ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่

การเดินทางระหว่างสถานที่	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่
0 → 1	100 นาที
0 → 2	69 นาที
0 → 3	88 นาที
0 → 4	34 นาที
1 → 0	105 นาที
1 → 2	143 นาที
1 → 3	185 นาที
1 → 4	113 นาที
2 → 0	70 นาที
2 → 1	143 นาที
2 → 3	153 นาที
2→ 4	40 นาที
3 → 0	88 นาที
3 → 1	185 นาที
3 → 2	153 นาที
3 → 4	119 นาที
4 → 0	34 นาที
4 → 1	113 นาที
4 → 2	40 นาที
4 → 3	119 นาที

จากตารางที่ 3.6 สามารถอธิบายได้ว่า หากต้องการเดินทางจากสถานที่ 1 ไปสถานที่ 4 จะใช้เวลาเดินทาง 113 นาที เดินทางจากสถานที่ 3 ไปสถานที่ 1 ใช้เวลาเดินทาง 185 นาที และเดินทางจากสถานที่ 2 กลับไปจุดเริ่มต้นคือสถานที่ 0 จะใช้เวลาเดินทาง 70 นาที ซึ่งตัวอย่างรายละเอียดการประมวลผลเพื่อค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้ตามเทคนิคเอสพีเอส สรุปได้ดังตารางที่ 3.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้เบื้องต้นตามเทคนิคเอสพีเอส

รอบการประมวลผล	เส้นทางที่พิจารณาในแถวคอย	ค่า $h(x)$	ค่า $f(x)$ ($h(x) + g(x)$)	เส้นทางที่เลือก (S)
1	0-1-0	100	205	~~0-1-0~~
	0-2-0	69	139	~~0-2-0~~
	0-3-0	88	178	~~0-3-0~~
	0-4-0	34	***74***	**0-4-0** ✓
2	0-4-1-0	153	258	~~0-4-1-0~~
	0-4-2-0	80	***150***	**0-4-2-0** ✓
	0-4-3-0	159	247	~~0-4-3-0~~
3	0-4-2-1-0	223	328	~~0-4-2-1-0~~
	0-4-2-3-0	233	***321***	**0-4-2-3-0** ✓

จากตารางที่ 3.7 ในรอบการประมวลผลที่ 1 เส้นทางที่พิจารณาในแถวคอย 0-4-0 มีค่าของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางหรือ $f(x)$ ต่ำที่สุด จึงเลือกเส้นทางนี้ให้เป็นเส้นทางคำตอบปัจจุบัน S จากนั้นตรวจสอบว่า S อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ หากอยู่ในเงื่อนไขก็จะนำไปเป็นฐาน (Base) ในการคำนวณในรอบการประมวลผลรอบต่อไป เพื่อเลือกสถานที่ที่จะผ่านในลำดับถัดไป ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนกระทั่งค่า $f(x)$ เกินกว่าค่าระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทาง หรือไม่มีสถานที่ในแถวคอยให้พิจารณาแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือ แผนการเดินทางเบื้องต้น S ที่สามารถไปเยือนสถานที่ได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา จากตัวอย่างคือ แผนการเดินทาง 0-4-2-3-0 ที่มีค่า $f(x)$ เท่ากับ 321 (S = 0-4-2-3-0, $C(S)$ = 315) อธิบายได้ดังนี้ เดินทางออกจากจุดเริ่มต้นสถานที่ 0 ไปยังสถานที่ปลายทาง 4 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นสิ้นสุดการเดินทางโดยกลับมายังจุดเริ่มต้นคือสถานที่ 0 โดยที่แผนการเดินทาง 0-4-2-3-0 นี้ ใช้ระยะเวลาทั้งหมดในการเดินทาง เท่ากับ 321 นาที จากนั้นแผนการเดินทางเบื้องต้น S จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง เพื่อค้นหาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดหรือแผนการเดินทางที่ใกล้เคียงแผนที่ดีที่สุดต่อไป

3.1.2.2 กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง (The Process of Improvement Solution)

ในกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทางนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนที่พยายามค้นหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม ซึ่งในการค้นหาอาจพบกับคำตอบที่แย่กว่าได้ ในบางขั้นตอนวิธีจะไม่ยอมรับคำตอบที่แย่กว่าเลยซึ่งจะทำให้ติดปัญหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ แต่ในขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่นำขั้นตอน

วิธีการจำลองแบบอบเหนียวเป็นฐานในการพัฒนานี้ สามารถยอมรับคำตอบที่แย่กว่าได้โดยใช้กฎบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลท์ซมันน์ในการพิจารณา ทำให้หลุดจากปัญหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ และมีโอกาสนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่ดีที่สุดต่อไป

ในการทำงานของกระบวนการปรับปรุงคำตอบ เมื่อได้แผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้นแล้ว ในกระบวนการนี้จะใช้หลักการสับเปลี่ยน (Swap) บางส่วนของแผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้น S เพื่อค้นหาแผนการเดินทางอื่นที่อาจเปลี่ยนทิศทาง (Vector) ในการค้นหาให้ชี้ไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันโดยใช้หลักในการสับเปลี่ยน (Waters, 1987: 835) ผังขั้นตอนการทำงานของกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทางแสดงดังรูปที่ 3.3 กรอบที่ 2 ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง และ 2) ขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง

ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะใช้ฟังก์ชันการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighbor Function: $N(S)$) เพื่อค้นหาคำตอบใหม่ที่อยู่รอบ ๆ สถานะคำตอบปัจจุบันในปริภูมิการค้นหา วัตถุประสงค์คือ เพื่อค้นหาคำตอบที่น่าจะดีกว่าเดิมและเปลี่ยนปริภูมิสถานะการค้นหาให้แตกต่างจากคำตอบเดิมเพื่อหลุดจากการติดปัญหาผลเฉลยที่เหมาะสมเฉพาะที่ ในการสร้างคำตอบใหม่จะถูกสร้างโดยฟังก์ชันการค้นหาคำตอบใกล้เคียง $N(S)$ ที่นำเทคนิคเอสพีเอสมาประยุกต์ใช้ เมื่อได้ S' จะมีการตรวจสอบเงื่อนไขและคำนวณ $C(S')$ หาก S' ไม่อยู่ในเงื่อนไขก็จะทำซ้ำจนกระทั่งได้ S' ใหม่ที่เป็นไปได้ในที่สุด

หลักการทำงานของขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: เริ่มสร้างคำตอบใหม่ S' จากฟังก์ชันการค้นหาคำตอบใกล้เคียง $N(S)$ โดยนำแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบปัจจุบัน S (อาจมาจากแผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้นหรือแผนการเดินทางคำตอบจากรอบการประมวลผลที่แล้ว) มาเป็นฐานในการคำนวณเพื่อสับเปลี่ยนให้ได้แผนการเดินทางคำตอบใหม่

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณสับเปลี่ยนคำตอบเพื่อสร้างคำตอบใหม่ S' จาก $N(S)$ โดยเริ่มการสับเปลี่ยนสถานที่ x ใน*ระดับที่ 1* หรือ *L1* ก่อน ในการเลือกว่าสถานที่ x นั้นจะสับเปลี่ยนกับสถานที่ใด $N(S)$ จะใช้เทคนิคเอสพีเอส เลือกสถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนเหมือนในขั้นตอนการจัดแผนการเดินทางเบื้องต้น กล่าวคือ เลือกสถานที่ที่ใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุดจากสถานที่ที่อยู่ในปัจจุบัน โดยพิจารณาค่า $h(x)$ ที่ดีที่สุดในขณะนั้น (ในที่นี้คือมีค่าน้อยที่สุด) เพื่อที่จะได้มาซึ่งคำตอบใหม่ที่อยู่รอบ ๆ คำตอบปัจจุบันตามเทคนิคการค้นหาคำตอบใกล้เคียง ดังนั้น สถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนจึงต้องเป็นสถานที่ที่บรรจุอยู่ใน S แล้ว สุดท้ายเมื่อมีการสับเปลี่ยนสถานที่ก็จะได้แผนการเดินทางที่เป็นคำตอบใหม่ S'

ขั้นตอนที่ 3: ตรวจสอบ S' ว่าอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาหรือไม่ หากอยู่ในเงื่อนไขนั่นคือคำตอบ S' เป็นแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ให้คำนวณหา $C(S')$ และไปยังขั้นตอนที่ 4 แต่หากไม่อยู่ในเงื่อนไขให้คงคำตอบไว้ที่ S เหมือนเดิม และเลือกสถานที่ที่อยู่ในแถวคอยขึ้นมาสับเปลี่ยนต่อไป (หากสถานที่ที่อยู่ในแถวคอยใน $L1$ หมด ให้ย้ายไปสับเปลี่ยนคำตอบที่ $L2, L3$ จนถึง Ln ต่อไป)

ขั้นตอนที่ 4: จากนั้น S' จะเข้าสู่ขั้นตอนการพิจารณายอมรับให้เป็นคำตอบหรือสถานะใหม่ของระบบ ซึ่งจะถูกยอมรับหาก $C(S')$ ดีกว่า $C(S)$ หรือมีค่าความน่าจะเป็นในการเคลื่อนย้ายที่เหมาะสม ($S \leftarrow S'$) (อธิบายเพิ่มเติมในขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบ)

ขั้นตอนที่ 5: ก่อนที่จะเคลื่อนย้ายคำตอบ ขั้นตอนพิเศษในการค้นหาแผนการเดินทางที่อาจเยือนสถานที่ได้มากกว่า S ที่เป็นแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบันจะทำงาน โดยใช้หลักการสำรวจว่า หากมีบางสถานที่ที่ยังเหลืออยู่และยังไม่ถูกจัดให้อยู่ในแผนการเดินทางแล้ว (สถานที่ y) สามารถเพิ่มสถานที่นั้นเข้าไปในแผนการเดินทางได้อีกหรือไม่ ซึ่งขั้นตอนพิเศษนี้จะทำให้มีโอกาสได้แผนการเดินทางคำตอบใหม่อีกแผนการเดินทางหนึ่งนั่นคือ S'' ที่เยือนสถานที่ได้มากกว่าแผนการเดินทางคำตอบเดิม หรืออาจเยือนได้ครบทุกสถานที่ หรือเยือนสถานที่ได้มากที่สุดตามที่ผู้ใช้ระบุ โดยหลักการในการหา S'' คือให้เพิ่มสถานที่ y เข้าไปในแผนการเดินทาง S โดยพิจารณาเลือกสถานที่ y จากค่า $h(y)$ ที่มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นตรวจสอบ S'' ว่าอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาหรือไม่ ถ้าอยู่ให้คำนวณหา $C(S'')$ แต่ถ้าไม่อยู่ในเงื่อนไขให้คงคำตอบไว้ที่ S' เหมือนเดิม

ขั้นตอนที่ 6: บันทึกแผนการเดินทางคำตอบที่เป็นไปได้ไว้ในตัวแปรที่ใช้จัดเก็บคำตอบ ในกรณีที่บันทึกคำตอบ S มาเรื่อย ๆ แล้วขั้นตอนพิเศษในการค้นหาแผนการเดินทางที่อาจเยือนสถานที่ได้มากกว่า S สามารถค้นหาคำตอบ S'' ได้ ก็จะล้างแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบเก่าทั้งหมดออกจากตัวแปรที่ใช้เก็บคำตอบและเริ่มเก็บคำตอบใหม่ เนื่องจากแผนการเดินทาง S'' มีจำนวนสถานที่มากกว่าแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบัน กล่าวคือ ไปเยือนสถานที่ได้มากกว่า จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-5 จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า (Inner Loop Break Condition Valid) ขั้นตอนนี้จะทำให้ระบบมีคำตอบหรือสถานะที่เข้าใกล้คำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่

***ขั้นตอนที่ 7*:** ปรับลดค่าพารามิเตอร์ T ตามฟังก์ชัน $\alpha(T)$ ที่ได้กำหนดไว้ตามตารางการจัดการการอบเหนียว (Set Cooling Schedule) แล้วเริ่มทำซ้ำขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (ขั้นตอนที่ 1-5) ทั้งหมดใหม่อีกครั้ง กระบวนการจะยุติ (ระบบถูกแช่แข็ง) เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งในกระบวนการยุติการทำงานเป็นจริง

สำหรับตัวอย่างการประมวลผลขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงแสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ตัวอย่างการประมวลผลขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง

รอบที่	ระดับการสับเปลี่ยน	เส้นทางคำตอบปัจจุบัน (S)	สถานที่พิจารณาสับเปลี่ยน	ค่า $h(x)$	เส้นทางที่สับเปลี่ยน (S')	เส้นทางที่พิจารณาเมื่อเพิ่มสถานที่ (S'')	ค่า $f(x)$	ผลการพิจารณา S''	เส้นทางที่เก็บ
1	L1	0-4-2-3-0	2	69	***0-2-4-3-0***	0-2-4-3-1-0	429	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-4-2-3-0,
						0-2-4-3-5-0	349	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-2-4-3-0
						0-2-4-3-6-0	408	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
			3	76	~~0-3-2-4-0~~	-	-	-	
2	L1	0-2-4-3-0	3	76	***0-3-4-2-0***	0-3-4-2-1-0	330	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-4-2-3-0,
						0-3-4-2-5-0	325	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-2-4-3-0,
						0-3-4-2-6-0	410	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-3-4-2-0
			4	88	~~0-4-2-3-0~~	-	-	-	
3	L1	0-3-4-2-0	2	69	~~0-2-4-3-0~~	-	-	-	0-4-2-3-0,
			4	88	***0-4-3-2-0***	0-4-3-2-1-0	540	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-2-4-3-0,
						0-4-3-2-5-0	320	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-3-4-2-0,
						0-4-3-2-6-0	511	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-4-3-2-0
4	L1	0-4-3-2-0	2	69	***0-2-3-4-0***	0-2-3-4-1-0	334	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-4-2-3-0,
						0-2-3-4-5-0	569	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-2-4-3-0,
						0-2-3-4-6-0	425	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-3-4-2-0,
			3	76	~~0-3-4-2-0~~	-	-	-	0-4-3-2-0,
									0-2-3-4-0
5	L1	0-2-3-4-0	3	76	0-3-2-4-0	0-3-2-4-1-0	596	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-3-2-4-5-0
						0-3-2-4-5-0	355	เก็บ	
						0-3-2-4-6-0	680	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
			4	88	~~0-4-2-3-0~~	-	-	-	
6	L1	0-3-2-4-5-0	2	69	~~0-2-3-4-5-0~~	-	-	-	0-3-2-4-5-0,
			4	88	~~0-4-2-3-5-0~~	-	-	-	0-5-2-4-3-0
			5	30	***0-5-2-4-3-0***	0-5-2-4-3-1-0	594	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
						0-5-2-4-3-6-0	605	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
7	L1	0-5-2-4-3-0	2	69	***0-2-5-4-3-0***	0-2-5-4-3-1-0	798	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-3-2-4-5-0,
						0-2-5-4-3-6-0	568	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-5-2-4-3-0,
			3	76	~~0-3-2-4-5-0~~	-	-	-	0-2-5-4-3-0
			4	88	~~0-4-2-5-3-0~~	-	-	-	
8	…	…	…	…	…	…	…	…	…

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 3.8 สามารถอธิบายตัวอย่างการประมวลผลขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงได้ดังนี้ ในรอบการทำงานที่ 1 การค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะเริ่มการสับเปลี่ยนสถานที่ในระดับที่ *1* หรือ *L1* ก่อน จากตัวอย่างแผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้นที่ได้คือ 0-4-2-3-0 จะได้ว่า $L0 = 0$, $L1 = 4$, $L2 = 2$ และ $L3 = 3$ ซึ่งในที่นี้ *L1* มีค่าเท่ากับ 4 ให้สถานที่ 4 เป็นสถานที่ที่ต้องถูกสับเปลี่ยน ซึ่งมีสถานที่ที่จะนำมาพิจารณาเพื่อสับเปลี่ยนได้แก่ สถานที่ 2 และ 3 (สถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนต้องเป็นสถานที่ที่บรรจุอยู่ใน S แล้ว) กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สถานที่ 2 และ 3 คือเซตของจุดข้างเคียง (Neighborhood Points) ในการพิจารณาเลือกสถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนกับสถานที่ 4 ตามเทคนิคเอสพีเอส $N(S)$ จะเลือกจากค่า $h(x)$ ที่ดีที่สุด ในที่นี้คือสถานที่ 2 ที่ใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุดจากสถานที่ 0 รองจากสถานที่ 4 ดังนั้น จึงสับเปลี่ยนสถานที่ 4 กับสถานที่ 2 ได้ S' เท่ากับ 0-2-4-3-0 จากนั้นตรวจสอบ S' ใน 2 เงื่อนไขคือ 1) ต้องไม่อยู่ในรายการของเส้นทางที่เส้นทางที่เคยไปมาแล้ว และ 2) ต้องอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา (จากตัวอย่างสมมติให้ S' อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดทุกกรณี) จากนั้น พิจารณาว่าจะยอมรับ S' เป็นคำตอบของระบบหรือไม่ (ในขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบ) สมมติให้ยอมรับ S' เป็นคำตอบของระบบ ($S \leftarrow S'$) ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนย่อยในการค้นหาแผนการเดินทางที่อาจเยือนสถานที่ได้มากขึ้นนั่นคือแผนการเดินทาง S'' จากตัวอย่างดังตารางที่ 3.8 กำหนดเพิ่มเติมให้มีสถานที่ 1, 5 และ 6 ที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาแต่ยังไม่ถูกจัดให้อยู่ในแผนการเดินทาง ดังนั้น จะได้แผนการเดินทางที่เพิ่มสถานที่ที่ยังไม่ถูกพิจารณา S'' ดังนี้ 0-2-4-3-1-0, 0-2-4-3-5-0 และ 0-2-4-3-6-0 คำนวณค่า $f(x)$ ของ S'' ทั้ง 3 แผนการเดินทางและตรวจสอบว่าอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ หากอยู่ในเงื่อนไขก็จะล้างแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบเก่าออกจากตัวแปรที่ใช้เก็บคำตอบ และเริ่มเก็บคำตอบใหม่ เนื่องจากเส้นทาง S'' มีจำนวนสถานที่มากกว่าแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบันกล่าวคือ ไปเยือนสถานที่ได้มากกว่า แต่หาก S'' ไม่อยู่ในเงื่อนไขก็จะใช้ S เป็นฐานในการค้นหาคำตอบใกล้เคียงต่อไป ในที่นี้ S'' ทั้ง 3 แผนการเดินทางไม่อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจึงไม่เก็บเป็นแผนการเดินทางคำตอบ สำหรับแผนการเดินทางคำตอบที่เก็บเพิ่มได้จากรอบการทำงานที่ 1 คือ 0-2-4-3-0 ซึ่งแผนการเดินทาง 0-2-4-3-0 นี้หมายถึงแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบปัจจุบัน S ที่จะใช้เป็นฐานในการค้นหาคำตอบใกล้เคียงในรอบการทำงานที่ 2 ต่อไป

ในรอบการทำงานที่ 2 ก็จะเริ่มต้นการค้นหาคำตอบใกล้เคียงเหมือนกับการทำงานในรอบที่ 1 คือใช้แผนการเดินทางที่เป็นคำตอบปัจจุบัน S (0-2-4-3-0) เป็นฐานในการคำนวณสับเปลี่ยน เริ่มการสับเปลี่ยนที่ *L1* ในที่นี้คือสถานที่ 2 มีสถานที่ที่เป็นเซตของจุดข้างเคียงที่ต้องพิจารณาสับเปลี่ยนตามเทคนิคเอสพีเอสจำนวน 2 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ 3 และ 4 ในที่นี้ได้เลือกสถานที่ 3 มาสับเปลี่ยน ได้ S' เท่ากับ 0-3-4-2-0 พิจารณาการยอมรับ S' เป็นคำตอบของระบบ สมมติให้ยอมรับ S' จากนั้นเพิ่มสถานที่ที่ยังไม่ถูกพิจารณา (สถานที่ 1, 5 และ 6) เพื่อหา S'' คำนวณ

ค่า $f(x)$ ของ S'' ในรอบการทำงานที่ 2 นี้กำหนดให้ S'' ทั้ง 3 แผนการเดินทาง (0-3-4-2-1-0, 0-3-4-2-5-0, 0-3-4-2-6-0) ไม่อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจึงไม่เก็บเป็นแผนการเดินทางคำตอบ ดังนั้น แผนการเดินทางที่เป็นคำตอบที่เก็บได้เพิ่มจากรอบการทำงานที่ 2 คือ 0-3-4-2-0 นั่นหมายความว่ามีแผนการเดินทางคำตอบที่ขั้นตอนวิธีคำนวณหาได้แล้ว 3 คำตอบ ได้แก่ 0-4-2-3-0, 0-2-4-3-0 และ 0-3-4-2-0

ส่วนในรอบการทำงานที่ 3 มี S คือ 0-3-4-2-0 เริ่มการสับเปลี่ยนที่ $L1$ ในที่นี้คือสถานที่ 3 และมีสถานที่ที่เป็นเซตของจุดข้างเคียงที่ต้องพิจารณาสับเปลี่ยนจำนวน 2 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ 2 และ 4 เมื่อกระบวนการสับเปลี่ยนคำตอบเลือกสถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนตามเทคนิคเอสพีเอสนั่นคือสถานที่ 2 กลับพบว่า S' ที่ได้ซึ่งเท่ากับ 0-2-4-3-0 นั้น อยู่ในรายการของเส้นทางที่เคยไปมาแล้ว (พิจารณาไปแล้วในรอบการทำงานที่ 1) ซึ่งทำให้ S' 0-2-4-3-0 นี้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขการยอมรับ S' ถึงแม้สถานที่ 2 จะมีค่า $h(x)$ ดีกว่าสถานที่ 4 ที่เป็นจุดแข่งขันข้างเคียง (Candidate Points) ก็ตาม ดังนั้น อย่างไรเสีย ขั้นตอนวิธีก็จะไม่เลือกแผนการเดินทาง 0-2-4-3-0 มาพิจารณาให้เป็น S' แต่เลือกแผนการเดินทางอื่นคือ 0-4-3-2-0 แทน

สำหรับในรอบการทำงานที่ 4 ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะถูกทำลักษณะเช่นเดียวกับรอบการทำงานที่ผ่านมา

ส่วนในรอบการทำงานที่ 5 ได้มีการยอมรับ S'' เกิดขึ้นซึ่งคือ 0-3-2-4-5-0 ที่เป็นเส้นทางที่มีจำนวนสถานที่มากกว่าเส้นทางคำตอบในปัจจุบันและอยู่ในเงื่อนไขตามที่กำหนด ดังนั้น ในรอบการทำงานนี้จึงมีการล้างเส้นทางที่เป็นคำตอบเก่าที่ขั้นตอนวิธีคำนวณหาได้แล้ว 4 คำตอบ ได้แก่ 0-2-4-3-0, 0-3-4-2-0, 0-4-3-2-0 และ 0-2-3-4-0 ออกจากตัวแปรที่ใช้เก็บคำตอบและเริ่มเก็บคำตอบใหม่ โดยเริ่มเก็บ 0-3-2-4-5-0 เป็นแผนการเดินทางคำตอบที่หนึ่ง เพราะแผนการเดินทาง S'' 0-3-2-4-5-0 มีจำนวนสถานที่ 5 สถานที่ซึ่งมากกว่าแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบันที่มีจำนวนสถานที่เพียง 4 สถานที่ จากรอบการทำงานที่ 5 นี้ จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีโอกาสพบคำตอบที่ดีขึ้นที่สามารถเยือนสถานที่ได้มากกว่าเส้นทางคำตอบเดิม

ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะถูกทำซ้ำจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ได้กำหนดไว้ ขั้นตอนนี้จะทำให้ระบบมีคำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ สุดท้ายจะทำการปรับลดค่าพารามิเตอร์ T ตามฟังก์ชัน $\alpha(T)$ ที่ได้กำหนดไว้ แล้วเริ่มทำซ้ำขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบทั้งหมดใหม่อีกครั้ง โดยจะยุติการจัดเก็บคำตอบ (ระบบถูกแช่แข็ง) เมื่อเงื่อนไขการยุติในกระบวนการยุติการทำงานเป็นจริง จากตัวอย่างตามตารางที่ 3.8 หากสิ้นสุดการทำงานที่รอบที่ 7 จะได้แผนการเดินทางที่เป็นผลลัพธ์ทั้งสิ้น 3 แผนการเดินทางที่สามารถเดินทางไปเยือนได้ 5 สถานที่รวมจุดเริ่มต้น ได้แก่ 0-3-2-4-5-0, 0-5-2-4-3-0 และ 0-2-5-4-3-0 ซึ่งมีระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางเท่ากับ 355 นาที 367 นาที และ 405 นาทีตามลำดับ

2) ขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบ

ขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบใหม่ให้เป็นคำตอบปัจจุบันนี้ เป็นขั้นตอนที่แทรกอยู่ในกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง จะเริ่มทำงานหลังจากที่ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงสร้างแผนการเดินทางคำตอบใหม่ที่เป็นไปได้ขึ้นมา (ทั้ง S' และ S'') เมื่อมีแผนการเดินทางคำตอบใหม่เกิดขึ้นในระบบ จะต้องเปรียบเทียบระหว่างแผนที่เป็นคำตอบปัจจุบันกับแผนที่เป็นคำตอบใหม่ว่าแผนใดดีกว่ากัน เพื่อที่จะเคลื่อนย้ายฐานในการคำนวณไปที่แผนการเดินทางคำตอบนั้น โดยหวังว่าคำตอบที่ดีกว่าจะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่ดีที่สุดต่อไป แต่หากเปรียบเทียบแล้วแผนการเดินทางคำตอบใหม่แย่กว่าแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบัน ในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายคำตอบจะพิจารณาบนกฎพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann's Probability: β) (Yu, Lin, Lee, and Ting, 2010: 293)

หลักการทำงานของขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบมีดังนี้ หลังจากที่ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงสร้างเส้นทางคำตอบใหม่ที่เป็นไปได้ขึ้นมา ได้แก่ S' และ S'' ในการที่จะพิจารณายอมรับให้เป็นคำตอบของระบบ S จะเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของต้นทุน (ในที่นี้คือระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของแผนการเดินทาง) ระหว่าง $C(S)$ กับ $C(S')$ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3.2

$$\Delta E = C(S) - C(S') \tag{3.2}$$

โดยที่ ΔE คือ ค่าความแตกต่างระหว่างต้นทุนของแผนการเดินทางคำตอบ S และ S'

$C(S)$ คือ ต้นทุนของแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบ S

$C(S')$ คือ ต้นทุนของแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบ S' (หากเป็นการเปรียบเทียบ S'' สามารถเปลี่ยนเป็น $C(S'')$ ได้)

ถ้า ΔE น้อยกว่า 0 (คำตอบใหม่ดีกว่าคำตอบเก่า) จะปรับปรุงให้ S' เป็นแผนการเดินทางคำตอบหรือสถานะของระบบ ($S \leftarrow S'$) แต่ถ้าไม่ใช่ (คำตอบใหม่แย่กว่าคำตอบเก่า) การที่จะยอมรับ S' ให้เป็น S เพื่อกระจายของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบจะพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายคำตอบหรือ $prob(\Delta E)$ หาได้จากสมการที่ 3.3 โดยเปรียบเทียบ $prob(\Delta E)$ กับค่าความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ที่ได้จากการสุ่มตัวเลข β ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมา ถ้า $prob(\Delta E) > \beta[0,1]$ แล้ว จะให้ S' เป็นคำตอบของระบบ แต่หากไม่ใช่ให้คงคำตอบไว้ที่ S เหมือนเดิม

$$prob(\Delta E) = e^{-\Delta E/kT} \quad (3.3)$$

โดยที่ $prob(\Delta E)$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างต้นทุนของแผนการเดินทางคำตอบ S และ S'

ΔE คือ ค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยวที่เปลี่ยนแปลงไป

e คือ ค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์ มีค่าประมาณ 2.718

k คือ ค่าคงที่ของโบลท์ซมันน์

T คือ ค่าอุณหภูมิของระบบ

กำหนดให้ $C(S) = 29$, $C(S') = 40$ ดังนั้น $\Delta E = 40 - 29 = 11$ รายละเอียดการคำนวณดังนี้

ถ้า $T = 100$, $prob(\Delta E=11) = e^{-0.11} = 0.896$ → ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบมี**มาก**

ถ้า $T = 10$, $prob(\Delta E=11) = e^{-1.1} = 0.333$ →ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบมี**น้อย**

ถ้า $T = 1$, $prob(\Delta E=11) = e^{-11} = 0.001$ →ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบ**แทบจะไม่มีเลย**

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบใหม่เมื่อคำตอบใหม่ไม่ดีไปกว่าคำตอบปัจจุบัน

จากรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่า $prob(\Delta E)$ อธิบายได้ดังนี้ เมื่อเริ่มระบบค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น T เท่ากับ 100 ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่แย่กว่าจะมีมาก กล่าวคือโอกาสที่ $\beta[0,1]$ เป็นตัวเลขในช่วง 0-0.896 มีมาก ในขณะที่เมื่อทำการค้นหาในปริภูมิสถานะไประยะหนึ่งค่าพารามิเตอร์ T ถูกปรับลดลงเหลือเท่ากับ 10 ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่แย่กว่าจะเริ่มลดน้อยลง และเมื่อค้นหาไปอีกจนค่าพารามิเตอร์ T ถูกปรับลดลงเหลือเท่ากับ 1 ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่แย่กว่าก็แทบจะไม่มีเลย จากตัวอย่างชี้ให้เห็นว่า ในขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงเมื่อเริ่มต้นการค้นหาเส้นทาง S' หรือ S'' ถึงแม้จะได้เส้นทางคำตอบที่แย่กว่าเดิม แต่ระบบก็จะยอมรับเอามาเป็นคำตอบของระบบ เพราะปริภูมิการค้นหายังเหลือพื้นที่ที่ยังไม่ได้สำรวจกว้างอยู่ แต่เมื่อเกิดการค้นหาไประยะหนึ่ง ค่า T ลดต่ำลง ทำให้ค่า $prob(\Delta E)$ ที่คำนวณได้มีค่าน้อยลง ซึ่งหมายถึงปริภูมิการค้นหาเริ่มแคบลง กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ได้เกิดการค้นหาจนจะทั่วปริภูมิแล้ว การยอมรับคำตอบที่แย่กว่าจึงไม่จำเป็นอีกต่อไป ทำให้เส้นทาง S' หรือ S'' ที่แย่กว่า S ที่สร้างขึ้นในระยะหลังของการค้นหามักจะไม่ถูกยอมรับ จนนำไปสู่กระบวนการยุติการทำงานต่อไป ซึ่งขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบนี้จะช่วยกรอบให้การค้นหาอยู่ในเวลาที่เหมาะสมได้

3.1.2.3 กระบวนการยุติการทำงาน (Stopping Criteria)

ในกระบวนการยุติการทำงานของขั้นตอนวิธี จะมีขั้นตอนการพิจารณาเงื่อนไขในการยุติ และจะยุติการทำงานของระบบเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งเป็นจริง โดยได้กำหนดพารามิเตอร์เพื่อพิจารณาการยุติการทำงาน ดังต่อไปนี้

1) ยุติการทำงานเมื่อพารามิเตอร์อุณหภูมิสุดท้าย $T_{\min}$ เท่ากับ 0.01 เมื่อมีการปรับค่า T ตาม α (T) ค่า T จะถูกลดต่ำลงเรื่อย ๆ ในการทดลองนี้ จึงกำหนดใช้ T_{min} เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหยุดการทำงานของระบบ โดยกำหนด T_{min} ที่ 0.01 ให้เป็นอุณหภูมิสุดท้ายซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอแล้วก่อนที่ T ลดต่ำลงจนมีค่าเป็นศูนย์ (Lin, Vincent, and Lu, 2011: 15248; Vincent, Lin, Lee, and Ting, 2010: 293)

2) ยุติการทำงานเมื่อค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้แล้ว โดยเมื่อค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้แล้ว กระบวนการทั้งหมดก็สามารถยุติการทำงานทั้งหมดได้

3.1.3 ทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา จะทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบ (Solution) และประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี (Elapsed Time) โดยทดสอบเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่พัฒนา (SA_SPS) กับขั้นตอนวิธีอื่นในรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Travel Itinerary Planner Problem under Time Constraints: TIPP) ซึ่งเป็นปัญหาในงานวิจัยนี้ และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) โดยการกำหนดสถานการณ์จำลองขึ้นมาสำหรับรายละเอียดในการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพขั้นตอนวิธี เป็นดังต่อไปนี้

3.1.3.1 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Travel Itinerary Planner Problem under Time Constraints: TIPP) ซึ่งคำตอบหรือแผนการเดินทางที่ได้จากปัญหาในรูปแบบนี้ หมายถึงเส้นทางที่อาจเยือนสถานที่ปลายทางได้ครบหรือไม่ครบทุกแห่งก็ได้โดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน แต่ทั้งนี้ แผนการเดินทางจะต้องคำนึงถึงการเยือนสถานที่ให้ได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา สำหรับการทดสอบและประเมินผล ทำในทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบและประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี

จากรูปแบบปัญหาที่มีการตัดบางสถานที่ท่องเที่ยวที่ไม่เข้าเงื่อนไขบังคับด้านเวลาออกจากแผนการเดินทางทิ้งไป ส่งผลให้ในการประมวลผลแต่ละครั้ง แผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้อาจมีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวไม่เท่ากัน ดังนั้น ประเด็นด้านคำตอบในปัญหานี้จึงหมายถึงจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่สามารถไปได้ในการประมวลผลครั้งหนึ่ง ส่วนความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี ในที่นี้หมายถึง เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาแผนการเดินทาง (ไม่รวมเวลาในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่น) การทดสอบและประเมินผลทำโดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นอีก 4 ขั้นตอนวิธี ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm หรือ Brute-Force Algorithm: ER) (Hui and Yonghui, 2010: 169-171)

2) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm: PR) (ปิยรัตน์ งามสนิท ธรา อั่งสกุล และจิติมนต์ อั่งสกุล, 2552: 480-486)

3) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (Simulated Annealing: SA)

4) ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Best First Search: GBFS)

ในการทดสอบทำโดยใช้สถานที่ที่มีจำนวนแตกต่างกันตั้งแต่ 3 แห่ง จนถึง 20 แห่ง ประมวลผลโดยนำเงื่อนไขบังคับด้านเวลาทุกเงื่อนไขจากตารางที่ 3.1 มาคำนวณร่วมด้วย จากนั้นประมวลผลในแต่ละขั้นตอนวิธี ซึ่งทำซ้ำขั้นตอนวิธีละ 100 ครั้ง (จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิ งานวิจัยของเหลียง ซาง ซาง หัว และหลิม (Leung, Zhang, Zhang, Hua, and Lim, 2013) ที่ประมวลผลแต่ละชุดข้อมูลโดยทำซ้ำขั้นตอนวิธีละ 30 ครั้ง และงานวิจัยของฟาง เชน และหลิว (Fang, Chen, and Liu, 2007) ที่ประมวลผลแต่ละชุดข้อมูลโดยทำซ้ำขั้นตอนวิธีละ 20 ครั้ง ดังนั้น การประมวลผล 100 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ก็น่าจะเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ข้อมูล) โดยในการประมวลผลแต่ละครั้งจะเก็บผลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวในแผนการเดินทางที่ขั้นตอนวิธีหาได้ในการประมวลผลครั้งหนึ่ง ซึ่งถือว่าคือคำตอบ และเก็บเวลาในการประมวลผลที่ขั้นตอนวิธีใช้ในการคำนวณหาแผนการเดินทางนั้น ๆ ซึ่งถือว่าคือความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี จากนั้นนำผลการทดสอบ 100 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบหาค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีต่อไป โดยชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบจะเริ่มการวางแผนการเดินทางที่สถานที่ปลายทางจำนวน 3 แห่ง และสถานที่ปลายทางใหม่จะถูกเพิ่มทีละ 1 แห่ง จนครบ 20 แห่ง ใช้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาซึ่งได้จากฐานข้อมูลบริการเว็บ และบริการแผนที่กูเกิล แต่เนื่องจากสถานที่ถูกนำมาวางแผนมีเพียงเขตเวลาในจังหวัดนครราชสีมาเท่านั้น จึงได้กำหนดเขตเวลาสมมติเพื่อให้มีความแตกต่างกัน ดังนั้น การจำลองสถานการณ์จึงต้องใส่ข้อมูลตัวเลขเขตเวลาอื่น ๆ ในการทดสอบ เช่น น้ำตกเหวนรกเขาใหญ่มีเขตเวลา +7 แต่ในการทดสอบจะเปลี่ยนเขตเวลาเป็น +8 ฯลฯ

3.1.3.2 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด หรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) (Geng et al., 2011) นอกเหนือจากการทดลองกับปัญหาที่เกิดขึ้นในการเดินทางท่องเที่ยว งานวิจัยนี้ยังได้ขยายการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่เสนอในปัญหาการวางแผนการเดินทางอื่น ในที่นี้ได้ทดลองกับปัญหาการวางแผนท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งคำตอบหรือแผนการเดินทางที่ได้จากปัญหาในรูปแบบนี้ หมายถึงเส้นทางที่ต้องเยือนสถานที่ปลายทางให้ครบทุกแห่งโดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน และแผนการเดินทางจะต้องมีต้นทุนน้อยที่สุด กล่าวคือ มีระยะเวลาในการเดินทางสั้นที่สุด ซึ่งปัญหานี้มีลักษณะคล้ายกันกับปัญหาการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย สำหรับการทดสอบและประเมิน ทำในทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบและประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี

เนื่องจากการวางแผนการเดินทางตามรูปแบบปัญหานี้ไม่มีเงื่อนไขบังคับด้านเวลา เพียงแต่ต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางให้น้อยที่สุด ดังนั้น จึงสามารถไปได้ทุกเส้นทาง (ไม่มีการตัดสถานที่ท่องเที่ยวออกจากแผน) เยือนทุกสถานที่ และเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอ จากรูปแบบของปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้จำนวนสถานที่ในแผนการเดินทางที่ได้จากการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีในปัญหานี้มีจำนวนเท่ากันเสมอ ดังนั้น คำตอบในปัญหานี้จึงหมายถึงระยะเวลาของแผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้ในการประมวลผลครั้งหนึ่ง ส่วนความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี ในที่นี้หมายถึง เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาแผนการเดินทาง (ไม่รวมเวลาในการดึงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่น) การทดสอบและประเมินผลทำโดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นอีก 4 ขั้นตอนวิธีในรูปแบบปัญหาเดียวกันดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm หรือ Brute-Force Algorithm: ER) (Hui and Yonghui, 2010: 169-171)

2) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm: PR) (ปิยรัตน์ งามสนิท ธรา อั่งสกุล และจิติมนต์ อั่งสกุล, 2552: 480-486)

3) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (Simulated Annealing: SA)

4) ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Best First Search: GBFS)

ในการทดสอบทำโดยใช้สถานที่ปลายทางที่มีจำนวนแตกต่างกันตั้งแต่ 3 แห่ง จนถึง 20 แห่ง ไม่มีเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ทำการทดสอบโดยเริ่มการวางแผนการเดินทางที่สถานที่ปลายทางจำนวน 3 แห่ง จากนั้นสถานที่ปลายทางใหม่จะถูกเพิ่มทีละ 1 แห่ง จนครบ 20 แห่ง การพิจารณาเพิ่มสถานที่ปลายทางใด ๆ ให้มาอยู่ในแผน จะต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่

น้อยที่สุด การประมวลผลในแต่ละขั้นตอนวิธี ทำขั้นตอนวิธีละ 100 ครั้ง โดยในการประมวลผลแต่ละครั้งจะเก็บผลที่ได้จากการทดสอบในทั้ง 2 ประเด็นที่ต้องการประเมินผล ได้แก่ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยวหรือระยะเวลาของแผนการเดินทางในแผนการเดินทางที่ขั้นตอนวิธีหาได้ในการประมวลผลครั้งหนึ่ง ซึ่งถือว่าคือคำตอบ และเก็บเวลาในการประมวลผลที่ขั้นตอนวิธีใช้ในการคำนวณหาแผนการเดินทางนั้น ๆ ซึ่งถือว่าคือความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี จากนั้นนำผลการทดสอบ 100 ครั้ง ไปหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบหาค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีต่อไป

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา และประเมินขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่พัฒนาขึ้นมา มีดังต่อไปนี้

3.2.1 ด้านฮาร์ดแวร์ ได้แก่ อุปกรณ์และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- หน่วยประมวลผลกลางชนิด: Intel(R) Core(TM) i5 M560 ความถี่ 2.76 GHz
- หน่วยความจำสำรองขนาด 4 GB
- หน่วยความจำหลัก 500 GB 500RPM SATA Hard Drive
- อุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย DW1520 Wireless-N WLAN Half-Mini Card
- อุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เช่น เมาส์ แป้นพิมพ์ เครื่องพิมพ์ ฯลฯ

3.2.2 ด้านซอฟต์แวร์ ได้แก่ ระบบปฏิบัติการและโปรแกรมประยุกต์สำหรับพัฒนาขั้นตอนวิธี ประกอบด้วย

- ระบบปฏิบัติการ: Window 7 Professional 32 bit operating system
- เว็บบราวเซอร์: Windows Internet Explorer 11
- เครื่องมือในการพัฒนาขั้นตอนวิธี PHP Script Language 5.2.6
- เว็บเซิร์ฟเวอร์: Apache Web Server 2.2.8
- ระบบจัดการฐานข้อมูล: MySQL 2.10.3

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่จะนำมาประมวลผลขั้นตอนวิธีได้รวบรวมจากหลายแหล่งข้อมูล ได้แก่ ฐานข้อมูลจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่เก็บข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลา อาทิ ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวภายในจังหวัดนครราชสีมา ระยะเวลาที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่แยกตามประเภทการท่องเที่ยว/ตามประเภทของสถานที่ เวลาที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีอุปสรรคระหว่างทาง และระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง นำไปประมวลผลร่วมกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาอื่น ๆ ที่ได้จากบริการเว็บ และบริการแผนที่กูเกิล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้กำหนดการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสร้างสถานการณ์จำลองเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นทั้งในประเด็นด้านคำตอบและด้านความเร็วในการประมวลผลในรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ (TIPP และ TSP) ซึ่งวิเคราะห์โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี ซึ่งสามารถบอกได้ว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีประสิทธิภาพดีกว่าหรือแย่กว่าขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบร้อยละเท่าใด โดยในการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

วิเคราะห์ในประเด็นด้านคำตอบและประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี วิเคราะห์โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นอีก 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1.1 ประเด็นด้านคำตอบ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ได้จากการประมวลผล 100 ครั้งของแต่ละขั้นตอนวิธี และนำไปหาค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบตามสมการที่ 3.4 ซึ่งหากขั้นตอนวิธีใดมีค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปได้มากกว่า ก็ถือว่าขั้นตอนวิธีนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

$$E_{SolutionTIPP} = \frac{(S_TIPP_p - S_TIPP_c)}{S_TIPP_p} \; x \; 100 \qquad (3.4)$$

โดยที่ $E_{SolutionTIPP}$ คือ ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

S_TIPP_p คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ได้จากการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

S_TIPP_c คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ได้จากการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

3.4.1.2 ประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล คำนวณจากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีเพื่อหาแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ จากการประมวลผล 100 ครั้งของแต่ละขั้นตอนวิธี จากนั้นนำไปหาค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลตามสมการที่ 3.5 หากขั้นตอนวิธีใดใช้เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลน้อยกว่า ขั้นตอนวิธีนั้นก็ย่อมให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

$$E_{ElaspedTime} = \frac{(V_c - V_p)}{V_c} \; x \; 100 \qquad (3.5)$$

โดยที่ $E_{ElaspedTime}$ คือ ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วในการประมวลผล

V_p คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา

V_c คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ทำในลักษณะคล้ายกันกับปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา กล่าวคือ วิเคราะห์ในประเด็นด้านคำตอบและประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นอีก 4 ขั้นตอนวิธีดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์มีดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.2.1 ประเด็นด้านคำตอบ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทางที่ได้จากการประมวลผล 100 ครั้งของแต่ละขั้นตอนวิธี และนำไปหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งหากขั้นตอนวิธีใดประมวลผลแล้วได้ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทางน้อยกว่า ก็ถือว่าขั้นตอนวิธีนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ซึ่งค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย หาได้จากสมการที่ 3.6

$$E_{SolutionTSP} = \frac{(S_TSP_c - S_TSP_p)}{S_TSP_c} \; x \; 100 \qquad (3.6)$$

โดยที่ $E_{SolutionTSP}$ คือ ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

S_TSP_p คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทางที่ได้จากการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

S_TSP_c คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทางที่ได้จากการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

3.4.2.2 ประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล คำนวณจากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีเพื่อหาแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ จากการประมวลผล 100 ครั้งของแต่ละขั้นตอนวิธี จากนั้นนำไปหาค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลตามสมการที่ 3.5 เช่นเดียวกัน หากขั้นตอนวิธีใดใช้เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลน้อยกว่า ขั้นตอนวิธีนั้นก็ย่อมให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยมุ่งเน้นที่การพัฒนาขั้นตอนวิธีให้สามารถค้นหาแผนการเดินทางที่เน้นการบริหารเวลากับสถานที่ปลายทางให้เหมาะสม กล่าวคือ ไปท่องเที่ยวในสถานที่ได้มากแห่งที่สุดภายในระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวกำหนด ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและการอภิปรายผล สำหรับหัวข้อในบทที่ 4 มีดังต่อไปนี้

4.1 ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

4.1.1 ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล

4.1.2 ส่วนคำนวณจุดอุปสรรค

4.1.3 ส่วนเลือกแผนการเดินทาง

4.1.4 ส่วนคำนวณจุดแวะพัก

4.1.5 ส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว

4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ซึ่งรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ สามารถอธิบายได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1 ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

เพื่อให้เห็นผลของการทำงานของขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาอย่างชัดเจน จึงได้มีการทดลองนำขั้นตอนวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ได้มีผู้พัฒนาไว้แล้ว ในที่นี้ได้ประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ซึ่งระบบถูกพัฒนาแล้วจากงานวิจัยเดิมของศศิวิมล กอบัว (2556)) โดยขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจะทำหน้าที่คำนวณหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ผู้ใช้ระบุ โดยมีระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ดึงข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ ฐานข้อมูล บริการแผนที่กูเกิล และบริการเว็บ ตลอดจนอธิบายแผนการเดินทางต่อผู้ใช้ ซึ่งการทำงานของระบบดังกล่าวที่ได้นำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาไปทดสอบใช้งานนี้ อยู่นอกเหนือจากขอบเขตในการวิจัย

สำหรับการทำงานของระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล ส่วนคำนวณจุดอุปสรรค ส่วนเลือกแผนการเดินทาง ส่วนคำนวณจุดแวะพัก และส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว (ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข.) ซึ่งรายละเอียดของผลที่ได้จากการนำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้ในระบบต้นแบบแต่ละส่วน สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1.1 ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.1 เป็นขั้นตอนที่รับข้อมูลป้อนเข้าจากผู้ใช้ ได้แก่ สถานที่ท่องเที่ยว เวลาที่ใช้ ณ สถานที่ท่องเที่ยว วันเวลาในการเดินทางไปและกลับ และเวลาไปและกลับในแต่ละวัน ซึ่งส่วนปฏิสัมพันธ์เหล่านี้ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้เพื่อให้ระบุความต้องการของผู้ใช้เข้าสู่ระบบดังนี้

1) ผู้ใช้ระบุสถานที่ต้นทาง (สถานที่ออกเดินทาง) และสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเที่ยวอย่างน้อย 2 สถานที่ จากนั้นระบบจะค้นหาพิกัดของสถานที่และแสดงสถานที่ตามชื่อที่ผู้ใช้ระบุ โดยแสดงพิกัดในแผนที่ด้านขวา สำหรับข้อมูลส่วนนี้มีความเกี่ยวข้องกับขั้นตอนวิธีที่ต้องมีการสร้างเงื่อนไขบังคับด้านเวลาคือ จะนำชื่อสถานที่ที่ได้ไปหาพิกัดบนแผนที่เพื่อหาระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยว และเวลา ณ เขตเวลาของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งเงื่อนไขบังคับด้านเวลานี้ระบบวิเคราะห์ให้ ผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

รูปที่ 4.1 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ขั้นตอนที่ 1 ป้อนข้อมูล

2) ผู้ใช้ระบุระยะเวลาที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ ว่าต้องการแวะท่องเที่ยวแต่ละจุดเป็นเวลาเท่าไหร่ ซึ่งเงื่อนไขบังคับด้านเวลานี้ระบบกำหนดค่าปริยาย (Default) ที่ได้จากการดึงระยะเวลาเฉลี่ยในการแวะท่องเที่ยว ณ สถานที่ที่จัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูลให้ แต่ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงเวลาได้ เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในส่วนนี้นำไปคำนวณเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่

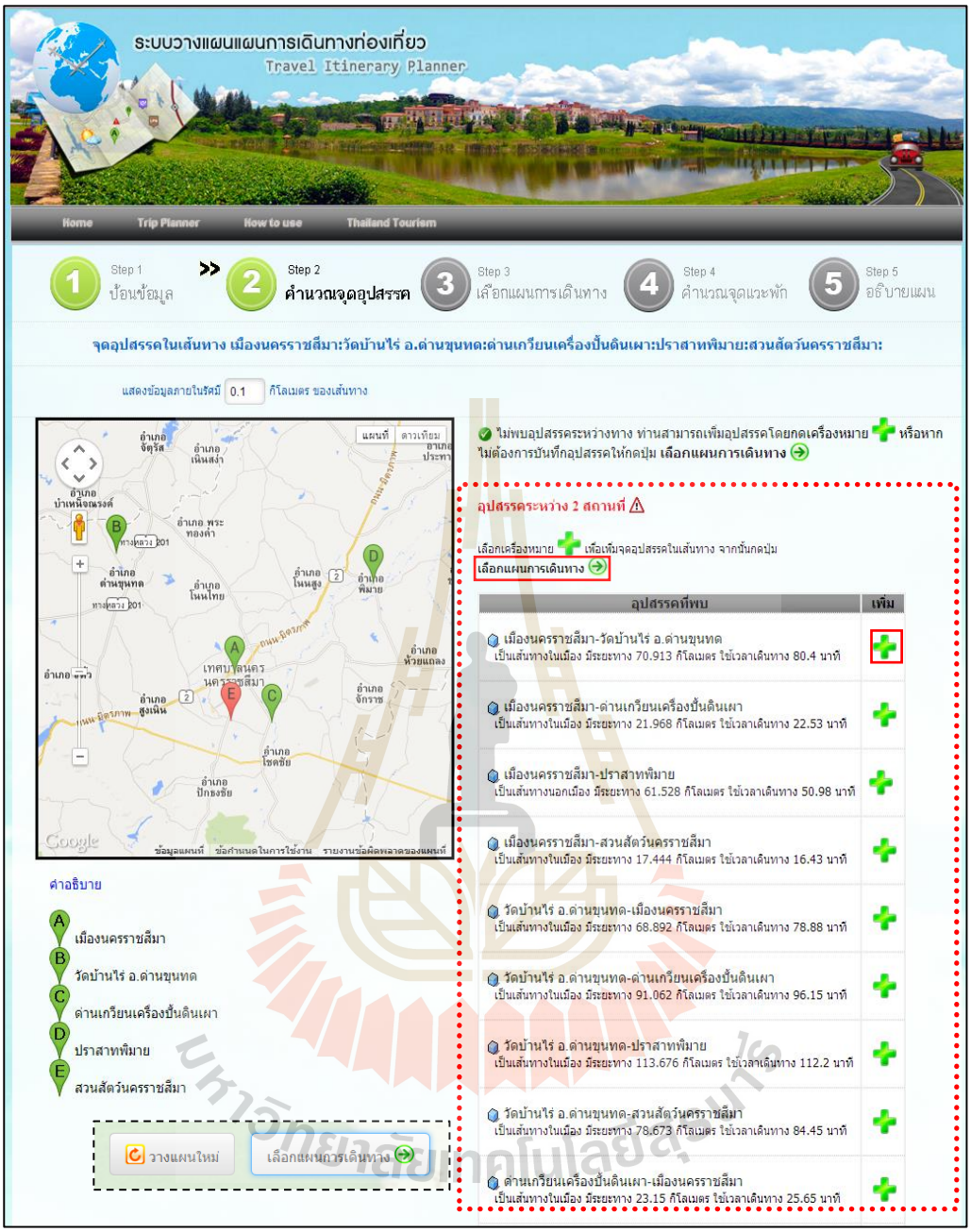
3) ผู้ใช้เลือกช่วงเวลาที่ต้องการท่องเที่ยว โดยระบุจำนวนวันที่ต้องการท่องเที่ยวและระบุเวลาเริ่มต้น/สิ้นสุดในการเดินทาง เวลาในส่วนนี้มีความเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาคือ ระยะเวลารวมของแผนการเดินทาง ระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

4) ระบุเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละวันตามลำดับของวันที่ที่ป้อนในส่วนที่ 3 โดยระบบมีค่าปริยายให้ ได้แก่ เวลาเริ่มต้น 06.00 น. และเวลาสิ้นสุด 18.00 น. ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงเวลาเองได้ เวลาในส่วนนี้มีความเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลา คือ ระยะเวลาเมื่อเกิดอุปสรรคระหว่างทาง ซึ่งระบบจะนำเงื่อนไขเวลาไปค้นหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นตรงวันและเวลาที่วางแผน และระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

เมื่อผู้ใช้ระบุข้อมูลครบแล้ว ให้กดปุ่ม “คำนวณจุดอุปสรรคระหว่างการเดินทาง” เพื่อไปในขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนคำนวณจุดอุปสรรค

4.1.2 ส่วนคำนวณจุดอุปสรรค

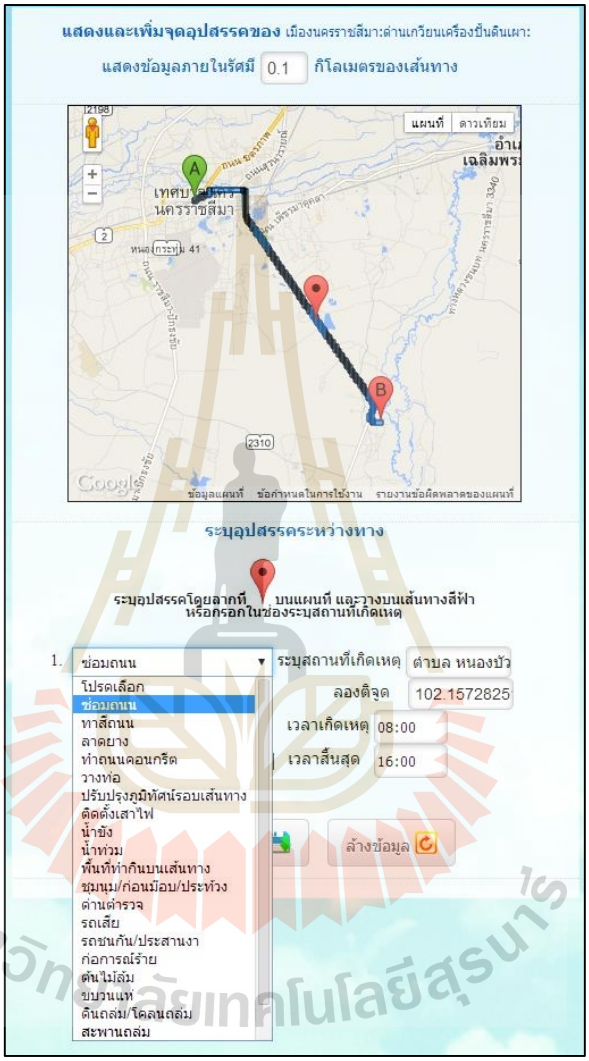
หลังจากผู้ใช้กดปุ่มคำนวณจุดอุปสรรคระหว่างการเดินทางในขั้นตอนที่ 1 แล้ว ระบบจะแสดงส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ในขั้นตอนที่ 2 โดยแสดงแผนที่ พิกัดของสถานที่ท่องเที่ยว คำอธิบายชื่อสถานที่ และจุดอุปสรรค (ถ้ามี) โดยระบบจะค้นหาอุปสรรคจากฐานข้อมูลอุปสรรคที่เกิดขึ้นตรงกับวันและเวลาเดินทางที่ผู้ใช้กำหนดออกมาแสดงทางด้านขวาตามเส้นทางเป็นคู่ ๆ ซึ่งอุปสรรคนี้มาจากการเพิ่มของผู้ดูแลระบบและผู้ใช้สามารถเพิ่มจุดอุปสรรคเองได้หากทราบว่ามีอุปสรรคเกิดขึ้นที่ใด ณ วันเดินทาง เวลาในส่วนนี้มีความเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลา คือ ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอุปสรรคระหว่างทาง ในกรณีไม่พบอุปสรรคระหว่างการเดินทาง จะปรากฏผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.2 หากต้องการเพิ่มอุปสรรคให้กดเครื่องหมายบวก (+) สีเขียว หากไม่ต้องการเพิ่มอุปสรรคในแผนการเดินทางให้กดปุ่ม “เลือกแผนการเดินทาง” เพื่อไปยังขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนเลือกแผนการเดินทาง หรือในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการกลับไปยังขั้นตอนที่ 1 ให้คลิกที่ปุ่ม “วางแผนใหม่”



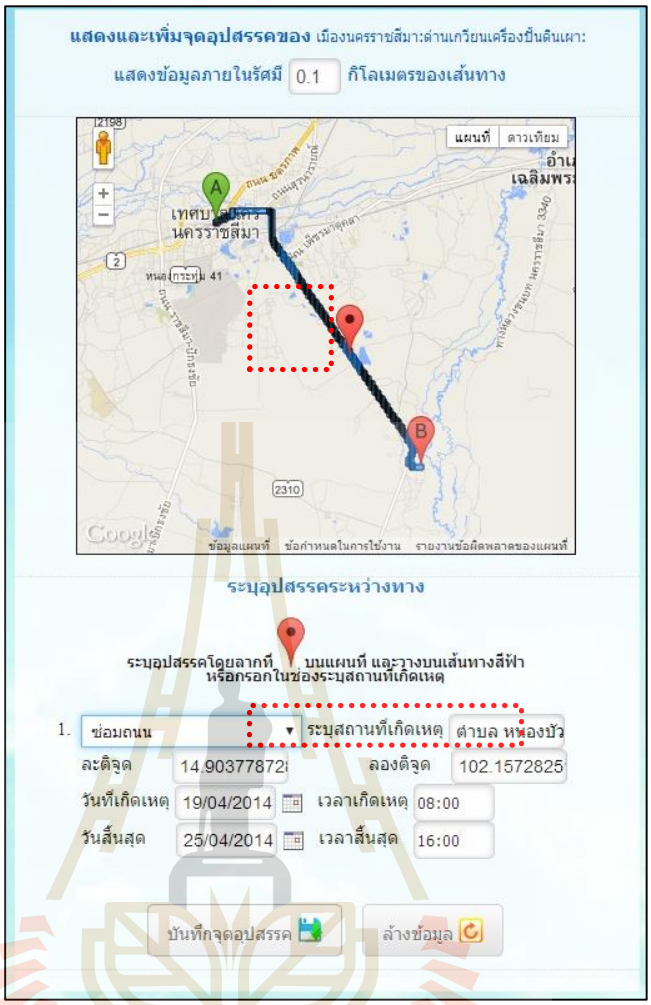
รูปที่ 4.2 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ขั้นตอนที่ 2 คำนวณจุดอุปสรรค

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มข้อมูลอุปสรรคระหว่างการเดินทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยวใดให้กดเครื่องหมายบวก (+) สีเขียวหลังชื่อของสถานที่ท่องเที่ยวนั้น จากนั้นจะมีหน้าต่างใหม่ปรากฏขึ้นมาดังรูปที่ 14.3 ให้ผู้ใช้ระบุจุดอุปสรรคภายในรัศมี 100 เมตรรอบเส้นทาง (เป็นรัศมีที่แคบที่สุดที่บริการแผนที่กูเกิลสามารถคำนวณได้) โดยสามารถระบุได้ 2 วิธี ได้แก่ ระบุชื่อสถานที่ที่เกิดจุดอุปสรรค จากนั้นบริการแผนที่กูเกิลจะระบุพิกัดศูนย์กลางของถนนเส้นนั้น อีกวิธีหนึ่งคือ

ปักหมุดไปบริเวณบนเส้นทางที่อุปสรรคเกิดขึ้น ซึ่งวิธีนี้จะได้พิกัดของอุปสรรคที่ถูกต้องกว่า เมื่อระบุเสร็จสิ้นให้กดเลือกปุ่ม “บันทึกอุปสรรค” เพื่อบันทึกข้อมูล หากต้องการกรอกข้อมูลใหม่ทั้งหมดให้เลือกปุ่ม “ล้างข้อมูล” ดังรูปที่ 4.4

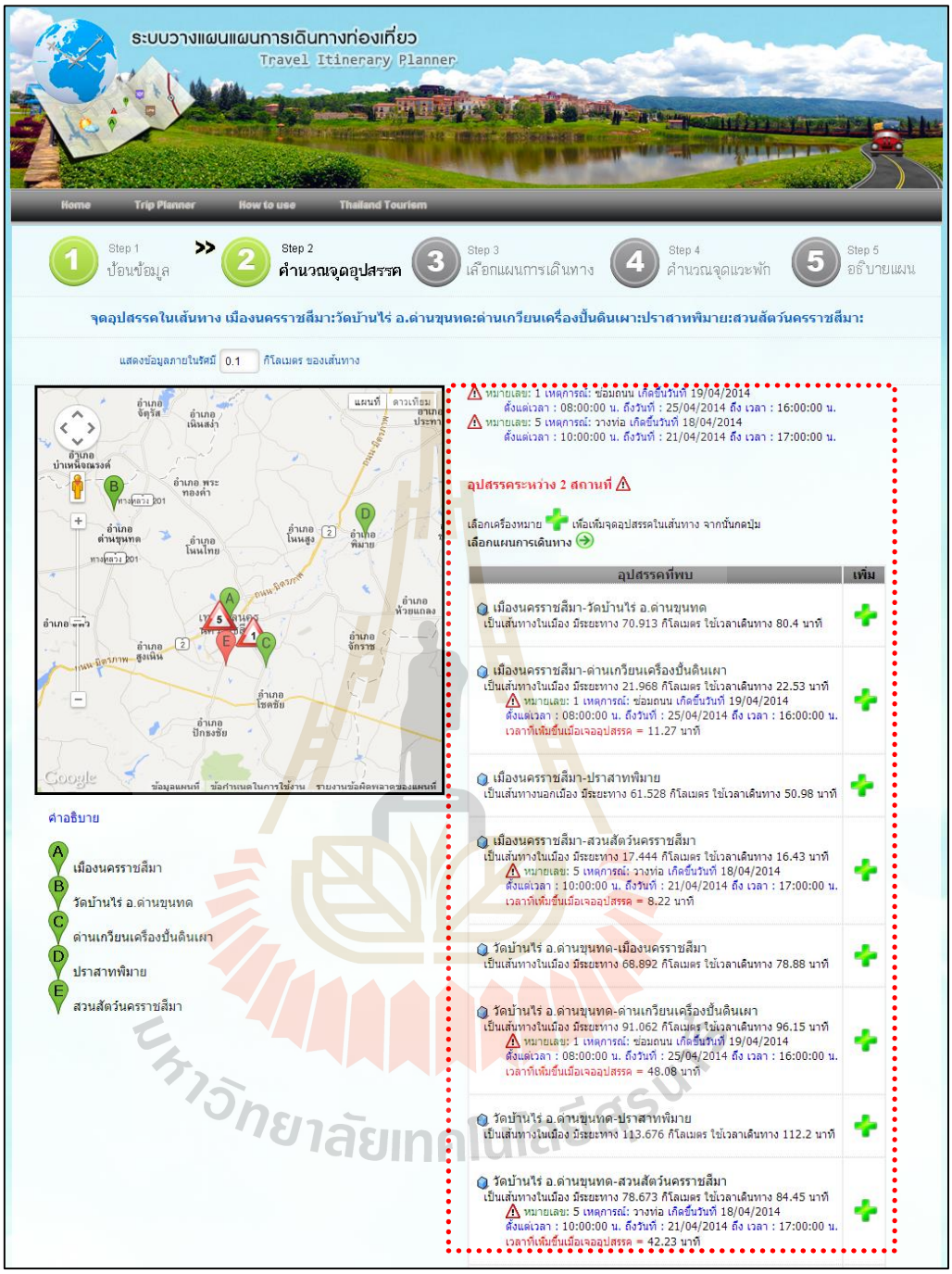


รูปที่ 4.3 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เมื่อเลือกประเภทจุดอุปสรรค



รูปที่ 4.4 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เมื่อเลือกจุด วันและเวลาที่เกิดอุปสรรค

เมื่อระบบคำนวณพบอุปสรรคที่มีอยู่ในฐานข้อมูลซึ่งตรงกับช่วงวันและเวลาในการวางแผนการท่องเที่ยว ระบบจะแสดงดังหน้าจอรูปที่ 4.5 จุดพิกัดของอุปสรรคจะถูกแสดงเป็นเครื่องหมายเตือนสีแดง ซึ่งระบุเลขของประเภทอุปสรรคบนแผนที่ และมีคำอธิบายของอุปสรรคทั้งหมดตามหมายเลขด้านขวา และอธิบายอุปสรรคที่เกิดขึ้นแยกแต่ละเส้นทาง จากนั้นให้กดปุ่ม “เลือกแผนการเดินทาง” เพื่อไปยังขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนเลือกแผนการเดินทาง



รูปที่ 4.5 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เมื่อเลือกจุดอุปสรรคในการคำนวณและการแสดงจุดอุปสรรคที่ถูกบันทึก

เมื่อผ่านขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนคำนวณจุดอุปสรรค นั่นหมายถึงผู้ใช้ได้ระบุเงื่อนไขบังคับด้านเวลาครบทุกเงื่อนไข และระบบได้ดึงข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากแหล่งอื่น ได้แก่ ฐานข้อมูลปัจจัยด้านเวลาอื่น ๆ ที่มีอยู่แล้ว อาทิ ข้อมูลเวลา เปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยว ระยะเวลา

เฉลี่ยที่ใช้อยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวแต่ละประเภท ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาต่าง ๆ วันหยุดนักขัตฤกษ์ และระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรค จากเว็บบริการต่าง ๆ ได้แก่ บริการแผนที่กูเกิล บริการเขตเวลา บริการพยากรณ์สภาพอากาศ ซึ่งถือว่าครบทุกเงื่อนไขแล้ว (ยกเว้นระยะเวลาแวะพักระหว่างทางที่จะถูกนำมาคำนวณในขั้นตอนที่ 4) ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาก็จะทำการประมวลผลภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากข้อมูลดังกล่าวตามขั้นตอนใน 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง และกระบวนการยุติการทำงาน เมื่อขั้นตอนวิธีประมวลผลเสร็จสิ้น จะส่งออกผลลัพธ์ที่ได้คือ แผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้เมื่อพิจารณาถึงเงื่อนไขบังคับดังกล่าวให้กับระบบ ซึ่งในที่นี้คือขั้นตอนที่ 3 เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแผนการเดินทางต่อไป

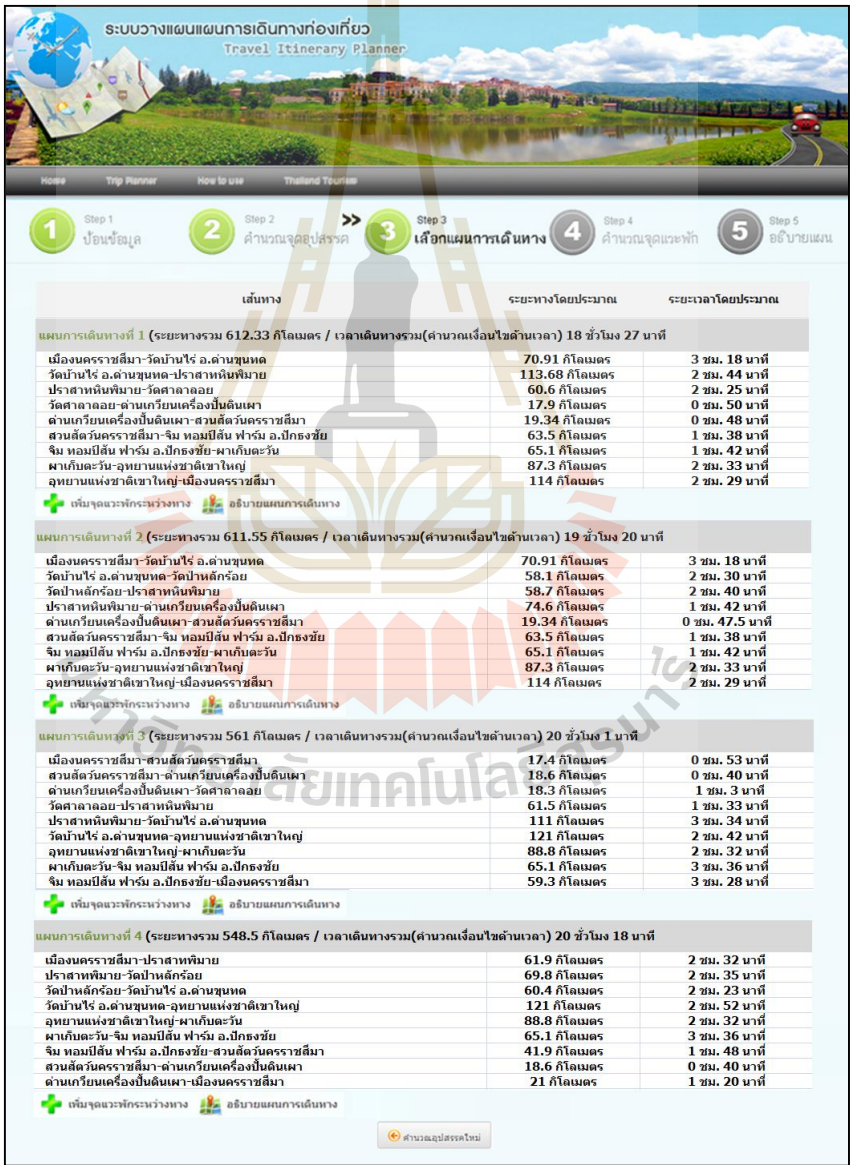
4.1.3 ส่วนเลือกแผนการเดินทาง

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนเลือกแผนการเดินทางดังแสดงในรูปที่ 4.6 แผนการเดินทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 แผน ถูกแสดงโดยเรียงระยะเวลาของแผนการเดินทางที่น้อยที่สุดก่อน ยกตัวอย่างการอธิบายรายละเอียดข้อมูลในแผนการเดินทางที่ 1 สิ่งที่ถูกนำมาแสดง ได้แก่ ระยะทางรวมซึ่งได้จากการคำนวณระยะทางจากแผนที่กูเกิล (612.33 กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ใช้ในแผนการเดินทางและท่องเที่ยวรวมซึ่งเป็นเวลาที่ถูกคำนวณจากเงื่อนไขเวลาทั้งหมดยกเว้นระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (18 ชั่วโมง 27 นาที) คอลัมน์สุดท้ายแสดงระยะเวลาในการเดินทางโดยประมาณซึ่งคำนวณได้จากระยะเวลาเดินทางจากบริการแผนที่กูเกิล คำนวณร่วมกับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากเงื่อนไขเวลาต่าง ๆ ได้แก่ ระยะเวลาเนื่องจากการเกิดอุปสรรคระหว่างทาง ระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน และระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

สำหรับตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาในการเดินทางโดยประมาณ ตัวอย่างเช่น การเดินทางจากเมืองนครราชสีมา ไปยัง วัดบ้านไร่ อ.ด่านขุนทด ปกติแล้วใช้ระยะเวลาเดินทาง 79 นาที หรือ 1.19 ช.ม. แต่เนื่องจากเกิดอุปสรรคซ่อมถนนระหว่างทางเส้นทางนอกเมืองเวลาเพิ่มขึ้น 1.5 เท่า ทำให้ใช้เวลาเพิ่มจากเดิม 39.5 นาที (1.5 x 79 = 118.5 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 79 นาที จะได้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทางคือ 39.5 นาที) ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในวันเดินทาง สภาพอากาศเส้นทางนอกเมืองมีหมอกเล็กน้อยส่งผลให้เวลาเพิ่มขึ้น 1 เท่า เวลาจึงไม่เปลี่ยนแปลง การเดินทางเดินทางในช่วงเวลา 06.01 - 09.00 น. คือช่วงเวลาไปทำงาน ใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากเดิม 1.5 เท่า และเดินทางในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์วันมาฆบูชา ซึ่งใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เท่า ในที่นี้ใช้ค่าที่มากที่สุด คือ 2 เท่า จึงทำให้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของเส้นทางนอกเมืองเท่ากับ 2 เท่า ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้นอีก 79 นาที (2 x 79 = 158 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 79 นาที

จะได้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือ 79 นาที) ดังนั้น หากคิดระยะเวลาในการเดินทางโดยประมาณจากเมืองนครราชสีมา ไปยัง วัดบ้านไร่ อ.ด่านขุนทด จะได้เท่ากับ 197.5 นาที หรือประมาณ 3.18 ช.ม. (ระยะเวลาเดินทางปกติ 79 นาที + ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง 39.5 นาที + ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 79 นาที)

ในแต่ละแผนการเดินทางจะมีเมนู 2 ปุ่มได้แก่ “เพิ่มจุดแวะพักระหว่างทาง” และ “อธิบายแผนการเดินทาง” เพื่อไปยังขั้นตอนถัดไป และเมื่อเลื่อนลงมาล่างสุดของระบบจะพบปุ่มเมนู “คำนวณจุดอุปสรรคใหม่” หากผู้ใช้ต้องการเพิ่มหรือคำนวณอุปสรรคอีกครั้ง

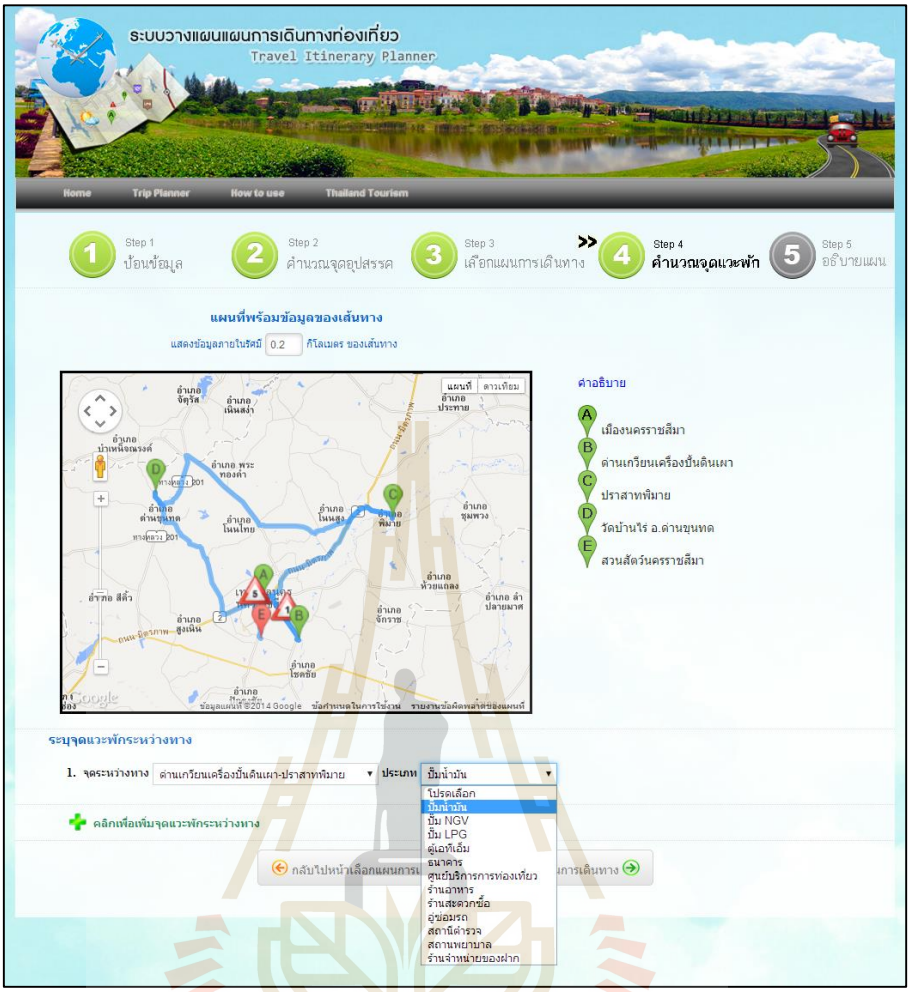


รูปที่ 4.6 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เลือกเพื่อแสดงแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในขั้นตอนที่ 3 เลือกแผนการเดินทาง

4.1.4 ส่วนคำนวณจุดแวะพัก

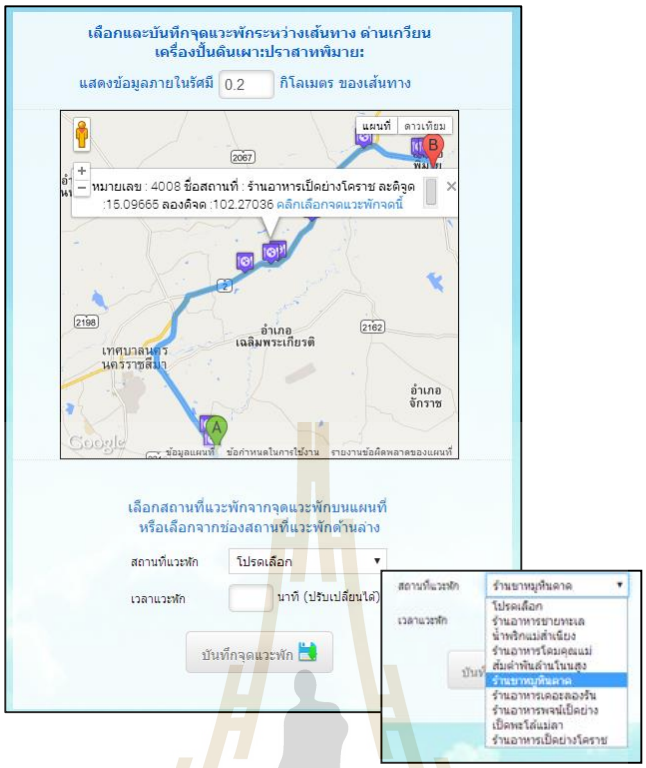
หากผู้ใช้เลือกเพิ่มจุดแวะพักระหว่างทางจากเมนูในขั้นตอนที่ 3 ระบบจะแสดงหน้าต่างใหม่ซึ่งคือขั้นตอนที่ 4 คำนวณจุดแวะพัก เพื่อให้ผู้ใช้เลือกจุดแวะพักระหว่างทางดังรูปที่ 4.7 ซึ่งสามารถระบุได้หลายจุด โดยทำการเลือกเส้นทางของสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการเพิ่มจุดแวะพักระหว่างทาง และเลือกประเภทของจุดแวะพักระหว่างทาง เช่น ปั๊มน้ำมัน ร้านอาหาร ร้านสะดวกซื้อ ร้านจำหน่ายของฝาก ฯลฯ ดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.7 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อเลือกสถานที่ท่องเที่ยวที่ต้องการเพิ่มจุดแวะพักระหว่างทาง



รูปที่ 4.8 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อเลือกประเภทของจุดแวะพักระหว่างทาง

เมื่อเลือกเส้นทางและประเภทจุดแวะพักแล้ว หน้าต่างใหม่จะถูกเปิดขึ้นและระบบจะทำการค้นหาสถานที่แวะพักตามเส้นทางและประเภทของจุดแวะพักที่ผู้ใช้ระบุ มาแสดงบนแผนที่ให้ผู้ใช้เลือก ดังรูปที่ 4.9 จากนั้นผู้ใช้สามารถเลือกสถานที่แวะพักได้โดยการคลิกจุดแวะพักบนแผนที่ท่องเที่ยวและคลิกลิงค์ “คลิกเลือกจุดแวะพักจุดนี้” หรือสามารถคลิกเลือกจุดแวะพักจากดรอปดาวน์ลิสต์ซึ่งมีรายชื่อสถานที่แวะพักที่ปรากฏบนแผนที่เอาไว้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้ครั้งละ 1 สถานที่ และสามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาแวะพักได้จากนั้นกดปุ่ม “บันทึกจุดแวะพัก” เพื่อปิดหน้าจอนั้น เมื่อถึงขั้นตอนนี้ ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาก็จะทำการประมวลผลแผนการเดินทางที่ผู้ใช้เลือกอีกครั้งหนึ่ง โดยแทรกสถานที่แวะพักและระยะเวลาแวะพักระหว่างทางเข้าไปในแผนการเดินทาง

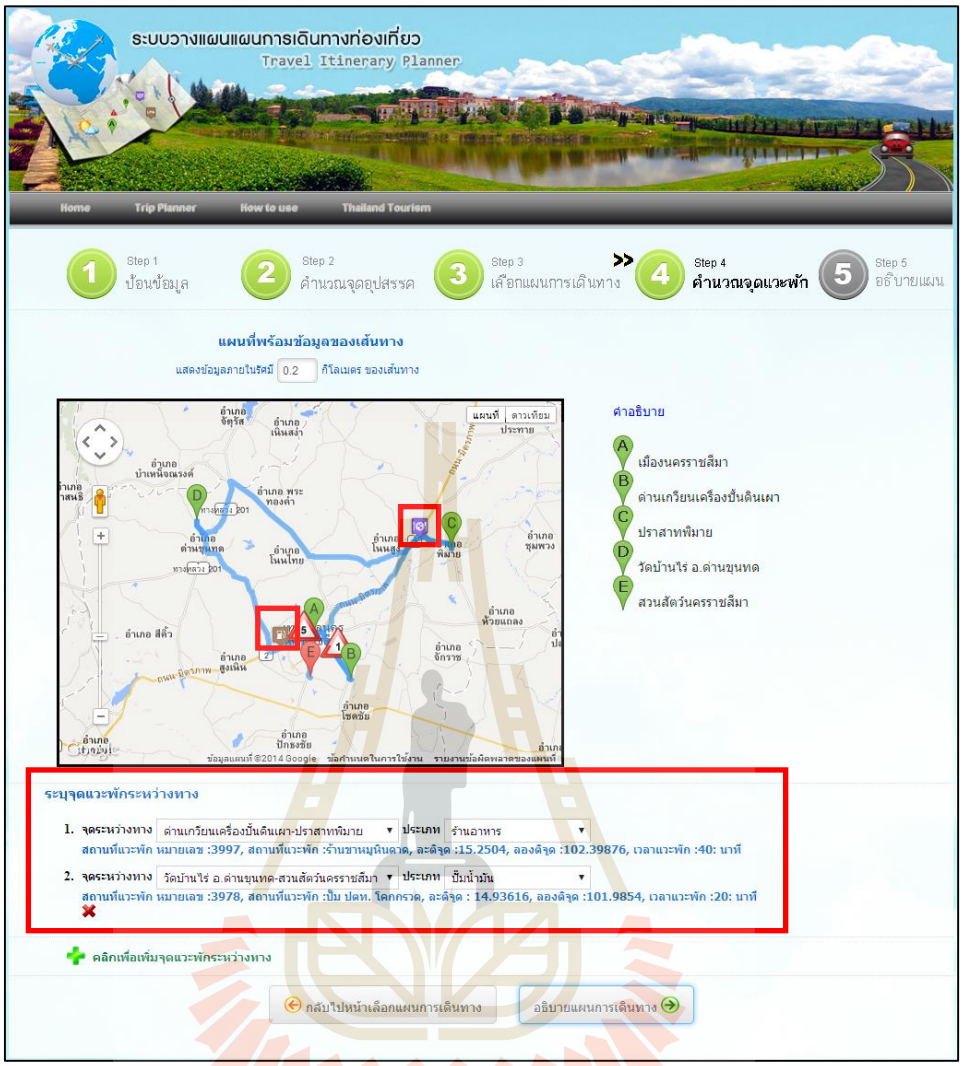


รูปที่ 4.9 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อเลือกจุดแวะพักระหว่างทางที่มีอยู่ในฐานข้อมูล โดยวิธีเลือกจากสถานที่แวะพักบนแผนที่

พิกัดของสถานที่แวะพักที่ถูกเลือกจะปรากฏบนแผนที่ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็นการเพิ่มสถานที่แวะพัก 2 สถานที่ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงเล็ก ได้แก่ ร้านอาหาร และปั๊มน้ำมัน หากผู้ใช้ต้องการเลือกแผนการเดินทางใหม่ให้คลิกปุ่ม “กลับไปยังหน้าเลือกแผนการเดินทาง” หากผู้ใช้พอใจในแผนการเดินทางที่เลือกรวมถึงเพิ่มจุดแวะพักเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม “อธิบายแผนการเดินทาง” เพื่อไปยังขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว ต่อไป

4.1.5 ส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยว

ขั้นตอนที่ 5 อธิบายแผน เป็นขั้นตอนที่ระบบให้รายละเอียดเกี่ยวกับแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ซึ่งถูกเลือกจากผู้ใช้ โดยรายละเอียดเงื่อนไขด้านเวลาทั้งหมดจะถูกแสดงในขั้นตอนนี้ จากรูปที่ 4.11 หน้าจอของระบบแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับแผนการเดินทางท่องเที่ยว ประกอบด้วย วัน/เดือน/ปี ของแผนการเดินทางท่องเที่ยว ซึ่งแสดงตามจำนวนวันทั้งหมดที่ผู้ใช้ใช้ในการวางแผนการเดินทาง แผนที่แสดงสถานที่ท่องเที่ยวทั้งหมดที่สามารถเดินทางไปได้ จุดแวะพัก (ถ้ามี) จุดอุปสรรคระหว่างทาง (ถ้ามี) โดยจุดอุปสรรคจะถูกระบุเป็นหมายเลขให้เข้าใจง่ายเมื่ออ่านแผนการเดินทาง หากผู้ใช้ต้องการดูรายละเอียดแต่ละพิกัดของสถานที่ท่องเที่ยว จุดแวะพัก



รูปที่ 4.10 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อแสดงรายละเอียดจุดแวะพักระหว่างทางที่ถูกเลือก

และจุดอุปสรรคบนแผนที่ สามารถคลิก ณ จุดนั้นเพื่อดูรายละเอียดได้ทันที คำอธิบายเส้นทางการเดินทางท่องเที่ยวจากในแผนว่าแผนการเดินทางที่เลือกมีรูปแบบการเดินทางเริ่มต้นจากสถานที่ใด ไปยังสถานที่ใด และสิ้นสุดการเดินทางสถานที่ใด ซึ่งรายละเอียดแผนการเดินทางท่องเที่ยว ได้แก่ วันที่ท่องเที่ยว ลักษณะของวันที่ใช้ในการเดินทาง (วันธรรมดา/ วันหยุดนักขัตฤกษ์) สภาพอากาศประจำวัน อุณหภูมิประจำวัน เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยวแต่ละสถานที่ เขตเวลาของสถานที่ เวลาเปิด-ปิด ของสถานที่ ระยะเวลาที่ใช้ท่องเที่ยว ณ สถานที่ คำอธิบายจุดแวะพัก (ถ้ามี) และคำอธิบายจุดอุปสรรค (ถ้ามี) โดยรายละเอียดของแผนการเดินทางจะเรียงตามวันที่ที่สามารถเดินทางไปได้ นอกจากนี้ยังแสดงระยะเวลาและระยะทางในการเดินทางท่องเที่ยวรวม ซึ่งเกิดจากการคำนวณจากเงื่อนไขบังคับด้านเวลาทั้งหมด

รูปที่ 4.11 ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้แสดงคำอธิบายแผนการเดินทาง

4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้ทำการพัฒนาใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบ (Solution) และประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี (Elapsed Time) โดยทดสอบเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับขั้นตอนวิธีอื่นทั้งหมด 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm: ER) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (Progressive Routing Algorithm: PR) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (Simulated Annealing Algorithm: SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Best first Search Algorithm: GBFS) ในรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Travel Itinerary Planner Problem under Time Constraints: TIPP) ซึ่งเป็นปัญหาหลักในงานวิจัยนี้ และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) โดยการวิเคราะห์นั้นจะวัดจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีซึ่งสามารถบอกได้ว่าขั้นตอนวิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าหรือด้อยกว่าขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบร้อยละเท่าใดในทั้ง 2 ประเด็น ซึ่งผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (TIPP) ทำโดยใช้สถานที่ที่มีจำนวนแตกต่างกันตั้งแต่ 3 แห่ง จนถึง 20 แห่ง ประมวลผลโดยนำเงื่อนไขบังคับด้านเวลาทุกเงื่อนไขมาคำนวณร่วมด้วย โดยชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบจะเริ่มการวางแผนการเดินทางที่สถานที่ปลายทางจำนวน 3 แห่ง และสถานที่ปลายทางใหม่จะถูกเพิ่มทีละ 1 แห่ง จนครบ 20 แห่ง ใช้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาซึ่งได้จากฐานข้อมูล บริการเว็บและบริการแผนที่กูเกิล และได้กำหนดเขตเวลาสมมติขึ้นเพื่อให้มีความแตกต่างกัน จากนั้นประมวลผลในแต่ละขั้นตอนวิธี ทำขั้นตอนวิธีละ 100 ครั้ง โดยในการประมวลผลแต่ละครั้ง จะเก็บผลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ จำนวนสถานที่ปลายทางในแผนการเดินทางที่ขั้นตอนวิธีหาได้ในการประมวลผลครั้งหนึ่ง ซึ่งถือว่าคือคำตอบ และเก็บเวลาในการประมวลผลที่ขั้นตอนวิธีใช้ในการ

คำนวณหาแผนการเดินทางนั้น ๆ (ไม่รวมเวลาในการดึงข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ของระบบ (Service Time)) ซึ่งถือว่าคือความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี จากนั้นนำผลการทดสอบทั้ง 100 ครั้งไปหาค่าเฉลี่ย และนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีตามสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้กับขั้นตอนวิธีอื่น

ผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาปรากฏผลดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบ 3 แง่มุม ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง (*ItineraryTime*) (นาที) ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ในแผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้ (*Dest*) และค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางของแต่ละขั้นตอนวิธี (*ElapsedTime*) (วินาที) โดยที่

No. of Destinations หมายถึง จำนวนสถานที่ปลายทางของชุดข้อมูลที่นำมาทดลอง (แห่ง)

SA_SPS หมายถึง ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

SA หมายถึง ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม

GBFS หมายถึง ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

PR หมายถึง ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด

ER หมายถึง ขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้

ItineraryTime หมายถึง ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง (นาที)

Dest หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ในแผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้ (แห่ง)

ElapsedTime หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางของแต่ละขั้นตอนวิธี (วินาที)

$E_{SolutionTIPP}$ หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ร้อยละ)

$E_{ElapsedTime}$ หมายถึง ค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่เสนอเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่น (ร้อยละ)

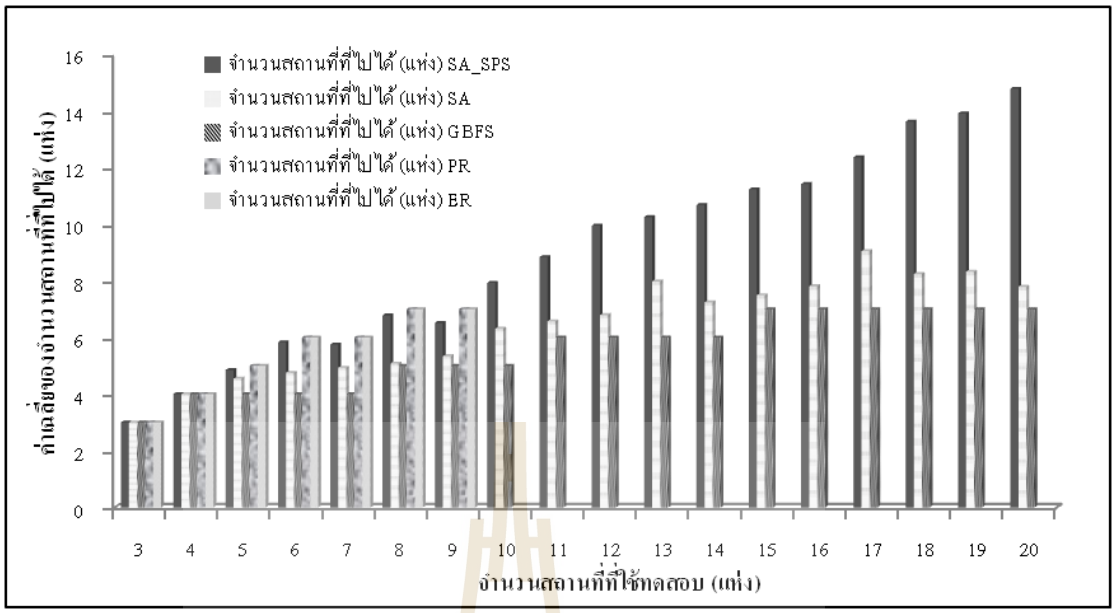
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ และค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

No. of Destinations	*ItineraryTime (minute)*					*Dest*					*ElapsedTime (second)*				
	SA_SPS	***SA***	***GBFS***	***PR***	***ER***	***SA_SPS***	***SA***	***GBFS***	***PR***	***ER***	***SA_SPS***	***SA***	***GBFS***	***PR***	***ER***
3	252.50	252.50	252.50	252.50	252.50	3	3	3	3	3	0.0023	0.0026	0.0022	0.9915	4.1381
4	650.02	650.02	650.02	650.02	650.02	4	4	4	4	4	0.1269	0.1370	0.1235	3.3009	7.4196
5	668.44	660.24	650.02	769.70	769.70	4.85	4.55	4	5	5	1.7522	2.1279	1.6513	7.6354	15.6412
6	965.53	663.35	650.02	988.17	988.17	5.83	4.75	4	6	6	5.5541	6.6650	5.2789	28.0545	30.1325
7	920.34	750.56	794.23	988.17	988.17	5.75	4.93	4	6	6	8.2597	10.7376	7.9735	86.2392	110.3958
8	1815.55	772.15	794.23	1722.75	1722.75	6.78	5.08	5	7	7	10.8526	14.2936	9.9473	90.2853	450.3243
9	1784.03	886.34	1634.74	1722.75	1722.75	6.51	5.34	5	7	7	16.4563	22.6845	15.8107	266.4279	1808.7074
10	2902.24	1705.24	1634.74	-	-	7.93	6.31	5	-	-	18.9354	26.5096	17.8348	-	-
11	3112.89	1800.46	1634.74	-	-	8.84	6.57	6	-	-	24.5214	31.8779	22.9297	-	-
12	3293.55	1998.12	1634.74	-	-	9.95	6.79	6	-	-	26.8249	34.8723	25.4424	-	-
13	3354.55	2904.44	1634.74	-	-	10.25	7.98	6	-	-	33.9285	44.1070	31.9356	-	-
14	3579.43	2500.65	2452.23	-	-	10.68	7.24	6	-	-	40.3852	52.3622	37.8511	-	-
15	3953.35	2587.28	2452.23	-	-	11.23	7.49	7	-	-	45.4070	57.3684	41.6105	-	-
16	4084.25	2897.35	2452.23	-	-	11.42	7.81	7	-	-	49.3740	64.3488	45.5371	-	-
17	4534.32	3189.07	2452.23	-	-	12.36	9.05	7	-	-	53.7018	73.4124	50.5432	-	-
18	5180.43	3004.35	2452.23	-	-	13.62	8.24	7	-	-	58.5645	79.0621	55.8837	-	-
19	5234.35	3065.33	2452.23	-	-	13.91	8.32	7	-	-	62.6485	84.5754	59.7042	-	-
20	5669.96	2895.24	2452.23	-	-	14.78	7.79	7	-	-	66.4965	86.6074	60.1681	-	-

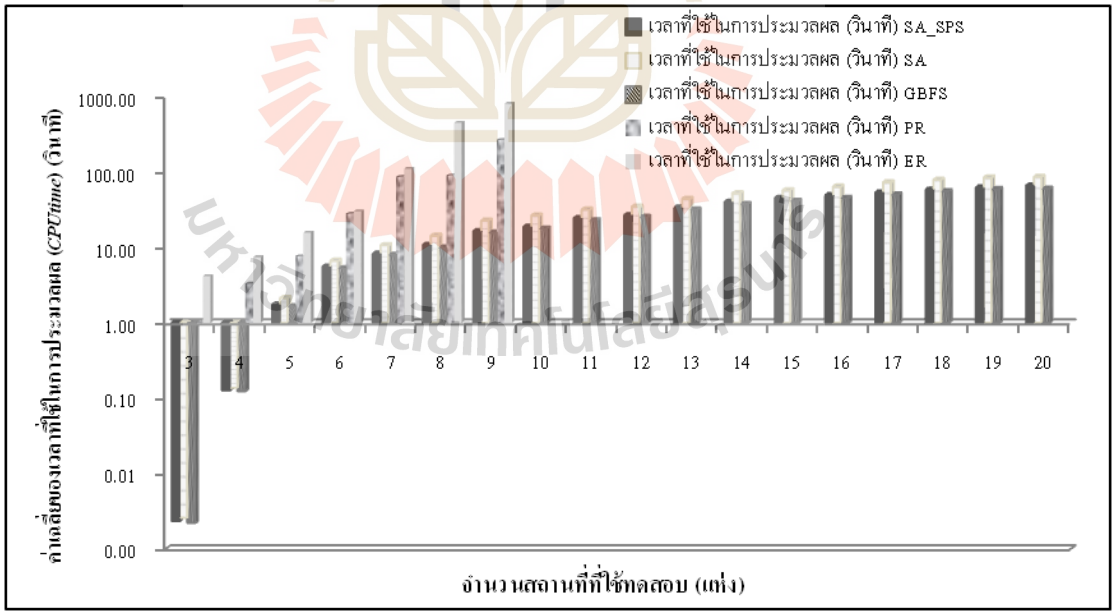
จากที่กล่าวมาข้างต้น การประเมินขั้นตอนวิธีที่พัฒนามุ่งเน้นประเมินประสิทธิภาพใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบ และประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี โดยการวัดจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี ซึ่งได้จากการคำนวณโดยนำผลค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้และผลค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (ผลดังกล่าวปรากฏดังตารางที่ 4.1) ไปคำนวณตามสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5 ตามลำดับจากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าประสิทธิภาพ ฯ ว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีประสิทธิภาพดีกว่าหรือด้อยกว่าขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบร้อยละเท่าใดในทั้ง 2 ประเด็น ยกตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมที่จำนวนสถานที่ 20 แห่ง ตามสมการที่ 3.4 โดยนำค่าที่ได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 มาคิดคำนวณได้ดังนี้

$$E_{SolutionTIPP_20} = \frac{(14.78 - 7.79)}{14.78} \; x \; 100$$

$$\approx \quad 47.29\%$$



รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้ เงื่อนไขบังคับด้านเวลา



รูปที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้ เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

สำหรับตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมที่จำนวนสถานที่ 20 แห่ง ตามสมการที่ 3.5 โดยนำค่าที่ได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 มาคิดคำนวณได้ดังนี้

$$E_{ElaspedTime_20} = \frac{(86.6074 - 66.4965)}{86.6074} x\ 100$$

$$\approx 23.22\%$$

สำหรับผลของค่าประสิทธิภาพ ฯ รวมถึงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1.1 ประเด็นด้านคำตอบ สำหรับผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาแสดงดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.14

ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ที่ได้จากการทดสอบวางแผนการเดินทางที่มีสถานที่ปลายทางแตกต่างกัน ตั้งแต่ 3 แห่ง จนถึง 20 แห่ง ที่มีการนำเงื่อนไขบังคับด้านเวลาครบทุกเงื่อนไขมาประมวลผลร่วมด้วย พบว่า ที่จำนวนสถานที่ปลายทางที่ 3 และ 4 แห่ง ทุกขั้นตอนวิธีได้คำตอบเท่ากัน คือสามารถค้นหาแผนการเดินทางที่ประกอบด้วยจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากัน นอกจากนี้ ยังเป็นคำตอบที่ดีที่สุด และจากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ที่จำนวนสถานที่ปลายทางตั้งแต่ 5 ถึง 20 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่พัฒนา (SA_SPS) ให้จำนวนสถานที่ปลายทางที่มากกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ทุกชุดข้อมูล คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 24.05 และ 32.97 ตามลำดับ ซึ่งผลปรากฏดังตารางที่ 4.2

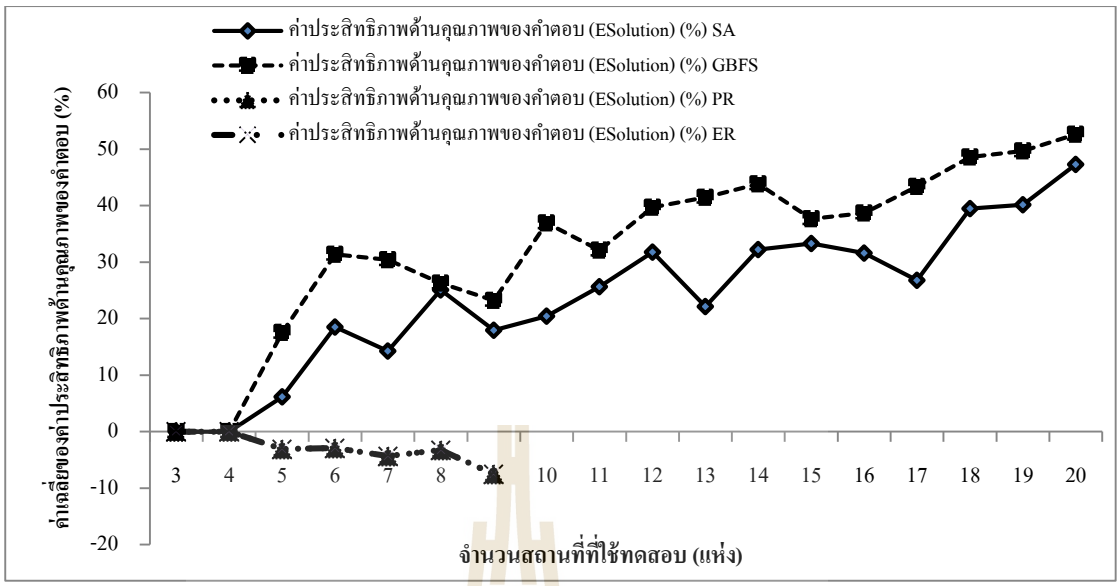
โดยการทดลองที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 20 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นสามารถค้นหาแผนการเดินทางที่ประกอบด้วยจำนวนสถานที่ปลายทางประมาณ 15 แห่งโดยเฉลี่ย (ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 67 วินาที) ในขณะที่ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) หาได้ 8 แห่งโดยเฉลี่ย (ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 87 วินาที) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) หาได้เพียง 7 แห่งโดยเฉลี่ย (ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 60 วินาที) ซึ่งที่การทดลองที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 20 แห่งนี้ ทำให้ค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) มีความแตกต่าง

ตารางที่ 4.2 ผลของค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบ ($E_{SolutionTIPP}$) และด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ($E_{ElapsedTime}$) ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

No. of Destinations	$E_{SolutionTIPP}$ (%)				$E_{ElapsedTime}$ (%)			
	SA	*GBFS*	*PR*	*ER*	*SA*	*GBFS*	*PR*	*ER*
3	0.00	0.00	0.00	0.00	9.09	-6.82	99.76	99.94
4	0.00	0.00	0.00	0.00	7.39	-2.80	96.16	98.29
5	6.19	17.53	-3.09	-3.09	17.65	-6.11	77.05	88.80
6	18.52	31.39	-2.92	-2.92	16.67	-5.21	80.20	81.57
7	14.26	30.43	-4.35	-4.35	23.08	-3.59	90.42	92.52
8	25.07	26.25	-3.24	-3.24	24.07	-9.10	87.98	97.59
9	17.97	23.20	-7.53	-7.53	27.46	-4.08	93.82	99.09
10	20.43	36.95	-	-	28.57	-6.17	-	-
11	25.68	32.13	-	-	23.08	-6.94	-	-
12	31.76	39.70	-	-	23.08	-5.43	-	-
13	22.15	41.46	-	-	23.08	-6.24	-	-
14	32.21	43.82	-	-	22.87	-6.69	-	-
15	33.30	37.67	-	-	20.85	-9.12	-	-
16	31.61	38.70	-	-	23.27	-8.43	-	-
17	26.78	43.37	-	-	26.85	-6.25	-	-
18	39.50	48.60	-	-	25.93	-4.80	-	-
19	40.19	49.68	-	-	25.93	-4.93	-	-
20	47.29	52.64	-	-	23.22	-10.52	-	-
Avg	**24.05**	**32.97**	**-3.02**	**-3.02**	**21.79**	**-6.29**	**89.34**	**93.97**

มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 47.29 และ 52.64 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงเมื่อมีจำนวนสถานที่ปลายทางที่เพิ่มมากขึ้น ขั้นตอนวิธีที่พัฒนายังคงมีประสิทธิภาพดี สามารถค้นหาสถานที่ปลายทางได้จำนวนที่มากกว่าขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ

สำหรับการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ต้องคำนวณทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ จากผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาให้จำนวนสถานที่ปลายทางน้อยกว่าขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหา



รูปที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

เส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) เล็กน้อย โดยคิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบต่ำกว่า (ค่าประสิทธิภาพ ฯ เป็นลบ) โดยเฉลี่ยร้อยละ 3.02 ดังปรากฏผลในตารางที่ 4.2

จากการที่ขั้นตอนวิธีทั้งสองนี้ต้องสร้างรูปแบบเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับการค้นหา และต้องคำนวณทุกเส้นทาง ด้วยข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองที่ไม่สามารถสร้างรูปแบบของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่จะใช้ในการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางที่ประกอบด้วยสถานที่ปลายทางจำนวนมากกว่า 9 แห่งได้ (สถานที่ปลายทาง 9 แห่ง มีรูปแบบเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด 986,409 รูปแบบ ส่วนสถานที่ปลายทาง 10 แห่ง มีรูปแบบเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดถึง 9,864,100 รูปแบบ) การทดลองของขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) จึงได้ยุติการทดลองลงที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 9 แห่ง

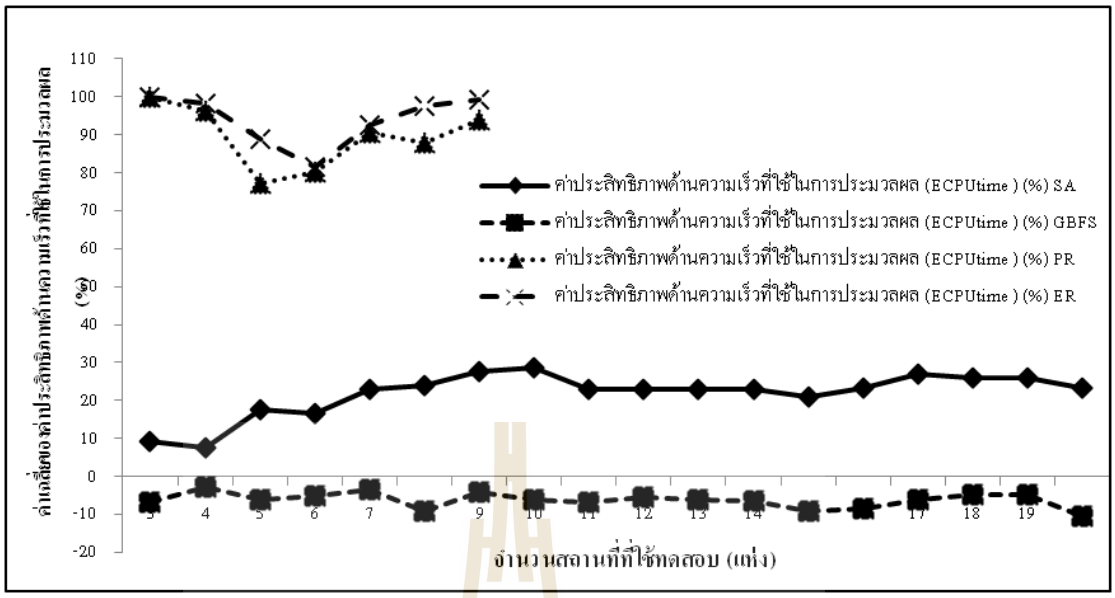
โดยการทดลองที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 9 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นสามารถค้นหาแผนการเดินทางที่ประกอบด้วยจำนวนสถานที่ปลายทางประมาณ 6.51 แห่งโดยเฉลี่ย (ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 17 วินาที) ในขณะที่ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) หาได้เท่ากันคือ 7 แห่ง (ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 266 วินาที และ 1809 วินาที ตามลำดับ) ซึ่งที่การทดลองที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 9 แห่งนี้ ทำให้ค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบเมื่อเทียบกับ

ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) มีความแตกต่างมากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 7.53 และ 7.53 ตามลำดับ

ยิ่งไปกว่านั้น จากผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบยังพบว่าขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถให้คำตอบที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้มากกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ในทุกชุดข้อมูล (ค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบมากกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 24.05 และ 32.97 ตามลำดับ) เนื่องจากการที่ขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นได้เพิ่มกระบวนการพิเศษในการค้นหาเส้นทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้มากขึ้น โดยใช้หลักการสำรวจเพื่อหาโอกาสในการเพิ่มสถานที่ปลายทางที่ผู้ใช้ระบุเข้ามาแต่ยังไม่ถูกจัดลงในแผนการเดินทาง (เนื่องจากบางสถานที่ปลายทางอาจถูกตัดออกด้วยเงื่อนไขบังคับด้านเวลา) ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีส่วนปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น กล่าวคือ ทำให้ได้แผนการเดินทางที่สามารถไปเยือนสถานที่ปลายทางได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาให้คำตอบที่แย่กว่าขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) เล็กน้อย (โดยเฉลี่ยร้อยละ 3.02) กล่าวคือ จำนวนสถานที่ปลายทางที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีจำนวนน้อยกว่า เนื่องจากขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดและขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้นั้น เป็นเทคนิคที่ค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้และรับประกันคำตอบที่ดีที่สุดในทุกครั้งของการประมวลผล นั่นคือไม่ว่าจะประมวลผลครั้งใด คำตอบที่ได้จากทั้งสองขั้นตอนวิธีนี้ย่อมเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเสมอ และมีแนวโน้มที่คำตอบจะดีกว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบเพียงบางส่วน แต่หากพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลประกอบกันกับคำตอบที่ขั้นตอนวิธีหาได้จะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ต้องใช้เวลาในการประมวลผลสูง เพราะต้องสร้างรูปแบบของแผนการเดินทางทุกเส้นทางและคำนวณทุกเส้นทาง ซึ่งเป็นการใช้เวลาในการคำนวณหาทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดมากเกินไป ดังจะเห็นได้จากที่จำเป็นต้องยุติการทดลองลงที่สถานที่ปลายทางจำนวน 9 แห่ง

4.2.1.2 ประเด็นด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล สำหรับผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อมีจำนวนสถานที่ปลายทางเพิ่มมากขึ้นแต่ละขั้นตอนวิธีจะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 3 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการคำนวณ 0.03 วินาทีโดยประมาณ และที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 20 แห่ง ใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุดคือ 67 วินาทีโดยประมาณ แสดงว่า จำนวนสถานที่ปลายทางที่มากขึ้นส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล ขั้นตอนวิธีที่พัฒนา (SA_SPS) ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER)

โดยการทดลองที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 9 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 16.46 วินาที (ได้จำนวนสถานที่ปลายทางประมาณ 6.51 แห่ง) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 22.68 วินาที (ได้จำนวนสถานที่ปลายทางประมาณ 5.34 แห่ง) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) ใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 266.43 วินาที (ได้จำนวนสถานที่ปลายทาง 7 แห่ง) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1808.71 วินาที (ได้จำนวนสถานที่ปลายทาง 7 แห่ง)

จากนั้นการทดลองของขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ก็ได้ยุติลงตามเหตุผลที่ได้กล่าวข้างต้น

สำหรับค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผล ฯ เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีค่าประสิทธิภาพ ฯ ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 21.97, 89.34 และ 93.97 ตามลำดับ (ผลปรากฏดังตารางที่ 4.2)

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) พบว่า ขั้นตอนวิธีที่เสนอใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า โดยมีค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผล ฯ ที่ต่ำ โดยเฉลี่ยร้อยละ 6.29 (ค่าประสิทธิภาพ ฯ เป็นลบ) ดังปรากฏผลในตารางที่ 4.2 โดยการทดลองสุดท้ายที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 20 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 66.50 วินาที (ได้จำนวนสถานที่ปลายทางประมาณ 15 แห่ง) ส่วนขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ใช้เวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 60.17 วินาที (ได้จำนวนสถานที่ปลายทางประมาณ 7 แห่ง)

จากผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลยังพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) โดยใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ค่อนข้างมาก สาเหตุเนื่องจากขั้นตอนวิธีที่พัฒนาได้ใช้เทคนิคเอสพีเอส (Shortest Path Search: SPS) แทนการสุ่มจุดในการหาลำดับการผ่านสถานที่ปลายทางในกระบวนการค้นหาคำตอบเบื้องต้น และใช้สำหรับหลักการสับเปลี่ยนในกระบวนการปรับปรุงคำตอบ ทำให้สามารถจำกัดปริภูมิการค้นหาให้แคบลงกว่าเดิมได้ และจากการที่ได้เริ่มต้นค้นหาในจุดที่ถือว่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด ก็อาจมีส่วนส่งผลให้เวลาในการประมวลผลลดน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของหลวงและคณะ (Leung et al., 2013: 199-210) ที่ได้ทำการศึกษาขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งที่มีเงื่อนไขการบรรทุกแบบสองมิติ ข้อค้นพบหนึ่งในงานวิจัยดังกล่าวพบว่า คำตอบเบื้องต้นที่ดีนั้นมักจะเป็นกุญแจสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของวิธีการแบบเมตาฮิวริสติก

อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลต่ำกว่าขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) เล็กน้อย นั่นเป็นเพราะขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) เป็นเทคนิคที่เน้นเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดก่อน อีกทั้งไม่มีกระบวนการที่ช่วยปรับปรุงคำตอบ จึงทำให้การประมวลผลไม่ซับซ้อนมาก ลดเวลาในการทำงานของขั้นตอนวิธีได้ดี ขั้นตอนวิธีจึงทำการตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงสามารถค้นหาแผนการเดินทางได้เร็วกว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนา แต่ในทาง

กลับกันจะเห็นได้ว่า จำนวนสถานที่ปลายทางที่สามารถไปได้ในแผนการเดินทางที่ขั้นตอนวิธีแบบละโมบคำนวณได้นั้นมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในทุกชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

นอกจากนี้ จากผลจากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า จำนวนสถานที่ปลายทางส่งผลต่อเวลาในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี เนื่องจากการที่ต้องมีสถานที่ปลายทางที่ต้องพิจารณามาก และเมื่อต้องคำนวณโดยคำนึงถึงเงื่อนไขด้านเวลาหลาย ๆ เงื่อนไข ยิ่งส่งผลให้การคำนวณมีความซับซ้อนมาก เพราะขั้นตอนวิธีต้องพิจารณาตัดบางเส้นทางที่ไม่เข้าเงื่อนไขเวลาออก สอดคล้องกับงานวิจัยของโพธิทัต สุวรรณวาทิน (2550) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการจัดการสินค้าหลายโซนเชิงพลวัติด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียวและวิธีฝูงมด ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหาของปัญหาในงานวิจัยดังกล่าว และงานวิจัยของชางและคณะ (Zhang, Cai, Ye, Si, and Nguyen, 2017) ที่ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งที่คำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ได้แก่ กรอบเวลาและข้อจำกัดในการบรรทุก (Vehicle Routing Problem with Time Window and Pallet Loading Constraints: VRPTWPLC) จากงานวิจัยที่ได้อ้างถึง ผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีเงื่อนไขปัจจัยเพิ่มมากขึ้นก็ส่งผลให้ขั้นตอนวิธีต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น ดังนั้น นอกจากการพัฒนาขั้นตอนวิธีให้สามารถค้นหาผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว การประมวลผลได้ในเวลาที่เหมาะสมก็เป็นอีกประเด็นที่ควรต้องพิจารณาเป็นอย่างยิ่ง

ข้อมูลจากผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาสามารถสรุปได้ว่า การที่ได้ดัดแปลงกระบวนการค้นหาแผนการเดินทางที่ใช้แนวคิดจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวโดยการนำเทคนิคเอสพีเอสมาช่วยในการสร้างคำตอบเริ่มต้นและสร้างคำตอบใกล้เคียง เป็นวิธีที่พบว่ามีความเหมาะสมและใช้งานได้ดีสำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุพรรณ สุดสนธิ์ สรายุทธ กรวิรัตน์ และนคร สุดสนธิ์ (2557) และงานวิจัยของหลิน วินเซนต์ และลู (Lin, Vincent and Lu, 2011) ที่ได้มีการประยุกต์วิธีการจำลองการอบเหนียวในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อค้นหาคำตอบในปัญหาการวางแผนการเดินทางขนส่งภายใต้กรอบเวลาที่ยืดหยุ่น (Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows: VRPSTW) และปัญหาการวางแผนการเดินทางของรถบรรทุกและรถพ่วงภายใต้กรอบเวลา (Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows: TTRPTW) ผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาจากแนวคิดของวิธีการจำลองการอบเหนียวสามารถให้คำตอบที่ดีและเหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถค้นหาคำตอบได้ในเวลาที่รวดเร็ว

นอกจากการดัดแปลงกระบวนการค้นหาแผนการเดินทางที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีแล้ว จากผลการวิจัยยังค้นพบว่า การเพิ่มกระบวนการพิเศษที่มีการพิจารณานำสถานที่ปลายทางที่อาจยังไม่ถูกจัดลงในแผนการเดินทางให้ได้มาอยู่ในแผนการเดินทางมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบดีขึ้น กล่าวคือ ไปเยือนสถานที่ท่องเที่ยวได้หลายแห่งมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของพัลและคณะ (Pal, Ray, Zakaria, and Sarma, 2012: 325) ที่ได้ทำการศึกษาถึงโอกาสในการได้คำตอบที่ดีที่สุดของขั้นตอนวิธีแบบฮิวริสติกในเวลาการประมวลผลที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการระบายสีกราฟ (Graph Coloring) ซึ่งจัดอยู่ในปัญหาเอ็นพีสมบูรณ์ โดยในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้ทำการดัดแปลงวิธีการสร้างคำตอบใกล้เคียง (Neighboring Solution) ของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว และในงานวิจัยของกัวและเช็ง (Guo and Zheng, 2005: 813) ที่ได้มีการดัดแปลงขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวให้เข้ากับปัญหาของงานวิจัย โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เข้ากับเงื่อนไขในการวางแผนการเดินทางขนส่งในปัญหาดังกล่าว และปรับจำนวนรอบของการวนซ้ำของขั้นตอนวิธี ทั้งสองงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การที่ได้มีการดัดแปลงหรือเพิ่มเติมกระบวนการเฉพาะบางส่วนจากขั้นตอนวิธีต้นแบบ มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนั้น ๆ ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในงานวิจัยนี้ที่ได้รายงาน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ทำโดยใช้สถานที่ปลายทางที่มีจำนวนแตกต่างกันตั้งแต่ 3 แห่ง จนถึง 20 แห่ง ไม่มีเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ทำการทดสอบโดยเริ่มการวางแผนการเดินทางที่สถานที่ปลายทางจำนวน 3 แห่ง จากนั้นสถานที่ปลายทางใหม่จะถูกเพิ่มทีละ 1 แห่ง จนครบ 20 แห่ง การพิจารณาเพิ่มสถานที่ปลายทางใด ๆ ให้มาอยู่ในแผน จะต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่น้อยที่สุด การประมวลผลในแต่ละขั้นตอนวิธี ทำขั้นตอนวิธีละ 100 ครั้ง โดยในการประมวลผลแต่ละครั้งจะเก็บผลที่ได้จากการทดสอบในทั้ง 2 ประเด็นที่ต้องการประเมินผล ได้แก่ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยวหรือระยะเวลาของแผนการเดินทางที่ขั้นตอนวิธีหาได้ในการประมวลผลครั้งหนึ่ง ซึ่งถือว่าคือคำตอบ และเก็บเวลาในการประมวลผลที่ขั้นตอนวิธีใช้ในการคำนวณหาแผนการเดินทางนั้น ๆ ซึ่งถือว่าคือความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี จากนั้นนำผลการทดสอบ 100 ครั้งไปหาค่าเฉลี่ย และนำค่าเฉลี่ย

ดังกล่าวไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีตามสมการที่ 3.5 และ 3.6 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้กับขั้นตอนวิธีอื่น

ผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาปรากฏผลดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบ 3 แง่มุม ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง (*ItineraryTime*) (นาที) ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ในแผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้ (*Dest*) (แห่ง) และค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางของแต่ละขั้นตอนวิธี (*ElapsedTime*) (วินาที) โดยที่

No. of Destinations หมายถึง จำนวนสถานที่ปลายทางของชุดข้อมูลที่นำมาทดลอง (แห่ง)

SA_SPS หมายถึง ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

SA หมายถึง ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม

GBFS หมายถึง ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

PR หมายถึง ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด

ER หมายถึง ขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้

ItineraryTime หมายถึง ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง (นาที)

Dest หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ในแผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีหาได้ (แห่ง)

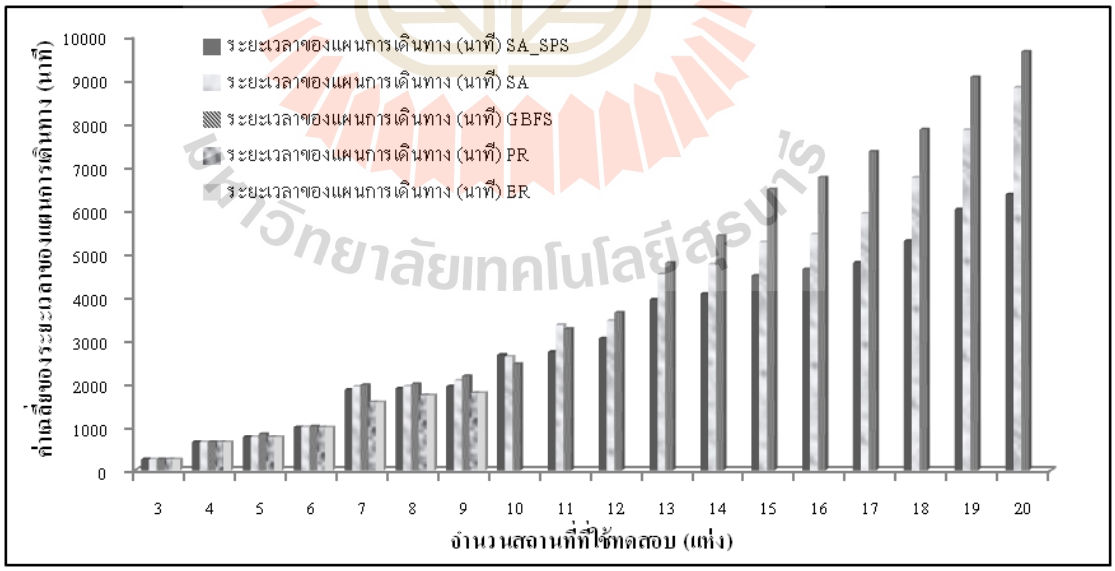
ElapsedTime หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางของแต่ละขั้นตอนวิธี (วินาที)

$E_{SolutionTSP}$ หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (ร้อยละ)

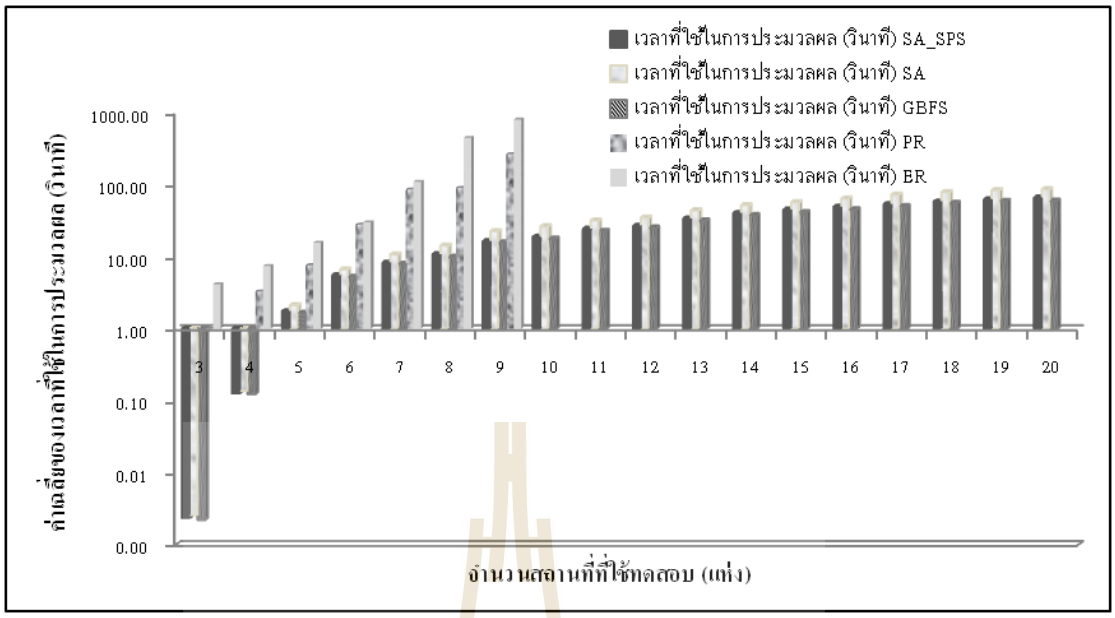
$E_{ElapsedTime}$ หมายถึง ค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่เสนอเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่น (ร้อยละ)

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้ และค่าเฉลี่ยของเวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

No. of Destinations	*ItineraryTime (minute)*					*Dest*					*ElapsedTime (second)*				
	SA_SPS	*SA*	*GBFS*	*PR*	*ER*	*SA_SPS*	*SA*	*GBFS*	*PR*	*ER*	*SA_SPS*	*SA*	*GBFS*	*PR*	*ER*
3	252.50	253.03	252.50	252.50	252.50	3	3	3	3	3	0.1131	0.1253	0.1071	0.8815	3.7190
4	650.02	650.02	650.02	650.02	650.02	4	4	4	4	4	0.2010	0.2273	0.1998	2.1009	5.6641
5	769.70	769.70	834.30	769.70	769.70	5	5	5	5	5	0.3030	0.3713	0.3028	4.1854	11.4626
6	990.12	996.10	1012.40	988.17	988.17	6	6	6	6	6	0.5945	0.6726	0.5931	16.8545	17.8131
7	1853.31	1927.43	1966.38	1568.61	1568.61	7	7	7	7	7	0.6658	0.8420	0.6627	34.2392	61.9538
8	1885.71	1935.96	1986.05	1726.69	1726.69	8	8	8	8	8	0.8331	1.0357	0.7686	78.2853	239.7225
9	1932.32	2065.68	2170.93	1782.48	1782.48	9	9	9	9	9	1.1055	1.2756	1.0747	152.4279	661.7074
10	2658.13	2617.44	2450.09	-	-	10	10	10			1.5280	1.8018	1.3943	-	-
11	2724.91	3256.25	3348.85	-	-	11	11	11			1.7098	2.0919	1.5273	-	-
12	3039.05	3444.39	3632.41	-	-	12	12	12			2.0031	2.4315	1.7516	-	-
13	3929.07	4513.39	4776.08	-	-	13	13	13			2.2118	2.9168	2.0395	-	-
14	4066.50	4743.98	5402.18	-	-	14	14	14			2.5267	3.1671	2.2592	-	-
15	4480.78	5256.20	6475.29	-	-	15	15	15			2.8121	3.5471	2.6188	-	-
16	4627.96	5439.59	6746.22	-	-	16	16	16			3.3206	4.2210	2.8387	-	-
17	4786.57	5918.21	7340.55	-	-	17	17	17			3.6066	4.6182	3.1126	-	-
18	5286.24	6741.93	7853.39	-	-	18	18	18			3.7361	4.7376	3.5667	-	-
19	6013.24	7840.67	9059.82	-	-	19	19	19			3.7646	5.5936	3.6375	-	-
20	6355.31	8819.93	9648.06	-	-	20	20	20			5.2040	8.3385	4.4353	-	-



รูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาของแผนการเดินทางในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย



รูปที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า จำนวนสถานที่ปลายทางที่สามารถเดินทางได้ของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายนั้นมีจำนวนที่เท่ากัน (เยือนทุกสถานที่) ดังนั้น ในการวิเคราะห์ผลการทดลองประเด็นด้านคำตอบของปัญหานี้ จึงวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของแผนการเดินทาง ส่วนในด้านเวลาในการประมวลผล ใช้หลักการวิเคราะห์เหมือนกับในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา กล่าวคือ วิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาแผนการเดินทางที่เป็นไปได้ จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวไปหาค่าประสิทธิภาพต่อไป

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ประเมินในทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบและประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี โดยการวัดจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเช่นเดียวกับในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ยกตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมที่จำนวนสถานที่ 20 แห่ง ตามสมการที่ 3.6 โดยนำค่าที่ได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 มาคิดคำนวณได้ดังนี้

$$E_{SolutionTSP_20} = \frac{(8819.9333 - 6355.3123\ )}{8819.9333}\ x\ 100$$

$$\approx \quad 27.94\%$$

สำหรับตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมที่จำนวนสถานที่ 20 แห่ง ตามสมการที่ 3.5 โดยนำค่าที่ได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 มาคิดคำนวณได้ดังนี้

$$E_{ElapsedTime_20} = \frac{(8.3385 - 5.2040)}{8.3385}\ x\ 100$$

$$\approx \quad 37.59\%$$

สำหรับผลของค่าประสิทธิภาพ ฯ รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีมีรายละเอียดดังนี้

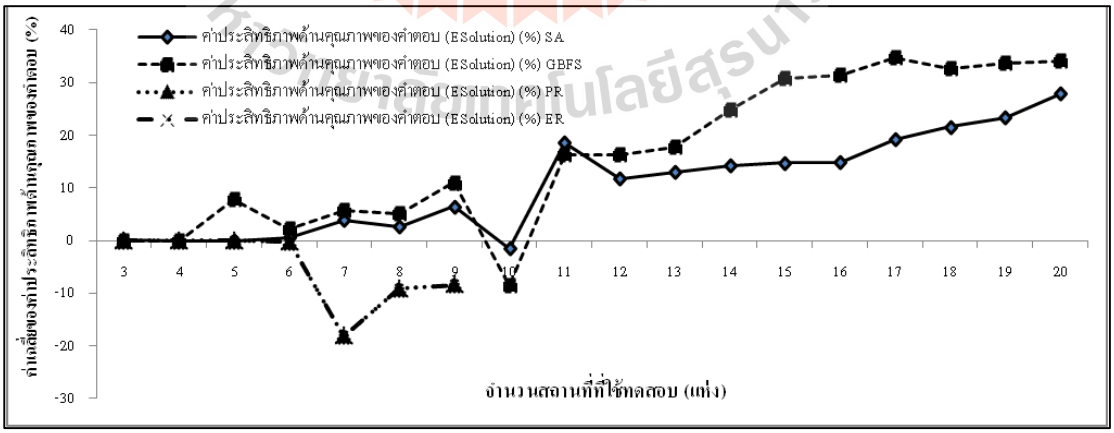
4.2.2.1 ประเด็นด้านคำตอบ สำหรับผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย แสดงดังตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.18

จากผลการทดลองที่แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า ที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 3 แห่ง และ 4 แห่ง ระยะเวลาของแผนการเดินทางที่แต่ละขั้นตอนวิธีประมวลผลได้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อพิจารณาที่จำนวนจุดหมายตั้งแต่ 5 ถึง 20 แห่ง พบว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอประมวลผลแล้วได้ระยะเวลาของแผนการเดินทางน้อยกว่า (ดีกว่า) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ในเกือบทุกชุดข้อมูล คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 10.63 และ 16.43 ตามลำดับ ผลปรากฏดังตารางที่ 4.4 โดยการทดลองที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 20 แห่ง ทำให้ค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบมีความแตกต่างมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 27.94 และ 34.13 ตามลำดับ

สำหรับการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ซึ่งได้ยุติการทดลองที่ 9 แห่ง ตามเหตุผลดังที่กล่าวข้างต้นพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาให้ระยะเวลาของแผนการเดินทางมากกว่าขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) เล็กน้อย โดยคิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 5.14 ผลปรากฏดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบ ($E_{SolutionTIPP}$) และด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล ($E_{ElapsedTime}$) ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

No. of Destinations	$E_{SolutionTIPP}$ (%)				$E_{ElapsedTime}$ (%)			
	SA	*GBFS*	*PR*	*ER*	*SA*	*GBFS*	*PR*	*ER*
3	0.21	0.00	0.00	0.00	9.75	-0.19	87.18	96.96
4	0.00	0.00	0.00	0.00	11.56	-0.58	90.43	96.45
5	0.00	7.74	0.00	0.00	18.38	-0.09	92.76	97.36
6	0.60	2.20	-0.20	-0.20	11.62	-0.24	96.47	96.66
7	3.85	5.75	-18.15	-18.15	20.92	-0.48	98.06	98.93
8	2.60	5.05	-9.21	-9.21	19.56	-8.40	98.94	99.65
9	6.46	10.99	-8.41	-8.41	13.34	-2.86	99.27	99.83
10	-1.55	-8.49	-	-	15.20	-9.59	-	-
11	18.63	16.32	-	-	18.27	-11.95	-	-
12	11.77	16.34	-	-	17.62	-14.36	-	-
13	12.95	17.73	-	-	24.17	-8.45	-	-
14	14.28	24.72	-	-	20.22	-11.84	-	-
15	14.75	30.80	-	-	20.72	-7.38	-	-
16	14.92	31.40	-	-	21.33	-16.98	-	-
17	19.12	34.79	-	-	21.90	-15.87	-	-
18	21.59	32.69	-	-	21.14	-4.75	-	-
19	23.31	33.63	-	-	32.70	-3.49	-	-
20	27.94	34.13	-	-	37.59	-17.33	-	-
Avg	**10.63**	**16.43**	**-5.14**	**-5.14**	**19.78**	**-7.79**	**94.73**	**97.98**



รูปที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

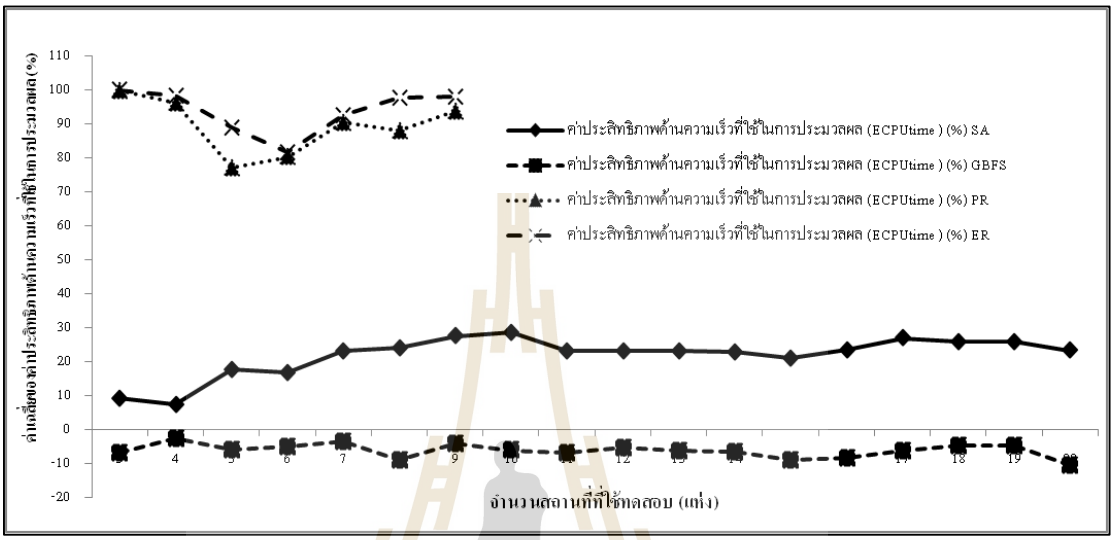
จากผลของค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบชี้ให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาสามารถให้คำตอบที่ดีกว่า กล่าวคือ ให้ระยะเวลาของแผนการเดินทางน้อยกว่าที่ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) คำนวณได้ค่อนข้างมาก (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 10.63 และ 16.43 ตามลำดับ) ดังผลการทดลองที่ได้รายงาน เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เทคนิคเอสพีเอสที่คำนึงถึงในการหาลำดับการผ่านจุดหมายในกระบวนการค้นหาคำตอบเบื้องต้นและใช้สำหรับหลักการสับเปลี่ยนในกระบวนการปรับปรุงคำตอบ ซึ่งเป็นเทคนิคที่คำนึงถึงการเลือกแผนการเดินทางที่มีระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด ทำให้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาสามารถเลือกแผนการเดินทางที่มีเวลาของแผนน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ที่ใช้วิธีการสุ่มได้

ในส่วนของขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ที่ถึงแม้จะมีวิธีการเลือกสถานที่ท่องเที่ยวปลายทางที่คำนึงถึงการเลือกแผนการเดินทางที่มีระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด แต่จากการที่ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ไม่มีกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง จึงทำให้ระยะเวลาของแผนการเดินทางที่หาได้นั้นแย่กว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนา แต่กับขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ขั้นตอนวิธีที่พัฒนายังคงให้คำตอบที่แย่กว่าเล็กน้อย (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 5.14) เนื่องจากขั้นตอนวิธีทั้งสองนั้นเป็นเทคนิคที่ค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้และรับประกันคำตอบที่ดีที่สุดในทุกครั้งของการประมวลผล ดังนั้น คำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีนี้ย่อมเป็นคำตอบที่ดีกว่าดังที่ได้ให้เหตุผลไว้ในข้างต้น

4.2.2.2 ประเด็นด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล สำหรับผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแสดงดังตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.19

ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ชี้ให้เห็นว่า จำนวนสถานที่ปลายทางส่งผลต่อเวลาในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี โดยจะเห็นได้จากเมื่อมีจำนวนสถานที่ปลายทางเพิ่มมากขึ้นแต่ละขั้นตอนวิธีจะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 3 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการคำนวณ 0.12 วินาทีโดยประมาณ และที่จำนวนสถานที่ปลายทาง 20 แห่ง ใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุดคือ 5.21 วินาทีโดยประมาณ สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) โดยมีค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผล ฯ ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 19.78, 94.73 และ 97.98 ตามลำดับ ผลปรากฏดังตารางที่ 4.4 อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธี

แบบละโมบ (GBFS) ที่มีจุดเด่นด้านความเร็วในการค้นหา พบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผล ฯ ที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.79 ซึ่งผลปรากฏดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

จากผลของค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผล ชี้ให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม (SA) ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (PR) (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 19.78, 99.77 และ 99.91 ตามลำดับ) ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการที่ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เทคนิคที่สามารถประหยัดเวลาในการคำนวณ จึงใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด (PR) และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (ER) ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (GBFS) ที่มีจุดเด่นด้านความเร็วในการประมวลผลพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าเล็กน้อย (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพ ฯ ที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.79)

ข้อมูลจากผลการวิจัยในการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขายสามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้จะเป็นการประมวลผลในปัญหาอื่นที่ไม่ใช่ปัญหาหลักในงานวิจัยนี้ ที่มีจำนวนสถานที่

ปลายทางจำนวนมาก แต่โดยรวมแล้วขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ ยังคงประมวลผลแล้วให้ประสิทธิภาพที่ดีทั้งในประเด็นด้านคำตอบและด้านการใช้เวลาคำนวณที่สามารถยอมรับได้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับการสรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดของการวิจัย การประยุกต์ผลการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปของงานวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา สามารถสรุปได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

5.2.1 ข้อจำกัดเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก

5.2.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์

5.2.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการวางแผนการท่องเที่ยว

5.2.4 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการการรวบรวมข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาของสถานที่ท่องเที่ยว

5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย

5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ซึ่งรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ สามารถอธิบายได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษา ทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว เทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทาง ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวที่มีในปัจจุบันส่วนใหญ่ มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบให้

สามารถวางแผนภายใต้เงื่อนไขที่ครอบคลุมกับความต้องการของผู้ใช้ตามที่ระบบได้กำหนดขึ้นมา ซึ่งในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวครั้งหนึ่ง ๆ มีเงื่อนไขที่ควรคำนึงถึงหลากหลายเงื่อนไขแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขพื้นฐานที่นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีอย่างจำกัดเหมือนกันและต้องคำนึงถึงในการตัดสินใจในการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวทุกครั้ง นั่นคือ เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

จากการที่ระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเหล่านั้นต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มีจำนวนมาก ประกอบกับต้องประมวลผลเพื่อวางแผนเส้นทางการเดินทาง จึงทำให้การทำงานโดยรวมของระบบต้องใช้เวลาในการคำนวณหาแผนการเดินทางที่เหมาะสมที่สุดมากเกินไป ถึงแม้ว่าจะมีบางระบบที่มุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ช่วยให้โดยรวมของระบบประมวลผลได้เร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษายังพบข้อจำกัดที่ว่า เมื่อต้องการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ยังคงคำนึงถึงเงื่อนไขด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่สำคัญและมีจำนวนจุดหมาย/สถานที่ปลายทางหลายแห่ง ยังเป็นข้อจำกัดอยู่ นอกจากนี้ จากการทบทวนวรรณกรรมยังพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่พัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นแก้ข้อจำกัดของปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่มีสถานที่ปลายทางจำนวนมากภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในทุกประเด็นอย่างครบถ้วนเป็นหลัก จากผลการศึกษาดังที่ได้กล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

สำหรับงานวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สามารถค้นหาแผนการเดินทางที่เน้นการบริหารเวลากับสถานที่ปลายทางให้เหมาะสม คือไปท่องเที่ยวในสถานที่ที่ผู้ใช้เลือกให้ได้มากแห่งที่สุดภายใต้ระยะเวลาการท่องเที่ยวที่ผู้ใช้กำหนด และค้นหาแผนการเดินทางภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในทุกประเด็นตามความต้องการพิจารณาปัจจัยด้านเวลาที่ซับซ้อนของนักท่องเที่ยว ตามงานวิจัยของศศิวิมล กอบัว (2556) ที่ได้มีการศึกษาปัจจัยประเด็นด้านเวลาเชิงลึกที่ควรคำนึงถึงในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยว ซึ่งปัจจัยด้านเวลาดังกล่าว ได้แก่ เวลาที่เดินทางไปถึง - ออกจากสถานที่ เวลา ณ เขตเวลา เวลาเปิด - ปิดของสถานที่ ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ และระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยว

สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนั้นจัดเป็นปัญหาหนึ่งที่อยู่ในปัญหาการวางแผนการเดินทางซึ่งเป็นปัญหาการตัดสินใจที่ซับซ้อนที่ต้องพิจารณาหาทางเลือกที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่ควรคำนึงถึง ซึ่งในการประมวลผลเพื่อค้นหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวจริงพบว่า มี

ความซับซ้อนมากจนกระทั่งในบางสถานการณ์ไม่สามารถใช้วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ (ณัฐชนันย์ เจริญเกียรติ, 2556: 36; สุวรรณา บุเหลา, 2556: 18) นอกจากนี้ ข้อมูลนำเข้า เช่น สถานที่ท่องเที่ยว และเงื่อนไขบังคับด้านเวลาต่าง ๆ ที่มีความไม่แน่นอน จากการศึกษาแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิควิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางพบว่า ขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหานี้ได้

ในการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา จึงได้ใช้แนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกวิธีหนึ่งมาเป็นแนวทางในการพัฒนา ซึ่งขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวนั้นมีกระบวนการทำงานที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปแต่ยังคงให้คำตอบที่ดีเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นที่มีความซับซ้อนมากกว่า นอกจากนี้ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยังเหมาะกับปัญหาการวางแผนการเดินทาง เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีโอกาสได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ค่อนข้างมาก และขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวยังสามารถให้ลำดับการเดินทางไปเยือนสถานที่ในแผนการเดินทางได้

สำหรับกระบวนการในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา เริ่มจากกระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น ซึ่งก็คือเส้นทางที่คาดว่าเยือนสถานที่ได้มากที่สุดและใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุดในเวลาที่กำหนด โดยจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันและต้องอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา เมื่อได้แผนการเดินทางเบื้องต้นหรือคำตอบเบื้องต้นแล้ว นำเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง โดยใช้คำตอบเบื้องต้นนั้นเป็นหลักในการคำนวณสับเปลี่ยนบางส่วนของแผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้น เพื่อค้นหาแผนการเดินทางคำตอบอื่นซึ่งจะทำให้สามารถพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นและลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดต่อไป โดยมีกระบวนการยุติการทำงานคอยตรวจสอบความเหมาะสมในการยุติการทำงานของขั้นตอนวิธี และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีจึงได้เสนอการใช้เทคนิคการเลือกเส้นทางที่พิจารณาจากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุด (เอสพีเอส) มาใช้ในกระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นและกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง นอกจากนี้ ยังได้แทรกขั้นตอนพิเศษที่สามารถนำสถานที่ปลายทางที่อาจยังไม่ถูกจัดลงในแผนการเดินทางให้ได้อยู่ในแผนการเดินทาง ซึ่งจะทำให้มีโอกาสได้แผนการเดินทางที่อาจไปเยือนสถานที่ปลายทางได้หลายแห่งมากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่พัฒนานี้คือ แผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ที่สามารถเยือนสถานที่ท่องเที่ยวได้ครบหรือหลายแห่งมากที่สุดตามที่ผู้ใช้ระบุโดยคำนึงถึงปัจจัยด้านเวลาได้อย่างครบถ้วน

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนา มุ่งเน้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบ และประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี โดยการทดสอบเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับขั้นตอนวิธีอื่นทั้งหมด 4 ขั้นตอนวิธี

ได้แก่ ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ ในรูปแบบปัญหาการวางแผนการเดินทางที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งเป็นปัญหาหลักในงานวิจัยนี้ และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยการวัดจากค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในทั้ง 2 ประเด็น

สำหรับผลการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

เพื่อให้เห็นผลของการทำงานของขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้ได้นำขั้นตอนวิธีไปประยุกต์ใช้ในระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (ซึ่งระบบได้ถูกพัฒนาไว้แล้วจากงานวิจัยเดิมของศศิวิมล กอบัว (2556)) โดยขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ทำหน้าที่คำนวณหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ผู้ใช้ระบุ โดยมีระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังกล่าวทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ดึงข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากแหล่งต่าง ๆ ตลอดจนอธิบายแผนการเดินทางต่อผู้ใช้ โดยตัวระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ประกอบด้วยการทำงาน 5 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล ส่วนคำนวณจุดอุปสรรค ส่วนเลือกแผนการเดินทาง ส่วนคำนวณจุดแวะพัก และส่วนอธิบายแผนการเดินทาง

ในส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้/ป้อนข้อมูล และส่วนคำนวณจุดอุปสรรค เป็นส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อรับข้อมูล ในส่วนนี้ ขั้นตอนวิธีมีหน้าที่สร้างเงื่อนไขบังคับด้านเวลาโดยวิเคราะห์จากข้อมูลรับเข้าดังกล่าว เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ถูกสร้าง ได้แก่ ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยว เวลา ณ เขตเวลาของแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ระยะเวลาที่ใช้ท่องเที่ยว ณ สถานที่ ระยะเวลารวมของแผนการเดินทาง ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากสภาพอากาศ ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอุปสรรคระหว่างทาง

หลังจากสร้างเงื่อนไขบังคับด้านเวลาแล้ว ขั้นตอนวิธีก็จะทำการประมวลผลภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาดังกล่าวตามขั้นตอนการทำงานใน 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง และกระบวนการยุติการทำงาน เมื่อขั้นตอนวิธีประมวลผลเสร็จสิ้น จะได้แผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้เมื่อพิจารณาถึงปัจจัย

ดังกล่าว และส่งออกแผนการเดินทางนั้นให้ส่วนเลือกแผนการเดินทาง เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแผนการเดินทางที่ตนเองต้องการต่อไป

เมื่อผู้ใช้ได้เลือกแผนการเดินทางที่ต้องการแล้ว สามารถเพิ่มจุดแวะพักระหว่างการเดินทางได้ในส่วนคำนวณจุดแวะพัก เมื่อถึงขั้นตอนนี้ ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาก็จะทำการประมวลผลแผนการเดินทางที่ผู้ใช้เลือกอีกครั้งหนึ่ง โดยเพิ่มสถานที่แวะพักและระยะเวลาแวะพักระหว่างทางเข้าไปในแผนการเดินทาง จากนั้นส่วนอธิบายแผนการเดินทางท่องเที่ยวก็จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ซึ่งถูกเลือกจากผู้ใช้ต่อไป

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านคำตอบ และประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี โดยได้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม และขั้นตอนวิธีแบบละโมบ ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งเป็นปัญหาหลักในงานวิจัยนี้ และปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย สำหรับผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

ในประเด็นด้านคำตอบ จากผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านคำตอบพบว่า ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถประมวลผลแล้วได้จำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้มากกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมและขั้นตอนวิธีแบบละโมบ คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 24.05 และ 32.97 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดและขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ที่รับประกันคำตอบที่ดีที่สุดทุกครั้งที่ประมวลผลพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาประมวลผลแล้วได้จำนวนสถานที่ปลายทางที่ไปได้น้อยกว่าโดยคิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบต่ำกว่าโดยเฉลี่ยเพียงร้อยละ 3.02

สำหรับประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล จากผลของค่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีด้านความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม ขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดด และขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 21.97, 89.34 และ 93.81 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลต่ำกว่าขั้นตอนวิธีที่มีจุดเด่นด้านความเร็วในการประมวลผล นั่นคือ ขั้นตอนวิธีแบบละโมบเล็กน้อย (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการประมวลผลที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ยเพียงร้อยละ 6.29)

ข้อมูลจากผลการวิจัยในส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า การที่ได้ดัดแปลงกระบวนการค้นหาแผนการเดินทางที่ใช้แนวคิดจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวโดยการนำเทคนิคเอสพีเอสมาช่วยในการสร้างคำตอบเริ่มต้นและสร้างคำตอบใกล้เคียง เป็นวิธีที่พบว่ามีความเหมาะสมและใช้งานได้ดีสำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ จากผลการวิจัยยังค้นพบว่า การเพิ่มกระบวนการพิเศษที่มีการพิจารณานำสถานที่ปลายทางที่อาจยังไม่ถูกจัดลงในแผนการเดินทางให้ได้มาอยู่ในแผนการเดินทาง มีส่วนทำให้ไปเยือนสถานที่ท่องเที่ยวได้หลายแห่งมากขึ้น ดังผลการวิจัยที่รายงาน

5.1.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องการเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

นอกเหนือจากการทดลองกับปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ ยังได้ขยายการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่เสนอในปัญหาการวางแผนการเดินทางอื่น ในที่นี้ได้ทดลองกับปัญหาการวางแผนท่องเที่ยวพื้นฐานที่ต้องเยือนสถานที่ทุกแห่งโดยคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดหรือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ในประเด็นด้านคำตอบ จากผลของค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาสามารถประมวลผลแล้วได้ระยะเวลาของแผนการเดินทางน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิมและขั้นตอนวิธีแบบละโมบค่อนข้างมาก คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 10.63 และ 16.43 ตามลำดับ แต่กับขั้นตอนวิธีแบบก้าวกระโดดและขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ ยังคงประมวลผลแล้วให้ระยะเวลาของแผนการเดินทางมากกว่าโดยคิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านคำตอบที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 5.14

สำหรับประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล จากผลของค่าประสิทธิภาพด้านเวลาชี้ให้เห็นว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ และขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้แบบก้าวกระโดด (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านเวลาในการประมวลผลดีกว่าโดยเฉลี่ย

ร้อยละ 19.78, 94.75 และ 97.98 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีแบบละโมบที่มีจุดเด่นด้านความเร็วในการค้นหาพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าเล็กน้อย (คิดเป็นค่าประสิทธิภาพด้านเวลาในการประมวลผลที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.79)

ข้อมูลจากผลการวิจัยในส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้จะเป็นการประมวลผลในปัญหาการเดินทางอื่นที่ไม่ใช่ปัญหาหลักในงานวิจัยนี้ ที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางจำนวนมาก แต่โดยรวมแล้วขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ยังคงประมวลผลแล้วให้ประสิทธิภาพที่ดีทั้งในด้านคำตอบและด้านการใช้เวลาคำนวณที่สามารถยอมรับได้

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา มีข้อจำกัดในการวิจัยโดยแยกเป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

5.2.1 ข้อจำกัดเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก

สำหรับคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่พัฒนาจากแนวคิดของขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกนั้นไม่สามารถรับประกันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นการค้นหาจากบางส่วนของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด จึงทำให้ในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้จากทางเลือกในการตัดสินใจอาจไม่เป็นไปตามที่คาดเดาไว้

5.2.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับระบบวางแผนการเดินทางออนไลน์

สำหรับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีหรือนำขั้นตอนวิธีที่พัฒนาไปติดตั้งเพื่อให้ทำงานเป็นตัวประมวลผลในการหาแผนการเดินทางในระบบ เพื่อให้การดึงค่าเงื่อนไขบังคับด้านเวลาถูกต้อง ผู้พัฒนาระบบจำเป็นต้องมีการกำหนดค่า (Configurations) เงื่อนไขให้ตรงกับที่ขั้นตอนวิธีกำหนด ทั้งนี้ ผู้พัฒนาระบบสามารถเปลี่ยนเงื่อนไขเวลาเป็นเงื่อนไขอย่างอื่นได้ (แต่ต้องกำหนดตัวแปรให้ตรงกับเงื่อนไขที่มีอยู่) ซึ่งไม่ส่งผลใด ๆ ต่อกระบวนการค้นหาแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธี นอกจากนี้ เวลาที่ใช้ในการดึงข้อมูลต่าง ๆ ของระบบ (Service Time) ทั้งจากบริการเว็บ บริการแผนที่กูเกิลนั้นต้องใช้เวลา ทั้งนี้ เวลาที่ใช้ในการดึงข้อมูลดังกล่าวของระบบก็ไม่ได้นำมาคำนวณรวมกับเวลาในการประมวลผลแต่อย่างใด แต่ในการใช้งานจริง เวลาดังกล่าวอาจส่งผลโดยรวมต่อความเร็วของการทำงานของระบบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อการวางแผนการท่องเที่ยวที่ต้องทำผ่านระบบนั้น ๆ ได้

5.2.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการวางแผนการท่องเที่ยว

เป็นที่ทราบกันดีว่า หากต้องการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวให้เหมาะสม ครอบคลุมในทุกเงื่อนไขที่ผู้ใช้ต้องการ เป็นเรื่องที่กระทำได้ยาก เพราะต้องมีการนำเงื่อนไขที่ควรคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวอื่นเข้ามาคำนวณร่วมด้วยให้ครบถ้วน เช่น เงื่อนไขด้านค่าใช้จ่ายในการเดินทาง เงื่อนไขด้านสิ่งอำนวยความสะดวก เงื่อนไขด้านพลังงาน เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับปัจเจกบุคคล ฯลฯ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเงื่อนไขที่สำคัญที่นักท่องเที่ยวทุกคนต้องมี นั่นคือ เงื่อนไขด้านเวลาเป็นเงื่อนไขหลัก

5.2.4 ข้อจำกัดเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาของสถานที่ท่องเที่ยว

เนื่องจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางด้านเวลาของสถานที่ส่วนใหญ่ต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจริงด้วยตนเอง ซึ่งมีเพียงชื่อสถานที่ พิกัดของสถานที่ท่องเที่ยว ระยะทาง กับระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่เท่านั้นที่ได้จากบริการแผนที่กูเกิล ดังนั้นความถูกต้องแม่นยำในการวางแผนการเดินทางภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่สมบูรณ์ทุกปัจจัยจะมีเฉพาะข้อมูลของสถานที่ที่งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านเวลาไว้เท่านั้น

5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย

สำหรับการประยุกต์ใช้งานขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในแง่ของการนำไปใช้งาน สามารถใช้เป็นขั้นตอนวิธีของระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวใด ๆ ที่คำนึงถึงปัจจัยด้านเวลา นอกจากนี้ ในการนำขั้นตอนวิธีไปใช้ในระบบยังสามารถประยุกต์โดยปรับจากเงื่อนไขบังคับด้านเวลาเป็นเงื่อนไขบังคับอื่นได้ ยิ่งไปกว่านั้น ยังสามารถประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้ในการวางแผนการเดินทางทั่วไปที่มีเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึง

สำหรับการประยุกต์ในงานด้านวิจัย นักวิจัยสามารถพัฒนาต่อยอดขั้นตอนวิธีที่เสนอโดยใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางอื่นได้ไม่เฉพาะงานด้านการวางแผนการท่องเที่ยว เช่น การวางแผนการเดินทางขนส่งสินค้า การวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ การวางแผนการเดินทางของพนักงานส่งสินค้า ฯลฯ

5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ได้ผลลัพธ์ซึ่งคือแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้หลายแผนภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งแผนการเดินทางท่องเที่ยวดังกล่าวอาจมีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ในกรณีที่มีแผนการเดินทางหลายแผนที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางไม่เท่ากัน เพื่อตอบปัญหาในงานวิจัยนี้ที่นักท่องเที่ยวอยากเดินทางไปเที่ยวให้ครบหรือมากแห่งที่สุดเพราะต้องการใช้ระยะเวลาที่กำหนดไว้ในการท่องเที่ยวให้คุ้มค่า ในกรณีนี้ขั้นตอนวิธีจึงเสนอแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางมากแห่งที่สุดให้กับผู้ใช้ ส่วนในกรณีที่มีแผนการเดินทางหลายแผนที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากัน เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่เงื่อนไขบังคับด้านเวลา จึงเสนอแผนการเดินทางที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยวทั้งหมดหรือระยะเวลาของแผนการเดินทางที่น้อยที่สุดให้กับผู้ใช้ได้เลือกเป็นอันดับต้น ๆ ก่อน อย่างไรก็ตามจากการประมวลพบว่า แผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากันนั้น บางแผนการเดินทางไปเที่ยวสถานที่แตกต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้ หากต้องการให้แผนการเดินทางโดยรวมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรมีการนำเสนอข้อมูลด้านอื่นเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกแผนการเดินทางให้กับผู้ใช้ เช่น คะแนนของการยอมรับหรือชื่นชอบในสถานที่ท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ที่ได้ให้คะแนนไว้ คะแนนของสิ่งอำนวยความสะดวก (ที่พัก ร้านอาหาร ห้องน้ำ และร้านค้า) ฯลฯ โดยอาจคิดเป็นค่าคะแนนความน่าสนใจโดยรวมของแผนการเดินทาง จากนั้นจัดเรียงอันดับของแผนการเดินทางตามค่าระดับความน่าสนใจที่คำนวณได้ (ในงานวิจัยนี้เรียงลำดับแผนการเดินทางท่องเที่ยวตามระยะเวลาของแผนการเดินทาง) เพื่อแสดงเป็นข้อมูลที่ช่วยผู้ใช้ในการที่จะตัดสินใจเลือกแผนการเดินทางด้วยตนเองต่อไป ซึ่งผู้พัฒนาสามารถออกแบบให้ขั้นตอนวิธีจัดอันดับแผนการเดินทางตามวัตถุประสงค์ของระบบได้

ในส่วนของการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ถึงแม้เวลาจะเป็นปัจจัยสำคัญที่นักท่องเที่ยวทุกคนมีเหมือนกัน แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องคำนึงถึงในการวางแผนการท่องเที่ยวแต่ละครั้ง เช่น กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว สิ่งอำนวยความสะดวก งบประมาณที่จะใช้ในการท่องเที่ยว สภาพการจราจร สภาพพื้นผิวของถนน ความปลอดภัยที่ต้องคำนึงถึงในการท่องเที่ยว ฯลฯ ปัจจัยเหล่านี้อาจเป็นประเด็นที่นักท่องเที่ยวบางคนคำนึงถึงและอาจนำมาประกอบในการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวางแผนการท่องเที่ยวเพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่แม่นยำ เหมาะสม และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

อย่างไรก็ตาม หากได้มีการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ทั้งหมดที่ครอบคลุมต่อการวางแผนการท่องเที่ยวแล้ว สิ่งที่ควรพัฒนาถัดไปคือ การพัฒนาขั้นตอนวิธีให้มีความยืดหยุ่น

ต่อการนำไปใช้งาน เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางส่วนใหญ่มักเหมาะสมกับรูปแบบปัญหานั้น ๆ หากต้องการนำขั้นตอนวิธีไปใช้ตรง ๆ ในงานด้านการวางแผนการเดินทางอื่นมักจะกระทำได้ยาก ดังนั้น การพัฒนาขั้นตอนวิธีให้มีความยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้งาน จึงเป็นประเด็นที่ควรคำนึงถึงต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กนกศักดิ์ กาญจนวสุนทรา. (2555). **เที่ยวอเมริกา 4 เมืองใหญ่.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อทิตตา. หน้า 20-22.

กิตติเดช วงศ์ศักดิ์ และ เกียรติศักดิ์ โยชะนัง. (2552). ระบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองโดยใช้ขั้นตอนวิธีระบบมด. ใน **เอกสารการประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 6 (NCCIT2010)** (หน้า 161-166). กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

คนไทยทัวร์. (2562). **ทัวร์แก่นแท้ ปาย-ปางอุ๋ง-แม่ฮ่องสอน-เชียงใหม่-เชียงราย 6 วัน 5 คืน** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.konthaitour.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538 669505&Ntype=22.

จิติมนต์ อั่งสกุล และ ธรา อั่งสกุล. (2551). Online Trip Planners for the Tourism Industry**. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี.** 2(1): 33-45.

เชียงใหม่ทัวร์ออนไลน์. (2562). **แพ็คเกจทัวร์เชียงใหม่-เชียงราย-ปาย 5 วัน 4 คืน** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.chiangmaitouronline.com/แพ็คเกจทัวร์เชียงใหม่-เชียงราย-ปาย-แม่ฮ่องสอน-5-วัน-4-คืน.html.

ซันสตาร์ทราเวล. (2562). **เที่ยวเชียงใหม่ควบเชียงราย 3 วัน 2 คืน** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.sunstartravel.net/tour-detail.php?id=21.

ณัฐชนันย์ เจริญเกียรติ. (2556). **การพัฒนาระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านการประหยัดพลังงาน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ธนา สาตรา, กมลนัทธ์ ชวลิตธิติกร, ณัฐวดี ชนประเสริฐ และ วิธิดา วีรินทร. (2555). การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและพิจารณาระดับการบริการ. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555** (หน้า 15-22). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ธนิสรา บุตรสิงขรณ์. (2555). **วิธีฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางเดินรถประจำทาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประภัสสร มั่งศรี. (2547). **คู่มือนักเดินทางฝรั่งเศส.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อิทตา.

ปิยรัตน์ งามสนิท. (2553). **การพัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับวางแผนการท่องเที่ยวส่วนบุคคล.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปิยรัตน์ งามสนิท, ธรา อั่งสกุล และ จิติมนต์ อั่งสกุล. (2560). ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 36(6): 713-727.

ปิยรัตน์ งามสนิท, ธรา อั่งสกุล และ จิติมนต์ อั่งสกุล. (2552). ระบบวางแผนการท่องเที่ยวออนไลน์ภายใต้ข้อบังคับด้านพลังงานและเวลา. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาการและคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 13 (NCSEC)** (หน้า 480-486). กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

พนาวัลย์ อยู่เจริญ และ กฤษดา อัศวรุ่งแสงสกุล. (ตุลาคม 2556). อัลกอริทึมอาณานิคมผึ้งเทียมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาในการขนส่ง. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556** (หน้า 1-6). ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พัชราภรณ์ เนียมมณี. (2551). **ตัวแบบการจัดสรรทรัพยากร.** กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. 256-262. (รายงานการวิจัย ประจำปี 2551 ของสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์).

โพธิทัต สุวรรณวาทิน. (2550). **การเปรียบเทียบวิธีการจัดการสินค้าหลายโซนเชิงพลวัติด้วยวิธีการซิมมูเลตเต็ดแอนิลลิ่งและวิธีฝูงมด.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศศิวิมล กอบัว. (2556). **การพัฒนาระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สมจินต์ เปียโคกสูง, ปิยรัตน์ งามสนิท, พิชญสินี กิจวัฒนาถาวร, จิติมนต์ อั่งสกุล และ ธรา อั่งสกุล. (2552). ระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวอัจฉริยะเพื่อประหยัดพลังงาน. ใน **เอกสารการประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ (ECTI-CARD) ครั้งที่ 1** (หน้า 67-72). กรุงเทพฯ.

สุทธิชา ทับดารา และ เสรี เศวตเศรนี. (2554). การจัดการขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร**. วิศวกรรมสารมก.** 78: 34-46.

สุพรรณ สุดสนธิ์ สรายุทธ กรวิรัตน์ และนคร สุดสนธิ์. (2557). วิธีซิมมูเลเตด แอลเนลลิ่ง สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งภายใต้กรอบเวลาที่ยืดหยุ่น. **วิศวกรรมสาร มข.** 41(4): 449-461.

สุวรรณา บุเหลา. (2556). **ระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวออนไลน์ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านความปลอดภัย.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อรประไพ จำรุพัฒน์ และ ปวีณา เชาวลิตวงศ์. (2556). ฮิวริสติกส์สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** 4(3): 57-72.

อรรถนิติ วงศ์จักร์, กฤตวัน ศิริบูรณ์ และบุญธีร์ เครือตราชู. (2554). การเพิ่มความสามารถในการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงของเจเนติคอัลกอริทึมโดยใช้เทคนิคพาติเคิลสวอมออปติไมเซชั่น. **วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.** 7(14): 1-6.

Aarts, E., Korst, J., and Michiels, W. (2005). **Simulated Annealing: Search methodologies**. US: Springer. 187-210.

Abbaspour, R. A., and Farhad Samadzadegan. (2011). Time-Dependent Personal Tour Planning and Scheduling in Metropolises. **Expert Systems with Applications: An International Journal.** 38(10): 12439-12452.

Agarwal, Y., Mathur K., and Salkin, H.M. (1989). A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem. **Networks**. 19(7): 731-749.

Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvatal, V., and Cook, W. J. (2011). **The Traveling Salesman Problem: A Computational Study**. UK: Princeton university press. 44-50.

Baker, E. K. (1983). Technical Note-An Exact Algorithm for the Time Constrained Traveling Salesman Problem. **Operations Research.** 31(5): 938-945.

Banos, R., Ortega, J., Gil, C., Fernandez, A., and De Toro, F. (2013). A Simulated Annealing-Based Parallel Multi-Objective Approach to Vehicle Routing Problems with Time Windows. **Expert Systems with Applications**. 40(5): 1696-1707.

Belhaiza, S., Hansen, P., and Laporte, G. (2014). A hybrid variable neighborhood tabu search heuristic for the vehicle routing problem with multiple time windows. **Computers and Operations Research**. 52: 269-281.

Bell, J. E., and McMullen, P. R. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem**. Advanced Engineering Informatics**. 18(1): 41-48.

Blum, c. and Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and Conceptual Comparison. **ACM Computing Surveys (CSUR).** 35(3): 268-308.

Booth, J., Sistla, P., Wolfson, O., and Cruz, I. F. (2009). A data model for trip planning in multimodal transportation systems. In **Proceedings of the 12th International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology** (pp. 994-1005). Saint Petersburg, Russia: ACM.

Carrabs, F., Cerulli, R., and Cordeau, J. F. (2007). An additive branch-and-bound algorithm for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO or FIFO loading. **INFOR: Information Systems and Operational Research**. 45(4): 223-238.

Castillo, L., Armengol, E., Onaindía, E., Sebastiá, L., González-Boticario, J., Rodríguez, A., ... and Borrajo, D. (2008). samap: An user-oriented adaptive system for planning tourist visits. **Expert Systems with Applications**. 34(2). 1318-1332.

Cerny, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm. **Journal of Optimization Theory and Applications**. 45(1): 41-51.

Chambers, L. D. (Ed.). (1998). **Practical handbook of genetic algorithms: Complex Structures**. CRC press. 347-381

Chen, S. M., and Chien, C. Y. (2011a). Parallelized genetic ant colony systems for solving the traveling salesman problem. **Expert Systems with Applications**. 38(4): 3873-3883.

Chen, S. M., and Chien, C. Y. (2011b). Solving the traveling salesman problem based on the genetic simulated annealing ant colony system with particle swarm optimization techniques. **Expert Systems with Applications**. 38(12): 14439-14450.

Cherkassky, B. V., Goldberg, A. V., and Radzik, T. (1996). Shortest paths algorithms: Theory and experimental evaluation. **Mathematical programming**. 73(2): 129-174.

Chiarandini, M., Birattari, M., Socha, K., and Rossi-Doria, O. (2006). An effective hybrid algorithm for university course timetabling. **Journal of Scheduling**. 9(5): 403-432.

Christofides, N., Mingozzi, A., and Toth, P. (1981a). Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. **Mathematical Programming**. 20(1): 255-282.

Christofides, N., Mingozzi, A., and Toth, P. (1981b). State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems. **Networks**. 11(2): 145-164.

Chu, S. C., Roddick, J. F., and Pan, J. S. (2004). Ant colony system with communication strategies. **Information Sciences**. 167(1–4): 63–76.

Clarke, G. and Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. **Operations Research**. 12(4): 568-581.

Connolly, D. T. (1990). An improved annealing scheme for the QAP. **European Journal of Operational Research**. 46(1): 93-100.

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2009). **Introduction to Algorithms** (3rd ed.). MIT Press and McGraw-Hill. 580–642.

Dorigo, M. (1992). **Optimization, Learning and Natural Algorithms**. Ph.D. Dissertation, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.

Eglese, R. W., and Letchford, A. N. (1998). The rural postman problem with deadline classes. **European Journal of Operational Research**. 105(3): 390-400.

Eiben, A. E., and Schippers, C. A. (1998). On evolutionary exploration and exploitation. **Fundamenta Informaticae**. 35(1-4): 1-16.

Fang, L., Chen, P., and Liu, S. (2007). Particle swarm optimization with simulated annealing for TSP. In **Proceedings of the 6th WSEAS international conference on artificial intelligence, knowledge engineering and data bases (AIKED'07)** (pp. 16-19). Corfu Island, Greece.

Fisher, M.L. and Jaikumar, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. **Networks**. 11(2): 109-124.

Garcia, A., Arbelaitz, O., Linaza, M. T., Vansteenwegen, P., and Souffriau, W. (2010). **Personalized tourist route generation** (pp. 486-497). Springer Berlin Heidelberg.

Garcia, A., Vansteenwegen, P., Arbelaitz, O., Souffriau, W., and Linaza, M. T. (2013). Integrating public transportation in personalised electronic tourist guides. **Computers and Operations Research**. 40(3): 758-774.

Garey, M. R., and Johnson, D. S. (2002). **Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness** (Vol. 29). New York: WH Freeman.

Geman, S. and Geman, D. (1984). Stochastic relaxation, gibbs distributions, and the bayesian restoration of images. In **Proceeding of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI** (pp. 721-741). New York: USA.

Gen, M., and Cheng, R. (1997). **Genetic Algorithms and Engineering Design**. New York, US: John Wiley and Sons. 56-82.

Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., and Taillard, É. D. (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. **Computers and Operations Research**. 26(12): 1153-1173.

Geng, X., Chen, Z., Yang, W., Shi, D., and Zhao, K. (2011). Solving the traveling salesman problem based on an adaptive simulated annealing algorithm with greedy search. **Applied Soft Computing**. 11(4): 3680-3689.

Global Road Safety Partnership. (2008). **Speed Management: a Road Safety Manual for Decision Makers and Practitioners.** Switzerland: GRSP publications. 55.

Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. **Computers and operations research**. 13(5): 533-549.

Glover, F., and Laguna, M. (1997). **Tabu Search.** USA: Kluwer Academic Publishers Norwell.

Glover, F., and Laguna, M. (2013). **Handbook of Combinatorial Optimization: Tabu Search*.** New York, US: Springer. 3261-3362.

Gonzalez, H., Han, J., Li, X., Myslinska, M., and Sondag, J. P. (2007). Adaptive Fastest Path Computation on a Road Network: a Traffic Mining Approach. **VLDB '07 Proceedings of the 33rd International Conference on Very Large Data Bases** (pp.794-805). VLDB Endowment.

Guo, J. Q., and Zheng, L. (2005). A modified simulated annealing algorithm for estimating solute transport parameters in streams from tracer experiment data. **Environmental Modelling and Software**. 20(6): 811-815.

Hassin, R., and Keinan, A. (2008). Greedy heuristics with regret, with application to the cheapest insertion algorithm for the TSP. **Operations Research Letters**. 36(2): 243-246.

Ho, W., Ho, G. T., Ji, P., and Lau, H. C. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. 21(4): 548-557.

Holland, J. H. (1975). **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. University of Michigan Press.

Hui, L., and Yonghui, C. (2010). Study of Heuristic Search and Exhaustive Search in Search Algorithms of The Structural Learning. In **Proceeding of 2010 Second International Conference on Multi Media and Information Technology** (pp.169-171). Kaifeng**:** China**.**

Ingber, L. (1993). Simulated annealing: Practice versus theory. **Mathematical and computer modelling**. 18(11): 29-57.

Isaacson, D. L., and Madsen, R. W. (1976). **Markov Chains: Theory and Applications**. New York: Wiley. 110-128.

Jeon, Y. J., Kim, J. C., Kim, J. O., Shin, J. R., and Lee, K. Y. (2002). An efficient simulated annealing algorithm for network reconfiguration in large-scale distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**. 17(4): 1070-1078.

John, D. C., Little, K. G., Murty, D. W., and Sweeney, C. K. (1963). An Algorithm for the Traveling Salesman Problem. **Operations Research**. 11(6): 972–989.

Junjie, P., and Dingwei, W. (2006). An ant colony optimization algorithm for multiple travelling salesman problem. In **Proceeding of Innovative Computing, Information and Control 2006** (pp. 210-213). Beijing: China.

Karadimas, N. V., Kouzas, G. E. O. R. G. I. O. S., Anagnostopoulos, I. O. A. N. N. I. S., and Loumos, V. A. S. S. I. L. I. (2005). Urban solid waste collection and routing: The ant colony strategic approach. **International Journal of Simulation**. 6(12-13): 45-53.

Kirkpatrick, S., Gelatt Jr., C.D., and Vecchi, M.P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. **Science**. 220(4598): 671–680.

Koenig, S., Maxim, L., Yaxin, L., and David, F. (2004). Incremental heuristic search in AI. **AI Magazine**. 25(2): 99–112.

Kurata, Y., and Hara, T. (2013). CT-planner4: Toward a more user-friendly interactive day-tour planner. In **Proceeding of Information and communication technologies in tourism 2014** (pp. 73–86). Springer International Publishing.

Labbé, M., Laporte, G., and Mercure, H. (1991). Capacitated Vehicle Routing on Trees. **Operations Research**. 39(4): 616–622.

Land, A. H., and Doig, A. G. (1960). An automatic method of solving discrete programming problems. **Journal of the Econometric Society**. 28(3): 497–520.

Laporte, G. (1992). The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms. **European Journal of Operational Research**. 59(2): 231-247.

Laporte, G., and Nobert, Y. (1987). Exact algorithms for the vehicle routing problem. **Surveys in Combinatorial Optimization**. 31: 147-184.

Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy, K. A. H. G., and Shmoys, D. B. (1985). **The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization**. US: John Wiley and Sons. 431-448.

Le, A., Prabakaran, V., Sivanantham, V., and Mohan, R. (2018). Modified a-star algorithm for efficient coverage path planning in tetris inspired self-reconfigurable robot with integrated laser sensor. **Sensors**. 18(8): 2585.

Lee, C. S., Chang, Y. C., and Wang, M. H. (2009).). Ontological Recommendation Multi Agent for Tainan City Travel. **Expert Systems with Applications**. 36(3): 6740-6753.

Leung, C.H. S., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., and Lim, K. M. (2013). A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints. **European Journal of Operational Research.** 225(2): 199-210.

Liao, Y. F., Yau, D. H., and Chen, C. L. (2012). Evolutionary algorithm to traveling salesman problems. **Computers and Mathematics with Applications**. 64(5): 788-797.

Lin, S. W., Vincent, F. Y., and Chou, S. Y. (2009). Solving the truck and trailer routing problem based on a simulated annealing heuristic. **Computers and Operations Research**. 36(5): 1683-1692.

Lin, S. W., Vincent, F. Y., and Lu, C. C. (2011). A simulated annealing heuristic for the truck and trailer routing problem with time windows. **Expert Systems with Applications**. 38(12): 15244-15252.

Lysgaard, J., and Wohlk, S. (2014). A branch-and-cut-and-price algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem. **European Journal of Operational Research**. 236(3): 800-810.

Marinakis, Y., and Marinaki, M. (2010). A hybrid multi-swarm particle swarm optimization algorithm for the probabilistic traveling salesman problem. **Computers and Operations Research**. 37(3): 432-442.

Maruyama, A., Shibata, N., Murata, Y., Yasumoto, K., and Ito, M. (2004a). P-Tour: A Personal Navigation System with Travel Schedule Planning and Route Guidance Based on Schedule. **IPSJ Journal**. 45(12): 2678-2687.

Maruyama, A., Shibata, N., Murata, Y., Yasumoto, K., and Ito., M. (2004b). A Personal Tourism Navigation System to Support Traveling Multiple Destinations with Time Restrictions. In **Proceeding of 18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (**pp.18-21). Fukuoka: Japan.

Meehan, K., Lunney, T., Curran, K., and McCaughey, A. (2013). Context-aware intelligent recommendation system for tourism. In **Proceedings of the 11th IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops** (pp. 328–331). CA: USA

Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., and Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. **The journal of chemical physics**. 21(6): 1087-1092.

Misevicius, A. (2015). Using iterated tabu search for the traveling salesman problem. **Information technology and control**. 32(3): 29-40.

Mohamed, A. F., Elarini, M. M., and Othman, A. M. (2014). A new technique based on Artificial Bee Colony Algorithm for optimal sizing of stand-alone photovoltaic system. **Journal of advanced research**. 5(3): 397-408.

Moon, C., Kim, J., Choi, G., and Seo, Y. (2002). An efficient genetic algorithm for the traveling salesman problem with precedence constraints. **European Journal of Operational Research**. 140(3): 606-617.

Niaraki, A. S., and Kim, K. (2009). Ontology based personalized route planning system using a multi - criteria decision making approach. **Expert Systems with Applications**. 36(2): 2250–2259.

Ombuki, B., Ross, B. J., and Hanshar, F. (2006). Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows. **Applied Intelligence**. 24(1): 17-30.

Padberg, M., and Giovanni, R. (1991). A branch-and-cut algorithm for the resolution of large-scale symmetric traveling salesman problems. **Society for Industrial and Applied Mathematics**. 33(1): 60-100.

Pal, A. J., Ray, B., Zakaria, N., and Sarma, S. S. (2012). Comparative performance of modified simulated annealing with simple simulated annealing for graph coloring problem. **Procedia Computer Science**. 9: 321-327.

Papadimitrou, C. H., and Steiglitz, K. (1982). **Combinatorial optimization: algorithms and complexity**. New York, US: Dover Publications Inc. 20-23.

Parpinelli, R. S., Lopes, H. S. and Freitas, A. A. (2002). Data mining with an ant colony optimization algorithm. **IEEE Transaction on Evolutionary Computer**. 6(4): 321-332.

Pesant, G., Gendreau, M., Potvin, J. Y., and Rousseau, J. M. (1998). An exact constraint logic programming algorithm for the traveling salesman problem with time windows. **Transportation Science**. 32(1): 12-29.

Pirlot, M. (1996). General local search methods. **European Journal of Operational Research**. 92(3): 493-511.

Plan-travel. (2012). **การวางแผนก่อนเดินทางไปเที่ยว** [ออนไลน์]. ได้จาก : http://www.plan-travel.com/travel/map-plan.html

Pongcharoen, P., Promtet, W., Yenradee, P., and Hicks, C. (2008). Stochastic optimization timetabling tool for university course scheduling. **International Journal of Production Economics**. 112(2): 903-918.

Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J., and Current, J. R. (2010). An improved ant colony optimization based algorithm for the capacitated arc routing problem. **Transportation Research Part B: Methodological**. 44(2): 246-266.

Savelsbergh, M.W.P. (1985). Local search for routing problems with time windows. **Annuals of Operations Research**. 4(1-4): 285-305.

Souffriau, W., and Vansteenwegen, P. (2010). Tourist Trip Planning Functionalities: State–of–the– Art and Future. **Current Trends in Web Engineering Lecture Notes in Computer Science** (6385): 474-485.

Souffriau, W., Vansteenwegen, P., Berghe, G. V., and Van Oudheusden, D. (2011). The planning of cycle trips in the province of East Flanders. **Omega**. 39(2): 209-213.

Su, J. M., Chang, C. H., and Ho, W. C. (2008). Development of trip planning systems on public transit in Taiwan. In **Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control** (pp. 791-795). Sanya: China.

Szu, H., and Hartley, R. (1987). Fast simulated annealing. **Physics letters A**. 122(3): 157-162.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Gazanfari, M., Alinaghian, M., Salamatbakhsh, A., and Norouzi, N. (2011). A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing. **Journal of Manufacturing Systems**. 30(2): 83-92.

Tian, P., Ma, J., and Zhang, D. M. (1999). Application of the simulated annealing algorithm to the combinatorial optimisation problem with permutation property: An investigation of generation mechanism. **European Journal of Operational Research**. 118(1): 81-94.

Toth, P., and Vigo, D. (2002). **The Vehicle Routing Problem: Monographs on Discrete Mathematics and Applications**. SIAM. 45-50.

Van Laarhoven, P. J., Aarts, E. H., and Lenstra, J. K. (1992). Job shop scheduling by simulated annealing. **Operations research**. 40(1): 113-125.

Vansteenwegen, P., Souffriau, W., Berghe, G. V., and Van Oudheusden, D. (2011). The city trip planner: An expert system for tourists. **Expert Systems with Applications**. 38(6): 6540-6546.

Vijay, M., and Jagadeeswari, M. (2012). An Efficient Architecture for Robotic Path Planning. **Development (IJECIERD)**. 2(2): 19-29.

Vincent, F. Y., Lin, S. W., Lee, W., and Ting, C. J. (2010). A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. **Computers and Industrial Engineering**. 58(2): 288-299.

Wake up. (2554). **อากาศดีไปไหน?: 100 ที่เที่ยวฮิต 60 ร้านอร่อย 125 ที่พัก.** กรุงเทพฯ: มีเดียริช. หน้า 272.

Wang, C., Wang, L., Qin, J., Wu, Z., Duan, L., Li, Z., ... and Lu, Z. (2015). Path planning of automated guided vehicles based on improved a-star algorithm. In **Proceeding of 2015 IEEE International Conference on Information and Automation** (pp. 2071-2076). Lijiang: China.

Wang, E. J., Tsai, D. M., Su, T. S., and Lin, K. Y. (2012). Simulated annealing for cost-effective transport of live aquaculture products. **Aquaculture Economics and Management**. 16(1): 68-95.

Wang, H. F., and Chen, Y. Y. (2012). A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pickup problems with time window. **Computers & Industrial Engineering**. 62(1): 84-95.

Waters, C. D. J. (1987). A solution procedure for the vehicle scheduling problem based on iterative route improvement. **Journal of the Operational Research Society**. 38(9): 833–839.

Wolsey, L. A., and Nemhauser, G. L. (2014). **Integer and combinatorial optimization**. New York, US: John Wiley and Sons.

Wu, B., Murata, Y., Shibata, N., Yasumoto, K., and Ito, M. (2009). A Method for Composing Tour Schedules Adaptive to Weather Change. In **Proceeding of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2009)** (pp. 1407-1412). Xi'an: China.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Yang, S., and Jat, S. N. (2011). Genetic algorithms with guided and local search strategies for university course timetabling. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. **IEEE Transactions on**. 41(1): 93-106.

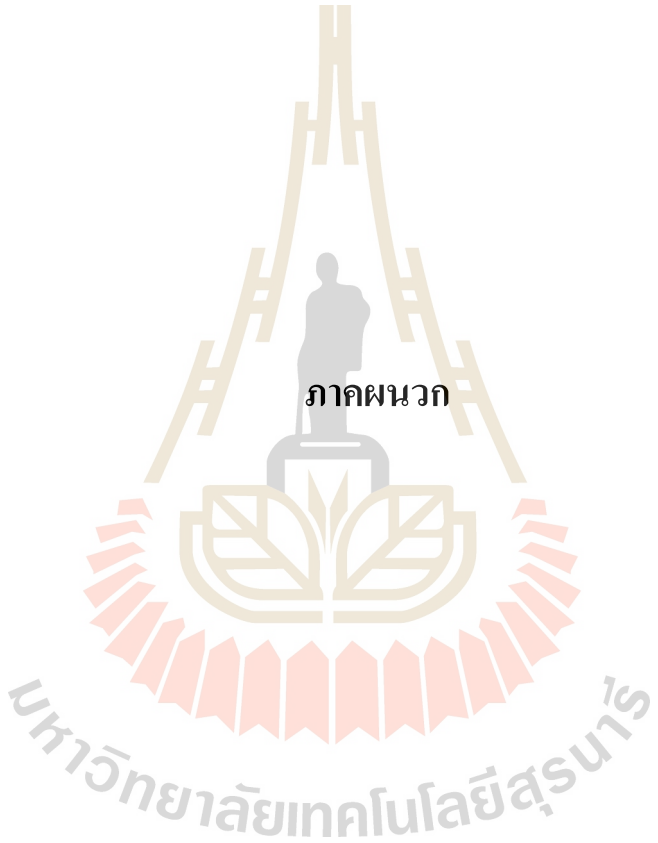
Yao, X. (1995). A new simulated annealing algorithm. **International Journal of Computer Mathematics**. 56(3-4): 161-168.

Yoon, H., Zheng, Y., Xie, X., and Woo, W. (2010). Smart itinerary recommendation based on user-generated GPS trajectories. In **Proceeding of International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing** (pp. 19-34). Springer, Berlin, Heidelberg.

Zhang, D., Cai, S., Ye, F., Si, Y. W., and Nguyen, T. T. (2017). A hybrid algorithm for a vehicle routing problem with realistic constraints. **Information Sciences**. 394: 167-182.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณของขั้นตอนวิธี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในส่วนนี้แสดงข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณของขั้นตอนวิธี ได้แก่ เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน และระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เวลาเปิด-ปิดของสถานที่

สำหรับเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ (Opening Time: T_o, Closing Time: T_c) ได้ถูกจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูลซึ่งได้จากการรวบรวมเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยวในวันธรรมดา คือวันจันทร์-วันศุกร์ วันหยุดราชการ และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มาจากเว็บไซต์ของจากข้อมูลการท่องเที่ยวกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา และเวลาเปิด-ปิดของสถานที่เก็บ ณ สถานที่จริง (โดยมีการระบุวันปัจจุบันที่เก็บ) โดยขั้นตอนวิธีจะนำมาเป็นเงื่อนไขในการสร้างแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เป็นไปได้ โดยพิจารณาถึงเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ สำหรับข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวและเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยวที่ได้เก็บรวบรวม แสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 เวลาเปิด-ปิดของสถานที่

ลำดับ	สถานที่	วันจันทร์-ศุกร์		วันเสาร์-อาทิตย์		วันหยุดนักขัตฤกษ์		หมายเหตุ
		เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	
1	วัดครบุรี	06.00	16.00	06.00	16.00	06.00	16.00	
2	วัดบ้านไร่ อ.ด่านขุนทด	08.00	17.00	08.00	17.00	08.00	17.00	
3	วัดป่าหลักร้อย	14.00	17.00	14.00	17.00	14.00	17.00	
4	พิพิธภัณฑ์ไม้กลายเป็นหิน	09.00	16.00	09.00	16.00	09.00	16.00	หยุดจันทร์
5	สวนสัตว์นครราชสีมา	08.00	17.00	08.00	17.00	08.00	17.00	
6	น้ำตกเหวนรก	08.00	16.30	08.00	16.30	08.00	16.30	
7	เขื่อนลำตะคอง	08.00	16.30	08.00	16.30	08.00	16.30	
8	ด่านเกวียนเครื่องปั้นดินเผา	08.00	18.00	08.00	18.00	08.00	18.00	
9	ปราสาทพิมาย	07.30	18.00	07.30	18.00	07.30	18.00	
10	พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพิมาย	08.00	16.00	08.00	16.00	08.00	16.00	
11	ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง	10.00	14.00	09.00	15.00	09.00	15.00	
12	วัดเทพพิทักษ์-ปุณณาราม	06.00	16.00	06.00	06.00	06.00	16.00	
13	วัดโนนกุ่ม อ.สีคิ้ว	06.00	18.00	06.00	18.00	06.00	18.00	
14	สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช	08.30	16.00	08.30	16.00	08.30	16.00	หยุดจันทร์
15	หาดชมตะวัน	08.30	18.00	08.30	18.00	08.30	18.00	
16	ปราสาทพนมวัน	07.00	18.00	07.00	18.00	07.00	18.00	
17	วัดพายัพ	08.00	18.00	08.00	18.00	08.00	18.00	
18	สนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	08.30	20.00	08.30	20.00	08.30	20.00	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่	วันจันทร์-ศุกร์		วันเสาร์-อาทิตย์		วันหยุดนักขัตฤกษ์		หมายเหตุ
		เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	
19	พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติมหาวีรวงศ์	09.00	16.00	09.00	16.00	09.00	16.00	
20	เขาแผงม้า	06.00	18.00	06.00	18.00	06.00	18.00	
21	วัดศาลาลอย อ.เมือง จ.นครราชสีมา	06.00	18.30	06.00	18.30	06.00	18.30	
22	คลังพลาซ่า อ.เมือง จ.นครราชสีมา	10.00	21.00	10.00	21.00	10.00	21.00	
23	เดอะมอลล์นครราชสีมา	10.00	21.00	10.00	21.00	10.00	21.00	
24	ตลาดกลางดง อ.ปากช่อง	10.00	16.00	10.00	16.00	10.00	16.00	
25	สวนท้าวสุรนารี	06.00	20.00	06.00	20.00	06.00	20.00	
26	วัดเขาจันทร์งาม	08.30	17.00	08.30	17.00	08.30	17.00	
27	วัดธรรมจักรเสมาราม	07.00	16.00	07.00	16.00	07.00	16.00	
28	ปราสาทเมืองแขก	07.30	18.00	07.30	18.00	07.30	18.00	
29	ปราสาทโนนกู่	07.30	18.00	07.30	18.00	07.30	18.00	
30	ปราสาทเมืองเก่า	07.00	18.00	07.00	18.00	07.00	18.00	
31	ตลาดเทศบาลปากช่อง	00.00	12.30	00.00	12.30	00.00	12.30	
32	ตลาดสดเทศบาล ตำบลเมืองปักธงชัย	01.00	13.00	08.30	17.00	08.30	17.00	
33	วัดหน้าพระธาตุ	08.00	17.00	08.00	17.00	08.00	17.00	
34	ไร่องุ่นพีบีวัลเล่ย์ เขาใหญ่	08.30	17.00	08.30	17.00	08.30	17.00	
35	ไร่องุ่นกานต์มอนเต้ เขาใหญ่	08.00	18.00	08.00	18.00	08.00	18.00	
36	ผาเก็บตะวัน อ.วังน้ำเขียว	08.00	22.00	08.00	22.00	08.00	22.00	
37	น้ำตกม่านฟ้า อ.วังน้ำเขียว	06.00	18.00	06.00	18.00	06.00	18.00	
38	อนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี	00.00	23.59	00.00	23.59	00.00	23.59	
39	บิ๊กซี อ.เมือง จ.นครราชสีมา	09.00	23.00	09.00	23.00	09.00	23.00	
40	อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่	06.00	21.00	6.00	21.00	6.00	21.00	
41	จิมทอมสันฟาร์ม	09.00	17.00	9.00	17.00	09.00	17.00	
42	ห้องไทยศึกษานิทัศน์	08.30	16.30	-	-	-	-	
43	ไร่ทองสมบูรณ์	08.00	18.00	08.00	18.00	08.00	18.00	
44	ฟาร์มโชคชัย	10.00	15.00	09.00	15.00	09.00	15.00	
45	วังน้ำเขียว	00.00	23.59	00.00	23.59	00.00	23.59	

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่

สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ (Visiting Time: T_v) ได้ถูกจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูลซึ่งได้จากการรวบรวมจากการสอบถามกลุ่มนักท่องเที่ยวตัวอย่างจำนวน 100 คน เพื่อเก็บข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ยที่นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวใน 4 รูปแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ การท่องเที่ยวในแหล่งธรรมชาติ การท่องเที่ยวในแหล่งวัฒนธรรม การท่องเที่ยวในความสนใจพิเศษ และการท่องเที่ยวประเภทธุรกิจท่องเที่ยว สำหรับข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่แยกตามประเภทการท่องเที่ยว แสดงในตารางที่ ก.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2 ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการอยู่ ณ สถานที่แยกตามประเภทการท่องเที่ยว

ลำดับ	ประเภทหลัก	ประเภทย่อย	ตัวอย่างสถานที่	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ (นาที)
1	**การท่องเที่ยวในแหล่งธรรมชาติ**	เชิงนิเวศ	อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่, อุทยานแห่งชาติทับลาน, เขาแผงม้า	120
		เชิงนิเวศทางทะเล	ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน, พิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำ	180
		เชิงธรณีวิทยา	ถ้ำหินงอกหินย้อยวัดพายัพ, น้ำตกเหวสุวัต, น้ำตกเหวนรก, น้ำตกห้วยใหญ่	120
		เชิงเกษตร	จิมทอมสันฟาร์ม, ฟาร์มโชคชัย	180
		เชิงดาราศาสตร์	หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติฯ, ท้องฟ้าจำลอง	60
2	**การท่องเที่ยวในแหล่งวัฒนธรรม**	เชิงประวัติศาสตร์	อุทยานประวัติศาสตร์พิมาย, ปราสาทพนมวัน	120
		ชมวัฒนธรรมและประเพณี	อนุสาวรีย์ท่านเท้าสุรนารี(เพลงโคราช), ผ้าไหมปักธงไชย	60
3	**การท่องเที่ยวในความสนใจพิเศษ**	เชิงสุขภาพ	บุ่งตาหลัว, บ่อน้ำพุร้อน	120
		เชิงทัศนศึกษาและศาสนา	วัดศาลาลอย, วัดหลวงปู่โต, วัดป่าหลักร้อย	60
		เชิงกีฬา	สนามกีฬากลางจังหวัดนครราชสีมา, สนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	60
		แบบผจญภัย	ไร่ทองสมบูรณ์ แก่งหินเพิง	120
		โฮมสเตย์ และฟาร์มสเตย์	โฮมสเตย์บ้านปราสาท (แหล่งพักชุมชนบ้านปราสาท), บ้านสุขสมบูรณ์เกษตรปลอดสาร	120
4	**การท่องเที่ยวประเภทธุรกิจท่องเที่ยว**	ห้างสรรพสินค้า	ห้างสรรพสินค้า เช่น เดอะมอลล์นครราชสีมา, คลังพลาซ่า	180
		ตลาด	ตลาด เช่น เซฟวัน, แม่กิมเฮง, ตลาดกลางดง	120
		แหล่งของฝาก	แหล่งของฝาก เช่น ปึงหงี่เชียง, เจ้าสัวเตียหงี่เฮียง	60

3. ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง

ระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง (Barrier Time: T_b) ได้ถูกรวบรวมจากการสำรวจความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เกี่ยวกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปกับอุปสรรคในการเดินทางด้านประเภทต่าง ๆ และได้กำหนดเวลาที่เปลี่ยนไปโดยแบ่งเป็นเส้นทางในเมืองและเส้นทางนอกเมือง ซึ่งระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทางนี้จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล สำหรับข้อมูลอุปสรรคระหว่างทางกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามประเภทอุปสรรคระหว่างทาง แสดงในตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 อุปสรรคระหว่างทางกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามประเภทอุปสรรคระหว่างทาง

ลำดับ	ประเภทอุปสรรคระหว่างทาง	เวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง (เท่า)	
		เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
1	ซ่อมถนน	2	1.5
2	ทาสีถนน	1.5	1.5
3	ลาดยาง	2	1.5
4	ทำถนนคอนกรีต	2	1.5
5	วางท่อ	2	1.5
6	ปรับปรุงภูมิทัศน์รอบเส้นทาง	1.5	1
7	ติดตั้งเสาไฟ	1.5	1
8	น้ำขัง	2	1.5
9	น้ำท่วม	2	2
10	พื้นที่ทำกินบนเส้นทาง	1.5	1
11	ชุมนุม/ก่อนม๊อบ/ประท้วง	2	2
12	ด่านตำรวจ	1.5	1.5
13	รถเสีย	2	1.5
14	รถชนกัน/ประสานงา	2	1.5
15	ก่อการณ์ร้าย	2.5	2.5
16	ต้นไม้ล้ม	2	1.5
17	ขบวนแห่	2	1.5
18	ดินถล่ม/โคลนถล่ม	2	2
19	สะพานถล่ม	2.5	2.5
20	ถนนทรุด	2	1.5
21	ถนนขาด	2.5	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (Time of Different Weather: T_w) วิเคราะห์จากลักษณะสภาพอากาศที่ปรากฏในเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา โดยคำนึงถึงการเดินทางในเส้นทางในเมือง/นอกเมือง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกันนี้ได้จากบริการเว็บสภาพอากาศ สำหรับลักษณะสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาและเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 ลักษณะสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาและเวลาที่ใช้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

ที่	คำพยากรณ์ภาษาไทย	คำพยากรณ์ภาษาอังกฤษ	คำอธิบาย	เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ (เท่า)	
				เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
1	ท้องฟ้าโปร่ง	Clear	ท้องฟ้ามีเมฆตั้งแต่ 1 ส่วน ถึง 3 ส่วน ของท้องฟ้า	1	1
2	มีเมฆบางส่วน	Cloudy	ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 3 ส่วนถึง 5 ส่วน ของท้องฟ้า	1	1
		Cloudy & Chancetstoms	ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 3 ส่วนถึง 5 ส่วน ของท้องฟ้า และมีโอกาสที่ฝนจะตก	2	1.75
3	ฝนเล็กน้อย	Drizzling	ฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร ถึง 10.0 มิลลิเมตร	1.5	1.5
4	ฝนปานกลาง	Moderate Rain	ฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 10.1 มิลลิเมตร ถึง 35.0 มิลลิเมตร	1.5	1.5
5	ฝนหนัก	Heavy Rain	ฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 35.1 มิลลิเมตร ถึง 90.0 มิลลิเมตร	2	2
6	ฝนหนักมาก	Very Heavy Rain	ฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 90.1 มิลลิเมตร ขึ้นไป	3	2.5
7	ฝนฟ้าคะนอง	Raining	อากาศที่มีฝนตกหนัก มีฟ้าแลบฟ้าร้อง	3	2.5
8	พายุฝนฟ้าคะนอง	Thunderstorm	อากาศที่มีฝนตกหนัก มีฟ้าแลบฟ้าร้อง มีลมแรง	3	2.5
9	หมอกเล็กน้อย	Light fog	ทัศนะวิสัยเห็นได้ 800 - <1,000 เมตร	1	1
10	หมอกปานกลาง	Moderate fog	ทัศนะวิสัยเห็นได้ 400 - <800 เมตร	1.5	1.5
11	หมอกหนา	Heavy fog	ทัศนะวิสัยเห็นได้ 0 - <400 เมตร	ไม่พบ	2

5. ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน (Time of Different Period: T_p) ได้ถูกรวบรวมจากการสำรวจความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ ช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ ช่วงวันในสัปดาห์ และช่วงเวลาในแต่ละวัน และได้กำหนดเวลาที่เปลี่ยนไปโดยแบ่งเป็นเส้นทางในเมืองและเส้นทางนอกเมือง ซึ่งเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกันนี้จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล สำหรับข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ แสดงในตารางที่ ก.5 ข้อมูลตัวอย่างการเก็บข้อมูลวันหยุดนักขัตฤกษ์ (ข้อมูลในปี พ.ศ.2557) แสดงในตารางที่ ก.6 และข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน แสดงในตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์

ที่	ช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์	เวลาที่ใช้ในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ (เท่า)	
		เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
1	หยุดติดต่อกัน 3 วัน เช่น หยุดวันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันจันทร์เป็นวันพ่อแห่งชาติ	2	2
2	หยุดติดต่อกัน 4 วัน เช่น หยุดวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันจันทร์เป็นวันอาสาฬหบูชา และวันอังคารเป็นวันเข้าพรรษา	2	2
3	วันหยุดยาวสงกรานต์	3.5	2.5
4	วันหยุดยาวสิ้นปีและปีใหม่	3.5	2

ตารางที่ ก.6 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลวันหยุดนักขัตฤกษ์ (ข้อมูลปี พ.ศ.2557)

ที่	วันหยุดนักขัตฤกษ์	วัน/เดือน/ปี	เวลาที่ใช้ในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ (เท่า)	
			เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
1	วันขึ้นปีใหม่	01/01/2014	3.5	2
2	วันมาฆบูชา	14/01/2014	2	2
3	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	15/02/2014	2	2
4	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	16/02/2014	2	2
5	วันเสาร์ติดวันจักรี	05/04/2014	2	2
6	วันจักรี	06/04/2014	2	2
7	วันจันทร์ชดเชยวันจักรี	07/04/2014	2	2
8	วันเสาร์ติดวันสงกรานต์	12/04/2014	3.5	2.5

ตารางที่ ก.6 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลวันหยุดนักขัตฤกษ์ (ข้อมูลปี พ.ศ.2557) (ต่อ)

ที่	วันหยุดนักขัตฤกษ์	วัน/เดือน/ปี	เวลาที่ใช้ในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ (เท่า)	
			เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
9	วันสงกรานต์	13/04/2014	3.5	2.5
10	วันสงกรานต์	15/04/2014	3.5	2.5
11	วันสงกรานต์	14/04/2014	3.5	2.5
12	วันพุธชดเชยวันสงกรานต์	16/04/2014	3.5	2.5
13	วันเสาร์ติดวันฉัตรมงคล	04/05/2014	2	2
14	วันอาทิตย์ติดวันฉัตรมงคล	05/05/2014	2	2
15	วันฉัตรมงคล	06/05/2014	2	2
16	วันพืชมงคล	09/05/2014	2	2
17	วันเสาร์ติดวันพืชมงคล	10/05/2014	2	2
18	วันอาทิตย์ติดวันพืชมงคล	11/05/2014	2	2
19	วันวิสาขบูชา	13/05/2014	1	1
20	วันอาสาฬหบูชา	11/07/2014	2	2
21	วันเข้าพรรษา	12/07/2014	2	2
22	วันอาทิตย์ติดวันเข้าพรรษา	13/07/2014	2	2
23	วันแม่แห่งชาติ	12/08/2014	1	1
24	วันแม่แห่งชาติ	23/10/2014	1	1
25	วันพ่อแห่งชาติ	05/12/2014	2	2
26	วันเสาร์ติดวันพ่อแห่งชาติ	06/12/2014	2	2
27	วันรัฐธรรมนูญ	10/12/2014	1	1
28	วันสิ้นปี	31/12/2014	3.5	2.5
29	วันขึ้นปีใหม่	01/01/2015	3.5	2
30	วันศุกร์ติดวันขึ้นปีใหม่	02/01/2015	3.5	2
31	วันเสาร์ติดวันขึ้นปีใหม่	03/01/2015	3.5	2
32	วันอาทิตย์ติดวันขึ้นปีใหม่	04/01/2015	3.5	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน

วันในสัปดาห์	ช่วงเวลาในแต่ละวัน	เวลาที่ใช้วันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน (เท่า)	
		เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
จันทร์	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	1.5	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2	1.5
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2	1.5
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	1.5	1
อังคาร	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	1.5	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2	1.5
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2	1.5
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	1.5	1
พุธ	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	1.5	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2	1.5
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2	1.5
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	1.5	1
พฤหัสบดี	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	1.75	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2	1.5
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2	1.5
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	1.5	1
ศุกร์	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	1.5	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2	1.5
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2	1.5
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	2	1.5
เสาร์	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	1.5	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2.5	2
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2.5	2
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	1.75	1

ตารางที่ ก.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน (ต่อ)

วันในสัปดาห์	ช่วงเวลาในแต่ละวัน	เวลาที่ใช้วันในสัปดาห์และช่วงเวลาในแต่ละวัน (เท่า)	
		เส้นทางในเมือง	เส้นทางนอกเมือง
อาทิตย์	06.01 - 09.00 น. (ช่วงเวลาไปทำงาน)	1.5	1.5
	09.01 - 11.00 น. (ช่วงเช้า)	2	1.5
	11.01 - 13.00 น. (ช่วงพักกลางวัน)	2.5	2
	13.01 - 18.00 น. (ช่วงบ่าย)	2.5	2
	18.01 - 06.00 น. (เวลากลางคืน)	2	1.5

6. ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง

ระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง (Rest Time: T_r) ได้ถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้แล้วในฐานข้อมูล โดยรวบรวมจากการสำรวจความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน ต่อค่าเฉลี่ยในการแวะพักระหว่างการเดินทางของสถานที่แวะพักแต่ละประเภท ระบบจะกำหนดค่าปริยายให้ตามค่าเฉลี่ยของระยะเวลาแวะพักระหว่างทางที่เก็บในฐานข้อมูลแต่ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับข้อมูลระยะเวลาแวะพักระหว่างทางตามประเภทของสถานที่ แสดงในตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.8 ระยะเวลาแวะพักระหว่างทางตามประเภทของสถานที่

ที่	ชื่อประเภท	เวลาเฉลี่ยในการแวะพัก (นาที)
1	ปั๊มน้ำมัน (เติมน้ำมัน ห้องน้ำ ร้านสะดวกซื้อ ร้านกาแฟ)	20
2	ปั๊ม NGV (เติมแก๊ส ห้องน้ำ ร้านสะดวกซื้อ)	10
3	ปั๊ม LPG (เติมแก๊ส ห้องน้ำ ร้านสะดวกซื้อ)	10
4	ตู้เอทีเอ็ม	10
5	ธนาคาร	10
6	ศูนย์บริการการท่องเที่ยว	10
7	ร้านกาแฟ (นอกปั๊มน้ำมัน)	20
8	ร้านอาหาร	30
9	ร้านสะดวกซื้อ (นอกปั๊มน้ำมัน)	10
10	อู่ซ่อมรถ	10
11	สถานีตำรวจ	10
12	สถานพยาบาล	10
13	ร้านขายยา	
14	จำหน่ายของฝาก	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวโดยใช้ขั้นตอนที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาในงานวิจัยนี้ ในการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้รวมถึงการดึงข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ในการวางแผนการเดินทางนั้น กระทำผ่านระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวแบบออนไลน์ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา โดยขั้นตอนวิธีจะทำหน้าที่คำนวณหาแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ผู้ใช้ระบุ โดยมีระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ดึงข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ ฐานข้อมูล บริการแผนที่กูเกิล และบริการเว็บตลอดจนอธิบายแผนการเดินทางต่อผู้ใช้

การวางแผนการเดินทางเริ่มจากผู้ใช้ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ได้แก่ สถานที่ท่องเที่ยว ระยะเวลาที่ใช้ ณ สถานที่ท่องเที่ยว วันเวลาในการเดินทางไปและกลับ เวลาไปและกลับในแต่ละวัน และอุปสรรคระหว่างการเดินทาง โดยระบุผ่านระบบ (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1.1-4.1.2) หลังจากนั้นระบบจะดึงข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากแหล่งอื่น ได้แก่ ฐานข้อมูลปัจจัยด้านเวลาอื่น ๆ ที่มีอยู่แล้ว อาทิ ข้อมูลเวลา เปิด-ปิดของสถานที่ท่องเที่ยว ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้อยู่ ณ สถานที่ท่องเที่ยวแต่ละประเภท ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาต่าง ๆ วันหยุดนักขัตฤกษ์ และระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรค จากเว็บบริการต่าง ๆ ได้แก่ บริการแผนที่กูเกิล บริการเขตเวลา บริการพยากรณ์สภาพอากาศ จากนั้นขั้นตอนวิธีจะทำการประมวลผลภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากข้อมูลดังกล่าวเพื่อหาแผนการเดินทางที่สามารถเดินทางได้ครบหรือมากแห่งที่สุดตามที่ผู้ใช้ระบุภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา แล้วนำเสนอต่อผู้ใช้ผ่านระบบเพื่อให้ผู้ใช้เลือกอีกครั้งหนึ่ง

โดยสามารถยกแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนวิธีเพื่อประกอบการอธิบายรายละเอียดการวางแผนการเดินทางได้ดังต่อไปนี้

1. ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ณ สถานที่

หลังจากที่ผู้ใช้ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวทั้งหมดแล้ว (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1.1-4.1.2) ขั้นตอนวิธีจะสร้างเงื่อนไขบังคับจากข้อมูลนำเข้านั้น โดยกระบวนการนี้จะรับข้อมูลนำเข้าซึ่งเป็นเงื่อนไขบังคับด้านเวลามาจากระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา สำหรับตัวอย่างข้อมูลนำเข้า มีดังนี้

สมมติให้ผู้ใช้ระบุว่าต้องการเดินทาง 4 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ (0) อ.เมือง นครราชสีมา จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยว สถานที่ปลายทาง (1) อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ สถานที่ปลายทาง (2) ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา และสถานที่

ปลายทาง (3) วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา โดยกำหนดให้เป็นเส้นทางนอกเมือง วันและเวลาในการเดินทางที่ผู้ใช้ระบุคือ 15-16 กุมภาพันธ์ 2562 สมมติให้เป็นวันเสาร์และอาทิตย์ติดวันมาฆบูชา โดยวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 วางแผนท่องเที่ยวเวลา 06.00 - 19.00 น. และวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2562 วางแผนการท่องเที่ยวเวลา 06.00 - 18.00 น. ผู้ใช้ระบุว่าต้องการแวะเที่ยวที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) 2 ช.ม. ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (2) 1 ชม. และวัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา (3) 30 นาที มีอุปสรรคระหว่างการเดินทางจากเมืองนครราชสีมา (0) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) คือซ่อมถนน และเกิดอุปสรรควางท่อในเส้นทางฟาร์มโชคชัย (2) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2562 จากนั้นระบบจะสร้างเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากข้อมูลดังกล่าวมาและดึงข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาอื่นจากบริการเว็บ บริการแผนที่กูเกิล และฐานข้อมูล

สำหรับตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ณ สถานที่ (ดูเพิ่มเติมในตารางที่ 3.1) ที่ขั้นตอนวิธีได้สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ผู้ใช้ระบุ แสดงดังตารางที่ ข.1 โดยข้อมูลสถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่ ได้จากผู้ใช้ระบุผ่านระบบ ข้อมูลเวลา ณ เขตเวลา ได้จากการดึงข้อมูลมาจากบริการเว็บ (Web Service) แต่เนื่องจากสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบมีเพียงสถานที่ในเขตจังหวัดนครราชสีมาเท่านั้น เขตเวลาไม่แตกต่างกัน ในการทดลองจึงสมมติให้เขตเวลามีความแตกต่างกัน และข้อมูลเวลาเปิด–ปิดของสถานที่ ได้จากการดึงจากฐานข้อมูล (ดูเพิ่มเติมตารางที่ ก.1)

ในส่วนของเวลาที่เดินทางไปถึง-ออกจากสถานที่ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ณ สถานที่ที่ไม่ได้แสดงในตารางที่ ข.1 นี้ เนื่องจากจะต้องคำนวณร่วมกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาระหว่างสถานที่ด้วย ซึ่งจะได้อธิบายร่วมกันกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาอื่นในลำดับถัดไป

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านเวลา ณ สถานที่

	สถานที่	ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว ณ สถานที่	เวลา ณ เขตเวลา	เวลาเปิด - ปิดของสถานที่
⓪	จุดเริ่มต้น/จุดสิ้นสุด อ.เมืองนครราชสีมา จ. นครราชสีมา	-	UTC+7	-
①	อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่	2 ชม.	UTC+7	06.00 - 21.00 น.
②	ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	1 ชม.	UTC+8 (สมมติ)	10.00 – 15.00 น.
③	วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา	30 นาที	UTC+8 (สมมติ)	08:00 – 17.00 น.

2. ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาระหว่างสถานที่โดยประมาณ

สำหรับตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านระหว่างสถานที่โดยประมาณที่ขั้นตอนวิธีได้สร้างขึ้น ประกอบด้วยเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ซึ่งได้จากการดึงข้อมูลจากบริการแผนที่กูเกิล เงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ได้จากการดึงข้อมูลมาจากบริการเว็บสภาพอากาศ เงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง และเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน ได้จากการดึงข้อมูลมาจากฐานข้อมูล ในส่วนของเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาแวะพักระหว่างทาง ผู้ใช้จะระบุเพิ่มเติมหลังจากที่เลือกแผนการเดินทาง (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1.4) ซึ่งจะได้อธิบายในลำดับถัดไป

ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ซึ่งได้จากการดึงข้อมูลจากบริการแผนที่กูเกิล จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ ข.1 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทาง 4 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ (0) อ.เมือง นครราชสีมา จ. นครราชสีมา ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยว สถานที่ปลายทาง (1) อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ สถานที่ปลายทาง (2) ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา และสถานที่ปลายทาง (3) วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา สามารถแสดงตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่

การเดินทาง	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ (นาที)
(0) → (1)	50 นาที
(0) → (2)	79 นาที
(0) → (3)	67 นาที
(1) → (0)	53 นาที
(1) → (2)	55 นาที
(1) → (3)	105 นาที
(2) → (0)	85 นาที
(2) → (1)	60 นาที
(2) → (3)	85 นาที
(3) → (0)	75 นาที
(3) → (1)	110 นาที
(3) → (2)	90 นาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาเนื่องจากเกิดอุปสรรคระหว่างทาง จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ ข.1 ในระหว่างการเดินทางจากเมืองนครราชสีมา (0) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) มีอุปสรรคระหว่างการเดินทางคือซ่อมถนน และเกิดอุปสรรควางท่อในเส้นทางฟาร์มโชคชัย (2) ถึง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2562 สามารถยกตัวอย่างการพบอุปสรรคระหว่างทางระหว่าง 2 สถานที่ในแผนการเดินทางดังกล่าว เช่น การเดินทางจากฟาร์มโชคชัย (2) ไปอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) สามารถขับรถยนต์โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ 77.7 กม./ชม. ใช้เวลา 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมง เป็นเส้นทางนอกเมือง พบอุปสรรคระหว่างการเดินทางคือวางท่อ (เกิดระหว่างวันที่ 1-25 กุมภาพันธ์ 2562 เวลา 08.00 - 17.00 น. ของทุกวัน) เวลาเนื่องจากอุปสรรควางท่อในเส้นทางนอกเมือง คือ 1.5 เท่าของระยะเวลาเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ดังนั้น สามารถคิดเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุปสรรคที่เกิดจากการซ่อมถนนระหว่างฟาร์มโชคชัยไปอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่คือ 30 นาที (ระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทางที่เพิ่มขึ้น = เวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง (เท่า) คูณ เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (นาที) = 1.5 x 60 = 90 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 60 นาที ดังนั้น ระยะเวลาเนื่องจากอุปสรรค = 30 นาที) สำหรับตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทางที่กล่าวข้างต้น แสดงดังตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่เกิดจากอุปสรรคระหว่างทาง

การเดินทาง	ประเภทอุปสรรค	เวลาเนื่องจากอุปสรรคระหว่างทาง	
(0) → (1)	ซ่อมถนน	1.5 เท่า	25 นาที
(0) → (2)	ไม่พบ	-	-
(0) → (3)	ไม่พบ	-	-
(1) → (0)	ไม่พบ	-	-
(1) → (2)	ไม่พบ	-	-
(1) → (3)	ไม่พบ	-	-
(2) → (0)	ไม่พบ	-	-
(2) → (1)	วางท่อ	1.5 เท่า	30 นาที
(2) → (3)	ไม่พบ	-	-
(3) → (0)	ไม่พบ	-	-
(3) → (1)	ไม่พบ	-	-
(3) → (2)	ไม่พบ	-	-

ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ ข.1 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทาง 4 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ (0) อ.เมือง นครราชสีมา จ. นครราชสีมา ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยว สถานที่ปลายทาง (1) อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ สถานที่ปลายทาง (2) ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา และสถานที่ปลายทาง (3) วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา ต้องการคำนวณเวลาที่เปลี่ยนไปเนื่องจากปัจจัยทางสภาพอากาศระหว่าง 2 สถานที่ ได้แก่ เมืองนครราชสีมา (0) ไป อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) ซึ่งปกติแล้วใช้เวลาเดินทาง 50 นาที ใช้ความเร็วเฉลี่ย 81.75 กม./ชม. เป็นเส้นทางนอกเมือง หากวันเดินทางตรงกับวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 จะมีฝนหนัก เมื่อดึงค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกันพบว่ามีค่า 2 เท่าของระยะเวลาเดินทางระหว่าง 2 สถานที่ ดังนั้น สามารถคิดเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพอากาศระหว่างการเดินทางจากเมืองนครราชสีมา (0) ไป อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (1) คือ 50 นาที (เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ (เท่า) x เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (นาที) เท่ากับ 2 x 50 = 100 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 50 นาที ดังนั้น เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ คือ 50 นาที) สำหรับตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

การเดินทาง	วันที่เดินทาง	คำพยากรณ์	เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ	
(0) → (1)	15 ก.พ. 62	ฝนหนัก	2 เท่า	50 นาที
(0) → (1)	16 ก.พ. 62	ฝนปานกลาง	1.5 เท่า	30 นาที
(0) → (2)	15 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(0) → (2)	16 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(0) → (3)	15 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(0) → (3)	16 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(1) → (0)	15 ก.พ. 62	หมอกเล็กน้อย	1 เท่า	-
(1) → (0)	16 ก.พ. 62	หมอกเล็กน้อย	1 เท่า	-
(1) → (2)	15 ก.พ. 62	พายุฝนฟ้าคะนอง	2.5 เท่า	83 นาที
(1) → (2)	16 ก.พ. 62	พายุฝนฟ้าคะนอง	2.5 เท่า	83 นาที
(1) → (3)	15 ก.พ. 62	ท้องฟ้าโปร่ง	1 เท่า	-
(1) → (3)	16 ก.พ. 62	ท้องฟ้าโปร่ง	1 เท่า	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.4 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน (ต่อ)

การเดินทาง	วันที่เดินทาง	คำพยากรณ์	เวลาที่เปลี่ยนในแต่ละสภาพอากาศ	
(2) → (0)	15 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(2) → (0)	16 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(2) → (1)	15 ก.พ. 62	ท้องฟ้าโปร่ง	1 เท่า	-
(2) → (1)	16 ก.พ. 62	ท้องฟ้าโปร่ง	1 เท่า	-
(2) → (3)	15 ก.พ. 62	ท้องฟ้าโปร่ง	1 เท่า	-
(2) → (3)	16 ก.พ. 62	ท้องฟ้าโปร่ง	1 เท่า	-
(3) → (0)	16 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(3) → (1)	15 ก.พ. 62	มีเมฆบางส่วน	1 เท่า	-
(3) → (1)	16 ก.พ. 62	พายุฝนฟ้าคะนอง	2.5 เท่า	165 นาที
(3) → (2)	15 ก.พ. 62	ฝนปานกลาง	1.5 เท่า	45 นาที
(3) → (2)	16 ก.พ. 62	ฝนปานกลาง	1.5 เท่า	45 นาที

ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน จากตัวอย่างการเดินทางดังตารางที่ ข.1 เมื่อนักท่องเที่ยวต้องการวางแผนการเดินทาง 4 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ (0) อ.เมือง นครราชสีมา จ. นครราชสีมา ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยว สถานที่ปลายทาง (1) อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ สถานที่ปลายทาง (2) ฟาร์มโชคชัย อ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา และสถานที่ปลายทาง (3) วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา วางแผนการเดินทางวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 สมมติให้เป็นวันเสาร์และอาทิตย์ติดวันมาฆบูชา (หากวิ่งเส้นทางในเมืองหรือนอกเมืองจะมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เท่า) ระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปยังฟาร์มโชคชัย ปกติแล้วใช้เวลาเดินทาง 55 นาที ใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ 51.75 กม./ชม. เนื่องจากเป็นวันเสาร์และอาทิตย์ติดวันมาฆบูชา เพราะฉะนั้นใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นในช่วงดังกล่าวโดยวิ่งเส้นทางในเมืองคือ 2 เท่า ดังนั้น สามารถคิดเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปฟาร์มโชคชัยได้เท่ากับ 55 นาที (ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงวันหยุด (เท่า) x เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (นาที) = 2 x 55 = 110 นาที หักลบเวลาเดิมคือ 55 นาที จะได้เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ไปฟาร์มโชคชัย คือ 55 นาที) สำหรับตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับเวลาด้านระยะเวลาที่ใช้ในเดินทางในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน

การเดินทาง	วันที่เดินทาง	วันหยุด/เวลาที่เปลี่ยนไป	เวลาที่เปลี่ยนในวันและเวลาที่แตกต่างกัน	
(0) → (1)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	50 นาที
(0) → (1)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	50 นาที
(0) → (2)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	79 นาที
(0) → (2)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	79 นาที
(0) → (3)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	67 นาที
(0) → (3)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	67 นาที
(1) → (0)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	53 นาที
(1) → (0)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	53 นาที
(1) → (2)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	55 นาที
(1) → (2)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	55 นาที
(1) → (3)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	105 นาที
(1) → (3)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	105 นาที
(2) → (0)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	85 นาที
(2) → (0)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	85 นาที
(2) → (1)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	60 นาที
(2) → (1)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	60 นาที
(2) → (3)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	85 นาที
(2) → (3)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	85 นาที
(3) → (0)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	75 นาที
(3) → (0)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	75 นาที
(3) → (1)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	110 นาที
(3) → (1)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	110 นาที
(3) → (2)	15 ก.พ. 62	วันเสาร์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	90 นาที
(3) → (2)	16 ก.พ. 62	วันอาทิตย์ติดมาฆบูชา	2 เท่า	90 นาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขบังคับด้านเวลาของแผนการเดินทาง

จากการที่ผู้ใช้ระบุว่าต้องการเดินทางในวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ 2562 โดยวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 วางแผนท่องเที่ยวเวลา 06.00 - 18.00 น. และวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2562 วางแผนการท่องเที่ยวเวลา 06.00 - 19.00 น. ดังนั้น สามารถคำนวณเวลาของแผนการเดินทางหรือระยะเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้มีในการท่องเที่ยวครั้งนี้คือ 25 ชั่วโมง หรือ 1,500 นาที

4. ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นของขั้นตอนวิธี

หลังจากที่ขั้นตอนวิธีสร้างเงื่อนไขบังคับด้านเวลาทั้งหมด ขั้นตอนวิธีจะคำนวณหาแผนการเดินทางเบื้องต้น ซึ่งในการเลือกแผนการเดินทางเบื้องต้นจะเลือกแผนการเดินทางที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมดที่น้อยที่สุดโดยใช้เทคนิคการหาลำดับการผ่านสถานที่ที่พิจารณาเลือกสถานที่จากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดจากสถานที่ปัจจุบันและต้องเป็นสถานที่ที่ยังไม่เคยไปมาก่อนให้มาอยู่ในแผนการเดินทาง หรือเทคนิคเอสพีเอส (Shortest Path Search Technique: SPS) (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 3) ในการเลือกสถานที่ต้องมีการตรวจสอบว่าอยู่ในเงื่อนไขบังคับหรือไม่และพิจารณาความเป็นไปได้ในการเดินทางกลับสู่จุดเริ่มต้นเสมอ ทำซ้ำขั้นตอนการเลือกสถานที่จนกระทั่งไม่มีสถานที่ให้พิจารณาแล้วหรือเมื่อแผนการเดินทางใช้ระยะเวลามากกว่ากรอบระยะเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้มีในการท่องเที่ยว แผนการเดินทางที่ได้จะประกอบไปด้วยหลายสถานที่ปลายทางที่มีลำดับต่อเนื่องกันไป

ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นของขั้นตอนวิธีแสดงดังตารางที่ ข.6-ข.8 โดยในรอบการประมวลผลที่ 1 เลือกการเดินทางจากจุดเริ่มต้นคือ สถานที่ (0) อ.เมือง นครราชสีมา จ. นครราชสีมา ไปยัง สถานที่ปลายทาง (3) วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ข.6 สามารถอธิบายได้ดังนี้

เริ่มเดินทางวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 จุดเริ่มต้นสถานที่ที่ 0 (อ.เมืองนครราชสีมา จ. นครราชสีมา) เขตเวลา +7 ออกจากสถานที่ที่ 0 เวลา 06.00 น. เดินทางไปยังสถานที่ที่ 3 (วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ.นครราชสีมา) ใช้เวลาเดินทาง 67 นาที ไม่พบอุปสรรคในการเดินทาง สภาพอากาศเส้นทางนอกเมืองมีเมฆบางส่วน เวลาเพิ่มขึ้น 1 เท่า (เวลาไม่เปลี่ยนแปลง) เนื่องจากเป็นวันเสาร์ติดวันมาฆบูชา จึงใช้ระยะเวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า หรือ 67 นาที ดังนั้น ใช้ระยะเวลาในการเดินทางจากสถานที่ที่ 0 ไปยังสถานที่ที่ 3 เท่ากับ 2 ช.ม. 14 นาที ถึงสถานที่ที่ 3 เวลา 8.14 น. เขตเวลา +8 คือบวกเพิ่ม 1 ช.ม. ดังนั้น เวลาจริงเมื่อถึงสถานที่ที่ 3 คือ 9.14 น. สามารถท่องเที่ยวได้เนื่องจากอยู่ในช่วงเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ คือ 08.00 - 17.00 น. เวลาที่ใช้ ณ สถานที่ท่องเที่ยว 30 นาที และเมื่อคำนวณระยะเวลาในการเดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้นพบว่ายังใช้เวลาไม่เกินที่กำหนด

ตารางที่ ข.6 ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นในรอบการประมวลผลที่ 1

เส้นทางที่พิจารณา	ระยะเวลาในการเดินทางไปสถานที่ปลายทาง	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากอุปสรรค	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากอากาศ	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากช่วงวันเวลาที่ต่างกัน	ระยะเวลาในการเดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้น	ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมด
(0) → (1) →(0)	50	50	50	50	53	253
(0) → (2) →(0)	79	0	0	79	85	243
(0) → (3) →(0)	67	0	0	67	75	**209**

จากนั้นพิจารณาต่อว่า จากสถานที่ที่ 3 จะเดินทางไปยังสถานที่ใด ในที่นี้เลือกแผนที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมดที่น้อยที่สุดคือ จากสถานที่ที่ 3 เดินทางต่อไปยังสถานที่ที่ 1 (อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ข.7 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ เริ่มออกเดินทางจากสถานที่ที่ 3 เวลา 9.44 น. เดินทางไปยังสถานที่ที่ 1 ใช้เวลาเดินทาง 110 นาที บวกกับระยะเวลาในการเดินทางเดิมอีก 134 นาที (คำนวณจากระยะเวลาในการเดินทางจากสถานที่ที่ 0 ไปสถานที่ที่ 3 บวกระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากช่วงวันเวลาที่ต่างกัน = 67+67 = 134 นาที) รวม 244 นาที ไม่พบอุปสรรคในการเดินทาง สภาพอากาศเส้นทางนอกเมืองมีเมฆบางส่วน เวลาเพิ่มขึ้น 1 เท่า (เวลาไม่เปลี่ยนแปลง) เนื่องจากเป็นวันเสาร์ติดวันมาฆบูชา จึงใช้ระยะเวลาในการเดินทางจากสถานที่ที่ 3 ไปสถานที่ที่ 1 เพิ่มขึ้น 2 เท่า หรือ 110 นาที ดังนั้น จึงเดินทางไปถึงสถานที่ที่ 1 เวลา 13.24 น. เขตเวลา +7 ต่างกัน 1 ช.ม. (ลบ 1 ช.ม.) ดังนั้น เวลาจริงเมื่อถึงสถานที่ที่ 1 คือ 12.24 น. สามารถท่องเที่ยวได้ เนื่องจากอยู่ในช่วงเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ คือ 06.00 - 21.00 น. เวลาที่ใช้ ณ สถานที่ท่องเที่ยว 2 ช.ม. และเมื่อคำนวณระยะเวลาในการเดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้นพบว่ายังใช้เวลาไม่เกินที่กำหนด

ตารางที่ ข.7 ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นในรอบการประมวลผลที่ 2

เส้นทางที่พิจารณา	ระยะเวลาในการเดินทางไปสถานที่ปลายทาง	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากอุปสรรค	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากอากาศ	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากช่วงวันเวลาที่ต่างกัน	ระยะเวลาในการเดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้น	ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมด
(0) → (3) →(1) →(0)	244	0	0	110	53	**407**
(0) → (3) →(2) →(0)	224	0	45	90	85	444

จากนั้นพิจารณาต่อว่า จากสถานที่ที่ 1 จะเดินทางไปยังสถานที่ใด ในที่นี้เหลือสถานที่ที่ 2 (ฟาร์มโชคชัย) เป็นสถานที่สุดท้าย รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ข.8 ในการคำนวณเวลาที่เดินทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ไปถึง-ออกจากสถานที่ ระยะเวลาที่ใช้ ณ สถานที่ท่องเที่ยว เวลาเปิด-ปิดของสถานที่ ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุปสรรคในการเดินทาง ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากสภาพอากาศ ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากช่วงวันเวลาที่ต่างกัน และเวลา ณ เขตเวลา ใช้หลักการเดิมดังที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น จึงได้แผนการเดินทางเบื้องต้นคือ (0) → (3) →(1) →(2) →(0) สามารถอธิบายแผนการเดินทางได้ว่า เริ่มเดินทางวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 โดยมีจุดเริ่มต้นสถานที่ที่ 0 อ.เมืองนครราชสีมา จ. นครราชสีมา ออกเดินทางเวลา 06.00 น. เดินทางไปยังสถานที่ที่ 3 วัดบ้านไร่ อำเภอด่านขุนทด จ. นครราชสีมา ถึงวัดบ้านไร่ในเวลา 9.14 น. แวะเที่ยวเป็นเวลา 30 นาที และออกเดินทางจากวัดบ้านไร่ในเวลา 9.44 น. ต่อไปยังสถานที่ที่ 1 อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ถึงอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ในเวลา 12.24 น. แวะเที่ยวเป็นเวลา 2 ช.ม. จากนั้นออกเดินทางจากอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ในเวลา 14.24 น. ต่อไปยังสถานที่ที่ 2 ฟาร์มโชคชัย ถึงฟาร์มโชคชัยในเวลา 15.14 น. แวะเที่ยวเป็นเวลา 1 ช.ม. จากนั้นออกเดินทางจากฟาร์มโชคชัยในเวลา 16.14 น. เพื่อกลับไปยังจุดเริ่มต้น โดยถึงจุดเริ่มต้นในเวลา 18.04 น. ถือว่าเป็นอันสิ้นสุดการเดินทาง ซึ่งแผนการเดินทางดังกล่าวอยู่ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาทั้งหมด

ตารางที่ ข.8 ตัวอย่างการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นในรอบการประมวลผลที่ 3

เส้นทางที่พิจารณา	ระยะเวลาในการเดินทางไปสถานที่ปลายทาง	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากอุปสรรค	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากอากาศ	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากช่วงวันเวลาที่ต่างกัน	ระยะเวลาในการเดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้น	ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมด
(0) → (3) →(1) →(2) →(0)	409	0	83	55	85	**632**

5. ตัวอย่างการปรับปรุงแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธี

หลังจากที่ได้แผนการเดินทางเบื้องต้น (S) จากขั้นตอนการจัดแผนการเดินทางเบื้องต้นแล้ว แผนการเดินทางเบื้องต้นนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง เพื่อค้นหาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดที่ประกอบไปด้วยสถานที่ท่องเที่ยวทุกแห่งตามที่ผู้ใช้ระบุ หรือแผนการเดินทางที่ประกอบไปด้วยสถานที่ท่องเที่ยวมากแห่งที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาต่อไป โดยการค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะใช้ฟังก์ชันการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighbor Function: $N(S)$) เพื่อค้นหาแผนการเดินทางใหม่ (S') ที่อยู่รอบ ๆ แผนการเดินทางปัจจุบันในปริภูมิการค้นหา วัตถุประสงค์คือ เพื่อค้นหาแผนการเดินทางที่น่าจะดีกว่าเดิมและเปลี่ยนปริภูมิสถานะการค้นหาให้แตกต่างจากแผนการเดินทางเดิมเพื่อหลุดจากการติดปัญหาผลเฉลยที่เหมาะสม

เฉพาะที่ (Local Optimum) ในการสร้างแผนการเดินทางใหม่จะถูกสร้างโดยฟังก์ชันการค้นหาแผนการเดินทางใกล้เคียง $N(S)$ ที่นำเทคนิคเอสพีเอสมาประยุกต์ใช้ เมื่อได้ S' จะมีการตรวจสอบว่าไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ซึ่งใช้หลักการเดียวกับการคำนวณแผนการเดินทางเบื้องต้นดังที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น และคำนวณระยะเวลาของแผนการเดินทาง (Cost of S': $C(S')$) ต้องไม่เกินระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยวที่ผู้ใช้มี หากคำนวณแล้วพบว่า S' ไม่อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง ขั้นตอนวิธีจะวนทำซ้ำจนกระทั่งได้ S' ใหม่ที่เป็นไปได้ในที่สุด

จากแผนการเดินทางเบื้องต้นคือ (0)→(3)→(1)→(2)→(0) สมมติให้มีสถานที่ที่ผู้ใช้ระบุเข้ามาแต่ยังไม่ถูกจัดให้อยู่ในแผนการเดินทางอีก 3 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ที่ 4 ห้องไทยศึกษานิทัศน์ สถานที่ที่ 5 วัดหน้าพระธาตุ และสถานที่ที่ 6 ปราสาทเมืองเก่า สำหรับตัวอย่างการประมวลผลเพื่อปรับปรุงแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธีแสดงดังตารางที่ ข.9 สามารถอธิบายตัวอย่างการประมวลผลเพื่อปรับปรุงแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธีตามหลักการทำงานของขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 3 ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง) ได้ดังนี้

ตารางที่ ข.9 ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อปรับปรุงแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธี

รอบที่	ระดับการสับเปลี่ยน	เส้นทางคำตอบปัจจุบัน (S)	สถานที่พิจารณาสับเปลี่ยน	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่	เส้นทางที่สับเปลี่ยน (S')	เส้นทางที่พิจารณาเมื่อเพิ่มสถานที่ (S'')	ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมด	ผลการพิจารณา S''	เส้นทางที่เก็บ
1	L1	0-3-1-2-0	1	284	***0-1-3-2-0***	0-1-3-2-4-0	1629	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-3-1-2-0,
						0-1-3-2-5-0	1349	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-1-3-2-0
						0-1-3-2-6-0	1608	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
			2	308	~~0-2-1-3-0~~	-	-	-	
2	L1	0-1-3-2-0	2	308	***0-2-3-1-0***	0-2-3-1-4-0	1330	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-3-1-2-0,
						0-2-3-1-5-0	1325	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-1-3-2-0,
						0-2-3-1-6-0	1610	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-2-3-1-0
			3	328	~~0-4-2-3-0~~	-	-	-	
3	L1	0-2-3-1-0	1	284	~~0-1-3-2-0~~	-	-	-	0-3-1-2-0,
			3	328	***0-3-2-1-0***	0-3-2-1-4-0	1640	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-1-3-2-0,
						0-3-2-1-5-0	1420	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-2-3-1-0
						0-3-2-1-6-0	1511	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-3-2-1-0
4	L1	0-3-2-1-0	1	284	***0-1-2-3-0***	0-1-2-3-4-0	1334	ไม่เก็บ (เงื่อนไขเวลาเปิด-ปิด)	0-3-1-2-0,
						0-1-2-3-5-0	1569	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-1-3-2-0,
						0-1-2-3-6-0	1725	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-2-3-1-0,
			2	308	~~0-2-3-1-0~~	-	-	-	0-3-2-1-0,
									0-1-2-3-0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.9 ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อปรับปรุงแผนการเดินทางของขั้นตอนวิธี (ต่อ)

รอบที่	ระดับการสับเปลี่ยน	เส้นทางคำตอบปัจจุบัน (S)	สถานที่พิจารณาสับเปลี่ยน	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่	เส้นทางที่สับเปลี่ยน (S')	เส้นทางที่พิจารณาเมื่อเพิ่มสถานที่ (S'')	ระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมด	ผลการพิจารณา S''	เส้นทางที่เก็บ
5	L1	0-1-2-3-0	2	308	0-2-1-3-0	0-2-1-3-4-0	1596	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-2-1-3-5-0
						0-2-1-3-5-0	1355	เก็บ	
						0-2-1-3-6-0	1680	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
			3	328	~~0-3-2-1-0~~	-	-	-	
6	L1	0-2-1-3-5-0	1	284	~~0-1-2-3-5-0~~	-	-	-	0-2-1-3-5-0,
			3	328	~~0-3-1-2-5-0~~	-	-	-	0-5-1-3-2-0
			5	230	***0-5-1-3-2-0***	0-5-1-3-2-4-0	1826	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
						0-5-1-3-2-6-0	1605	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	
7	L1	0-5-1-3-2-0	1	284	***0-1-5-3-2-0***	0-1-5-3-2-4-0	1798	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-2-1-3-5-0,
						0-1-5-3-2-6-0	1568	ไม่เก็บ (เกินเวลาท่องเที่ยว)	0-5-1-3-2-0,
			3	328	~~0-3-1-5-2-0~~	-	-	-	0-1-5-3-2-0
			2	308	~~0-2-1-3-5-0~~	-	-	-	
8	…	…	…	…	…	…	…	…	…

ในรอบการทำงานที่ 1 การค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะเริ่มการสับเปลี่ยนสถานที่ในระดับที่ *1* หรือ *L1* ก่อน จากตัวอย่างแผนการเดินทางคำตอบเบื้องต้นที่ได้คือ (0)→(3)→(1)→(2)→(0) จะได้ว่า $L0 = 0$, $L1 = 3$, $L2 = 1$ และ $L3 = 2$ ซึ่งในที่นี้ *L1* มีค่าเท่ากับ 3 ให้สถานที่ 3 เป็นสถานที่ที่ต้องถูกสับเปลี่ยน ซึ่งมีสถานที่ที่จะนำมาพิจารณาเพื่อสับเปลี่ยนได้แก่ สถานที่ 1 และ 2 (สถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนต้องเป็นสถานที่ที่อยู่ในแผนการเดินทางเบื้องต้น S แล้ว) ในการพิจารณาเลือกสถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนกับสถานที่ 3 ตามเทคนิคเอสพีเอส $N(S)$ จะเลือกจากค่า $h(x)$ ที่ดีที่สุดซึ่งก็คือค่าระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ที่น้อยที่สุด ในที่นี้คือสถานที่ 1 ที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่น้อยที่สุดจากสถานที่ 0 รองจากสถานที่ 3 (คำนวณโดยใช้หลักการเดียวกับการคำนวณหาแผนการเดินทางเบื้องต้น) ดังนั้น จึงสับเปลี่ยนสถานที่ 3 กับสถานที่ 1 ได้แผนการเดินทางที่เป็นคำตอบใหม่หรือ S' เท่ากับ (0)→(1)→(3)→(2)→(0) จากนั้นตรวจสอบ S' ใน 2 เงื่อนไขคือ 1) ต้องไม่อยู่ในรายการของเส้นทางที่เส้นทางที่เคยไปมาแล้ว และ 2) ต้องอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา (จากตัวอย่าง S' อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดทุกกรณี) จากนั้น พิจารณาว่าจะยอมรับ S' เป็นคำตอบของระบบหรือไม่ (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 3 ขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบ) สมมติให้ยอมรับ S' เป็นคำตอบของระบบ ($S \leftarrow S'$) ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนย่อยในการค้นหาแผนการเดินทางที่อาจเยือนสถานที่ได้มากขึ้นนั่นคือแผนการเดินทาง S'' จากตัวอย่างดังตารางที่ ข.9 กำหนดเพิ่มเติมให้มีสถานที่ 4, 5 และ 6 ที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาแต่ยังไม่ถูกจัดให้อยู่ในแผนการเดินทาง ดังนั้น จะได้

แผนการเดินทางที่เพิ่มสถานที่ที่ยังไม่ถูกพิจารณาหรือ S'' ดังนี้ (0)→(1)→(3)→(2)→(4)→(0), (0)→(1)→(3)→(2)→(5)→(0) และ (0)→(1)→(3)→(2)→(6)→(0) คำนวณค่าระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมดของ S'' ทั้ง 3 แผนการเดินทางและตรวจสอบว่าต้องไม่เกินระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยวที่ผู้ใช้มี หากอยู่ในเงื่อนไขก็จะล้างแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบเก่าออกจากตัวแปรที่ใช้เก็บคำตอบ และเริ่มเก็บคำตอบใหม่ เนื่องจากแผนการเดินทาง S'' มีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปได้มากกว่าแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบัน S กล่าวคือ ไปเยือนสถานที่ได้มากกว่า แต่หาก S'' ไม่อยู่ในเงื่อนไขก็จะใช้ S เป็นฐานในการค้นหาคำตอบใกล้เคียงต่อไป ในที่นี้ S'' ทั้ง 3 แผนการเดินทางไม่อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจึงไม่เก็บเป็นแผนการเดินทางคำตอบ สำหรับแผนการเดินทางคำตอบที่เก็บได้จากรอบการทำงานที่ 1 เพิ่มอีกหนึ่งแผนการเดินทางคือ (0)→(1)→(3)→(2)→(0) ซึ่งแผนการเดินทาง (0)→(1)→(3)→(2)→(0) นี้ถือว่าเป็นแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบปัจจุบัน S และจะส่งไปยังรอบการทำงานที่ 2 เพื่อที่จะใช้เป็นฐานในการค้นหาคำตอบใกล้เคียงต่อไป

ในรอบการทำงานที่ 2 ก็จะเริ่มต้นการค้นหาคำตอบใกล้เคียงเหมือนกับการทำงานในรอบที่ 1 คือใช้แผนการเดินทางที่เป็นคำตอบปัจจุบัน S (0)→(1)→(3)→(2)→(0) เป็นฐานในการคำนวณสับเปลี่ยน เริ่มการสับเปลี่ยนที่ $L1$ ในที่นี้คือสถานที่ 1 มีสถานที่ที่เป็นเซตของจุดข้างเคียงที่ต้องพิจารณาสับเปลี่ยนตามเทคนิคเอสพีเอสจำนวน 2 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ 2 และ 3 ในที่นี้ได้เลือกสถานที่ 2 มาสับเปลี่ยน ได้ S' เท่ากับ (0)→(2)→(3)→(1)→(0) พิจารณาการยอมรับ S' เป็นคำตอบของระบบ สมมติให้ยอมรับ S' จากนั้นเพิ่มสถานที่ที่ยังไม่ถูกพิจารณา (สถานที่ 4, 5 และ 6) เพื่อหา S'' คำนวณค่าระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมดของ S'' โดยในรอบการทำงานที่ 2 นี้ S'' ทั้ง 3 แผนการเดินทาง ((0)→(2)→(3)→(1)→(4)→(0), (0)→(2)→(3)→(1)→(5)→(0) และ (0)→(2)→(3)→(1)→(6)→(0)) ไม่อยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาจึงไม่เก็บเป็นแผนการเดินทางคำตอบ ดังนั้น แผนการเดินทางที่เป็นคำตอบที่เก็บได้เพิ่มจากรอบการทำงานที่ 2 คือ (0)→(2)→(3)→(1)→(0) นั่นหมายความว่า มีแผนการเดินทางคำตอบที่ขั้นตอนวิธีคำนวณหาได้แล้ว 3 คำตอบ ได้แก่ (0)→(3)→(1)→(2)→(0), (0)→(1)→(3)→(2)→(0) และ (0)→(2)→(3)→(1)→(0)

ส่วนในรอบการทำงานที่ 3 มี S คือ (0)→(2)→(3)→(1)→(0) เริ่มการสับเปลี่ยนที่ $L1$ ในที่นี้คือสถานที่ 2 และมีสถานที่ที่เป็นเซตของจุดข้างเคียงที่ต้องพิจารณาสับเปลี่ยนจำนวน 2 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ 1 และ 3 เมื่อกระบวนการสับเปลี่ยนคำตอบเลือกสถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนตามเทคนิคเอสพีเอสนั่นคือสถานที่ 1 กลับพบว่า S' ที่ได้ซึ่งเท่ากับ (0)→(1)→(3)→(2)→(0) นั้น อยู่ในรายการของเส้นทางที่เคยไปมาแล้ว (พิจารณาไปแล้วในรอบการทำงานที่ 1) ซึ่งทำให้ S' (0)→(1)→(3)→(2)→(0) นี้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขการยอมรับ S' ถึงแม้สถานที่ 1 จะมีค่าระยะเวลาในการเดินทางทั้งหมดน้อยกว่าสถานที่ 3 ที่เป็นจุดแข่งขันข้างเคียง (Candidate Points) ก็ตาม ดังนั้น

อย่างไรเสียขั้นตอนวิธีก็จะไม่เลือกแผนการเดินทาง (0)→(1)→(3)→(2)→(0) มาพิจารณาให้เป็น S' แต่เลือกแผนการเดินทางอื่นคือ (0)→(3)→(2)→(1)→(0) แทน

สำหรับในรอบการทำงานที่ 4 ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะถูกทำลักษณะเช่นเดียวกับรอบการทำงานที่ผ่านมา

ส่วนในรอบการทำงานที่ 5 ได้มีการยอมรับ S'' เกิดขึ้นซึ่งคือ (0)→(2)→(1)→(3)→(5)→(0) ที่เป็นแผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่มากกว่าแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบในปัจจุบันและอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ดังนั้น ในรอบการทำงานนี้จึงมีการล้างเส้นทางที่เป็นคำตอบเก่าที่ขั้นตอนวิธีคำนวณหาได้แล้ว 5 คำตอบ ((0)→(3)→(1)→(2)→(0), (0)→(1)→(3)→(2)→(0), (0)→(2)→(3)→(1)→(0), (0)→(3)→(2)→(1)→(0) และ (0)→(1)→(2)→(3)→(0)) ออกจากตัวแปรที่ใช้เก็บคำตอบและเริ่มเก็บคำตอบใหม่ โดยเริ่มเก็บ (0)→(2)→(1)→(3)→(5)→(0) เป็นแผนการเดินทางคำตอบที่หนึ่ง เนื่องจากแผนการเดินทาง S'' (0)→(2)→(1)→(3)→(5)→(0) มีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปได้ 5 สถานที่ซึ่งมากกว่าแผนการเดินทางคำตอบปัจจุบันที่มีจำนวนสถานที่เพียง 4 สถานที่ จากรอบการทำงานที่ 5 นี้ จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีโอกาสพบคำตอบที่ดีขึ้นที่สามารถเยือนสถานที่ได้มากกว่าแผนการเดินทางคำตอบเดิม

ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใกล้เคียงจะถูกทำซ้ำจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ได้กำหนดไว้ ขั้นตอนนี้จะทำให้ระบบมีคำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ สุดท้ายจะทำการปรับลดค่าพารามิเตอร์ T ตามฟังก์ชัน $\alpha(T)$ ที่ได้กำหนดไว้ แล้วเริ่มทำซ้ำขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบทั้งหมดใหม่อีกครั้ง โดยจะยุติการจัดเก็บคำตอบ (ระบบถูกแช่แข็ง) เมื่อเงื่อนไขการยุติในกระบวนการยุติการทำงานเป็นจริง จากตัวอย่างตามตารางที่ ข.9 หากสิ้นสุดการทำงานที่รอบที่ 7 จะได้แผนการเดินทางที่เป็นผลลัพธ์ทั้งสิ้น 3 แผนการเดินทางที่สามารถเดินทางไปเยือนได้ 5 สถานที่รวมจุดเริ่มต้น ได้แก่ (0)→(2)→(1)→(3)→(5)→(0), (0)→(5)→(1)→(3)→(2)→(0) และ (0)→(1)→(5)→(3)→(2)→(0) ซึ่งมีระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางเท่ากับ 1,355 นาที 1,494 นาที และ 1,405 นาทีตามลำดับ

โดยแผนการเดินทางที่ขั้นตอนวิธีประมวลผลได้นี้จะถูกส่งไปยังระบบวางแผนแผนการเดินทางเพื่อให้ผู้ใช้เลือกแผนการเดินทางที่ตนเองต้องการต่อไป (ดูเพิ่มเติมบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1.3 ส่วนเลือกแผนการเดินทาง)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปิยรัตน์ งามสนิท เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิชาระบบสารสนเทศทางคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2549 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เริ่มทำงานที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา (ภายหลังได้เปลี่ยนชื่อเป็นสำนักคอมพิวเตอร์) ในตำแหน่งโปรแกรมเมอร์ ทำหน้าที่ดูแลระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารของมหาวิทยาลัย ต่อมาในปี พ.ศ. 2551 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ในหลักสูตรปริญญาวิทยาการสารสนเทศมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ภายหลังสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโท ได้เข้าทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา ในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาระบบสารสนเทศ ต่อมาในปี พ.ศ. 2557 ได้รับทุนพัฒนาบุคลากรจากทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-อีสาน เพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก ในหลักสูตรปริญญาวิทยาการสารสนเทศดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี