รหัสโครงการ SUT7-712-58-24-36

รายงานการวิจัย

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีขนาดไม่เท่ากันและมีข้อจำกัด

(Construction Site Layout with Unequal-sized and Constrained Facilities)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-712-58-24-36

รายงานการวิจัย

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีขนาดไม่เท่ากันและมีข้อจำกัด

(Construction Site Layout with Unequal-sized and Constrained Facilities)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. วชรภูมิ เบญจโอฬาร

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ พ.ศ. 2558-2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการวิจัยของโครงการนี้จนสามารถสำเร็จลงได้ ด้วยเงินงบประมาณประจำปี พ.ศ. 2558 และ 2559 ที่ผ่านการพิจารณาข้อเสนอโครงการโดยคณะกรรมวิจัยแห่งชาติ

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2560

บทคัดย่อ

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างเป็นการวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการทำงาน อย่างไรก็ตามการพิจารณาหาตำแหน่งที่เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อจำกัดที่มีเป็นปัญหาที่ยากยิ่ง เนื่องจากมีรูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้จำนวนมาก แม้จะอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรก็อาจพิจารณาได้ไม่ครอบคลุม การวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างขึ้น โดยใช้ระบบพิกัดกริดในการกำหนดพื้นที่โครงการก่อสร้างเพื่อให้สามารถจำลองได้ตามขนาดและรูปร่างจริง ได้สร้างขั้นตอนวิธีการคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก Actual Path เพื่อจำลองเส้นทางที่ผู้ปฏิบัติงานใช้เดินทางจริง และยังได้พัฒนาวิธีการหาคำตอบด้วย Particle Swarm Optimization สำหรับแบบจำลองนี้ จากนั้นจึงทดสอบกับกรณีตัวอย่างโครงการก่อสร้างจริง ผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมต้นแบบสามารถให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าวิธีแบบเดิมที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ และดีกว่าผังสถานที่ที่จัดทำโดยวิศวกร

คำสำคัญ: การจัดผังสถานที่ก่อสร้าง สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว การบริหารสถานที่ก่อสร้าง การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

Construction site layout is a managerial task to determine all locations of temporary facilities on site. The layout plan has a significant impact on the efficiency and safety of the construction operations. This task is very difficult because there are enormous feasible locations and combinations which may satisfy the specified conditions and constraints. The optimal layout cannot be found easily even by experienced engineers. This research aims to develop the construction site layout problem (CSLP) model that uses the grid system to realistically simulate any size and shape of the construction site. In addition, it aims to develop the Actual Path algorithm which simulates the paths that workers travel along during their operations and calculate the distance between a pair of facilities. It develops the solving method based on the Particle Swarm Optimization. Then, the prototype program is evaluated with a case study of a real construction project. The test results show that the prototype program can layout the site correctly and effectively. The program can result optimal and better layout plans compared to the conventional method and the engineer's plans.

Keywords: Construction Site Layout, Temporary Facility, Site Management, Particle Swarm Optimization

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
Abstract ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญรูป ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขต 2
1.4 แผนการดำเนินการ 3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4
1.6 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 5
บทที่ 2 ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง 7
2.1 ลักษณะของพื้นที่โครงการและสิ่งอำนวยความสะดวก 7
2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 12
2.3 ระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก 14
2.4 เงื่อนไขข้อจำกัด 18
2.5 พลวัตรของพื้นที่โครงการ 21
2.6 Optimization algorithms 25
2.6.1 Annealed Neural Network 25
2.6.2 Genetic Algorithms 27
2.6.3 Ant Colony 28
2.6.4 Particle Swarm 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.7 บทสรุป 35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 37
3.1 รูปแบบการวิจัย 37
3.2 การสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของประเทศไทย 37
3.3 การพัฒนาแบบจำลองของปัญหาและวิธีการหาคำตอบ 38
3.3.1 แบบจำลองของปัญหา 38
3.3.2 การคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก 39
3.3.3 วิธีการหาคำตอบ 39
3.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา 39
3.4 การทดสอบแบบจำลอง 40
3.4.1 สมมติฐานในการทดสอบ 41
3.4.2 การเก็บรวบรวมผลข้อมูลทดสอบ 41
บทที่ 4 การสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของประเทศไทย 43
4.1 วิธีการสำรวจ 43
4.2 ผลการสำรวจ 45
4.2.1 ผลข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 45
4.2.2 ผลค่าคะแนนความใกล้ชิดกันของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่ 46
4.2.3 ผลการทดสอบการออกแบบผังสถานที่ก่อสร้าง 48
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะอื่น ๆ 64
4.3 สรุปการสำรวจ 70
บทที่ 5 แบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง 71
5.1 หลักการทั่วไปของแบบจำลองปัญหา 71
5.2 แบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง 71
5.2.1 องค์ประกอบของสถานที่ก่อสร้าง 72
5.2.2 ตัวแปรคำตอบ 75
5.2.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.2.4 ค่าน้ำหนักใกล้ชิดของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก 76
5.2.5 เงื่อนไขข้อจำกัด 77
5.3 ระยะเดินทางจริง (Actual Path) 80
5.4 วิธีการหาคำตอบด้วย PSO 86
5.4.1 การเข้ารหัสคำตอบและสร้างประชากรของฝูง 86
5.4.2 การประเมินค่า Fitness ของ Particles 87
5.4.3 การปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particles 88
5.4.4 การวนรอบซ้ำจนสิ้นสุด 89
5.4.5 การเขียนโปรแกรม 89
5.5 การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบด้วยโปรแกรมกระดานคำนวณ 91
5.5.1 ข้อมูลโจทย์ปัญหาและข้อมูลค่าพารามิเตอร์ 91
5.5.2 ข้อมูลการคำนวณของ PSO 95
5.5.3 ข้อมูลผลลัพธ์ผังสถานที่ก่อสร้าง 96
5.5.4 เครื่องมือช่วยสร้างชุดคำสั่งอัตโนมัติ 97
5.6 สรุปผลการพัฒนา 98
บทที่ 6 การทดสอบและประเมินผล 101
6.1 ความถูกต้องของการคำนวณ 101
6.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO 109
6.3 การเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง Actual Path และ Euclidean 114
6.4 การเปรียบเทียบวิธีหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA 116
6.5 การทดสอบกับโจทย์ปัญหาจริง 122
6.6 สรุปผลการทดสอบ 133
บทที่ 7 บทสรุป 135
7.1 สรุปผลการวิจัย 135
7.2 ข้อจำกัด 137
7.3 ข้อเสนอแนะ 138

เอกสารอ้างอิง 139

ประวัตินักวิจัย 142

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ตำแหน่งพื้นที่ว่างที่กำหนดไว้ก่อนภายในโครงการก่อสร้างโดยมีจำนวนและขนาดที่เพียงพอ 8
รูปที่ 2.2 **Permutation matrix** ของตัวอย่างหนึ่งของคำตอบที่เป็นไปได้ใดๆ..... 9
รูปที่ 2.3 การแสดงแทนพื้นที่ของโครงการด้วยระบบพิกัด 10
รูปที่ 2.4 **Permutation string** ของตัวอย่างหนึ่งของคำตอบที่เป็นไปได้ใดๆ 11
รูปที่ 2.5 การปรับรูปทรงสิ่งอำนวยความสะดวกให้เป็นรูปประกอบสี่เหลี่ยม..... 11
รูปที่ 2.6 **Actual Route Distance** ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก..... 16
รูปที่ 2.7 **Actual Travel Path** ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก..... 16
รูปที่ 2.8 เส้นทางเดินที่สั้นที่สุดที่ประมาณในระบบกริด (ที่มา **Park et al. 2012)**..... 17
รูปที่ 2.9 พื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่มีกำหนดค่า **Travel cost** แตกต่างกันที่บริเวณต่าง ๆ **(ที่มา Mawdesley, Al-jibouri, and Yang 2002)**..... 18
รูปที่ 2.10 พื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่มีกำหนดค่า **Set-up cost** แตกต่างกันที่บริเวณต่าง ๆ **(ที่มา Mawdesley, Al-jibouri, and Yang 2002)**..... 20
รูปที่ 2.11 สิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องการสำหรับแต่ละช่วงเวลา **(Elbeltagi, Hegazy, and Eldosouky 2004)**..... 23
รูปที่ 4.1 ผังแสดงขอบเขตและสิ่งที่ต้องการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างในโจทย์สอบถาม..... 45
รูปที่ 4.2 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 1 51
รูปที่ 4.3 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 2 52
รูปที่ 4.4 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 3 53
รูปที่ 4.5 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 4 55
รูปที่ 4.6 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 5 56
รูปที่ 4.7 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 6 57
รูปที่ 4.8 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 7 58
รูปที่ 4.9 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 8 60
รูปที่ 4.10 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 9 62
รูปที่ 4.11 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 10 63
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตของโครงการก่อสร้างด้วยการใช้ระบบพิกัดในการอ้างอิง..... 72
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการกำหนดสิ่งที่ต้องการก่อสร้างและถนนภายใน..... 74
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวและการวางตัวในมุมต่าง ๆ..... 75
รูปที่ 5.4 ตัวอย่างข้อจำกัดด้านขอบเขตของโครงการ..... 78

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างค่าพิกัดของสิ่งอำนวยความสะดวกสองอัน **i** และ **j** ใด ๆ 79
รูปที่ 5.6 ตัวอย่างของการคำนวณระยะเดินทางจริงระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว 81
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสคำตอบของ **Particle P1** 87
รูปที่ 5.8 ตัวอย่างจุดพิกัด **SBACs** ที่แสดงขอบเขตของโครงการ 92
รูปที่ 5.9 การป้อนค่าจุดพิกัด **SBNACs** ที่ได้จากเส้นขอบเขตของโครงการ..... 92
รูปที่ 5.10 การป้อนค่าจุดพิกัดที่เป็นมุมของ **Fixed Facility**..... 93
รูปที่ 5.11 การป้อนค่าจุดพิกัดที่เป็นมุมของ **Temporary Facility** พร้อมแนวการวางตัวทั้ง 4 แนว..... 93
รูปที่ 5.12 การป้อนค่าจุดพิกัดที่เป็นแนวถนน **Access Road**..... 94
รูปที่ 5.13 ตัวอย่างจุดพิกัดแนวถนนภายใน **ARCs** และการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกกลุ่มที่มีตำแหน่งคงที่..... 94
รูปที่ 5.14 การป้อนค่าความใกล้ชิดระหว่างคู่ของ **Temporary Facilities** 95
รูปที่ 5.15 การป้อนค่าพารามิเตอร์ของ **PSO**..... 95
รูปที่ 5.16 ตัวอย่างข้อมูลค่าตำแหน่งและค่าความเร็วของ **Particles** ในแต่ละรอบ **Iteration** 96
รูปที่ 5.17 ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งและ **Fitness** ของ **pbest** และ **gbest** ที่ได้ในแต่ละรอบ **Iteration**.... 96
รูปที่ 5.18 การแสดงผังสถานที่ก่อสร้างที่จัดวางตำแหน่งตามคำตอบที่ได้ 97
รูปที่ 5.19 **Visual Basic icon** ใน **DEVELOPER tab** บนเมนู **Ribbon** 97
รูปที่ 5.20 หน้าต่าง **Visual Basic for Application (VBA) Editor**..... 98
รูปที่ 6.1 จุดพิกัด **SBNACs** ของโจทย์ปัญหา **Case A**..... 101
รูปที่ 6.2 จุดพิกัด **ARCs** ของโจทย์ปัญหา **Case A**..... 103
รูปที่ 6.3 แผนผังแสดงสิ่งอำนวยความสะดวกประเภท **FF** และ **AR** ของโจทย์ปัญหา **Case A**..... 103
รูปที่ 6.4 แผนผังแสดงสิ่งอำนวยความสะดวกประเภท **TF** ของโจทย์ปัญหา **Case A**..... 104
รูปที่ 6.5 ค่า **Closeness relationships** สำหรับกำหนดค่า **Proximity weights** ของโจทย์ปัญหา **Case A** 105
รูปที่ 6.6 ค่าพารามิเตอร์ของ **PSO** ในเบื้องต้นสำหรับการหาคำตอบของโจทย์ปัญหา **Case A**..... 105
รูปที่ 6.7 การทดสอบคำตอบที่เป็นไปได้สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัด 106
รูปที่ 6.8 การคำนวณค่า **Fitness** ของคำตอบตัวอย่างเองด้วยมือ..... 107
รูปที่ 6.9 ตัวอย่างพัฒนาการของค่า **Fitness** ของ **Particles** ทั้งหมดในการหาคำตอบด้วย **PSO** 108
รูปที่ 6.10 กราฟตัวอย่างพัฒนาการของค่า **Fitness** ของ **Particles** 10 ตัวในการหาคำตอบด้วย **PSO**. 109
รูปที่ 6.11 กราฟตัวอย่างพัฒนาการของค่า **Fitness** เฉลี่ยของ **Particles** ทั้งหมด..... 109
รูปที่ 6.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า **Fitness** กับค่าพารามิเตอร์ **Swarm Size** 111
รูปที่ 6.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า **Fitness** กับค่าพารามิเตอร์ **Max. Iteration** 112
รูปที่ 6.14 กราฟแท่งแสดง **Iteration no.** ที่พบคำตอบของชุดทดสอบต่าง ๆ 112

รูปที่ 6.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า **Fitness** กับกลุ่มค่าพารามิเตอร์ **w, c_1,** และ **c_2** 113
รูปที่ 6.16 ผังสถานที่ของคำตอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบวิธีคำนวณระยะทาง **Actual Path** 116
รูปที่ 6.17 ผังสถานที่ของคำตอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบวิธีคำนวณระยะทาง **Euclidean** 116
รูปที่ 6.18 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของ **Evolver** 118
รูปที่ 6.19 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลตั้งค่าการ **Optimization** ของ **Evolver** 119
รูปที่ 6.20 การเปรียบเทียบผังสถานที่ก่อสร้างของระหว่างคำตอบเริ่มต้น คำตอบจากวิธี **PSO** และ **GA** 121
รูปที่ 6.21 แบบแปลนภาพรวมโครงการก่อสร้างจริงที่ใช้จัดเตรียมโจทย์ **Case B** 123
รูปที่ 6.22 แผนผังสถานที่ก่อสร้างของโจทย์ **Case B** 123
รูปที่ 6.23 จุดพิกัด **SBNACs** ของโจทย์ปัญหา **Case B** 124
รูปที่ 6.24 จุดพิกัด **SBNACs** ของโจทย์ปัญหา **Case B** 124
รูปที่ 6.25 ค่า **Closeness relationships** สำหรับโจทย์ **Case B** 128
รูปที่ 6.26 ผังการจัดสถานที่ก่อสร้าง **Case B** ที่วิศวกรจัดทำ 130
รูปที่ 6.27 ผังการจัดสถานที่ก่อสร้าง **Case B** ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 1 จากโปรแกรมต้นแบบ 130
รูปที่ 6.28 ผังการจัดสถานที่ก่อสร้าง **Case B** ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 2 จากโปรแกรมต้นแบบ 131

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่า Proximity weights ของระดับ Closeness Relationships 14
ตารางที่ 4.1 รายชื่อสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวในโครงการก่อสร้างทั่วไป 44
ตารางที่ 4.2 ผลค่าคะแนนความใกล้ชิดกันของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่ทั้งหมด 46
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของคะแนนความใกล้ชิดกันของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่ 47
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาและข้อเสนอแนะในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง 64
ตารางที่ 5.1 ค่าน้ำหนักใกล้ชิดตามระดับความสัมพันธ์ต่าง ๆ 76
ตารางที่ 6.1 ข้อมูลของสิ่งอำนวยความสะดวกของโจทย์ปัญหา Case A 102
ตารางที่ 6.2 ชุดทดสอบต่าง ๆ สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่เหมาะสม 110
ตารางที่ 6.3 ผลทดสอบชุดต่าง ๆ สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่เหมาะสม 113
ตารางที่ 6.4 ชุดทดสอบสำหรับการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทาง 114
ตารางที่ 6.5 ผลทดสอบสำหรับการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทาง 115
ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA 122
ตารางที่ 6.7 ข้อมูลพิกัดของสิ่งอำนวยความสะดวกของโจทย์ Case B 126
ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบโจทย์ปัญหาจริง Case B 129

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการดำเนินโครงการก่อสร้างจำเป็นต้องใช้สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (Temporary facilities) ประเภทต่าง ๆ เพื่อการช่วยเหลือและสนับสนุนกิจกรรมการก่อสร้างหลักต่าง ๆ ตัวอย่างสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวเหล่านี้ ได้แก่ สำนักงานสนาม โกดังเก็บวัสดุ พื้นที่กองเก็บวัสดุ โรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร โรงผลิตชิ้นส่วน โรงผสมคอนกรีต โรงจอดรถ ถนนชั่วคราว และรวมถึงที่พักคนงาน เป็นต้น ซึ่งพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้างจำเป็นต้องรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวเหล่านี้นอกเหนือจากตัวสิ่งก่อสร้างเองด้วย การจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (Construction site layout) ก็คือการจัดวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ เหล่านี้ลงบนพื้นที่ว่างของสถานที่ก่อสร้าง ที่ไม่ใช่พื้นที่สำหรับตัวสิ่งก่อสร้างเอง (สิ่งก่อสร้างมักมีการกำหนดตำแหน่งที่แน่ชัดไว้ก่อนแล้ว) ซึ่งการจัดวางตำแหน่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการเดินทางไปมาระหว่างปฏิบัติงาน การจราจรในสถานที่ก่อสร้าง การใช้งานวัสดุและเครื่องจักร รวมทั้งการขยับขยายพื้นที่หรือการย้ายตำแหน่งในระหว่างดำเนินโครงการ หลักโดยทั่วไปในการกำหนดตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกคือควรจะจัดวางไว้ใกล้กับกิจกรรมก่อสร้างที่ต้องการใช้งานเพื่อลดระยะการเดินทาง (Cheng and O'Connor 1996)

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างก็คือ การวางแผนและการบริหารจัดการใช้งานพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้างให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้างจัดเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งของโครงการก่อสร้างที่มีอยู่อย่างจำกัดและต้องใช้งานร่วมกันหลายฝ่าย ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อขัดแย้งและการกีดขวางกันเองได้ อย่างไรก็ตามการวางแผนจัดผังสถานที่ก่อสร้างมักถูกละเลยและไม่ได้รับการให้ความสำคัญอย่างจริงจัง วิธีปฏิบัติที่เป็นอยู่คือเจ้าของโครงการจะมอบให้อยู่ในความรับผิดชอบของฝ่ายบริษัทก่อสร้าง โดยที่ฝ่ายผู้ออกแบบมักจะเป็นผู้กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของตัวสิ่งก่อสร้างเพียงเท่านั้น ซึ่งอาจไม่ได้คำนึงถึงพื้นที่ที่จำเป็นสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ในระหว่างการก่อสร้าง การจัดผังสถานที่ก่อสร้างมักถูกจัดทำขึ้นโดยประสบการณ์ของวิศวกรโครงการและทีมงานเอง ซึ่งอาจพิจารณาแบบไม่รอบคอบและไม่ครอบคลุม แต่ทำการจัดวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เป็นครั้งคราวไปเมื่อเกิดความจำเป็นต้องจัดสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกนั้น ๆ

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่ดีจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับกิจกรรมก่อสร้างต่าง ๆ ตลอดการดำเนินโครงการ ไม่เกิดการกีดขวาง เพิ่มความปลอดภัย ลดเวลาและจำนวนครั้งการขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ เพิ่มอัตราผลผลิต และลดต้นทุนได้ (Zouein and Tommelein 1999; Heng Li and Love 2000) ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างจะเป็นประเด็นสำคัญเมื่อสถานที่ก่อสร้างนั้นมีพื้นที่อยู่ในช่วงที่กว้างขวางมากหรือคับแคบมาก ซึ่งหากสถานที่มีพื้นที่กว้างขวางมาก เช่น โครงการก่อสร้างสาธารณูปโภค ถนน นิคมอุตสาหกรรม จะทำให้ระยะทางและเวลาสำหรับการเดินทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ มีค่ามาก

หรือในทางตรงข้ามหากสถานที่มีพื้นที่คับแคบมาก เช่น โครงการก่อสร้างในเมืองใหญ่ กรุงเทพฯ ที่สถานที่ก่อสร้างมีราคาที่ดินสูง สิ่งก่อสร้างมักกินพื้นที่เกือบทั้งหมดโดยเหลือพื้นที่ว่างสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกในการก่อสร้างเพียงเล็กน้อย จะทำให้การเดินทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เกิดการกีดขวางกันเองได้ หรือก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัย (Yeh 1995; Hegazy and Elbeltagi 1999; Ning, Lam, and Lam 2010) อีกทั้งสถานที่ก่อสร้างมักอยู่ในชุมชนที่มีผู้คนและสิ่งก่อสร้างข้างเคียงอื่น ๆ อยู่จำนวนมากและได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง

ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (Construction site layout problem: CSLP) เกี่ยวข้องกับการกำหนดประเภท จำนวน ขนาด และตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ต้องมีอยู่ในสถานที่ทำงานก่อสร้าง นอกเหนือจากตัวสิ่งก่อสร้างเอง โดยที่ตำแหน่งที่ตั้งเหล่านั้นจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มีอยู่ ความยากของปัญหานี้คือจำนวนทางเลือกในการจัดวางตำแหน่งที่เป็นไปได้มักมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีประสิทธิภาพสูง วิธีการหาคำตอบของปัญหา CSLP นี้ โดยการใช้ Metaheuristic Algorithms สำหรับค้นหาคำตอบในกระบวนการ Optimization ของการวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ Annealed Neural Network, Genetic Algorithms, Ant Colony Algorithm, และ Particle Swarm Optimization เป็นต้น

การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะพัฒนาแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกในกรณีที่มีขนาดไม่เท่ากันและมีข้อจำกัดที่ใกล้เคียงกับแนวการปฏิบัติงานจริงที่สุด รวมทั้งจะพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหานี้ด้วย Particle Swarm Optimization (PSO)

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. สร้างแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่เหมาะสมกับสภาพงานก่อสร้างและสร้างวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพด้วย Particle Swarm Optimization (PSO)

2. ทดสอบและประเมินผลแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขต

ขอบเขตของการวิจัยนี้จะครอบคลุมถึงเรื่องต่างๆดังนี้

พื้นที่สถานที่ก่อสร้าง (Construction site) หมายถึง พื้นที่ที่ถูกกำหนดขอบเขตให้เป็นบริเวณสำหรับบริษัทก่อสร้างใช้งานได้ในระหว่างดำเนินโครงการก่อสร้าง ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องครอบคลุมพื้นที่ที่กำหนดเป็นที่ตั้งของสิ่งก่อสร้างเองและพื้นที่ส่วนที่อนุญาตให้ใช้เป็นที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวระหว่างการก่อสร้าง รวมทั้งพื้นที่สำหรับดำเนินกิจกรรมก่อสร้างต่างๆ ทั้งนี้พื้นที่สถานที่ก่อสร้างมักถูก

กำหนดให้ชัดเจนด้วยการสร้างรั้วชั่วคราวขึ้นโดยรอบ และแยกสถานที่ก่อสร้างออกจากพื้นที่สาธารณะหรือพื้นที่ใช้งานอื่น เพื่อความปลอดภัย ขนาดของพื้นที่ที่กำหนดจะมีผลโดยตรงต่อปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง โดยอาจแบ่งออกอย่างคร่าวๆได้เป็นสามช่วงขนาด คือ ขนาดกว้างใหญ่ ขนาดพอเหมาะ และขนาดคับแคบ สถานที่ก่อสร้างขนาดคับแคบจะหมายถึงมีขนาดพื้นที่ว่างเท่ากับหรือน้อยกว่าขนาดพื้นที่ที่ต้องการใช้สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด ซึ่งการวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาปัญหาในขนาดคับแคบที่เป็นปัญหาที่วิกฤตและเป็นอุปสรรคสำหรับของการก่อสร้างในเมืองใหญ่

สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (Temporary facilities) หมายถึง สิ่งปลูกสร้างที่ทำหน้าที่ช่วยเหลือและสนับสนุนให้กิจกรรมก่อสร้างหลักดำเนินไปได้อย่างราบรื่น โดยที่ไม่ใช่ตัวสิ่งก่อสร้างถาวรที่เป็นเนื้องานของโครงการ และต้องรื้อถอนเมื่อไม่ได้ใช้งานหรือเมื่อโครงการก่อสร้างเสร็จสิ้น สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวมีได้หลายประเภท เช่น โรงเรือน เครื่องจักรกล พื้นที่กองเก็บ พื้นที่สัญจร ซึ่งโรงเรือนเป็นสิ่งปลูกสร้างชั่วคราวที่ใช้สอยในด้านต่างๆ เครื่องจักรกลที่มีขนาดใหญ่ต้องการตำแหน่งและพื้นที่ในการติดตั้งหรืออาจเคลื่อนที่ได้ พื้นที่กองเก็บและพื้นที่สัญจรเป็นพื้นที่ว่างที่กำหนดให้มีการใช้งาน สิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้อาจมีการปลูกสร้างขึ้นไม่พร้อมกัน และอาจมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและขนาดพื้นที่ในระหว่างการดำเนินโครงการได้ ซึ่งการวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่จุดเวลาหนึ่งของโครงการในลักษณะแบบ Static CSLP

1.4 แผนการดำเนินการ

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ จึงได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินโครงการวิจัยตามลำดับดังนี้

ขั้นตอนที่1: ศึกษาวิเคราะห์ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของโครงการก่อสร้างในประเทศ โดยการใช้กรณีตัวอย่างในการเก็บข้อมูล เลือกกรณีศึกษาเป็นโครงการก่อสร้างประเภทหลักที่กำลังดำเนินการอยู่ไม่ว่าช่วงระยะใด เช่น งานอาคารสูง และงานสาธารณูปโภค เพื่อการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ผู้บริหาร (วิศวกรโครงการ) และผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง และสังเกตการณ์ผังสถานที่ก่อสร้างที่เป็นอยู่ ลักษณะของสถานที่ของโครงการก่อสร้างประเภทต่างๆ การใช้พื้นที่ทำงาน ประเภทและจำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องมี ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจในรายละเอียดวิธีการปฏิบัติจริงที่เป็นอยู่และเงื่อนไขทั่วไปจากสภาพการทำงานที่ใช้ในการพิจารณา และทราบปัญหาการเดินทางไปมาระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกและความสูญเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งวิเคราะห์หาสาเหตุและความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกัน

ขั้นตอนที่2: สืบค้นและทบทวนพัฒนาการของการสร้างแบบจำลองและวิธีการแก้ปัญหา Construction site layout ที่มีอยู่จำนวนมากมายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในวารสารและบทความทางวิชาการระดับนานาชาติ อ่านและรวบรวมเพื่อทำความเข้าใจกับพัฒนาการและความหลากหลายของแบบจำลองปัญหา เงื่อนไขแบบต่างๆที่ผนวกไว้ในแบบจำลอง รวมทั้ง Metaheuristics และ Stochastic

algorithms ต่างๆที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างละเอียด โดยสามารถบ่งชี้จุดในการพัฒนาต่อยอดให้ดียิ่งขึ้นได้ รวมทั้งเห็นแนวทางการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ และสามารถนำมาเป็นข้อมูลเนื้อหา Literature reviews เพื่อใช้ประกอบงานเขียนบทความเพื่อเผยแพร่ต่อไป

ขั้นตอนที่3: สร้างแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขการปฏิบัติงานจริงและคิดค้นวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาจากโครงการก่อสร้างจริงในขั้นตอนที่ 1 และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาจุดด้อยหรือประเด็นเงื่อนไขที่ยังไม่ได้มีการพิจารณารวมเข้าไว้ในแบบจำลอง จากนั้นจึงพัฒนาเป็นแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างและวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่สอดคล้องเหมาะสมกับสภาพการปฏิบัติงานจริงและพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่ผ่านมา องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จะแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างแบบใหม่ และ Algorithms สำหรับการหาคำตอบแบบใหม่ที่ใช้ ซึ่งเหล่านี้จะเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ และใช้ประกอบงานเขียนบทความเพื่อเผยแพร่ต่อไป

ขั้นตอนที่4: พัฒนาโปรแกรมต้นแบบการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่สะดวกต่อการใช้งาน รวมทั้งทดสอบและประเมินผลความสำเร็จ โดยใช้โจทย์กรณีตัวอย่างโครงการก่อสร้างจริง โปรแกรมต้นแบบนี้จะถูกพัฒนาขึ้นจากหลักการของแบบจำลองปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ริเริ่มขึ้นมาใหม่ในขั้นตอนที่ผ่านมาด้วยโปรแกรมสำนักงานพื้นฐาน Spreadsheet ที่มีใช้กันโดยทั่วไป โดยโปรแกรมต้นแบบ ที่แล้วเสร็จจะถูกทดสอบและประเมินผลด้วยโจทย์ทดสอบที่มีลักษณะแบบต่างๆกันที่เป็นตัวแทนจากโครงการก่อสร้างประเภทต่างๆ เพื่อให้เข้าใจถึงปัจจัยต่างๆของแบบจำลองที่ส่งผลต่อคำตอบที่ได้ และแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยเหล่านี้กับผลคำตอบ ซึ่งโปรแกรมต้นแบบการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ จะสามารถเผยแพร่และพร้อมติดตั้งใช้ในบริษัทก่อสร้างที่สนใจ ผลการทดสอบและประเมินสามารถนำมาใช้ประกอบงานเขียนบทความเพื่อเผยแพร่ได้

ขั้นตอนที่5: เผยแพร่องค์ความรู้จากการวิจัยนี้สู่สาธารณะทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในที่ประชุมและวารสารทางวิชาการต่างๆทั้งระดับชาติหรือนานาชาติ โดยการเขียนบทความทางวิชาการจากการวิเคราะห์ปัญหา การริเริ่มสร้างแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างแบบใหม่และวิธีการหาคำตอบที่พัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น การทดสอบและการประเมินผลจากโจทย์ตัวอย่าง รวมทั้งเผยแพร่องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัยนี้และโปรแกรมต้นแบบต่อผู้ที่สนใจนำไปใช้ประโยชน์กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

โครงการวิจัยนี้จะเป็นโครงการในลักษณะของการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาในการปฏิบัติงานจริงที่บริษัทก่อสร้างกำลังประสบอยู่ และร่วมกันกับบริษัทที่ใช้เป็นกรณีศึกษา โดยมุ่งไปที่การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบให้เหมาะสมกับสภาพข้อจำกัดของโครงการก่อสร้างทั่วไปและสามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมี

ประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายทอดความรู้และวิธีการใช้งานไปสู่ผู้บริหาร วิศวกร และผู้เกี่ยวข้องในบริษัทกรณีศึกษาเหล่านี้โดยตรงทันที ผลจากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อธุรกิจการก่อสร้าง โดยช่วยให้วิศวกรโครงการของบริษัทก่อสร้างสามารถสร้างผังสถานที่ก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดตามสภาพข้อจำกัดที่มีอยู่ จึงทำให้ต้นทุนและเวลาทำงานของโครงการลดลงได้ รวมทั้งยังช่วยเสริมสร้างให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้นด้วย เนื่องจากสถานที่ก่อสร้างเป็นทรัพยากรที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผู้ปฏิบัติงานทุกคนในโครงการ ที่ต้องใช้งานใกล้ชิดด้วยตลอดเวลา จึงทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรพื้นที่ทำงานให้เกิดคุณค่ามากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ที่มีงานก่อสร้างจำนวนมากแต่โครงการมักมีสถานที่ก่อสร้างคับแคบ รวมทั้งโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีมูลค่าโครงการสูงมักมีปัญหาพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้าง การจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพจากการวิจัยนี้จะช่วยปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานของวิศวกรที่มักอาศัยแต่ประสบการณ์และการตัดสินใจส่วนบุคคล ให้กลายเป็นการใช้เทคนิคการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบอยู่บนฐานความรู้เชิงวิชาการดีขึ้น ซึ่งผลงานที่เป็นรูปธรรมของการวิจัยนี้คือโปรแกรมต้นแบบสำหรับการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นจากการวิจัยนี้พร้อมทั้งวิธีการใช้ สามารถนำมาเผยแพร่ให้บริษัทก่อสร้างหรือผู้ที่สนใจทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจก่อสร้างสามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้โดยสะดวก เพราะใช้ได้กับโปรแกรมสำนักงานพื้นฐาน Spreadsheet

องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการ คือแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่พัฒนาสำหรับข้อจำกัดของงานก่อสร้างโดยเฉพาะ ซึ่งจะรวมเอาข้อเงื่อนไขต่างๆและความเข้าใจจากสภาพการปฏิบัติงานก่อสร้างจริงไว้ รวมทั้งวิธีการหาคำตอบของปัญหาที่มีประสิทธิภาพดี โดยทำให้เกิดการพัฒนาต่อยอดจากที่มีอยู่เดิม โดยต้องการให้เกิดผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่ได้ในวารสารทางวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติ การเขียนบทความทางวิชาการเพื่อรายงานผลการดำเนินงานและผลลัพธ์ในการประชุมทางวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติดังรายการข้างล่างนี้ เพื่อเป็นการกระตุ้นความสนใจของนักวิจัยท่านอื่น ๆ ให้หันมาวิจัยพัฒนาวิธีการจัดผังสถานที่ก่อสร้างต่อยอดขึ้นไป

1.6 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ปนัดดา รุมสำโรง (2559) “การศึกษาการวางผังตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวในโครงการก่อสร้าง” โครงงานมหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคภูมิ เชียงเงิน (25xx) “การเปรียบเทียบการวางผังสถานที่ก่อสร้าง โดยแบบจำลอง Genetic Algorithms, แบบจำลอง Particle Swarm Optimization และวิศวกรประจำโครงการ” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคภูมิ เชียงเงิน และ วชรภูมิ เบญจโอฬาร (ระหว่างการพิจารณา) “การเปรียบเทียบการวางผังสถานที่ก่อสร้าง โดยแบบจำลอง Genetic Algorithms, แบบจำลอง Particle Swarm Optimization และวิศวกรประจำโครงการ”

วชรภูมิ เบญจโอฬาร ภาคภูมิ เชียงเงิน กองพล ชุนเกาะ (2560) “Construction Site Layout for Temporary Facilities using Grid System” วารสารวิศวกรรมมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (Accepted Manuscript)

Benjaoran, V., and Chiangngern, P. (2017) “Temporary facilities layout using actual path distance” 3rd International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI 2017), 19 - 21 April 2017, Taipei, Taiwan.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2 ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง

การจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (Construction site layout) เป็นภารกิจของการวางแผนอย่างหนึ่งที่สำคัญของโครงการก่อสร้าง ผลลัพธ์ที่ได้คือแบบแปลนพื้นที่โครงการที่แสดงรายละเอียดของตำแหน่ง (Locations) และขนาดและรูปร่างของพื้นที่ที่สงวนไว้สำหรับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในโครงการ ทั้งนี้การจัดวางตำแหน่งของสิ่งเหล่านี้ก็เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติกิจกรรมก่อสร้างต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานอย่างมาก ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (Construction-site layout problem: CSLP) ในเบื้องต้นจึงเป็นปัญหาที่กำหนดให้มีเซ็ตของสิ่งอำนวยความสะดวกจำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่งที่ต้องนำมาจัดวางตำแหน่งลงบนพื้นที่โครงการให้ครบถ้วนโดยที่ไม่ซ้อนทับกันและสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัด (Constraints) ต่าง ๆ ที่กำหนด เพื่อให้ได้ค่าตามวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด CSLP จึงเป็น Optimization problem ที่ต้องการการแก้ปัญหาให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solutions)

มีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งมุ่งความสนใจไปที่ประเด็นต่าง ๆ กัน ได้แก่ ลักษณะขนาดและรูปร่างของสิ่งอำนวยความสะดวก ความเปลี่ยนแปลงของสิ่งอำนวยความสะดวก การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา และความสามารถของ Optimization algorithms ในการค้นหาคำตอบ ในบทนี้ได้ทำการทบทวนงานวิจัยในประเด็นต่าง ๆ ดังกล่าวโดยได้แบ่งไว้เป็นแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

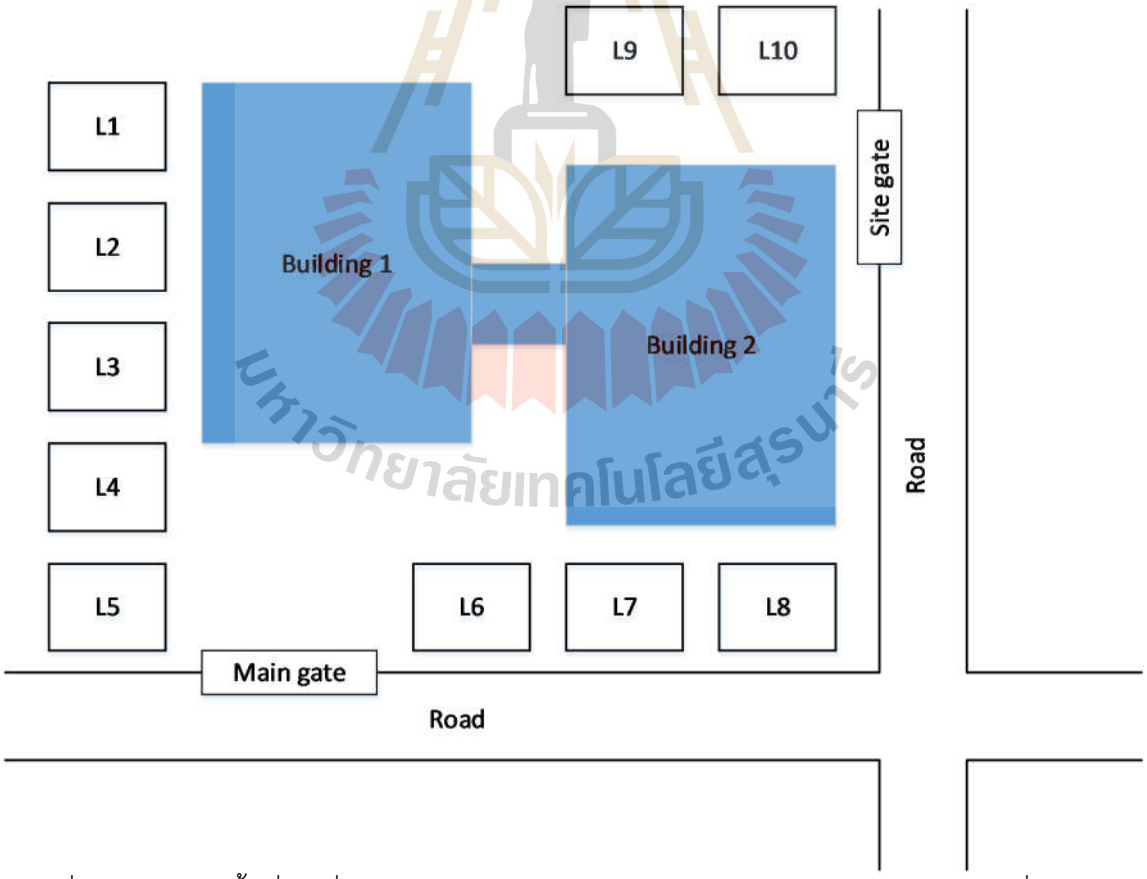
2.1 ลักษณะของพื้นที่โครงการและสิ่งอำนวยความสะดวก

พื้นที่ของโครงการก่อสร้างนั้นจะต้องใช้สำหรับวางสิ่งต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักคือ กลุ่มที่ 1 สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (Construction structures) กลุ่มที่ 2 สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวระหว่างก่อสร้าง หรือเรียกโดยย่อว่า สิ่งอำนวยความสะดวก (Temporary facilities) มีอยู่หลากหลายประเภท แต่ละโครงการอาจต้องการเป็นจำนวนและขนาดแตกต่างกันไป ทั้งนี้เพื่อใช้สนับสนุนกิจกรรมการก่อสร้างหลักต่าง ๆ ตัวอย่างได้แก่ ถนนชั่วคราว (Access roads) ป้อมยาม (Security huts) พื้นที่กองวัสดุ (Stock yards) โกดังเก็บวัสดุ (Warehouses) โรงประกอบเตรียมชิ้นส่วน (Fabrication shops) โรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร (maintenance shops) โรงผสมคอนกรีต (Batching plants) สำนักงานสนาม (Job offices) ห้องน้ำ (Toilets) ที่พักอาศัยคนงาน (Labor residence facilities) เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจมีกลุ่มที่ 3 สิ่งกีดขวางที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์และเคลื่อนย้ายไม่ได้ (Obstacles) ได้แก่ ต้นไม้ใหญ่ บ่อน้ำ ลำน้ำ กองหิน เป็นต้น

โดยทั่วไป แบบจำลอง CSLP สามารถแบ่งออกตามลักษณะการจำลองปัญหาได้เป็น 2 ประเภท คือ Discrete และ Continual layout problems (Liggett 2000) โดยที่ Discrete layout problem มีการกำหนดแบ่งพื้นที่ของโครงการออกเป็นบล็อกต่าง ๆ (Discrete locations) ไว้ก่อน โดยไม่ซ้อนทับกันเพื่อพิจารณาวางสิ่งอำนวยความสะดวกลงตามตำแหน่งเหล่านี้ ส่วน Continual layout problem

พิจารณาพื้นที่โครงการเป็นเนื้อเดียวที่ต่อเนื่องกัน สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ อาจนำมาจัดวางได้ที่ตำแหน่ง Coordinate ใด ๆ ภายในขอบเขตพื้นที่ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดที่เหมาะสม

แบบจำลองของ CSLP ในยุคเริ่มต้น (Earlier models) นั้นเป็นการจัดวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เป็นจำนวนตามที่กำหนดไว้ก่อน (Predetermined facilities) จำนวน *n* อย่าง ลงบนตำแหน่งพื้นที่ว่างต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ก่อนแล้วเช่นกัน (Predetermined locations) ด้วยเงื่อนไขที่ว่าตำแหน่งพื้นที่ว่างใด ๆ ต้องมีขนาดใหญ่พอสำหรับรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกใด ๆ ก็ได้ หรือเรียกว่า Equal-area facility layout problem ดังนั้นการจัดวางจึงเป็นลักษณะการพิจารณาจับคู่กันระหว่าง Facilities และ Locations ที่เหมาะสม โดยที่จะต้องมีจำนวน Locations มากกว่าหรือเท่ากับ จำนวน Facilities เพื่อให้มีคำตอบที่เป็นไปได้ คำตอบที่เป็นไปได้ใด ๆ จะเป็น Permutation matrix ที่กำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกแต่ละอย่างบนพื้นที่ว่างตำแหน่งแต่ละตำแหน่ง ดังนั้นจะมีคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดมากถึง *n!* ตัวอย่างได้แก่ แบบจำลองในงานวิจัยของ Yeh (1995) และ H. Li and Love (1998) รูปข้างล่างแสดงตัวอย่างที่อ้างอิงมาเป็นพื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่มีการกำหนด Locations เพื่อรองรับ Facilities ไว้ก่อนจำนวน 10 แห่งตั้งแต่ L1 ถึง L10 โดยที่มี Facilities จำนวนเท่ากัน ตั้งแต่ F1 ถึง F10 ขนาดของ Facilities เหล่านี้สามารถติดตั้งที่ Locations ใด ๆ ใน 10 แห่งนี้ได้



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งพื้นที่ว่างที่กำหนดไว้ก่อนภายในโครงการก่อสร้างโดยมีจำนวนและขนาดที่เพียงพอ

ลักษณะของคำตอบของแบบจำลองนี้จะเป็น Permutation matrix ที่แสดงการจับคู่ระหว่าง Locations และ Facilities ต่าง ๆ แบบ One-to-one ทำให้เป็นปัญหาแบบ Combinatorial optimization หรือที่เรียกว่า Quadratic Assignment Problem (QAP) (Zhang and Wang 2008) มีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมาก หรือเท่ากับ *n!* (*n* factorial) เมื่อให้ *n* เป็นจำนวน facilities

Facilities	Locations				
	1	2	3	...	n
1	0	1	0		0
2	1	0	0		0
3	0	0	1		0
...					
m	0	0	0		1

รูปที่ 2.2 Permutation matrix ของตัวอย่างหนึ่งของคำตอบที่เป็นไปได้ใดๆ

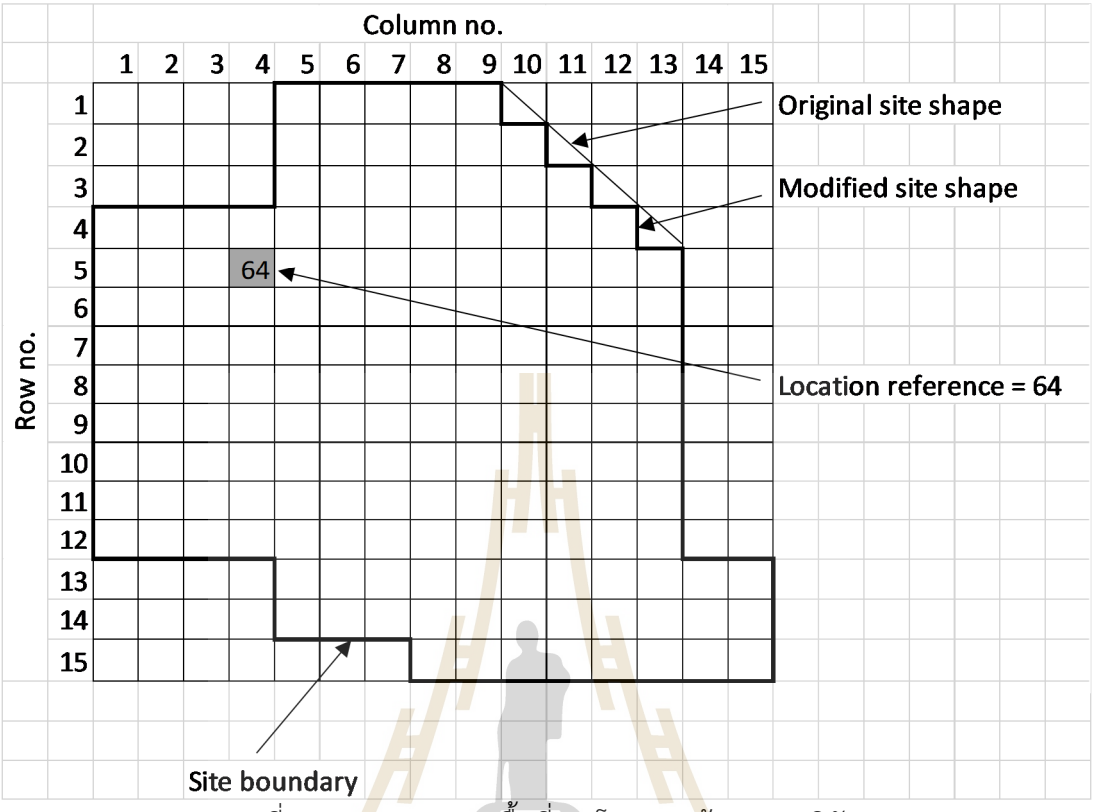
ให้ δ_{xi} = Permutation matrix variable มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ Facility x ถูกจัดวางไว้ที่ Location i, อื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 0

การจับคู่กันระหว่าง Locations และ Facilities ได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านความพอดีของขนาดพื้นที่นี้ ต่อมาได้ถูกปรับปรุงให้มีเงื่อนไขที่สมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น โดยให้บางตำแหน่งมีพื้นที่ว่างเพียงพอเฉพาะสำหรับบางสิ่งอำนวยความสะดวกเท่านั้น ซึ่งจะเรียกปัญหาแบบนี้ว่า Unequal-area facility layout problem โดยมีการกำหนดตำแหน่งพื้นที่ว่าง (Locations) ที่มีขนาดต่างกัน ออกเป็นกลุ่มขนาดปกติและกลุ่มขนาดเล็กกว่าปกติ รวมทั้งมีการกำหนดขนาดสิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities) ออกเป็นกลุ่มขนาดปกติและกลุ่มขนาดเล็กกว่าปกติ ซึ่งปัญหาแบบนี้จะมีความยุ่งยากกว่าเนื่องจากมีข้อจำกัดเพิ่มขึ้นให้ต้องพิจารณา และมีความยากในการหาคำตอบมากกว่า ตัวอย่างได้แก่ งานวิจัยของ Heng Li and Love (2000)

การกำหนดตำแหน่งพื้นที่ว่าง (Locations) ได้ถูกพัฒนาจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ก่อนแน่นอน (Predetermined locations) มาเป็นการใช้แบบระบบพิกัดฉาก 2 มิติ (Two-dimensional grid system) แทนพื้นที่ของโครงการ และใช้ค่าคู่อันดับแทนจุดตำแหน่ง (Coordinate) (X, Y) แทนตำแหน่งอ้างอิงใด ๆ เมื่อมีการวางสิ่งอำนวยความสะดวกลงบน Location ทำด้วยการกำหนดจุด Centroid ของสิ่งอำนวยความสะดวกใด ๆ ลงบนตำแหน่ง Coordinate ของพื้นที่โครงการ ซึ่งเสนอโดยงานวิจัยของ Zouein and Tommelein (1999) และ Mawdesley, Al-jibouri, and Yang (2002) แต่ของ Hegazy and Elbeltagi (1999) แตกต่างออกไปเล็กน้อยโดยใช้กริดแสดงแทนพื้นที่ ดังรูปข้างล่าง กริดจะเป็นหน่วยพื้นที่ย่อยที่สุดที่พิจารณา โดยอาจกำหนดจากค่าคูณร่วมน้อย (ค.ร.น.) (Greatest common divisor (g.c.d.)) ของขนาด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พื้นที่ของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด แต่ละ facility จึงเป็นพื้นที่ที่ประกอบขึ้นด้วยกริดจำนวนต่าง ๆ กัน และยังสามารถกำหนดขึ้นเป็นรูปร่างต่าง ๆ ที่ไม่ใช่สี่เหลี่ยม

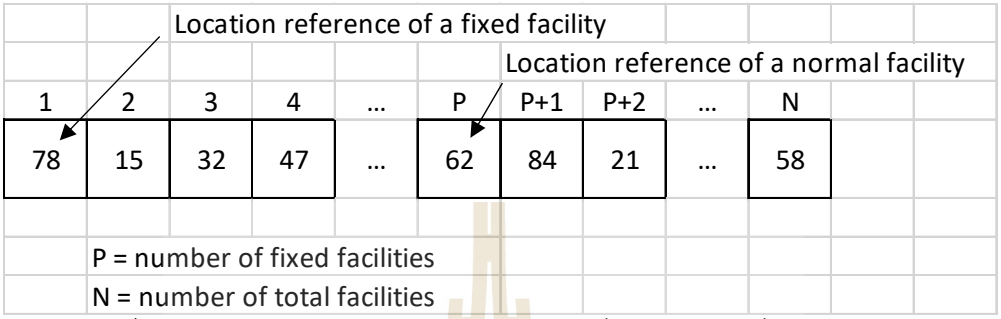


รูปที่ 2.3 การแสดงแทนพื้นที่ของโครงการด้วยระบบพิกัด

การอ้างอิงตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกบนพื้นที่โครงการสามารถใช้เลขที่อ้างอิงจากเลขที่คอลัมน์และเลขที่แถวที่กริดนั้นอยู่ ตัวอย่างเช่น กริดที่ 64 ได้จากการที่เป็นกริดในแถวที่ 5 และคอลัมน์ที่ 4 (จากจำนวนแถวและคอลัมน์ทั้งหมดอย่างละ 15) รวมทั้งขอบเขตของพื้นที่ที่ไม่เป็น Non-orthogonal boundaries ก็สามารถประมาณด้วยการใช้กริดดังแสดงในรูป อย่างไรก็ตาม Easa and Hossain (2008) ได้เสนอวิธีกำหนดพื้นที่ว่าง (Available area) ของโครงการออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมหลาย ๆ รูป จำนวน M บริเวณ (Regions) แยกออกจากพื้นที่ที่ไม่ว่าง (Unavailable area) ซึ่งอาจมีการกำหนดแบ่งพื้นที่ออกได้หลายแบบตามผู้วางแผน

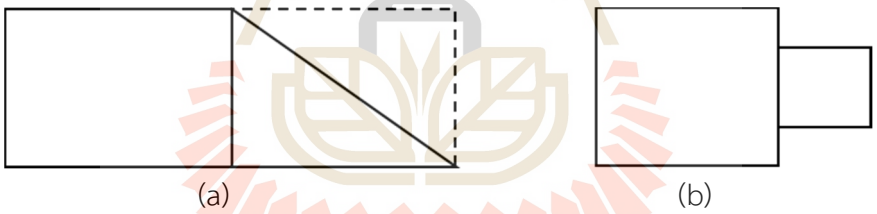
นอกจากนี้รูปร่างของสิ่งอำนวยความสะดวกในแบบจำลองเริ่มต้นก่อนหน้านี้ยังถูกกำหนดให้เป็นเพียงรูปทรงสี่เหลี่ยมที่เรียบง่ายเท่านั้น แต่การพัฒนามาเป็นการกำหนดพื้นที่ของโครงการด้วยระบบพิกัดหรือกริด ยังช่วยให้สามารถพิจารณารูปร่างของสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นรูปร่างใด ๆ ประกอบขึ้นด้วยกริด รวมทั้งสามารถกำหนดทิศทางของการจัดวาง (Orientation) ได้ด้วย เช่น งานของ Zouein and Tommelein (1999) Hegazy and Elbeltagi (1999) และ El Rayes (2009) ที่สามารถจัดวางได้ 2 แนว คือ แนวนอน (horizontal) หรือ 0 องศา กับแนวตั้ง (vertical) หรือ 90 องศา ซึ่งทำให้การพิจารณากับปัญหาทำได้ละเอียดสมเหตุสมผลมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการพิจารณาปัญหาด้วยการแสดงแทนพื้นที่ด้วยระบบพิกัดหรือกริดจะทำให้ปัญหามีความซับซ้อนขึ้นมาก เนื่องจากทำให้เกิดตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกเพิ่มขึ้นอีกจำนวนมหาศาล การเพิ่มขึ้นของคำตอบที่เป็นไปได้นี้ยังเกิดจากการกำหนดทางเลือกของทิศทางการจัดวางด้วย คำตอบที่เป็นไปได้ของการจำลองพื้นที่โครงการด้วยระบบพิกัดจะใช้ Permutation string ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.4 Permutation string ของตัวอย่างหนึ่งของคำตอบที่เป็นไปได้ใดๆ

Easa and Hossain (2008) ได้เสนอการจำลองรูปทรงของสิ่งอำนวยความสะดวกที่นอกเหนือจากรูปสี่เหลี่ยมปกติ โดยการประมาณปรับเปลี่ยนรูปทรงที่ไม่ใช่สี่เหลี่ยม (Nonrectangular object) ให้เป็นสี่เหลี่ยมครอบคลุมรูปทรงเดิมไว้ เช่น รูปสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปข้างล่าง ทำให้สามารถจำลองรูปทรงใด ๆ ให้เป็นรูปทรงที่ประกอบขึ้นจากสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.5 การปรับรูปทรงสิ่งอำนวยความสะดวกให้เป็นรูปประกอบสี่เหลี่ยม

ประเภทของสิ่งอำนวยความสะดวก โดยทั่วไปถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Hegazy and Elbeltagi 1999) ดังนี้

1. Normal facilities เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกปกติที่ต้องการการจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ที่เป็นพื้นที่ว่างของพื้นที่โครงการ
2. Fixed facilities เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่ผู้ใช้ต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนไว้ก่อนโดยไม่ต้องหาตำแหน่งที่เหมาะสมในแบบจำลอง เช่น ตัวสิ่งก่อสร้าง ประตูทางเข้าออก แต่สิ่งอำนวยความสะดวกประเภทนี้ยังมีความสัมพันธ์กับ Normal facilities อื่น ๆ ในโครงการเนื่องจากต้องมีกิจกรรมการทำงานร่วมกัน

3. Obstacles เป็นสิ่งที่อยู่ในโครงการที่มีตำแหน่งที่แน่นอน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Normal facilities และ Fixed facilities จึงมีสภาพเป็นสิ่งกีดขวางที่ไม่มีประโยชน์ที่อยู่ในโครงการ

การแบ่งประเภทของ Facilities ที่ละเอียดนี้ทำให้ปัญหาซับซ้อนยิ่งขึ้น แต่ให้ความสมเหตุสมผลมากขึ้น

2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง CSLP ที่งานวิจัยส่วนใหญ่สร้างจะอยู่ในพจน์ของระยะทางรวมในการเดินทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก โดยเป็นผลรวมของผลคูณระหว่างระยะห่างระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกและความถี่ของการเดินทาง (จำนวนเที่ยว) (H. Li and Love 1998) ซึ่งระยะทางรวมนี้เป็นค่าตัวแปรที่สัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ โดยทั่วไปมักใช้จุด Centroid ของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้ง 2 นั้นเป็นตำแหน่งอ้างอิง

$$\text{Minimize} \quad TD = \sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\delta_{xi}f_{xy}D_{ij}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{x=1}^{n}\delta_{xi} = 1, \;\; i = 1, 2, 3, \ldots n$$

กำหนดให้ TD = Total traveling distance ของผู้ปฏิบัติงานระหว่าง Facilities ทั้งหมด, n = จำนวนของ Facilities, δ_{xi} = Permutation matrix variable ของการวาง Facility x ไว้ที่ Location i, f_{xy} = ค่าสัมประสิทธิ์ของความถี่ของการเดินทางปฏิบัติงานระหว่าง Facilities x และ y ที่วางอยู่ที่ Locations i และ j ตามลำดับ, D_{ij} = ค่าระยะทางระหว่าง Locations i และ j

พจน์ที่กล่าวข้างต้นเป็นค่าพื้นฐานที่แบบจำลอง CSLP จะใช้ อย่างไรก็ดีบางงานวิจัยได้พัฒนาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้อยู่ในพจน์ของต้นทุนด้วย ซึ่งค่าระยะทางรวมก็เป็นค่าตัวแปรที่สะท้อนถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้องได้ ได้แก่งานของ Yeh (1995) และ Zhang and Wang (2008)

$$\text{Minimize} \quad TC = \sum_{y=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\delta_{xi}C_{ij} + \sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\delta_{xi}a_{xy}D_{ij}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{x=1}^{n}\delta_{xi} = 1, \;\; i = 1, 2, 3, \ldots n$$

กำหนดให้ TC = Total cost ของการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวก, n = จำนวนของ Facilities, δ_{xi} = Permutation matrix variable ของการวาง Facility x ไว้ที่ location i, C_{xi} = ค่าก่อสร้างหรือติดตั้งสำหรับการวาง Facility x ไว้ที่ Location i, a_{xy} = อัตราค่าใช้จ่ายของการเดินทางปฏิบัติงานระหว่าง Facilities x และ y ที่วางอยู่ที่ Locations i และ j ตามลำดับ, D_{ij} = ค่าระยะทางระหว่าง Locations i และ j

บางงานวิจัยได้สร้างฟังก์ชันในเชิงของระยะทางเนื่องจากค่าความถี่ของการเดินทางอาจเป็นข้อมูลที่ประมาณการณ์ได้ยาก ดังนั้นจะให้การถ่วงน้ำหนักจากความใกล้ชิดที่ต้องการ (Proximity weight) (Hegazy and Elbeltagi 1999; Zouein, Harmanani, and Hajar 2002; Easa and Hossain 2008)

Minimize $TD = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} d_{ij} R_{ij}$

กำหนดให้ TD = Total traveling distance ของผู้ปฏิบัติงานระหว่าง Facilities ทั้งหมด, n = จำนวนของ Facilities, d_{ij} = ระยะทางระหว่าง Facility i และ j, R_{ij} = ค่าถ่วงน้ำหนักความใกล้ชิดที่ปรารถนา (Desired proximity weight) ระหว่าง Facilities i และ j

การจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกไว้ที่ตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพในพื้นที่โครงการจะช่วยเพิ่มความสะดวกให้การเคลื่อนย้ายทรัพยากรหรือปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านั้น ปฏิสัมพันธ์นั้นหมายความถึงความใกล้ชิดที่ปรารถนา (Closeness หรือ Proximity) หรือความสัมพันธ์ (Relationships) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่ง Ning, Lam, and Lam (2010) ได้ให้รายละเอียดว่าค่าความสัมพันธ์ใกล้ชิดระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities closeness relationships) ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ กัน 6 ปัจจัย ได้แก่

Material flows (MF) คือการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง ชิ้นส่วน หรือผลิตภัณฑ์ที่เสร็จแล้วต่าง ๆ ในระหว่างการปฏิบัติงานระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ในหน่วยต่อเวลา

Information flows (IF) คือการติดต่อสื่อสารทั้งเสียงและเอกสารระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ในหน่วยต่อเวลา

Personnel flows (PF) คือจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง

Equipment flows (PF) คือจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานกับวัสดุเพื่อเคลื่อนย้ายระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง

Safety/Environment concerns (SE) คือระดับความปลอดภัยและความเสี่ยงอันตรายจากสิ่งแวดล้อมที่มีต่อผู้ปฏิบัติงาน เมื่อสิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่งอยู่ใกล้กับอีกแห่งหนึ่ง

Users' preference (UP) คือระดับความปรารถนาของผู้วางแผนที่ต้องการให้สิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่งอยู่ใกล้หรืออยู่ห่างจากอีกแห่งหนึ่ง

โดยปัจจัย 4 ตัวแรกมีลักษณะที่สามารถตรวจวัดได้เชิงปริมาณ เช่น วิธีเชิงปริมาณอาจใช้การคำนวณหาอัตราค่าใช้จ่ายของการเดินทางหรือปริมาณวัสดุที่ต้องเคลื่อนย้ายระหว่างกัน ส่วนปัจจัยอีก 2 ตัวหลังมีลักษณะที่เป็นวิธีตรวจวัดเชิงคุณภาพซึ่งอาจใช้การพิจารณากำหนดตัวเลขตามความเห็นของผู้วางแผน

Facilities closeness relationships (Hegazy and Elbeltagi 1999) จึงเป็นค่าตัวเลขโดยรวมและโดยเฉลี่ยที่ใช้แสดงระดับความปรารถนาให้สิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่งอยู่ใกล้หรืออยู่ห่างจากอีกสิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่ง ซึ่งอาจใช้การจับคู่พิจารณา (Pair-wise assessment) คราวละ 2 สิ่งอำนวยความ

สะดวก ด้วยการประมาณตัวเลขเชิงคุณภาพ งานวิจัยที่ผ่านมาได้กำหนดระดับสเกลของค่า Closeness Relationships ไว้ 6 ระดับ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ค่า Proximity weights ของระดับ Closeness Relationships

Desired relationship between facilities	Proximity weight
Absolutely necessary (A)	6^5 = 7776
Especially important (E)	6^4 = 1296
Important (I)	6^3 = 216
Ordinary (O)	6^2 = 36
Unimportant (U)	6^1 = 6
Undesirable (X)	6^0 = 1

นอกจากนี้ยังมีการใช้ฟังก์ชันค่าความปลอดภัยร่วมด้วย (Ning, Lam, and Lam 2010)

Minimize $TS = w_1(\sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\delta_{xi}d_{ij}S_{xy}) + w_2(\sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\delta_{xi}d_{ij}C_{xy})$

Subject to $\sum_{x=1}^{n}\delta_{xi} = 1, \ i = 1, 2, 3, \dots n$

and $x \in \{0,1\}$

กำหนดให้ TS = Total sum score ที่เกิดค่าผลคูณถ่วงน้ำหนักของ 2 พจน์ คือพจน์ค่าใช้จ่ายที่สัมพันธ์กับการเดินทาง และพจน์ค่าของความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม, n = จำนวนของ Facilities, δ_{xi} = Permutation matrix variable ของการวาง Facility x ไว้ที่ Location i, d_{ij} = ระยะทางระหว่าง Facility i และ j, S_{xy} = ค่า Closeness relationship สำหรับด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ระหว่าง Facilities x และ y, C_{xy} = ค่า Closeness relationship สำหรับด้านการจัดการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดจาก Flows ต่าง ๆ (MF, IF, PF, EF, SE และ UP) ระหว่าง Facilities x และ y

2.3 ระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองทั้งหลายมักอยู่ในพจน์ที่สัมพันธ์กับค่าระยะทางระหว่างตำแหน่งของ Facilities อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะทางยังมีความแตกต่างกันไป Park et al. (2012) ได้ชี้ว่ามีองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก (Travel distance) 3 ประการ คือ จุดเริ่มต้นออกเดินทาง (Point of departure) จุดถึงที่หมาย (Point of arrival) และเส้นทาง (Travel path)

โดยที่งานวิจัยที่ผ่านมาเกือบทั้งหมดกำหนดให้การจัดผังสถานที่ก่อสร้างในระบบ 2 มิติ และกำหนดให้ใช้จุด Centroid ของรูปทรงสิ่งอำนวยความสะดวกทั้ง 2 แห่งเป็นจุดเริ่มต้นออกเดินทางและจุด

ถึงที่หมาย (หรือจุด Centroid ของพื้นที่ตำแหน่งว่างทั้ง 2 แห่ง ในกรณีใช้วิธีการจับคู่) ไม่ว่ารูปทรงของสิ่งอำนวยความสะดวกจะถูกกำหนดให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมธรรมดา รูปทรงประกอบสี่เหลี่ยม หรือรูปทรงอื่นๆ

ส่วนองค์ประกอบที่ 3 มีข้อเสนอที่แตกต่างกันในงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากมีค่าระยะทางระหว่างจุดสองจุดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (Mawdesley, Al-jibouri, and Yang 2002; Easa and Hossain 2008) ดังนี้

1. Manhattan หรือ Rectilinear distance คือระยะทางระหว่างจุดสองจุดใด ๆ คือ (X_1, Y_1) และ (X_2, Y_2) ที่วัดตามแนวแกนฉาก ได้แก่ แนวนอน และแนวตั้ง โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$d_{rect} = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2|$$

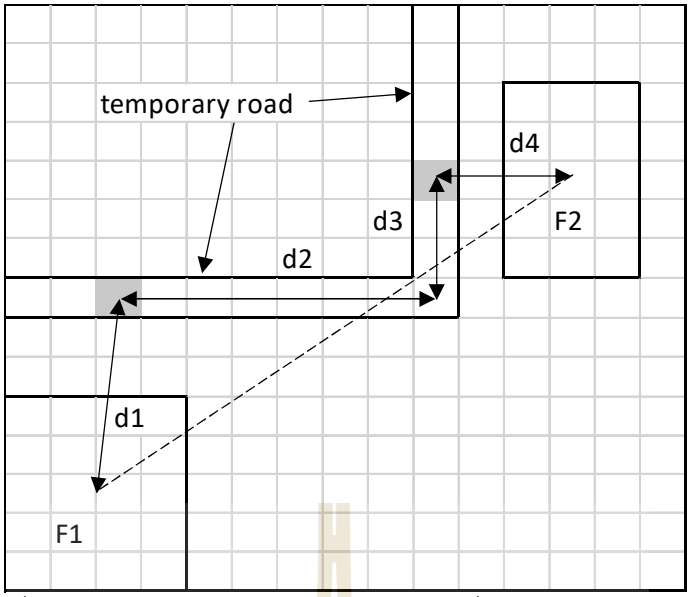
2. Euclidian distance คือระยะทางระหว่างจุดสองจุดใด ๆ คือ (X_1, Y_1) และ (X_2, Y_2) ที่วัดตามแนวเส้นตรงที่ลากผ่านจุดทั้งสอง โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$d_{eucl} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

นอกจากวิธีการคำนวณระยะทางแบบทั่วไปทั้ง 2 ประเภทข้างต้นนี้แล้ว H. Li and Love (1998); Heng Li and Love (2000) ยังได้เสนอวิธีการคำนวณระยะทางแบบ Sum of segmental distances ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก 2 อันที่ไม่ได้อยู่ติดกัน ตัวอย่างเช่น ระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก i และ k เป็นผลรวมของระยะทาง Euclidian distances ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก i กับ j และ j กับ k (มีสิ่งอำนวยความสะดวก j อยู่ระหว่าง i กับ k) หรือหากผลรวมมากกว่า 1 เส้นทาง จะเลือกใช้ผลรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุด

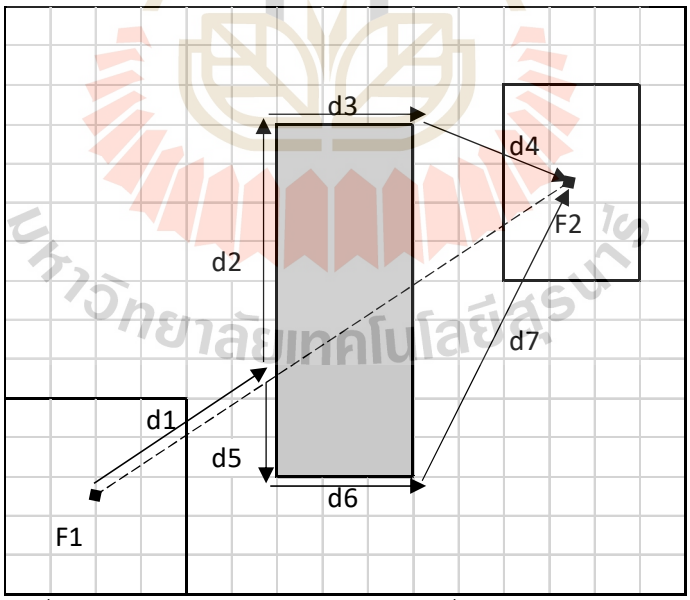
$$d_{ik} = d_{ij} + d_{jk}$$

วิธีการคำนวณระยะทางที่น่าสนใจอีกวิธีคือ Actual Route Distance (Sanad, Ammar, and Ibrahim 2008) โดยแสดงกรณีตัวอย่างในรูปข้างล่าง กำหนดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวก F1 และ F2 เส้นประในรูปแสดงระยะทาง Euclidian distance ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งสอง ซึ่งไม่ใช่ระยะทางจริงที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินทาง โดยที่ระยะทางที่ใช้เดินทางจริงควรจะเป็นเส้นทางการจราจรในพื้นที่โครงการผ่านทางถนนชั่วคราว ซึ่งถนนชั่วคราวควรถูกกำหนดใช้ขึ้นภายในโครงการเพื่อการเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ การคำนวณ Actual Route Distance ระหว่าง F1 และ F2 หาได้จากการกำหนดตำแหน่งเซลล์ตัวแทนทางเข้าออกสำหรับแต่ละสิ่งอำนวยความสะดวกไว้ก่อน ดังแสดงเป็นเซลล์ที่แรเงาในรูปข้างล่าง เป็นเซลล์ที่แทนทางเข้าออกบนถนนชั่วคราวของ F1 และ F2 จากนั้นสามารถคำนวณหาระยะทางแต่ละส่วนเพื่อนำมาหาผลรวมระยะทาง ซึ่งจากกรณีตัวอย่างนี้จะได้ค่าเท่ากับ d1 + d2 + d3 + d4



รูปที่ 2.6 Actual Route Distance ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก

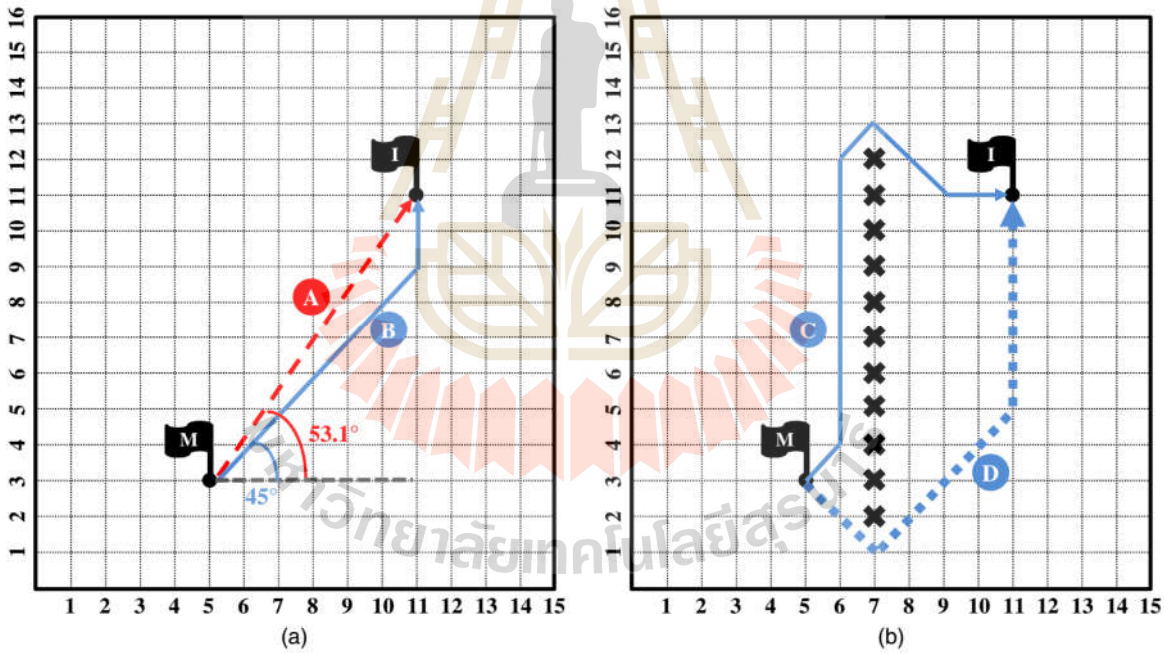
อย่างไรก็ตาม Park et al. (2012) ได้ชี้ว่าระยะเดินทางปฏิบัติงานควรจะมีการวัดตามเส้นทางที่เดินทางจริง (Actual Travel Path) ที่คนงานมักจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อ Minimize physical labor (Rilett and Park 2001) และต้องมีการพิจารณาหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (หรือสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ที่ไม่ใช่จุดหมายปลายทาง) ด้วย ดังนั้น Actual Travel Path ก็คือเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest path) ที่ผ่านไปตามพื้นที่ว่างจากจุดเริ่มต้นออกเดินทางไปสู่จุดถึงที่หมาย



รูปที่ 2.7 Actual Travel Path ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก

Park et al. (2012) ได้เสนอวิธีการคำนวณหาระยะทาง Actual travel distance ตาม Actual Travel Path โดยได้ประมาณระยะทางด้วยระบบกริดเพื่อความเป็นไปได้ในการคำนวณ ซึ่งอาจมีความคาดเคลื่อนในขอบเขตที่ยอมรับได้ในการคำนวณบ้าง ดังแสดงตัวอย่างในรูปข้างล่าง กำหนดให้จุด M (5, 3)

เป็นจุดเริ่มต้นเดินทาง และจุด I (11, 11) เป็นจุดถึงที่หมาย ในรูปย่อย (a) กรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง คนงานควรจะเดินทางด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest path) ซึ่งเป็นเส้นตรง Path A ที่ทำมุม 53.1 องศาคิดเป็นระยะทางเท่ากับ 10 หน่วยกริด ($\sqrt{(6)^2 + (8)^2} = 10$) เพื่อลดแรงงานให้ต่ำที่สุด แต่เพื่อให้สะดวกและรวดเร็วในการโปรแกรมวิธีการหาระยะทางจึงลดมุมที่เป็นไปได้ในการใช้วางเส้นทางเหลือเป็นเพียง 8 ทิศเท่านั้น ประกอบด้วย 4 Cardinal directions และ 4 Diagonal directions ดังนั้นในกรณีตัวอย่างนี้จึงประมาณเส้นทางเดินด้วย Path B ในรูป ที่ประกอบด้วยเส้นทาง Diagonal และ Cardinal ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณระยะทางตาม Path B ได้ 10.5 หน่วยกริด (6x1.414 + 2x1 = 10.5) ในการสร้างเส้นทางระหว่างจุดเริ่มและจุดหมาย แบบจำลองจะเริ่มจากการเปรียบเทียบค่า x–y coordinates ของจุดสองจุดเพื่อหาทิศทางในการเดินทาง โดยแบบจำลองจะเลือกทิศทางที่ลดค่าความแตกต่างของ x–y coordinates ตัวอย่างเช่น ถ้าทั้งค่า x และ y แตกต่างกันก็จะทำให้ต้องเลือกทิศทาง Diagonal direction ซึ่งในการเดินทางแต่ละก้าวจะเคลื่อนที่ไปทีละกริด ตัวอย่างในรูปข้างล่าง รูปย่อย (a) จะเริ่มจากการเลือกเดินทางไปในทิศ 45° diagonal direction จนกระทั่งตำแหน่งปัจจุบันอยู่ในแนวเดียวกับจุดหมายหรือค่า x–y coordinates มีความแตกต่างแค่ค่าของ y จึงเปลี่ยนทิศทางเป็นทิศ 90° cardinal direction

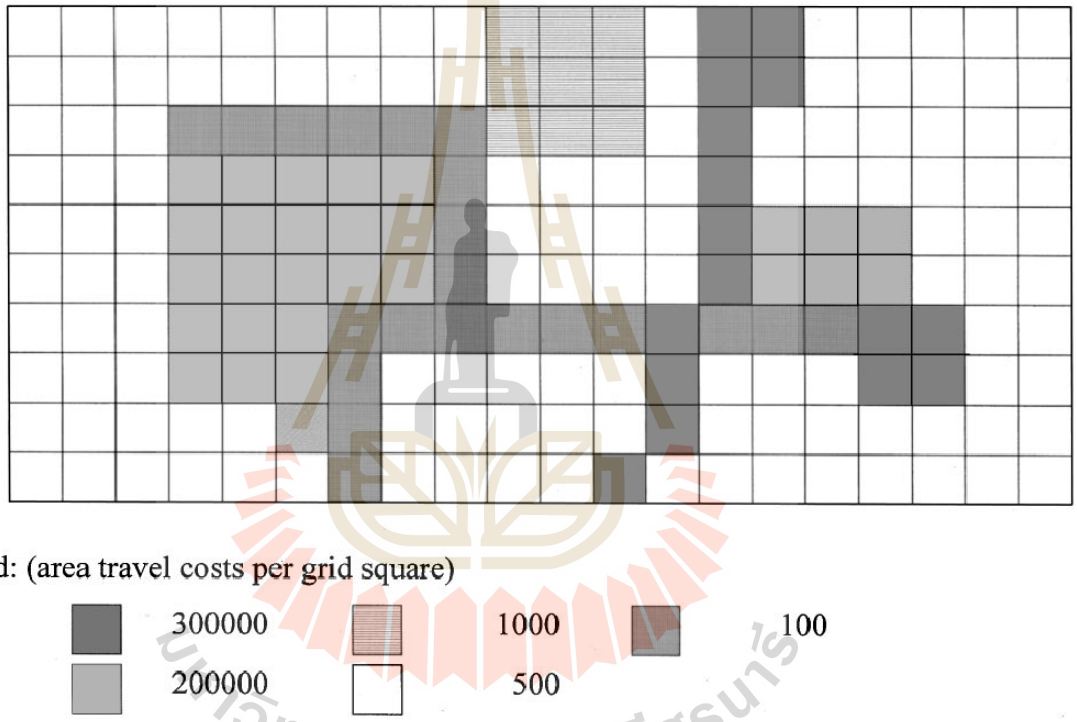


รูปที่ 2.8 เส้นทางเดินที่สั้นที่สุดที่ประมาณในระบบกริด (ที่มา Park et al. 2012)

สำหรับในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางกั้น (Obstacles) ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดที่หมาย ตัวอย่างเช่น ในรูปข้างบน รูปย่อย (b) มีกำแพงกั้นขวางเส้นทาง Shortest path อยู่ ด้วยหลักการสร้างเส้นทางดังกล่าวข้างต้นของแบบจำลอง เส้นทางช่วงแรกจะเริ่มจาก 45° diagonal direction เพราะมีความแตกต่างของทั้งค่า x และ y ในตอนเริ่มต้น ในช่วงที่สอง เมื่อตำแหน่งปัจจุบันมาชนกับสิ่งกีดขวาง แบบจำลองก็จะเลือกเส้นทางอื่นที่เป็นไปได้ที่เลี่ยงการชนกับสิ่งกีดขวาง นั้นคือทิศ 90° cardinal direction เนื่องจากทำให้สามารถลดความแตกต่างของค่า y ระหว่างสองจุดได้ จนกระทั่งพ้นแนวกำแพงจึงเลือกเส้นทางในทิศ

Diagonal direction เพื่อไปให้ถึงจุดหมายได้ดัง Path C ดังแสดงในรูป ซึ่งคำนวณระยะทางได้รวม 15.7 หน่วยกริด (1x1.414 + 8x1 + 1x1.414 + 2x1.414 + 2 = 15.7) อย่างไรก็ตามกลับได้ว่า Path C นี้ไม่ได้เป็น Optimal path แต่ path D ได้ให้ระยะทางที่สั้นกว่า ที่เลือกเดินทางไปในทิศ -45° diagonal direction ก่อนในช่วงแรก ที่จะเป็นการเพิ่มค่าความแตกต่างของค่า y โดยที่ Path D ให้ค่าระยะทางรวม 14.5 หน่วยกริดเท่านั้น

นอกจากนี้ Mawdesley, Al-jibouri, and Yang (2002) ยังได้เสนอว่าบางครั้งการเดินทางภายในบริเวณพื้นที่โครงการอาจมีปัจจัยที่ต้องพิจารณานอกเหนือจากค่าระยะทางโดยตรง นั้นคือความยากง่ายในการเดินทางที่ต่างกันซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่างกันได้ เช่น สภาพผิวถนน ความลาดชัน เป็นต้น ดังนั้นสามารถกำหนดค่า Travel cost ที่แตกต่างกันสำหรับพื้นที่ต่าง ๆ ภายในโครงการที่ใช้เป็นเส้นเดินทาง



รูปที่ 2.9 พื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่มีกำหนดค่า Travel cost แตกต่างกันที่บริเวณต่าง ๆ (ที่มา Mawdesley, Al-jibouri, and Yang 2002)

2.4 เงื่อนไขข้อจำกัด

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมากพบว่า เงื่อนไขข้อจำกัด (Constraints) ของแบบจำลอง CSLP ทั่วไปที่มักถูกกำหนดใช้มีดังต่อไปนี้

1. ข้อกำจัดด้านตำแหน่งว่าง (Available locations) หรือพื้นที่โครงการ (Site boundary) แบบจำลอง CSLP ต้องมีการกำหนดขอบเขตพื้นที่ของโครงการที่แน่นอน ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะตำแหน่งที่ว่างที่กำหนดไว้ล่วงหน้า (Predefined locations) มีจำนวน *n* แห่ง หรืออาจเป็นขนาดพื้นที่ของโครงการที่แสดงด้วยค่าระบบพิกัด x-y โดยให้ความยาวของพื้นที่โครงการมีขนาด 0 ถึง X และความกว้างมีขนาด

เป็น 0 ถึง Y การจำกัดขอบเขตนี้หมายถึงว่าจะไม่สามารถวางสิ่งอำนวยความสะดวกใด ๆ เกินกว่าขอบเขตที่กำหนดนี้ได้

ในการกำหนดประเภทของ CSLP แบบ Discrete layout ตำแหน่งที่ว่าง (Locations) บางแห่งอาจไม่เหมาะสมหรือมีขนาดไม่เพียงพอกับบาง Facilities ดังเช่นในการจำลองปัญหาแบบ Unequal-area CSLP (Heng Li and Love 2000) ได้เสนอข้อจำกัดไว้ดังนี้

$$Lp \in N,\ N = \{1, 2, 3, \dots, n\},\ 0 \le p \le n$$

$$F_v \in N,\ N = \{1, 2, 3, \dots, n\},\ 0 \le v \le n$$

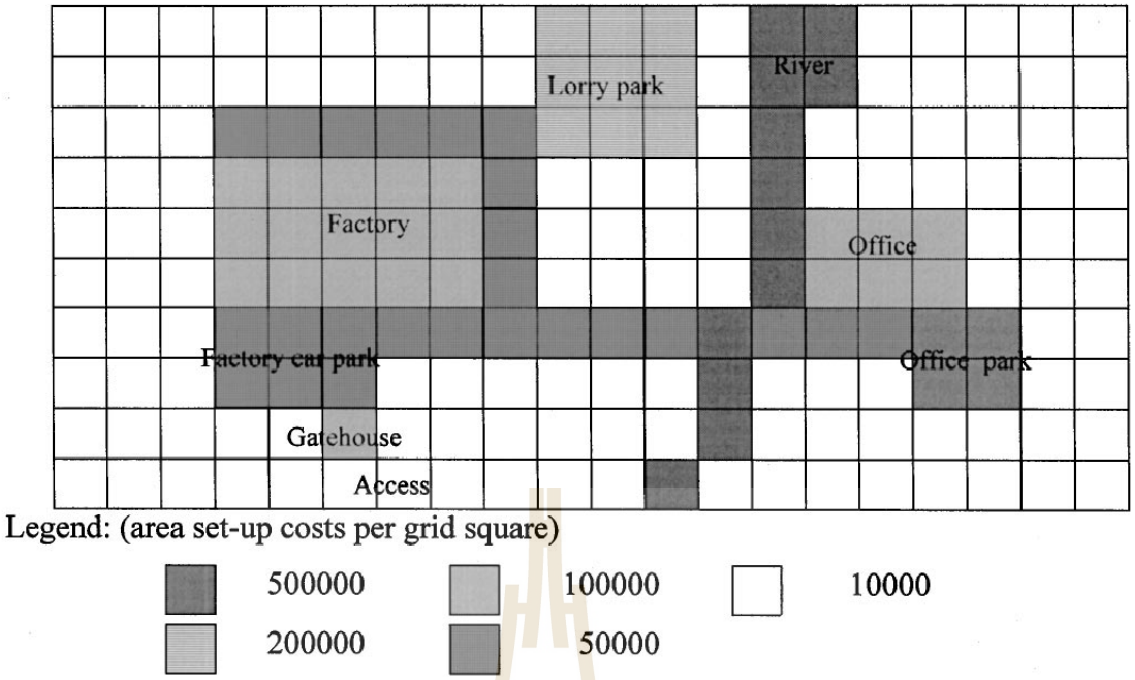
โดยให้ $L_p =$ ซับเซ็ท (subset) ตำแหน่งวาง Discrete locations ที่มีขนาดเล็กกว่า Locations อื่น ๆ ที่เหลือ ซึ่งไม่สามารถรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ใน F_v

$F_v =$ ซับเซ็ท (Subset) สิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities) ที่มีไม่สามารถวางลงบน Locations L_p

N = เซ็ทของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด

n = จำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด

ในขณะที่การจำลองปัญหา CSLP แบบ Continual layout Mawdesley, Al-jibouri, and Yang (2002) ได้เสนอวิธีที่ทำให้สะท้อนความแตกต่างของระดับความพร้อมพื้นที่ในการวางสิ่งอำนวยความสะดวก ด้วยการกำหนดค่าต้นทุนประจำหน่วยกริดของพื้นที่ประกอบด้วย 3 ค่า คือ ต้นทุนการติดตั้ง (Setup cost), ต้นทุนการรื้อถอน (Removal cost), และต้นทุนการเดินทาง (Travel cost) ตัวอย่างเช่น หากต้องการกำหนดบางบริเวณที่ไม่เหมาะสมสำหรับบาง Facilities เนื่องจากบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการจัดเก็บวัสดุก่อสร้างอันตราย บางบริเวณมีสิ่งก่อสร้างอื่นอยู่แล้ว ก็สามารถทำได้โดยการกำหนดให้ใช้ค่า Setup cost ที่แตกต่างกันสำหรับบริเวณต่าง ๆ ภายในพื้นที่ของโครงการ โดยกำหนดให้บริเวณที่ไม่ต้องการให้วาง Facilities หรืออาจมี Facilities เดิมอยู่แล้ว มีค่า Setup cost สูง ๆ ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมสูงและไม่ทำให้ได้คำตอบที่ดี หรือการใช้ค่า Travel cost ที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า



รูปที่ 2.10 พื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่มีกำหนดค่า Set-up cost แตกต่างกันที่บริเวณต่าง ๆ (ที่มา Mawdesley, Al-jibouri, and Yang 2002)

2. ข้อจำกัดด้านการซ้อนทับกัน (Overlap conditions) เป็นเงื่อนไขทั่วไปที่จำเป็นต้องมี โดยกำหนดให้พื้นที่หนึ่งสามารถรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกได้เพียงหนึ่งอันเท่านั้น ดังนั้นสิ่งอำนวยความสะดวก B_i และ B_j ใด ๆ ที่มีตำแหน่งวางที่มุมด้านซ้ายล่างเป็น (x, y) มีพื้นที่เป็น A และมีความกว้างด้านหนึ่งเป็น z ข้อจำกัดด้านการซ้อนทับกันจะสามารถแสดงได้ด้วย

$$\text{Max}\left\{[x_j-(x_i+z_i)][(x_j+z_j)-x_i],[y_j-(y_i+A_i/z_i)][(y_j+A_j/z_j)-y_i]\right\}\geq 0$$

3. ข้อจำกัดด้านระยะห่างระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก (Inter-facility distance constraints) เป็นเงื่อนไขที่เกิดขึ้นระหว่างคู่ Facilities ใดๆ ที่ไม่ต้องการให้วางในตำแหน่งที่ใกล้กันเกินกว่าระยะที่กำหนด ทั้งนี้อาจมีเหตุผลเพื่อความปลอดภัยหรือประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น โรงซ่อมบำรุงที่มีเสียงดังไม่ควรวางอยู่ใกล้สำนักงานสนาม เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$$d_{ij}\geq DMIN_{ij}$$

โดยที่ d_{ij}= ระยะห่างที่คำนวณได้ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j ที่มีข้อจำกัดกันอยู่

$DMIN_{ij}$ = ค่าระยะห่างขั้นต่ำที่ยอมให้อยู่ใกล้กันของสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j

ในทางกลับกันบางคู่ Facilities ใด ๆ อาจต้องการให้วางในตำแหน่งที่ใกล้กันไม่เกินกว่าระยะที่กำหนด เช่น เครนต้องวางในตำแหน่งที่ใกล้กับอาคารที่ก่อสร้าง โรงเตรียมประกอบชิ้นส่วน และโรงเก็บวัสดุ สามารถแสดงเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$$d_{ij}\leq DMAX_{ij}$$

โดยที่ d_{ij}= ระยะห่างที่คำนวณได้ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j ที่มีข้อจำกัดกันอยู่

$DMAX_{ij}$ = ค่าระยะห่างขั้นสูงที่ยอมให้อยู่ไกลกันของสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j

หรือแม้แต่บางคู่ Facilities ใด ๆ อาจต้องการให้วางในตำแหน่งที่ติดกัน ทั้งนี้อาจใช้เงื่อนไขนี้เพื่อสร้างรูปทรงของสิ่งอำนวยความสะดวกให้ได้รูปประกอบสี่เหลี่ยมใด ๆ โดยอาจกำหนดค่าคงที่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ลักษณะการประกอบกันตามที่ต้องการ สามารถแสดงตัวอย่างเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$|x_j - x_i| = z_i$ หรือ $|x_i - x_j| = z_j$

$|y_j - y_i| = C$ หรือ $|y_i - y_j| = C$

โดยที่ C เป็นค่าคงที่ที่ต้องการ

4. ข้อจำกัดด้านการมองเห็น (Visibility constraints) เป็นเงื่อนไขที่เสนอโดย Easa and Hossain (2008) ว่าสิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่งอาจต้องการมองเห็นจากอีกสิ่งอำนวยความสะดวกหนึ่ง หรือตำแหน่งหนึ่งใด ๆ เช่น ป้อมยามต้องการมองเห็นสำนักงานจากมุมมองที่กำหนดค่าหนึ่ง สามารถแสดงเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$$S_{min} \leq (y_i - y_j)/(x_i - x_j) \leq S_{max}$$

โดยที่ S_{min} และ S_{max} = ค่าความชันที่ทำมุมกับแกนนอนที่น้อยที่สุดและมากที่สุดที่กำหนดตามลำดับ นอกจากนี้จะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางใดกั้นขวางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องการมองเห็นกันนี้ด้วย

5. ข้อจำกัดด้าน Orientation ของสิ่งอำนวยความสะดวก Easa and Hossain (2008) ยังเสนอว่าสิ่งอำนวยความสะดวกใด ๆ นอกจากการพิจารณาหาตำแหน่งวางที่เหมาะสมแล้วยังสามารถกำหนดให้มี Orientation ที่ยืดหยุ่นได้อีกด้วย ซึ่งหากพิจารณาในกรณีเฉพาะ Orientation ในแนว Orthogonal directions เท่านั้น จะสามารถแสดงเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$\text{width}_i = \alpha_i b_i + (1 - \alpha_i) h_i$

$\text{height}_i = \beta_i b_i + (1 - \beta_i) h_i$

$(\alpha_i + \beta_i) = 1$

โดยให้ α_i และ β_i = binary variables

b_i และ h_i = ค่าด้านความยาวหรือความกว้างของสิ่งอำนวยความสะดวก i

2.5 พลวัตรของพื้นที่โครงการ

งานวิจัยเริ่มต้น ได้แก่ Yeh (1995), H. Li and Love (1998), และ Hegazy and Elbeltagi (1999) ได้พิจารณาปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างแบบคงที่ (Static layout) ซึ่งหมายถึงการสร้างผัง

สถานที่ก่อสร้างที่ดีสำหรับการดำเนินโครงการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสิ้น โดยไม่คำนึงถึงความต้องการใช้งานสิ่งอำนวยความสะดวกที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความก้าวหน้าของโครงการ ผังสถานที่ก่อสร้างจึงถูกพิจารณาจัดวางเพียงครั้งเดียวโดยไม่มีการปรับเปลี่ยนไปตามเวลาของโครงการ ในขณะที่งานวิจัยที่ถัดมาจะมีการพิจารณาปัญหาการจัดผังสถานที่แบบพลวัตร (Dynamic layout) โดยจะคำนึงถึงความต้องการใช้งานพื้นที่ สภาพเงื่อนไขและสิ่งอำนวยความสะดวกที่ไม่คงที่แต่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาของโครงการก่อสร้าง ส่งผลให้ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ที่ต้องการใช้เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ใหม่ตามความเหมาะสมในขณะนั้น (Zouein and Tommelein 1999; Ning, Lam, and Lam 2010) ทำให้การจัดวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายสำหรับการย้ายตำแหน่งด้วย (Relocation costs)

Elbeltagi, Hegazy, and Eldosouky (2004) ได้นิยามการจัดผังสถานที่ก่อสร้างแบบ Dynamic ว่าหมายถึงการจัดผังตำแหน่งและขนาดพื้นที่ที่ต้องการสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ หลายครั้งตามแต่ละช่วงเวลาของแผนงานก่อสร้างเพื่อให้สอดคล้องกับกลุ่มกิจกรรมที่ต้องทำไปตลอดระยะเวลาโครงการ โดยพวกเขาได้เสนอขั้นตอนของการกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องการในช่วงเวลาหนึ่ง เป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. มีการระบุรายการและขนาดของสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นทั้งหมดไว้ก่อน

2. มีการวางแผนกระบวนการก่อสร้างซึ่งแสดงกิจกรรมต่าง ๆ ของโครงการไว้ก่อน

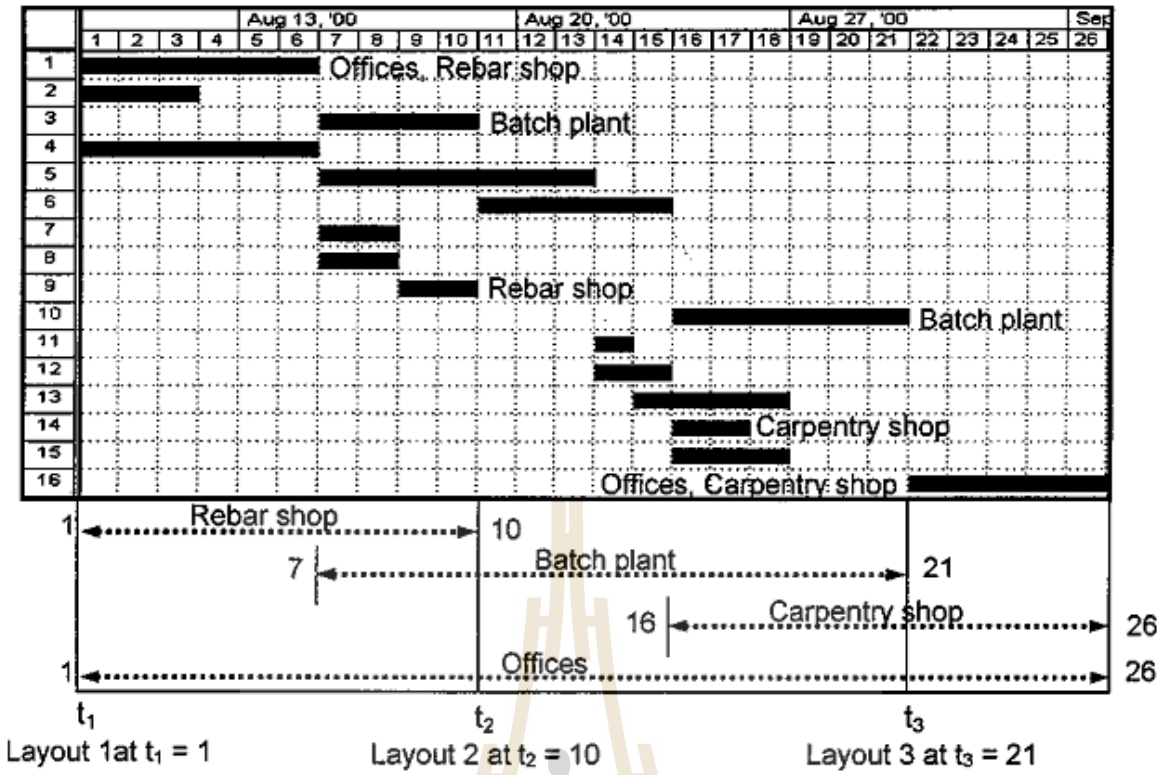
3. มีการกำหนดความต้องการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกของกิจกรรม อาจรวมถึงทรัพยากรที่จำเป็นอื่น ๆ ของกิจกรรม เช่น แรงงาน เครื่องจักร ซึ่งอาจจะทำให้ต้องกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรอื่น ๆ เหล่านี้

4. สามารถกำหนดระยะเวลาใช้งาน (Service time) ของสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ ซึ่งหาได้จากแผนงาน ได้เป็น Facility start time (FST) และ Facility finish time (FFT) ของแต่ละสิ่งอำนวยความสะดวก

5. สามารถกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องใช้ในแต่ละช่วงเวลา (Time interval) ได้

โดยสมมติกรณีตัวอย่างดังแผนงานในรูปข้างล่าง กำหนดให้มีรายการสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมดเป็น สำนักงาน โรงเหล็กเส้น โรงผสมคอนกรีต โรงงานไม้ โดยที่สิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้จะถูกจัดสรรให้กับกิจกรรมต่าง ๆ ในแผนงาน ตัวอย่างเช่น โรงผสมคอนกรีตถูกจัดสรรให้กับกิจกรรม 3 และ 10 ดังนั้นระยะเวลาใช้งานของโรงผสมคอนกรีตคือ ตั้งแต่เวลาเริ่มของกิจกรรม 3 ไปจนถึงเวลาเสร็จของกิจกรรม 10 พิจารณาเช่นนี้กับสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหลือ จึงได้เป็นระยะเวลาใช้งาน (service time) ของทุกสิ่งอำนวยความสะดวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.11 สิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องการสำหรับแต่ละช่วงเวลา (Elbeltagi, Hegazy, and Eldosouky 2004)

เมื่อรู้ FST และ FFT ของทุกสิ่งอำนวยความสะดวกแล้ว จะทำให้สามารถตัดสินใจจัดช่วงเวลา (Time interval) ได้ โดยให้ t_j เป็นเวลาเริ่มของ Layout j และใช้ผังนี้จนกระทั่งถึงเวลาเริ่มของ Layout j+1 ถัดไป t_{j+1} สิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องมีในช่วงเวลานี้จะพิจารณาจาก

(a) $t_j \leq FST_i < t_{j+1}$ หรือ

(b) $FST_i < t_j$ and $FFT_i > t_j$

ดังนั้นจากตัวอย่างนี้จะได้ว่า สิ่งอำนวยความสะดวกที่ต้องมีใน Layout 2 ได้แก่ โรงผสมคอนกรีต สำนักงาน โรงงานไม้

อย่างไรก็ตาม ควรคำนึงด้วยว่าการปรับเปลี่ยนผังสถานที่ก่อสร้างแต่ละครั้งจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ในการกำหนดปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างจึงควรมีขึ้นเพื่อหาแผนการที่ลดค่าใช้จ่ายในการย้ายตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และเพื่อลดการรบกวนการทำงานลงให้น้อยที่สุด เช่น หากสิ่งอำนวยความสะดวกใดที่ต้องการใช้ในทั้ง 2 ช่วงเวลาที่ติดกัน ก็ควรจัดให้อยู่ตำแหน่งเดิม โดย (Elbeltagi, Hegazy, and Eldosouky (2004) เสนอให้กำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้งานต่อเนื่องจากช่วงเวลาก่อนเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทคงที่ (Fixed facilities) เช่น โรงผสมคอนกรีตที่เริ่มจัดวางในช่วงเวลาที่ 1 เมื่อต้องใช้ต่อเนื่องมาถึงช่วงเวลาที่ 2 ก็พิจารณาให้เป็น Fixed facility ในการจัดผังของช่วงเวลาที่ 2

El Rayes (2009) ได้เสนอว่าแบบจำลอง Dynamic site layout planning ที่มีอยู่พิจารณาแบ่งแยกระยะเวลาของโครงการออกเป็นหลาย ๆ ช่วงเวลาที่ติดกัน และทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละช่วงเวลาเหล่านั้นตามลำดับ ได้แก่งานของ Zouein and Tommelein (1999) และ (Elbeltagi, Hegazy, and Eldosouky 2004) หรืออย่างงานของ Osman, Georgy, and Ibrahim (2003) ที่นำเอาการประยุกต์ใช้ CAD กับปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ร่วมทั้งงานวิจัยที่นำเอาเทคนิค 4D CAD มาใช้ในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ได้แก่ Wang et al. (2004) และ Ma, Shen, and Zhang (2005) ซึ่งการพิจารณาปัญหาแบบแบ่งแยกช่วงเวลาออกจากกันนั้น ทำให้ได้คำตอบที่เป็นลักษณะ Local optimal solution สำหรับผังของแต่ละช่วงเวลาเหล่านั้น โดยเฉพาะผังของช่วงเวลาหลังสามารถถูกผลกระทบจากคำตอบที่ได้จากผังของช่วงเวลาก่อนหน้าได้ ซึ่งทำให้ไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดแบบ Global optimal solution สำหรับตลอดทั้งโครงการ หรืออาจทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นไปได้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากการจัดผังในช่วงเวลาก่อนหน้ากลายเป็นอุปสรรคสำหรับการจัดผังในช่วงเวลาที่ถัดมา ดังนั้น El Rayes (2009) จึงได้เสนอการสร้างแบบจำลอง Dynamic CSLP ที่หาคำตอบแบบ Global optimal site layout ที่จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำที่สุดของทั้งระยะเวลาโครงการ

จำนวนของตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดในแบบจำลองขึ้นอยู่กับจำนวนช่วงเวลา (Construction stages) ที่พิจารณาจัดผังแบบ Dynamic นี้ โดยมีค่าเท่ากับผลรวมของจำนวนตัวแปรตัดสินใจในแต่ละช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับจำนวนตำแหน่ง (Location) และ Orientation การกำหนดจำนวนช่วงเวลาจึงควรพิจารณาให้รอบคอบ หากจำนวนตัวแปรตัดสินใจมากก็จะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการหาคำตอบสูง แต่ก็จะทำให้ได้คำตอบในระดับที่ละเอียด โดยทั่วไปอาจใช้ Milestones ในแผนงานเป็นตัวกำหนดแบ่งจำนวนช่วงเวลา (Stages) ในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง เนื่องจาก Milestones เป็นตัวกำหนดจุดเสร็จสิ้นและจุดเริ่มต้นของหมวดงานหลัก ๆ ของโครงการ จึงมักมีการเลิกใช้หรือมีความต้องการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ El Rayes (2009) เป็นการหาค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุดในการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่เกิดขึ้นรวมทุกช่วงเวลา (Stages) ตลอดทั้งระยะเวลาโครงการ ประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 3 ประเภทคือ Travel cost (TC_t), Relocation cost (RC_t), และ Constraint-violation cost (CVC_t) ดังแสดงในสมการข้างล่าง

Minimize total site layout cost = $\sum_{t=1}^{T} TC_t + \sum_{t=2}^{T} RC_t + \sum_{t=1}^{T} CVC_t$

โดยที่ T = จำนวนช่วงเวลา (Construction stages) ของโครงการ

TC_t = Travel costs ระหว่าง facilities ทั้งหมดใน stage t

RC_t = Relocation cost จากการเคลื่อนย้าย facilities ทั้งหมดใน stage t

CVC_t = Constraint-violation cost สำหรับ facilities ทั้งหมดใน stage t

Wang et al. (2004) และ Ma, Shen, and Zhang (2005) ได้นำเทคนิค 4D CAD (3D CAD modeling + scheduling time) มาช่วยในการวางแผนจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งทั้งนี้ความต้องการใช้ทรัพยากรประเภทต่าง ๆ ของโครงการ (รวมทั้งพื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวก) จะเปลี่ยนแปลงไปตามความก้าวหน้าของโครงการ ทำให้ประเด็นความพลวัตรของกิจกรรมก่อสร้างและพื้นที่ของโครงการได้ถูกนำมาแสดง visualization ให้ผู้ใช้ได้รับรู้ได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Xu and Li (2012) ที่พิจารณาถึงความไม่แน่นอนในการวางแผนจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ว่ามาจากการตัดสินใจของผู้วางแผนเอง และที่มาจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ จึงทำให้การจัดผังมี Fuzziness and randomness อยู่ในตัวแบบจำลองของปัญหา พวกเขาจึงได้เสนอแบบจำลอง Dynamic construction site layout planning under fuzzy random environment ที่ใช้พิจารณาให้สมจริงกับสถานการณ์ที่เป็นอยู่

2.6 Optimization algorithms

Optimization algorithms สำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดก็เป็นประเด็นสำคัญที่ถูกพิจารณาในงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมีลักษณะเป็น Combinatorial optimization การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองอาจไม่สามารถทำได้เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ แนวทางการหาคำตอบที่ปรากฏใช้อยู่ในงานวิจัยที่ผ่านมาแบ่งได้สามแนวทางคือ แบบ Stochastic searching algorithms ที่ใช้การ Optimization ด้วย Algorithms ที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ เช่น Genetic Algorithms (H. Li and Love 1998; Heng Li and Love 2000; Hegazy and Elbeltagi 1999; Mawdesley, Al-jibouri, and Yang 2002), Annealed Neural Network (Yeh 1995), Ant Colony Algorithms (Ning, Lam, and Lam 2010; Ning, Lam, and Lam 2011; Ning and Lam 2013) แบบที่สองคือแบบ Exhaustive search (Sadeghpour, Moselhi, and Alkass 2004) และแบบที่สามคือแบบ Mathematical optimization ได้แก่ การใช้เทคนิค Linear Programming (Zouein and Tommelein 1999), Integer Programming ด้วยการใช้ LINGO software (Easa and Hossain 2008)

2.6.1 Annealed Neural Network

Yeh (1995) ได้นำเสนอ Algorithm ที่เรียกว่า Annealed neural network มาใช้ในการหาคำตอบของ CSLP ซึ่งเป็น Algorithm ที่ผสมผสาน Simulated annealing algorithm และ Hopfield neural network เข้าด้วยกัน โดยทำให้ได้ลักษณะที่ดีของทั้งสอง คือ การลู่เข้าหาคำตอบอย่างรวดเร็ว (Rapid convergence) ของ Neural network ในขณะที่ยังสามารถคงคุณภาพของคำตอบที่ดีได้ด้วย Simulated annealing โดยรายละเอียดของ Simulated annealing มีดังนี้

Simulated annealing (SA) เป็น Algorithm หนึ่งในการหาคำตอบของปัญหา Optimization ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยได้แรงบันดาลใจมาจากกระบวนการอบเหนียว (Annealing) ของชิ้นงานโลหะ ที่มีการหลอมเหลวโลหะด้วยความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างภายในของอะตอมโลหะ ทั้งนี้ปัญหาสำคัญของการ Optimization คือการติดกับดักของ Local optima หรือคำตอบที่ไม่ได้ดีจริง แต่เป็นคำตอบเพียงที่ดีกว่าคำตอบบริเวณใกล้เคียงนั้น ขั้นตอนของ SA เริ่มจากการกำหนดตัวแปรอุณหภูมิ (Temperature variable) ไว้ที่ค่าสูง ๆ เพื่อจำลองการหลอมเหลวโลหะ จากนั้นจึงปล่อยให้ Algorithm ทำการวนรอบพร้อมกับการลดค่าตัวแปรอุณหภูมินี้ลงอย่างช้า ๆ โดยที่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง จะให้มีความน่าจะเป็นมากที่ Algorithm จะยอมรับคำตอบที่แย่กว่าคำตอบปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการเปิดโอกาสให้ Algorithm สามารถออกจากบริเวณคำตอบที่เป็น Local optimums ได้ที่ช่วงต้นของการค้นหา แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงค่าความน่าจะเป็นนี้จะลดลงตามลำดับ ทำให้ Algorithm ยอมรับค่าคำตอบที่แย่กว่าคำตอบปัจจุบันได้ยากขึ้น และเป็นการค้นหาคำตอบที่มุ่งเน้นไปที่บริเวณปัจจุบันที่ควรจะมีคำตอบ Global optimum อยู่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงของค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่แย่นี้เองจึงทำให้ SA มีประสิทธิภาพดีในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวนี้ เรียกว่า Boltzmann probability ซึ่งหาได้จากสมการ

$$P = exp\left(-\frac{\Delta E}{T}\right)$$

โดยที่ $\Delta E = E_{k+1} - E_k$ ค่าความแตกต่างของระดับพลังงานที่รอบการคำนวณที่ k+1 และ k

ค่าพลังงานนี้ก็เปรียบแทนได้กับค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ที่ใช้ประเมินคุณภาพของคำตอบ)

T = ค่าอุณหภูมิ

ค่าอุณหภูมิ T นี้ กำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมไว้ แล้วจึงให้ค่อย ๆ ลดลงตามสมการ

$$T_{k+1} = \alpha \cdot T_k$$

โดยที่ α ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของอุณหภูมิ มักกำหนดที่ค่าระหว่าง 0.90 ถึง 0.99

T_{k+1} และ T_k = ค่าอุณหภูมิที่รอบการคำนวณที่ k+1 และ k

จากสมการค่าความน่าจะเป็นจะได้ว่า ยิ่งมีความแตกต่างเล็กน้อยของค่าพลังงาน และที่ค่าอุณหภูมิสูง ยิ่งมีความน่าจะเป็น P สูงที่จะยอมรับคำตอบที่กำลังพิจารณารอบที่ k+1

Algorithm ทั่วไปของ SA สามารถเขียนได้ดังนี้

Set initial solution S

Set a starting temperature T

Do until the stop criteria is met (E is stationary or T_{min} is reached)

Choose a solution S' in the neighborhood of S

Calculate enegy gap $\Delta E = E(S') - E(S)$

If then S=S'

Else

Choose a random number X between 0 and 1

If X < P then S = S'

Lower temperature T

Loop

2.6.2 Genetic Algorithms

GAs เป็น Algorithms สำหรับการ Optimization ที่มีกระบวนการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยการค้นหาคำตอบจากพื้นที่ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ข้อดีของ GAs คือความสามารถในการค้นหาคำตอบแบบสุ่มที่สามารถหลีกเลี่ยงให้ไม่ติดกับ Local optima แต่ก็ยังคงมีทิศทางของการค้นหาคำตอบที่มุ่งไปสู่ Globally optimal solution ได้ GAs ถูกพัฒนาขึ้นโดยได้แรงบันดาลใจมาจากกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (Biological evolution) โดยทั่วไปกระบวนการของ GAs จำเป็นต้องมีการสร้างวิธีเข้ารหัส (Encoding) ชุดคำตอบใด ๆ ให้เป็น String of chromosome ซึ่งเป็นสายของข้อมูลที่ประกอบขึ้นด้วยหน่วยข้อมูลย่อยหรือ Genes ที่เก็บค่าของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัว จากนั้น Chromosome นี้ก็จะเป็นตัวแทนเปรียบเสมือนสิ่งมีชีวิตตัวหนึ่งที่ต้องนำไปประเมินหาค่าความแข็งแรง (Fitness) ซึ่งก็คือ Objective function ของปัญหานั่นเอง กลุ่มของสิ่งมีชีวิตในรุ่นหนึ่งเรียกว่าประชากรจะถูกนำไปผ่านกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ ได้แก่ Crossover, และ Mutation เพื่อให้สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่าได้มีโอกาสสร้างรุ่นถัดไปที่แข็งแรงยิ่งขึ้น ส่วนที่อ่อนแอก็ถูกกำจัดออกไป ซึ่งเป็นไปตามกลไกของวิวัฒนาการที่เรียกว่า Survival of the fittest

งานวิจัย CSLP หลายชิ้นได้มีการนำ GAs เป็นเทคนิคในการหาคำตอบ ตัวอย่างเช่น Hegazy and Elbeltagi (1999) H. Li and Love (1998) วิธีเข้ารหัสคำตอบของ CSLP โดยทั่วไปมักใช้แบบ Permutation representation string โดยเป็นการเก็บข้อมูลตำแหน่ง (Locations) ของสิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities) ทุกอันเรียงตามลำดับและไม่ซ้ำกัน กระบวนการ GAs จะเริ่มต้นจากการสร้างประชากรของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solutions) ขึ้นมาเป็นรุ่นที่หนึ่งก่อนด้วยการสุ่ม จำนวนประชากรในรุ่นจะต้องถูกกำหนดไว้ก่อน จากนั้นจึงนำประชากรนี้ไปผ่านกระบวนการถัดไป

กระบวนการ Crossover เป็นการคัดเลือก Chromosomes มา 2 ตัวเพื่อเป็นพ่อแม่ที่จะสร้างให้เกิดเป็นสิ่งมีชีวิตลูกที่เป็นรุ่นถัดไป โดยการคัดเลือกนี้จะทำการสุ่มด้วยค่าความน่าจะเป็น (Crossover

probability) ที่กำหนดไว้ สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงพอและไม่ได้ถูก Crossover ก็อาจเลือกให้เข้าไปอยู่ในประชากรรุ่นถัดไปได้ ผลจากกระบวนการ Crossover จึงทำให้ได้ประชากรรุ่นลูกถัดไปโดยมีจำนวนประชากรในรุ่นเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

กระบวนการ Mutation เป็นการสุ่มเปลี่ยนแปลงค่าของ Genes ของ Chromosome โดยสิ่งมีชีวิตรุ่นลูกที่เพิ่งถูกสร้างขึ้นจะถูกเลือกมาด้วยความน่าจะเป็น (Mutation probability) ที่กำหนดไว้ จากนั้นค่าข้อมูลของ Genes บางตำแหน่งจะถูกเปลี่ยนอย่างสุ่ม หรืออาจเป็นการสลับค่ากันระหว่าง 2 Genes เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ต่างออกไป ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในรุ่น

ขั้นตอนของ GAs สามารถสรุปได้ดังนี้

1. Chromosome representation วิธีการเข้ารหัสของคำตอบ

2. Initialization of population การสร้างประชากรรุ่นแรก

3. Crossover การจับคู่ผสมพันธุ์

4. Mutation การกลายพันธุ์

5. Fitness evaluation การประเมินความแข็งแรง เพื่อนำประชากรรุ่นใหม่ที่สร้างขึ้นไปเป็นพ่อแม่เพื่อสร้างประชากรรุ่นถัดไป ซึ่งเป็นการวนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 เช่นนี้เรื่อยไปจนได้ประชากรรุ่นสุดท้ายที่กำหนดไว้ หรือได้ค่าคำตอบที่ดีเพียงพอแล้วจากการประเมินความแข็งแรง

2.6.3 Ant Colony

Ant Colony Optimization (ACO) เป็น Algorithm สำหรับการหาคำตอบในกระบวนการ Optimization ที่ได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมหาเส้นทางเพื่อไปถึงแหล่งอาหารของมด ซึ่งอาจจัด ACO เป็นกลุ่มย่อยในกลุ่มพวก Swarm intelligence โดยเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้กับปัญหา Combinatorial optimization problems ดังเช่น CSLP พฤติกรรมของมดในการหาอาหารจะทิ้งกลิ่นฟีโรโมนทำเป็นรอยทางตามทางที่เดิน (Pheromone trails) ทำให้มดต่าง ๆ สามารถสื่อสารและร่วมมือกันในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดไปสู่แหล่งอาหารได้ โดยทั่วไปเมื่อมดพบรอยทางฟีโรโมนมันก็จะเดินตามเพราะเป็นการสื่อสารมาจากมดตัวที่พบแหล่งอาหาร อย่างไรก็ตามพวกมดไม่ได้เดินตามรอยทางฟีโรโมนทุกครั้งแต่ขึ้นกับความเข้มข้นของกลิ่นฟีโรโมนนั้น มดตัวหนึ่งอาจตัดสินใจไม่ไปตามรอยทางฟีโรโมนแต่เลือกทางเดินแบบสุ่มที่ไม่มีกลิ่นฟีโรโมนเลย โดยเฉลี่ยแล้วยิ่งกลิ่นของฟีโรโมนเข้มข้นมากยิ่งมีโอกาสทำให้มดตัวนั้นเลือกเดินตามรอยทางนั้นไป แต่กลิ่นของฟีโรโมนนี้จะค่อย ๆ จางหายไปตามเวลา หากไม่มีมดตัวอื่น ๆ มาคอยเพิ่มความเข้มข้นของฟีโรโมนให้กับรอยทางนั้น เป็นผลให้รอยทางที่ไม่ได้นำไปสู่แหล่งอาหารแล้วค่อย ๆ ถูกเลิกใช้ไปเอง เปิดโอกาสให้พวกมดไปหาเส้นทางใหม่หรือแหล่งอาหารใหม่ ๆ ได้นั่นเอง

จากพฤติกรรมการแตกแถวของมดไม่เดินตามรอยทางทุกครั้ง แต่กลับเลือกเส้นทางใหม่แบบสุ่มในบางโอกาส ทำให้อาจมีมดบางตัวที่สามารถไปพบเส้นทางไปสู่แหล่งอาหารเดิมที่สั้นกว่าและดีกว่าเดิมได้ ทั้งนี้แม้ว่ารอยทางฟีโรโมนเดิมจะมีกลิ่นที่เข้มข้นในเวลานั้นเนื่องจากมีมดจำนวนมากใช้เดินทางไปสู่แหล่งอาหาร รอยทางฟีโรโมนเส้นทางใหม่เพิ่งเริ่มเกิดขึ้นจากมดที่แตกแถวไปพบโดยบังเอิญ แต่เส้นทางที่สั้นกว่าจะสามารถสะสมกลิ่นฟีโรโมนที่มดเดินทางผ่านได้มากกว่าเพราะใช้เวลาเดินทางสั้นกว่าและกลิ่นยังคงไม่จางหายไป ดังนั้นเส้นทางใดยิ่งสั้นยิ่งสามารถสะสมฟิโรโมนในรอยทางนั้นไว้ได้ดีกว่า และยิ่งดึงดูดให้มดตัวอื่น ๆ ยิ่งหันมาใช้เส้นทางนี้ที่สั้นกว่าและมีกลิ่นฟีโรโมนที่เข้มข้นกว่า จนทำให้เส้นทางที่ยาวกว่ายิ่งมีมดใช้น้อยลง ยิ่งมีกลิ่นที่ค่อย ๆ จางไปจนถูกเลิกใช้ไปในที่สุด ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้เองที่นำมาปรับใช้เป็นกลยุทธ์สำหรับการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการ Optimization รายละเอียดขั้นตอนของ ACO ที่ประยุกต์ใช้กับ CSLP เสนอโดย Ning, Lam, and Lam (2010) มีดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่า Heuristic information หรือ Heuristic value (η) เป็นค่าที่ใช้แสดงแทนข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับตัวปัญหาที่พิจารณา โดยทั่วไปมักใช้ η เป็นฟังก์ชันต้นทุนของการเพิ่มช่วงเส้นทาง (Component or Connection) เข้าไปในตัวคำตอบ ในกรณีของ CSLP ได้กำหนดให้

$$\eta_{ij} = {1}/{(f_i \cdot d_j)}$$

โดยที่ η_{ij} = Heuristic information ของการจัดวาง Facility i ไว้ที่ location j

f_i = ค่าผลรวมของจำนวนการเดินทาง (Closeness relationship) ของ facility i ไปยัง facilities อื่น ๆ ยิ่งมีค่ามากแสดงถึงความสำคัญของ facility i นั้น

d_j = ค่าผลรวมของระยะทางของ Location j ไปยัง Location อื่น ๆ ยิ่งมีค่าน้อยแสดงว่า location นั้นอยู่ในตำแหน่งที่เป็นศูนย์กลางของสถานที่ก่อสร้าง

2. กำหนดลำดับการจัดวางตำแหน่งให้กับ Facilities

ลำดับการจัดวาง (Assignment sequence) จะถูกกำหนดขึ้นสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ โดยที่จะพิจารณาใช้ค่า f_i เรียงลำดับการจัดวางตำแหน่ง สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีค่า f_i มากจะถูกจัดวางก่อนแล้วไล่ไปตามลำดับ Non-increasing order

3. การกำหนด Location ให้กับ Facility ในแต่ละขั้นของการสร้างช่วงเส้นทางของมด ให้มดตัวที่ k กำหนดตำแหน่งให้กับ Facility i ใด ๆ ที่ยังไม่มีตำแหน่ง ให้วางลงบนตำแหน่งว่าง Location j ด้วยค่าความน่าจะเป็นดังนี้

$$j = \begin{cases} max_{j \epsilon N_i^k} \left\{ \tau_{ij}^{\alpha} [\eta_{ij}]^{\beta} \right\}, if\ q \le q_0; \\ J,\ otherwise \end{cases}$$

$$p_{ij}^{k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l \epsilon N_i^k} [\tau_{il}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{il}]^{\beta}} \quad \text{if } j \epsilon N_i^k$$

โดยที่ $\tau_{ij}(t)$ = Ants' pheromone information ที่เวลา t (Iteration t)

η_{ij} = Heuristic information ระหว่าง Facility i และ Location j

α และ β = ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดอิทธิพลสัมพัทธ์ของ Pheromone information และ Heuristic information ตามลำดับ

q = ค่าตัวแปรสุ่มที่หาได้จาก Uniformly distributed ในช่วง [0, 1]

q_0 = ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดระหว่าง [0, 1] เพื่อแบ่งแยกการพิจารณาของมด

ซึ่งเมื่อสุ่มค่า q ได้แล้วปรากฏว่า q <= q_0 หมายถึงจะต้องให้มด k เลือกสร้างช่วงเส้นทางนี้ด้วยค่ามากที่สุดของ $\tau_{ij}^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}$ จากช่วงเส้นทางที่เป็นไปได้ หรือไม่เช่นนั้น มด k จะต้องเลือกสร้างช่วงเส้นทางนี้ตามความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จาก $p_{ij}^{k}(t)$

N_i^k = ช่วงเส้นทางที่เป็นไปได้ที่เชื่อมออกจากโหนด i หรือหมายถึงเซ็ตของ Locations เฉพาะที่ยังไม่ถูกจัดสรร

ขั้นตอนการสร้างช่วงเส้นทางจะถูกวนรอบทำซ้ำจนกระทั่งได้เส้นทางที่ครบสมบูรณ์ หรือได้ Complete solution อันหนึ่ง ที่สร้างโดยมดตัวที่ k และทำซ้ำ ๆ กับมดตัวอื่น ๆ จนกระทั่งครบทุกตัว

4. การปรับปรุง Pheromone ภายหลังจากที่มดทุกตัวได้สร้างเส้นทางที่สมบูรณ์หรือคำตอบที่สมบูรณ์ครบทุกตัวแล้ว ค่าของกลิ่น pheromone จะถูกปรับปรุงด้วยสมการ

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{best}$$

โดยที่ ρ = ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นจากตัวเลขที่อยู่ในช่วง (0, 1) ทั้งนี้ใช้เพื่อรักษากลิ่นฟีโรโมนของรอบเวลาที่แล้ว (t) ไว้ ซึ่งจะหมายถึงว่ากลิ่นในสัดส่วน 1 - ρ ได้ระเหยไป นอกจากนี้พารามิเตอร์ ρ ยังใช้เพื่อป้องกันการสะสมของกลิ่นฟีโรโมนที่มากเกินไปอย่างไม่มีขีดจำกัด จึงทำให้ algorithm สามารถมีโอกาสหลุดออกจากเส้นทางเดิม ๆ ได้

$$\Delta\tau_{ij}^{best} = \begin{cases} {}^{1}/_{F_{\phi\ best}}, or; \\ 0, otherwise \end{cases}$$ เป็นค่าที่ส่งต่อกลิ่นฟีโรโมนพิเศษ

โดยที่ หากเป็นช่วงเส้นทางที่การวาง Facility i ที่ตำแหน่ง Location j ในคำตอบที่ดีที่สุด $\phi\ best$ จะให้มีการส่งต่อค่ากลิ่นฟีโรโมนเพิ่มพิเศษ

$F_{\phi\ best}$ = ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของคำตอบที่ดีที่สุด

ภายหลังจากที่กลิ่นฟีโรโมนได้ถูกปรับปรุงแล้ว ยังสามารถกำหนดขอบเขตของผลลัพธ์ของการปรับปรุงกลิ่นได้ด้วย ซึ่งถ้าเป็นการใช้หลักการของ Max-min ant system (MMAS) (Ning, Lam, and Lam 2010) ยังมีเงื่อนไขขอบเขตของปริมาณฟีโรโมนที่อนุญาตไว้ดังนี้

ถ้า $\tau_{ij} > \tau_{max}$ แล้วจะกำหนดปรับค่าให้ $\tau_{ij} = \tau_{max}$ แต่ถ้า $\tau_{ij} < \tau_{min}$ แล้วจะกำหนดปรับค่าให้ $\tau_{ij} = \tau_{min}$

ซึ่งข้อดีของการใช้ MMAS คือการอนุญาตให้เฉพาะมดตัวที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนั้น (Iteration-best ant) เป็นตัวที่เพิ่มกลิ่นฟีโรโมนลงไปในเส้นทาง หรือให้มดตัวที่พบคำตอบที่ดีที่สุดจากทั้งหมด (Global-best ant) ทั้งยังมีการจำกัดปริมาณฟีโรโมนที่จะสะสมบนเส้นทางให้ไม่เกินกว่าค่าสูงสุดและไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนด $[\tau_{min}, \tau_{max}]$

2.6.4 Particle Swarm

Particle Swarm Optimization (PSO) เป็น Algorithm สำหรับการหาคำตอบในกระบวนการ Optimization ที่ได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์รวมฝูง เช่น ฝูงนก หรือฝูงปลา (Eberhart and Kennedy 1995) ซึ่งมีหลักการที่ใช้หน่วยประชากรของฝูงช่วยกันค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดไปบนพื้นที่ของคำตอบ โดยที่ทุกตัวในฝูงไม่มีตัวใดรู้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้กลยุทธ์การเคลื่อนที่ตามตัวที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงไป PSO มีส่วนที่คล้ายกับ Algorithms กลุ่มพวกที่ใช้หลักการวิวัฒนาการ เช่น Genetic Algorithms (GAs) ตรงที่จะเริ่มต้นขั้นตอนด้วยการสร้างประชากรของคำตอบรุ่นแรกขึ้นมาแบบสุ่ม จากนั้นจะค่อย ๆ พัฒนาคำตอบให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ผ่านการปรับปรุงแบบวนรอบไปเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตาม ข้อดีของ PSO ที่เหนือกว่า GAs หรือแม้กระทั่ง ACO คือ ตัว Algorithm มีความเรียบง่าย และใช้จำนวนพารามิเตอร์น้อยกว่า รวมทั้ง PSO ไม่ได้ใช้ Genetic operators เช่น Crossover และ Mutation แต่ใช้การปรับปรุงตำแหน่งของตัวเองด้วยค่าความเร็ว เมื่อเทียบกับ GAs จะเห็นว่า Mechanism ของการส่งต่อข้อมูลจากรุ่นสู่รุ่น (รอบต่อรอบ) ต่างจากของ PSO ซึ่ง GAs จะใช้ Chromosomes พ่อแม่สองตัวแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน แต่ PSO จะใช้ค่าข้อมูลที่ดีสุดที่พบปัจจุบันเป็นตัวส่งต่อข้อมูลไปสู่รอบถัดไป การพัฒนาจึงมีทิศทางไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดโดยตรงพร้อมทั้งยังมีการช่วยกันหาคำตอบแบบรวมฝูง จึงทำให้มีการ Convergence ไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว

Yan et al. (2012) ได้อธิบายว่า Algorithm ของ PSO จะทำงานด้วยการใช้กลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนหนึ่งแทนเสมือนเป็นประชากรของฝูง คำตอบแต่ละตัวจะทำหน้าที่เสมือน Particle หนึ่งตัวที่มีค่าของตำแหน่งปัจจุบันอยู่ โดยในตอนเริ่มต้น กลุ่มของคำตอบเหล่านี้จะถูกสุ่มสร้างขึ้นมาก่อนตามจำนวนที่กำหนด ซึ่งอาจทำให้ได้ค่าจุดตำแหน่ง (Position) ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่กระจายอยู่บนพื้นที่คำตอบ (Search space) จากนั้นในแต่ละรอบ Iteration ของ Algorithm คำตอบเหล่านี้จะถูกนำไปประเมินค่า Fitness ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ของปัญหาที่พิจารณา จากนั้น Algorithm จะ

ปล่อยให้ Particle เหล่านี้ “บิน” หรือ “เคลื่อนที่” ไปสู่ตำแหน่งอื่นที่ดีกว่าต่อไป ทั้งนี้แต่ละ Particle จะมีค่าตำแหน่งปัจจุบัน (Position) และค่าความเร็วปัจจุบัน (Velocity) ของตัวเอง และยังมีการจดจำตำแหน่งที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดของมันไว้ด้วย เรียกว่า Individual best position นอกจากนี้ Algorithm ยังมีการจดจำตำแหน่งที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดของฝูง Particles ทั้งหมดอีกด้วย ซึ่งเรียกว่า Global best position ซึ่งทั้งฝูงจะพยายามรักษาทิศทางและความเร็วของทั้งตัวเองและของฝูงไว้

PSO algorithm ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลักที่ต้องดำเนินการแบบวนรอบซ้ำจนกระทั่งเงื่อนไขของการสิ้นสุดเป็นจริง มีดังนี้คือ

1. การประเมินค่า Fitness จากตำแหน่งปัจจุบันของ Particle ทุกตัวของฝูง

2. ทำการปรับปรุงค่า Individual และ Global best fitness values และ positions ที่เคยจดจำไว้ หากในรอบนี้พบค่าที่ดียิ่งขึ้น

3. ทำการปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particle แต่ละตัวของฝูง

ขั้นตอน 2 อันแรกเป็นสิ่งที่ต้องทำทั่วไปใน Algorithms ของการ Optimization การประเมินค่า Fitness ทำด้วยการนำค่าคำตอบที่แทนด้วยตำแหน่งปัจจุบันของ Particle นั้นไปหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) จะได้ค่าที่เรียกว่า Fitness จากนั้นนำค่า Fitness ที่ได้เหล่านั้นมาเปรียบเทียบกับค่า Individual และ Global best fitness values ที่ดีที่สุดที่เคยจดจำไว้ ถ้าค่า Fitness ปัจจุบันดีกว่าก็ให้นำไปแทนที่ค่าที่เคยจดจำไว้ ได้เป็น Individual และ Global best fitness values และ positions ที่ดีที่สุดตัวใหม่

ส่วนขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนที่เฉพาะสำหรับ PSO algorithm ที่ทำการปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particle แต่ละตัวของฝูงตามหลักการของ PSO โดยที่ค่าความเร็วจะปรับปรุงด้วยสมการ

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + c_1 r_1[\hat{x}_i(t) - x_i(t)] + c_2 r_2[g(t) - x_i(t)]$$

โดยที่ i = ดัชนีของ Particle ตัวที่ i

$v_i(t)$ = ความเร็ว (Velocity) ของ Particle ตัวที่ i ที่เวลา (หรือ Iteration) t

$x_i(t)$ = ตำแหน่ง (Position) ของ Particle ตัวที่ i ที่เวลา t

w, c_1, และ c_2 = ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นสัมประสิทธิ์ที่ควบคุมสัดส่วนของค่าของแต่ละพจน์ ซึ่งมักจะกำหนดให้ w = [0, 1.2], c_1 = [0, 2], และ c_2 = [0, 2]

r_1 และ r_2 = เป็นตัวเลขสุ่มที่สร้างใหม่ทุกครั้ง มีค่าในช่วง r_1 และ r_2 = [0, 1]

$\hat{x}_i(t)$ = เป็นค่าตำแหน่ง (คำตอบ) ที่ดีที่สุดสำหรับ Particle i นั้น หรือ Individual best position ของ Particle i ที่เวลา t

g(t) = เป็นค่าตำแหน่ง (คำตอบ) ที่ดีที่สุดของฝูงนั้นที่เคยพบจนถึงเวลาที่ t หรือ Global best position ที่เวลา t

แต่ละพจน์ในสมการที่ใช้ปรับปรุงความเร็วมีบทบาทแตกต่างกันดังนี้คือ พจน์แรกเปรียบได้กับความเฉื่อยของการเคลื่อนที่ (Inertia component) ซึ่งทำให้ Particle เคลื่อนที่ไปตามทิศทางเดิมของเวลาก่อน โดยสามารถกำหนดสัดส่วนของพจน์นี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ w ซึ่งหากใช้ค่ามากจะทำให้เกิดการค้นหาไปตามทิศทางของแต่ละปัจเจก Particle มากกว่าจึงทำการค้นได้ทั่วบริเวณพื้นที่คำตอบ แต่หากใช้ค่าน้อยจะทำให้เกิด Convergence ของฝูงได้เร็วกว่า

พจน์ที่สองเปรียบได้กับการเรียนรู้และความทรงจำของแต่ละปัจเจก Particle (Cognitive component) โดยทำให้ปัจเจก Particle พยายามเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณคำตอบที่ดีที่ตัวเองได้เรียนรู้ผ่านมาจากเวลาก่อน ๆ โดยสามารถกำหนดสัดส่วนของพจน์นี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ c_1 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า c_2 ก็จะทำให้เกิดระดับความสำคัญที่ Particle จะเคลื่อนที่ตามทิศทางของตัวเองหรือของฝูง

พจน์ที่สามเปรียบได้กับอิทธิพลของฝูง (Social component) ที่ทำให้ปัจเจก Particle พยายามเคลื่อนที่ไปที่บริเวณคำตอบที่ดีที่สุดที่ฝูงได้ค้นพบแล้วจนถึงเวลา t นอกจากนี้ในพจน์ที่สองและสามยังมีตัวเลขสุ่ม r_1 และ r_2 ที่ใช้เป็นสัมประสิทธิ์ของพจน์ทั้งสองตามลำดับ เพื่อให้เกิดอิทธิพล Stochastic influence กับค่าความเร็วด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนและไม่มีแบบแผนในการเคลื่อนที่ของแต่ละ Particle ในลักษณะแบบสุ่ม แต่ก็ยังคงมีการกำหนดทิศทางให้มุ่งไปสู่ Individual และ Global best positions เท่านั้น

อีกทั้งมาตรการเสริมสำหรับป้องกันไม่ให้ Particles เคลื่อนที่ไปไกลกว่าพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้สามารถกำหนดขอบเขตของความเร็วสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ (v_{max}) เช่นให้ $v_{max} = k\,(x_{max} - x_{min})/2$ โดยที่ k คือค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนด และ x_{max} และ x_{min} คือค่าตำแหน่งมากที่สุดและน้อยที่สุดของพื้นที่คำตอบ (Search space)

เมื่อคำนวณได้ค่าความเร็วแล้วจากนั้นจึงนำมาปรับปรุงค่าตำแหน่งของ Particle ด้วยสมการ

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

ขั้นตอนหลักทั้งสามของ PSO algorithm นี้จะถูกวนรอบทำซ้ำ ๆ จนกว่าเงื่อนไขการหยุดจะเป็นจริง ซึ่งโดยทั่วไปอาจกำหนดเป็นจำนวนรอบของการทำซ้ำ (Iterations) ทั้งหมด หรือ จำนวนรอบของการทำซ้ำหลังจากที่ค่า Global best position เปลี่ยนแปลงครั้งสุดท้าย เป็นต้น

Pseudo code ของ procedure ของ PSO algorithm เป็นดังนี้

```
For each particle
    Initialize particle
```

END

Do

For each particle

Calculate fitness value

If the fitness value is better than the best fitness value (pBest) in history

set current value as the new pBest

End

Choose the particle with the best fitness value of all the particles as the gBest

For each particle

Calculate particle velocity according to the velocity equation

Update particle position according to the position equation

End

While maximum iterations or minimum error criteria is not attained

ข้อได้เปรียบที่เด่นชัดของ PSO algorithm ก็คือ การ Convergence ของฝูง Particles มีความเร็วสูงมาก โดยที่ Yan et al. (2012) ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับ GAs โดยใช้โจทย์ปัญหา Benchmarks functions จำนวน 4 ฟังก์ชัน รวมทั้งปัญหา Traveling Salesman Problem ได้ข้อสรุปว่า Optimization precision และ Optimization speed ของ PSO ดีกว่าของ GAs

ประเด็นสำคัญของ PSO algorithm มี 2 ประการคือ การแทนค่าคำตอบให้เป็นตัว Particle (Solution representation) สามารถทำได้อย่างตรงไปตรงมา ด้วยการใช้ตัวแปรของคำตอบมาแทนเป็นตัว Particle ได้ทันที ซึ่งต่างจาก GAs ที่อาจจะต้องนำคำตอบไปเข้ารหัสแปลงเป็นตัวเลขฐานสองก่อน หรืออาจต้องปรับเปลี่ยน Genetic operators เพื่อไม่ให้การแทนค่าคำตอบถูกทำลายลงจาก Genetic operators เสียเอง ซึ่งยุ่งยาก อีกประการสำคัญคือพารามิเตอร์ที่ใช้ใน PSO มีจำนวนน้อยกว่า โดยมีรายการดังนี้

- จำนวน Particles (n) โดยทั่วไปมักใช้จำนวน 20 - 40 ตัว

- มิติของ Particles ซึ่งหาได้จากตัวคำตอบของปัญหาที่พิจารณานั้น

- ช่วงของค่า Particles อาจถูกกำหนดไว้แตกต่างกันตามมิติต่าง ๆ ของตัว Particles เอง

- ความเร็วสูงสุด (V_{max}) เป็นการกำหนดค่าความเปลี่ยนแปลงตำแหน่งสูงสุดในหนึ่งรอบ Iteration ซึ่งอาจกำหนดไว้แตกต่างกันสำหรับมิติต่าง ๆ ของตัว Particle

- Inertia weight (w), Learning factors (c_1), และ (c_2)

- เงื่อนไขการหยุด (Stop condition)

2.7 บทสรุป

งานก่อสร้างเป็นงานแบบโครงการที่มีสถานที่ทำงานชั่วคราวที่ต้องเคลื่อนย้ายไปเรื่อย ๆ เมื่อเริ่มต้นโครงการใหม่ การจัดผังสถานที่ก่อสร้างจึงเป็นภารกิจที่ผู้บริหารโครงการทุกโครงการต้องเจอและไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างจะเห็นได้ว่าปัญหานี้เป็นปัญหาสำคัญที่อยู่ในความสนใจของนักวิจัยและมีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องยาวนาน ซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities) ทั้งหมดในโครงการอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทที่ครอบคลุม คือ Normal facilities, Fixed facilities, และ Obstacles ซึ่งเป็นระบบที่แบ่งตามความสัมพันธ์ที่มีระหว่างกันและวิธีการพิจารณาลักษณะของพื้นที่โครงการแบบ Continual layout หรือระบบกริดจะมีความสมจริงกว่าแบบ Discrete layout หรือ Predetermined locations และควรต้องพิจารณาการจัดเรียง Orientation ที่เป็นไปได้ของสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ไปด้วย แต่ก็จะทำให้แบบจำลองปัญหามีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเช่นกัน โดยทั่วไปแบบจำลองปัญหาการจัดผังนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับค่าระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เป็นหลัก ดังนั้นปัญหานี้จึงต้องพิจารณาจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ลงบนตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับค่าระดับกิจกรรมระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกหรือค่า Proximity ที่ขึ้นกับตัวของสิ่งอำนวยความสะดวกนั้น ๆ เอง โดยงานวิจัยต่าง ๆ มีวิธีการคำนวณค่าทั้งสองนี้แตกต่างกันบ้างในรายละเอียด โดยเฉพาะการคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกนั้นแม้งานส่วนใหญ่มักใช้ค่า Euclidian distance ระหว่างตำแหน่งของจุด Centroids แต่ในความเป็นจริงเส้นทางการเดินทางของผู้ปฏิบัติงานระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ควรจะเป็นแบบ Actual Travel Path ที่เป็นการสร้างเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางและเป็นการเดินทางไปตามถนนต่าง ๆ ที่ใช้จริงในโครงการ ส่วนเงื่อนไขข้อจำกัดของแบบจำลองปัญหาที่เป็น Hard constrains ก็จะคล้ายคลึงกันในทุกแบบจำลอง เช่น เงื่อนไขการซ้อนทับกัน เงื่อนไขขอบเขตของพื้นที่โครงการ เป็นต้น และยังมีเงื่อนไขข้อจำกัดที่เป็น Soft constraints อีกจำนวนหนึ่งเช่น เงื่อนไขระยะห่างที่ต้องการ เป็นต้น อย่างไรก็ตามแนวคิดการใช้เงื่อนไขข้อจำกัดของแบบจำลองนี้อาจปรับให้อยู่ในรูปแบบ Soft constraints ทั้งหมดได้ เพื่อให้การสร้างคำตอบที่เป็นไปได้ทำได้สะดวกขึ้นมาก ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความเร็วของการ Optimization ได้ ประเด็นเรื่องพลวัตรของพื้นที่โครงการที่พิจารณากันในหลาย ๆ งานวิจัย ที่จริงแล้วก็เสมือนกับการควบรวมปัญหาในหลาย ๆ ช่วงเวลาเข้าด้วยกัน ดังนั้นแบบจำลองแบบ Dynamic layout ก็เสมือนกับผลรวมของแบบจำลองแบบ Static layout ต่างช่วงเวลากันนั่นเอง ทั้งนี้การพัฒนาแบบจำลองแบบ Static layout ก็น่าจะเป็นรูปแบบทั่วไปที่เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้แล้ว

ผู้ใช้สามารถประยุกต์ใช้ Static layout นี้กับช่วงเวลาต่าง ๆ ของตนได้ นอกจากนี้จากการทบทวน Optimization algorithms ของปัญหาการจัดผังนี้ในหลาย ๆ วิธียังพบว่า Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดกับปัญหานี้ เพราะมีหน่วยของการค้นหาคำตอบจำนวนมากพร้อมกันซึ่งดีกว่า Annealed Neural Network (ANN) ที่มีเพียงหน่วยเดียว มีประสิทธิภาพสูงกว่าและเรียบง่ายกว่า Genetic Algorithms (GAs) และไม่ต้องสร้างคู่เส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดขึ้นมาเป็นจำนวนมหาศาล (หากใช้รูปแบบปัญหา Continual layout) แบบที่ต้องทำใน Ant Colony Optimization (ACO) ที่ดูเหมาะสมกับปัญหา Traveling Salesman โดยเฉพาะ ดังนั้น ในบทถัดไปจึงได้นำข้อสรุปที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหลายในบทนี้ไปใช้กำหนดแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม พร้อมทั้งวางแนวทางการทดสอบและประเมินผลแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้มีรูปแบบการวิจัยเป็นการพัฒนาวิธีการสร้างแบบจำลองปัญหาและวิธีการหาคำตอบและการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ด้วย ดังนั้นวิธีการดำเนินการวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การค้นคว้าทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อทำความเข้าใจให้ถ่องแท้และการพัฒนาปรับปรุงต่อยอด และมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลจากกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างเพื่อทำความเข้าใจกับวิธีการและเงื่อนไขต่างๆที่อยู่ในปฏิบัติงานจริง เพื่อให้ได้แนวทางการพัฒนาแบบจำลองปัญหาที่สอดคล้องใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงให้มากที่สุด อันจะทำให้ได้คำตอบผังการจัดสถานที่ก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพ

การค้นคว้าและทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่ผ่านมาจะมุ่งเน้นไปที่วรรณกรรมวารสารทางวิชาการที่เป็นงานวิจัยในระดับสากล (international journals) เป็นหลัก และต้องเป็นงานวิจัยที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับในทางวิชาการ ซึ่งได้รวบรวมเรียบเรียงเป็นภาพรวมพัฒนาการในประเด็นต่าง ๆ ของแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างนี้ ผลที่ได้ถูกนำมาเขียนเรียบเรียงไว้ในบทที่ 2 ที่ผ่านมาพร้อมข้อสรุปและวิจารณ์ การดำเนินการวิจัยลำดับถัดไป ได้แก่ การสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างด้วยกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างของประเทศไทย การพัฒนาแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง และการทดสอบแบบจำลองเพื่อประเมินผล ซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อต่าง ๆ ถัดจากนี้ไป

3.2 การสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของประเทศไทย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในรายละเอียดวิธีการปฏิบัติจริงและสภาพเงื่อนไขทั่วไปที่เป็นอยู่ รวมทั้งความเข้าใจในความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยจะเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการจัดผังสถานที่โครงการก่อสร้าง เช่น วิศวกรโครงการ และวิศวกรโยธา จำนวนทั้งหมด 10 คน ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาจะถูกคัดเลือกตามความเป็นไปได้ของการเข้าถึงข้อมูล และจะใช้กลุ่มตัวอย่างนี้เป็นตัวแทนของแนวคิดทั่วไปของการจัดผังสถานที่โครงการก่อสร้างของประเทศไทย โดยกลุ่มตัวอย่างนี้ต้องมีประสบการณ์ทำงานในโครงการก่อสร้างที่มีความจำกัดในด้านพื้นที่ของโครงการ เช่น โครงการก่อสร้างอาคารสูงในเมืองใหญ่มาแล้วพอสมควร เพื่อให้มีความสามารถเพียงพอที่จะให้แนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างได้ อนึ่งการสำรวจนี้ไม่ได้ทำบนพื้นฐานของหลักการสถิติอย่างใด แต่ผลที่ได้นี้จะทำให้ผู้วิจัยได้สัมผัสกับแนวทางการปฏิบัติจริงของประเทศไทยบ้าง และนำมาใช้เปรียบเทียบกับสิ่งที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมวิชาการ เพื่อให้เห็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองของปัญหาต่อไป

ประเด็นที่สำรวจจะเป็นข้อพิจารณาในการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกในโครงการก่อสร้างของกลุ่มตัวอย่าง ในแนวปฏิบัติที่พวกเขาเห็นว่าเหมาะสมที่สุด ประกอบด้วย การให้คะแนนที่แสดงถึงความ

เหมาะสมที่สิ่งอำนวยความสะดวกสองอันใด ๆ ควรอยู่ใกล้กัน และการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่กำหนดให้เป็นโจทย์ จากนั้นจะนำผลคำตอบทั้งสองส่วนนี้และรวมทั้งข้อคิดเห็นที่ได้ในระหว่างทำการสัมภาษณ์ มาประมวลเป็นหลักการทั่วไปในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง

3.3 การพัฒนาแบบจำลองของปัญหาและวิธีการหาคำตอบ

จากการทบทวนวรรณกรรมในบทก่อนหน้าทำให้ได้ข้อสรุปถึงแนวทางการพัฒนาแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างและวิธีการหาคำตอบ ดังนี้

3.3.1 แบบจำลองของปัญหา

แบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่สอดคล้องกับสภาพการปฏิบัติงานจริงนั้น ต้องสามารถพิจารณาถึงขนาดที่แตกต่างกันของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และพื้นที่ติดตั้งต่าง ๆ ได้ หรือเรียกว่า Construction Site Layout with Unequal-sized Facilities ซึ่งจะมีแบบจำลองของปัญหาเป็นแบบระบบกริด 2 มิติ ไม่สามารถใช้แบบจำลองแบบจับคู่ได้ การใช้ระบบกริด 2 มิติในการจำลองพื้นที่สถานที่ก่อสร้างจะช่วยให้สามารถจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกได้อย่างหลากหลายและยืดหยุ่นกว่าการใช้การจับคู่กับพื้นที่ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าก่อน ดังนั้นตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ของแบบจำลองจะเป็นค่าพิกัดของตำแหน่งที่จัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกแต่ละอันทั้งหมด โดยที่สิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหลายในสถานที่ก่อสร้างจะถูกแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ทั้งที่ต้องการพิจารณาตำแหน่งการจัดวางและที่มีตำแหน่งการจัดวางอยู่แล้ว และรวมถึงสิ่งที่เป็นอุปสรรคที่ไม่มีความสัมพันธ์ในการปฏิบัติงานกับสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกจะถูกกำหนดขึ้นด้วยค่าคะแนนที่ใช้เป็นตัวแทนให้สอดคล้องกับระดับความสัมพันธ์ที่มี โดยหากสิ่งอำนวยความสะดวกคู่ใดที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันมากก็จะแสดงแทนด้วยค่าคะแนนที่มาก ค่าคะแนนนี้เรียกว่า Proximity weight ซึ่งเป็นเพียงค่าที่ได้จากการประมาณที่มีความไม่ชัดเจนและคลาดเคลื่อน (Ambiguity and fuzziness) และมีอคติของผู้กำหนดร่วมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ได้มีการสำรวจค่าคะแนนนี้ไว้ในเบื้องต้น

ข้อจำกัดของสิ่งอำนวยความสะดวกมีทั้งที่เป็นข้อจำกัดทั่วไปและข้อจำกัดเฉพาะ ข้อจำกัดทั่วไปที่ต้องกำหนดไว้ในแบบจำลองเพื่อสะท้อนข้อจำกัดทางกายภาพตามความเป็นจริงของตัวสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ข้อจำกัดเรื่องการซ้อนทับกันที่ป้องกันไม่ให้มีการกำหนดตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกแล้วเกิดส่วนที่มีการซ้อนทับกันซึ่งเป็นไปไม่ได้จริง ข้อจำกัดเรื่องขอบเขตของสถานที่ก่อสร้างเพื่อกำหนดบริเวณที่สามารถจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกได้ ข้อจำกัดเรื่องการกำหนดทิศทางของการจัดวาง (orientation) เพื่อให้รูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนที่เหมาะสมกับการหาคำตอบ ส่วนข้อจำกัดเฉพาะเป็นการกำหนดไว้สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกเฉพาะอันที่มี เช่น สิ่งอำนวยความสะดวก

บางอันอาจไม่อนุญาตให้จัดวางไว้ในบางบริเวณหรือควรมีระยะห่างขั้นต่ำที่เหมาะสมกับอีกอันเพื่อความปลอดภัย

3.3.2 การคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก

ระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นค่าดัชนีพื้นฐานที่ใช้ในการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ของแบบจำลองของปัญหา จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่ามีวิธีการคำนวณค่าระยะทางได้หลายวิธี ซึ่งการวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการคำนวณ Actual Path Distance ที่จะสะท้อนระยะทางจริงที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งสมมติให้เดินทางไปตามถนนของโครงการถ้ามี หรือการเลือกเดินทางอ้อมสิ่งกีดขวางระหว่างทางในเส้นทางที่สั้นที่สุด และรวมทั้งจะกำหนดพิกัดตำแหน่งเข้าออก (ประตูหลัก) ของสิ่งอำนวยความสะดวกแต่ละอันให้เสมือนจริง แทนที่จะใช้ค่าพิกัดจุด Centroid ของสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านั้นดังที่ปรากฏทั่วไปในงานวิจัยที่ผ่านมา

ค่าระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกนี้จะนำมาใช้ร่วมกับค่าคะแนนความสัมพันธ์เพื่อสร้างเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองของปัญหา ซึ่งเป็นแนวทางที่งานวิจัยที่ผ่านมาใช้เช่นกัน

3.3.3 วิธีการหาคำตอบ

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองของปัญหานั้นกำหนดให้ใช้ Particle Swarm Optimization (PSO) ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองเป็นระบบกริด จึงทำให้แบบจำลองของปัญหาที่ได้มีขนาดใหญ่และซับซ้อนหมายถึงมีคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมากมายมหาศาล และทำให้ต้องการใช้วิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยประมาณได้อย่างรวดเร็ว ประเภทของวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมก็คือประเภท Stochastic approach ซึ่ง PSO ก็เป็น algorithm ที่มีประสิทธิภาพสูงอันหนึ่งและยังมีลักษณะที่เหมาะสมเข้ากับลักษณะปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างนี้ด้วย เนื่องจากสามารถนำคำตอบที่เป็นไปได้ใด ๆ มาเข้ารหัสให้เสมือนเป็น Particle หนึ่งได้โดยสะดวกและตรงไปตรงมา โดยมีการอ้างอิงเป็นพิกัดตำแหน่งเช่นเดียวกันกับลักษณะความเป็นจริงของปัญหานี้

3.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและการหาคำตอบคือโปรแกรม Microsoft Excel 2013 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำนักงานพื้นฐานประเภทกระดานคำนวณ (Spreadsheet) ที่เป็นที่นิยมแพร่หลาย เข้าถึงได้สะดวก มีความสามารถในการคำนวณตามสูตรที่กำหนดไว้พร้อม ๆ กันได้คราวละมาก ๆ มีลักษณะการนำเข้าและแสดงผลข้อมูลส่งออกแบบตาราง ซึ่งสามารถนำมาดัดแปลงให้มีลักษณะการแสดงผลข้อมูลเป็นพิกัดแบบระบบกริดได้ ทำให้สามารถจำลองผังสถานที่ก่อสร้างได้ในระบบ 2 มิติ และยังสามารถแยกข้อมูล

แต่ละส่วนออกเป็นแผ่นงาน (Sheets) ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการเรียบเรียงข้อมูลให้เป็นระเบียบ จึงสอดคล้องกับความต้องการใช้ในการพัฒนาอย่างยิ่ง

Microsoft Excel มีเครื่องมือสำคัญที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมส่วนเพิ่ม (Macros) ได้เองด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) ผ่านทางเครื่องมือ Visual Basic Editor (VBE) ทำให้สามารถสร้างชุดคำสั่งต่าง ๆ หรือวนรอบซ้ำอย่างต่อเนื่องตามต้องการ ทำให้เกิดเป็นโปรแกรมย่อยที่ช่วยให้การทำงานชุดคำสั่งหลายคำสั่งได้อย่างอัตโนมัติและรวดเร็วในคราวเดียว จึงเป็นเครื่องที่เหมาะสมสำหรับใช้พัฒนา Particle Swarm Optimization (PSO) เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดของแบบจำลองปัญหานี้ได้ รวมทั้งยังสามารถใช้ควบคุมการสั่งงานบันทึกและแสดงผลข้อมูลอื่น ๆ ของ Excel ได้ตามต้องการ

นอกจากนี้ Microsoft Excel ยังมีโปรแกรมย่อยเสริม (Add-ins) ที่ใช้เพิ่มเติมความสามารถพิเศษอื่นขึ้นจากความสามารถพื้นฐาน ได้แก่ Solver ที่มีความสามารถหาคำตอบของแบบจำลองปัญหา (Optimization problems) ทั่วไป โดยอาศัยวิธี Simplex method หรือ Evolutionary method (หรือก็คือวิธี Genetic Algorithms) และมี Add-Ins ที่เป็นเครื่องมือช่วยสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้อีกด้วย คือ โปรแกรม Data Analysis Tools

3.4 การทดสอบแบบจำลอง

ผลลัพธ์สำคัญของการวิจัยนี้คือ ตัวแบบจำลองของปัญหาและวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ซึ่งการทดสอบเพื่อประเมินผลลัพธ์ทั้งสองนี้จะทำด้วยการใช้กรณีศึกษาเป็นโจทย์ทดสอบ โครงการก่อสร้างจริงจะถูกเลือกนำมาปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้เป็นโจทย์ทดสอบ และจะใช้เป็นตัวแทนของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของโครงการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ซึ่งต้องเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และความซับซ้อนเหมาะสมกับการทดสอบ ไม่เล็กและเรียบง่ายเกินไปจนไม่อาจบ่งชี้ประสิทธิภาพได้ ลักษณะของการทดสอบจะทำทั้งในการทดสอบความถูกต้อง (Verification) และการประเมินประสิทธิภาพ (Validation)

ตัวแปรสำคัญของโจทย์ทดสอบ ได้แก่ จำนวนและความหลากหลายของสิ่งอำนวยความสะดวก ขนาด รูปร่างและลักษณะของสถานที่ก่อสร้าง เส้นทางของถนนในโครงการ ข้อจำกัดทั่วไปและเฉพาะของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้น โดยทั้งนี้จะอ้างอิงเปรียบเทียบกับโจทย์ทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของโจทย์ทดสอบ ได้แก่ ค่าคะแนนความสัมพันธ์ (Proximity weight) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ส่วนค่าพารามิเตอร์สำคัญของ PSO ได้แก่ จำนวน Particles ค่าสัมประสิทธิ์ของพจน์ความเฉื่อยของการเคลื่อนที่ (Inertia component), พจน์ความทรงจำของปัจเจก (Cognitive component), และพจน์อิทธิพลของฝูง (Social component) นอกจากนี้ยังมีค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดจุดสิ้นสุดของการค้นหาคำตอบอีกด้วย

3.4.1 สมมติฐานในการทดสอบ

จากลักษณะของการทดสอบที่แบ่งเป็น Verification และ Validation สามารถแบ่งสมมติฐานในการทดสอบได้ดังนี้

การทดสอบ Verification ด้วยการใช้แบบจำลองและวิธีการหาคำตอบที่พัฒนาขึ้นกับโจทย์ทดสอบแล้วนำผลที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบตรวจสอบกับผลจากการคิดคำนวณด้วยมือ และทำซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้งกับค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กัน จนกระทั่งมั่นใจในความถูกต้องของผลลัพธ์จากแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบ

การทดสอบ Validation กระทำได้ในสองแนวทาง แนวทางที่หนึ่งคือ การทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวกับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของทั้งแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบ เพื่อให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับโจทย์ทดสอบนี้ได้ และแนวทางที่สองคือ การทดสอบเปรียบเทียบกับแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบที่เคยพัฒนาขึ้นโดยงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งนี้เพื่อพิสูจน์ว่าแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าที่มีอยู่เดิม โดยทำเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้วยโจทย์ทดสอบเดียวกัน และการทดสอบเปรียบเทียบกับการจัดผังสถานที่ก่อสร้างจริงที่ทำโดยวิศวกร

3.4.2 การเก็บรวบรวมผลข้อมูลทดสอบ

ผลข้อมูลทดสอบของการวิจัยนี้จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งรวบรวมได้จากการทดสอบแบบจำลองของปัญหาและวิธีการหาคำตอบที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ในหลาย ๆ ชุดทดสอบ โดยการทดสอบจะถูกออกแบบให้มีการแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ชุดทดสอบ โดยในแต่ละชุดทดสอบจะมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบไปทีละน้อยอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเปลี่ยนแปลงของค่าเหล่านั้นได้ และแต่ละชุดทดสอบจะมีการทดสอบซ้ำเดิมหลาย ๆ ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่ต้องทดสอบจำนวนมาก และวิธีการหาคำตอบยังมีลักษณะแบบ Stochastic approach ที่ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยประมาณ (Approximated solutions) จึงทำให้คำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งของการค้นหาแตกต่างกันได้ จึงต้องทำการทดสอบซ้ำเดิมหลาย ๆ ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

โจทย์ทดสอบฐาน (Base problem) รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบ จะถูกกำหนดขึ้นก่อนและใช้เป็นค่าอ้างอิงก่อนที่จะเริ่มการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบ

การสร้างชุดทดสอบต่าง ๆ ได้จากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบไปจากเดิมที่เคยใช้ในโจทย์ทดสอบฐาน ให้เป็นค่าใหม่ โดยอาจเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเป็นระบบและมีทิศทาง ซึ่งค่าพารามิเตอร์บางตัวอาจมีการกำหนดให้มีการปรับเปลี่ยนค่าอย่างสุ่ม (Random change) แต่มีการกำหนดช่วงของค่า (ขอบเขตบนและล่าง) สำหรับการสุ่มไว้ด้วย

ทั้งนี้แต่ละชุดการทดสอบจะถูกนำไปหาคำตอบซ้ำ ๆ เป็นจำนวนหลายครั้ง คำตอบที่ได้เหล่านี้อาจเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน แต่แตกต่างกันไป ทั้งนี้เพื่อให้มีจำนวนผลข้อมูลเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ภาพรวมด้วยค่าเฉลี่ยต่อไป

บทที่ 4 การสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างของประเทศไทย

การศึกษาสำรวจนี้เป็นการสำรวจเบื้องต้นที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง และข้อกำหนดในการจัดวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ภายในโครงการก่อสร้าง โดยการเก็บข้อมูลจากความคิดเห็นของวิศวกรผู้มีประสบการณ์ตรงในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ของบริษัทก่อสร้างชั้นนำของประเทศไทยที่เชี่ยวชาญงานก่อสร้างประเภทอาคารสูงในเมืองใหญ่ โดยแนวคิดที่ได้นี้จะช่วยนำไปพัฒนาแบบจำลองของปัญหา CSLP ที่เป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยนี้ รายละเอียดในบทนี้จะรายงานถึงวิธีการสำรวจ ผลการสำรวจ และบทสรุปที่ได้ตามหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

4.1 วิธีการสำรวจ

การศึกษาสำรวจนี้จะใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นวิศวกรในระดับต่าง ๆ ได้แก่ ผู้จัดการโครงการ (Project manager: PM), วิศวกรโครงการ (Project engineer: PE) และวิศวกรสนาม (Site engineer: SE) ของบริษัทก่อสร้างที่ทำงานประจำโครงการก่อสร้างหลากหลายโครงการและมีประสบการณ์การจัดผังสถานที่ก่อสร้างโดยตรง ที่คัดเลือกตามความเหมาะสมและความร่วมมือที่ได้รับอนุญาต รวมทั้งสิ้น 10 ราย ดำเนินการสำรวจด้วยการสัมภาษณ์ตัวต่อตัวทีละรายและใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือประกอบร่วมการสัมภาษณ์ด้วย

แบบสอบถามได้ถูกออกแบบแบ่งเป็น 4 ตอน มีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ ได้แก่ ตำแหน่งงาน และประสบการณ์การทำงาน

ตอนที่ 2 การให้คะแนนค่าความใกล้ชิดกัน (Closeness Relationships) ของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่ สำหรับการจัดวางตำแหน่ง ตามความคิดของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้การแบ่งค่าระดับคะแนน ออกเป็นดังนี้

ระดับ 5 คะแนน หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ควรจัดวางให้มีตำแหน่งชิดกันอย่างมากที่สุด

ระดับ 4 คะแนน หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ควรจัดวางให้มีตำแหน่งชิดกันอย่างมาก

ระดับ 3 คะแนน หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ควรจัดวางให้มีตำแหน่งชิดกันปานกลาง

ระดับ 2 คะแนน หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ควรจัดวางให้มีตำแหน่งชิดกันน้อย

ระดับ 1 คะแนน หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ควรจัดวางให้มีตำแหน่งชิดกันอย่างน้อยที่สุด

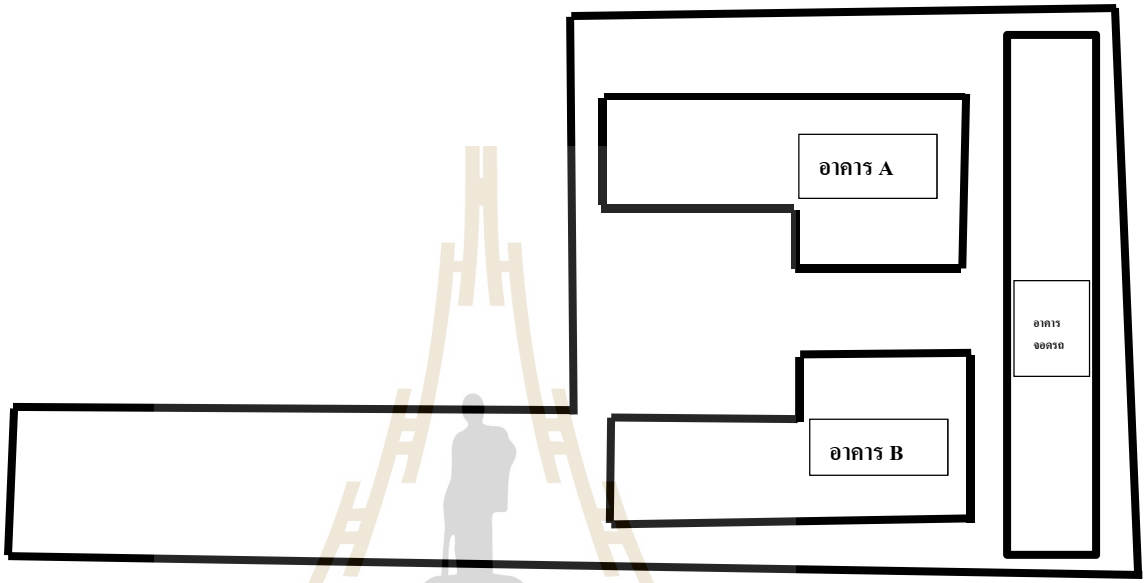
ระดับ 0 คะแนน หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ไม่ควรจัดวางให้มีตำแหน่งชิดกัน

โดยมีการกำหนดรายชื่อสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในโครงการก่อสร้างทั่วไปไว้จำนวนทั้งสิ้น 22 รายการ เพื่อใช้เป็นโจทย์ในการให้ค่าคะแนน ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.1 รายชื่อสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวในโครงการก่อสร้างทั่วไป

ลำดับ	สัญลักษณ์	ชื่อสิ่งอำนวยความสะดวก	ความหมาย
1	A	สำนักงานสนาม	สถานที่ทำงานของวิศวกรสนามและฝ่ายสนับสนุนใช้ในการทำงานและประชุมงาน
2	B	สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง	โรงเก็บวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ของโครงการ
3	C	จุดกองเหล็กเส้น	พื้นที่กองเก็บเหล็กเส้นทั้งหมด
4	D	โรงตัดดัดเหล็กเส้น	โรงที่ใช้เตรียมชิ้นงานเหล็กเพื่อตัดและดัดเหล็กเส้น
5	E	ห้องน้ำ	ห้องสุขาสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสนาม
6	F	โรงอาหาร	โรงที่พักรับประทานอาหารสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสนาม
7	G	จุดส่งวัสดุ	จุดจัดส่งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างที่สั่งซื้อเข้ามา
8	H	ลานจอดรถ	ที่รถสำหรับผู้มาติดต่องาน
9	I	สโตร์ผู้รับเหมา	โรงเก็บวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ของผู้รับเหมาช่วง
10	J	จุดกองวัสดุหิน-ทราย	พื้นที่กองเก็บหินและทรายที่ใช้ในงาน
11	K	สโตร์ปูนซีเมนต์	โรงเก็บปูนซีเมนต์
12	L	ห้องปฐมพยาบาล	ที่พักสำหรับผู้ป่วยหรือผู้ที่ได้รับบาดเจ็บเพื่อปฐมพยาบาลเบื้องต้นก่อนนำส่งโรงพยาบาล
13	M	โรงผลิตเกลียวเหล็ก	โรงที่ใช้เตรียมชิ้นงานเหล็ก
14	N	จุดพัก-ทิ้งขยะ	พื้นที่ทิ้งขยะเพื่อรอขนย้าย
15	O	จุดกองไม้แบบ	พื้นที่กองเก็บไม้แบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำงาน
16	P	จุดน้ำดื่ม	ที่ตั้งเครื่องกรองน้ำดื่มสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสนาม
17	Q	จุดรวมพล	พื้นที่ลานกว้างสำหรับใช้ในการประชุมและแจ้งข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ แก่ผู้ปฏิบัติงานในสนาม
18	R	โรงเชื่อมเหล็ก	โรงที่ใช้ทำงานเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเหล็กรูปพรรณ
19	S	จุดเก็บตัวอย่างคอนกรีต	พื้นที่กองเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัด
20	T	จุดตั้งปั้มคอนกรีต	ที่ตั้งเครื่องปั้มคอนกรีตขึ้นสู่ที่สูงบนอาคาร
21	U	ลิฟต์ขนส่ง	ที่ตั้งลิฟต์สำหรับขนส่งวัสดุอุปกรณ์และผู้ปฏิบัติงานขึ้นสู่อาคารชั้นบน
22	V	ปั้นจั่นหอสูง	พื้นที่สำหรับติดตั้งปั้นจั่นหอสูง (Tower crane)

ตอนที่ 3 การทดสอบการออกแบบผังสถานที่ก่อสร้าง ด้วยการจัดวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวในโครงการก่อสร้างที่เป็นโจทย์ตัวอย่าง เป็นการตั้งโจทย์ปัญหาขึ้นเพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามได้ทดลองออกแบบผังตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่เหมาะสมตามความเห็นของตนเอง ดังรูปโจทย์ข้างล่างนี้ ซึ่งประกอบด้วย ขอบเขตของโครงการ และสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง คือ อาคาร A, B, และ อาคารจอดรถ โจทย์ตัวอย่างนี้ได้ปรับปรุงขึ้นโดยการอ้างอิงกับโครงการก่อสร้างจริงโครงการหนึ่งที่ผู้วิจัยเก็บข้อมูลได้



รูปที่ 4.1 ผังแสดงขอบเขตและสิ่งที่ต้องการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างในโจทย์สอบถาม

ตอนที่ 4 ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวางผังตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวในโครงการก่อสร้าง เป็นข้อคำถามแบบปลายเปิด เพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามได้แสดงความคิดเห็นอื่น ๆ

4.2 ผลการสำรวจ

การสำรวจแนวคิดการจัดผังสถานที่ก่อสร้างด้วยการเก็บตัวอย่างการสัมภาษณ์กลุ่มวิศวกรนี้ มีผลการสำรวจดังนี้

4.2.1 ผลข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 10 รายนี้ มีตำแหน่งเป็นผู้จัดการโครงการ จำนวน 3 คน วิศวกรโครงการ จำนวน 3 คน และวิศวกรสนาม จำนวน 4 คน และมีประสบการณ์ในการทำงานในช่วง 0-5 ปี จำนวน 3 คน ช่วง 6 -10 ปี จำนวน 6 คน และช่วงตั้งแต่ 26 ปีขึ้นไป จำนวน 1 คน (ช่วง 11-15 ปี, 16-20 ปี และช่วง 16-20 ปี ไม่มีตัวอย่าง)

4.2.2 ผลค่าคะแนนความใกล้ชิดกันของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่

สิ่งอำนวยความสะดวกตามโจทย์ที่ถามมีจำนวน 22 รายการ ซึ่งสามารถนำมาจับคู่กันโดยไม่ซ้ำได้ทั้งสิ้น 231 คู่ โดยจากการให้คะแนนค่าความใกล้ชิดกัน (Closeness relationships) ของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 10 ราย พบว่ามีความคิดเห็นที่แตกต่างไป มีรายละเอียดดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.2 ผลค่าคะแนนความใกล้ชิดกันของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่ทั้งหมด

				Proximity weight							
				5	4	3	2	1	0	Total	Average
Pair no.	Facility	Facility	A Pair of	Frequency						frequency	weight
1	A	B	A and B	4	3	2	1	0	0	10	4.0
2	A	C	A and C	0	0	2	3	0	5	10	1.2
3	A	D	A and D	0	0	2	2	1	5	10	1.1
4	A	E	A and E	0	0	2	2	4	2	10	1.4
5	A	F	A and F	1	0	5	2	1	1	10	2.5
6	A	G	A and G	1	2	1	4	1	1	10	2.5
7	A	H	A and H	2	4	3	0	0	1	10	3.5
8	A	I	A and I	0	0	5	2	1	2	10	2.0
9	A	J	A and J	0	0	2	2	3	3	10	1.3
10	A	K	A and K	0	0	4	1	3	2	10	1.7
11	A	L	A and L	7	2	1	0	0	0	10	4.6
12	A	M	A and M	0	0	3	1	3	3	10	1.4
13	A	N	A and N	0	0	2	1	2	5	10	1.0
14	A	O	A and O	0	0	2	1	3	4	10	1.1
15	A	P	A and P	0	1	5	4	0	0	10	2.7
16	A	Q	A and Q	5	5	0	0	0	0	10	4.5
17	A	R	A and R	0	0	1	3	4	2	10	1.3
18	A	S	A and S	1	4	3	0	2	0	10	3.2
19	A	T	A and T	0	0	1	3	3	3	10	1.2
20	A	U	A and U	0	0	2	2	2	4	10	1.2
21	A	V	A and V	0	0	1	2	3	4	10	1.0
22	B	C	B and C	1	2	2	0	3	2	10	2.2
23	B	D	B and D	0	3	2	1	1	3	10	2.1
24	B	E	B and E	0	2	3	2	3	0	10	2.4
25	B	F	B and F	0	1	5	2	1	1	10	2.4
26	B	G	B and G	6	2	0	2	0	0	10	4.2
27	B	H	B and H	2	3	4	0	1	0	10	3.5
28	B	I	B and I	2	1	5	1	0	1	10	3.1
29	B	J	B and J	1	2	2	4	1	0	10	2.8
30	B	K	B and K	2	3	3	1	1	0	10	3.4
31	B	L	B and L	2	2	3	1	2	0	10	3.1
32	B	M	B and M	0	2	4	2	0	2	10	2.4
33	B	N	B and N	0	1	2	2	4	1	10	1.8
34	B	O	B and O	1	2	2	3	0	2	10	2.5
35	B	P	B and P	1	1	4	3	0	1	10	2.7
36	B	Q	B and Q	1	4	1	3	1	0	10	3.1
37	B	R	B and R	0	0	2	4	1	3	10	1.5
38	B	S	B and S	2	5	2	1	0	0	10	3.8
39	B	T	B and T	0	0	3	2	1	4	10	1.4
40	B	U	B and U	0	2	4	1	1	2	10	2.3
41	B	V	B and V	0	1	4	2	2	1	10	2.2
42	C	D	C and D	8	1	1	0	0	0	10	4.7
43	C	E	C and E	0	0	2	2	3	3	10	1.3
44	C	F	C and F	0	1	1	2	2	4	10	1.3
45	C	G	C and G	1	3	5	1	0	0	10	3.4
46	C	H	C and H	0	1	1	2	2	4	10	1.3
47	C	I	C and I	0	0	3	5	2	0	10	2.1
48	C	J	C and J	0	2	3	3	1	1	10	2.4
49	C	K	C and K	0	2	2	4	1	1	10	2.3
50	C	L	C and L	0	0	2	1	4	3	10	1.2
51	C	M	C and M	7	1	1	1	0	0	10	4.4
52	C	N	C and N	0	1	2	6	0	1	10	2.2
53	C	O	C and O	0	2	2	5	1	0	10	2.5
54	C	P	C and P	0	1	1	3	3	2	10	1.6
55	C	Q	C and Q	0	0	1	2	5	2	10	1.2
56	C	R	C and R	0	0	4	6	0	0	10	2.4
57	C	S	C and S	0	1	4	2	1	2	10	2.1
58	C	T	C and T	0	1	6	1	0	2	10	2.4
59	C	U	C and U	0	1	4	2	0	3	10	2.0
60	C	V	C and V	5	1	4	0	0	0	10	4.1
61	D	E	D and E	0	0	4	2	2	2	10	1.8
62	D	F	D and F	0	1	1	5	0	3	10	1.7
63	D	G	D and G	1	3	4	2	0	0	10	3.3
64	D	H	D and H	0	0	1	3	3	3	10	1.2
65	D	I	D and I	0	0	4	4	2	0	10	2.2
66	D	J	D and J	0	2	3	4	0	1	10	2.5
67	D	K	D and K	0	2	3	4	0	1	10	2.5
68	D	L	D and L	0	1	1	1	5	2	10	1.4
69	D	M	D and M	8	0	1	0	0	1	10	4.3
70	D	N	D and N	0	1	1	6	1	1	10	2.0
71	D	O	D and O	0	1	5	2	0	2	10	2.3
72	D	P	D and P	0	0	2	3	4	1	10	1.6
73	D	Q	D and Q	0	0	3	2	4	1	10	1.7
74	D	R	D and R	1	2	3	3	1	0	10	2.9
75	D	S	D and S	0	0	6	1	1	2	10	2.1
76	D	T	D and T	0	1	5	2	0	2	10	2.3
77	D	U	D and U	0	1	3	4	0	2	10	2.1
78	D	V	D and V	4	3	2	1	0	0	10	4.0
79	E	F	E and F	1	2	2	1	2	2	10	2.3
80	E	G	E and G	0	0	2	7	0	1	10	2.0
81	E	H	E and H	0	0	3	5	1	1	10	2.0
82	E	I	E and I	0	0	3	6	1	0	10	2.2
83	E	J	E and J	0	0	2	7	0	1	10	2.0
84	E	K	E and K	0	0	2	4	3	1	10	1.7
85	E	L	E and L	0	1	4	1	2	2	10	2.0
86	E	M	E and M	0	0	1	7	1	1	10	1.8
87	E	N	E and N	0	0	4	4	1	1	10	2.1
88	E	O	E and O	0	0	3	3	1	3	10	1.6
89	E	P	E and P	0	0	1	2	5	2	10	1.2
90	E	Q	E and Q	0	3	4	0	2	1	10	2.6
91	E	R	E and R	0	0	4	3	3	0	10	2.1
92	E	S	E and S	0	0	4	4	1	1	10	2.1
93	E	T	E and T	0	0	2	5	1	2	10	1.7
94	E	U	E and U	0	1	2	4	2	1	10	2.0
95	E	V	E and V	0	0	2	3	4	1	10	1.6
96	F	G	F and G	0	0	4	1	4	1	10	1.8
97	F	H	F and H	0	0	4	2	3	1	10	1.9
98	F	I	F and I	0	2	4	1	3	0	10	2.5
99	F	J	F and J	0	0	3	2	4	1	10	1.7
100	F	K	F and K	0	0	1	4	4	1	10	1.5
101	F	L	F and L	0	1	5	3	1	0	10	2.6
102	F	M	F and M	0	0	3	4	1	2	10	1.8
103	F	N	F and N	0	0	1	3	2	4	10	1.1
104	F	O	F and O	0	0	2	4	2	2	10	1.6
105	F	P	F and P	5	4	0	1	0	0	10	4.3
106	F	Q	F and Q	1	3	2	2	2	0	10	2.9
107	F	R	F and R	0	0	1	4	3	2	10	1.4
108	F	S	F and S	0	0	1	6	2	1	10	1.7
109	F	T	F and T	0	0	1	4	3	2	10	1.4
110	F	U	F and U	0	1	3	4	1	1	10	2.2
111	F	V	F and V	0	0	0	5	4	1	10	1.4
112	G	H	G and H	1	4	3	1	1	0	10	3.3
113	G	I	G and I	0	1	6	3	0	0	10	2.8
114	G	J	G and J	0	8	1	1	0	0	10	3.7
115	G	K	G and K	1	5	2	1	1	0	10	3.4
116	G	L	G and L	0	1	2	4	3	0	10	2.1
117	G	M	G and M	0	1	5	2	2	0	10	2.5
118	G	N	G and N	1	3	3	2	1	0	10	3.1
119	G	O	G and O	0	4	4	2	0	0	10	3.2
120	G	P	G and P	0	0	4	2	3	1	10	1.9
121	G	Q	G and Q	2	1	2	2	2	1	10	2.6
122	G	R	G and R	0	3	5	2	0	0	10	3.1
123	G	S	G and S	1	3	4	1	1	0	10	3.2
124	G	T	G and T	0	1	4	2	1	2	10	2.1
125	G	U	G and U	3	4	2	0	1	0	10	3.8
126	G	V	G and V	3	4	2	0	1	0	10	3.8
127	H	I	H and I	0	1	7	0	1	1	10	2.6
128	H	J	H and J	0	2	4	1	1	2	10	2.3
129	H	K	H and K	0	1	5	1	1	2	10	2.2
130	H	L	H and L	1	3	4	2	0	0	10	3.3
131	H	M	H and M	0	0	4	3	1	2	10	1.9
132	H	N	H and N	0	2	1	5	1	1	10	2.2
133	H	O	H and O	0	0	5	2	1	2	10	2.0
134	H	P	H and P	0	2	4	1	2	1	10	2.4
135	H	Q	H and Q	2	3	2	2	0	1	10	3.2
136	H	R	H and R	0	0	3	3	2	2	10	1.7
137	H	S	H and S	1	0	4	5	0	0	10	2.7
138	H	T	H and T	0	1	4	1	1	3	10	1.9
139	H	U	H and U	0	0	2	6	0	2	10	1.8
140	H	V	H and V	0	0	3	2	1	4	10	1.4
141	I	J	I and J	0	1	6	2	1	0	10	2.7
142	I	K	I and K	0	0	7	2	1	0	10	2.6
143	I	L	I and L	0	1	5	1	3	0	10	2.4
144	I	M	I and M	0	0	6	3	1	0	10	2.5
145	I	N	I and N	0	0	2	5	3	0	10	1.9
146	I	O	I and O	0	1	5	3	1	0	10	2.6
147	I	P	I and P	0	3	3	4	0	0	10	2.9
148	I	Q	I and Q	0	2	3	3	2	0	10	2.5
149	I	R	I and R	1	1	6	2	0	0	10	3.1
150	I	S	I and S	0	0	5	2	2	1	10	2.1
151	I	T	I and T	0	0	4	2	2	2	10	1.8
152	I	U	I and U	0	0	5	3	1	1	10	2.2
153	I	V	I and V	0	0	5	2	2	1	10	2.1
154	J	K	J and K	2	4	3	1	0	0	10	3.7
155	J	L	J and L	0	1	2	4	2	1	10	2.0
156	J	M	J and M	0	0	6	1	2	1	10	2.2
157	J	N	J and N	1	0	4	5	0	0	10	2.7
158	J	O	J and O	0	1	6	2	0	1	10	2.6
159	J	P	J and P	0	1	1	3	4	1	10	1.7
160	J	Q	J and Q	0	0	1	4	3	2	10	1.4
161	J	R	J and R	0	0	4	5	0	1	10	2.2
162	J	S	J and S	0	0	5	4	0	1	10	2.3
163	J	T	J and T	0	1	6	1	1	1	10	2.5
164	J	U	J and U	4	2	2	2	0	0	10	3.8
165	J	V	J and V	3	3	2	2	0	0	10	3.7
166	K	L	K and L	0	1	2	2	3	2	10	1.7
167	K	M	K and M	0	0	6	3	0	1	10	2.4
168	K	N	K and N	1	1	2	4	2	0	10	2.5
169	K	O	K and O	0	1	6	2	0	1	10	2.6
170	K	P	K and P	0	0	2	2	4	2	10	1.4
171	K	Q	K and Q	0	1	0	5	3	1	10	1.7
172	K	R	K and R	0	0	5	3	1	1	10	2.2
173	K	S	K and S	0	1	4	3	2	0	10	2.4
174	K	T	K and T	0	1	5	2	0	2	10	2.3
175	K	U	K and U	4	2	4	0	0	0	10	4.0
176	K	V	K and V	3	4	1	2	0	0	10	3.8
177	L	M	L and M	0	1	2	2	3	2	10	1.7
178	L	N	L and N	0	0	0	4	3	3	10	1.1
179	L	O	L and O	0	0	3	3	1	3	10	1.6
180	L	P	L and P	0	4	4	2	0	0	10	3.2
181	L	Q	L and Q	3	3	3	0	1	0	10	3.7
182	L	R	L and R	0	0	2	4	2	2	10	1.6
183	L	S	L and S	1	1	4	1	2	1	10	2.5
184	L	T	L and T	0	0	2	3	3	2	10	1.5
185	L	U	L and U	0	0	3	2	3	2	10	1.6
186	L	V	L and V	0	0	1	2	3	4	10	1.0
187	M	N	M and N	0	0	3	4	2	1	10	1.9
188	M	O	M and O	0	1	7	1	1	0	10	2.8
189	M	P	M and P	0	0	2	6	1	1	10	1.9
190	M	Q	M and Q	0	0	2	5	3	0	10	1.9
191	M	R	M and R	0	3	5	1	0	1	10	2.9
192	M	S	M and S	0	1	5	3	0	1	10	2.5
193	M	T	M and T	1	2	4	1	0	2	10	2.7
194	M	U	M and U	2	1	5	2	0	0	10	3.3
195	M	V	M and V	4	2	3	1	0	0	10	3.9
196	N	O	N and O	0	0	4	5	0	1	10	2.2
197	N	P	N and P	0	2	0	1	5	2	10	1.5
198	N	Q	N and Q	0	0	1	3	5	1	10	1.4
199	N	R	N and R	0	0	3	6	0	1	10	2.1
200	N	S	N and S	0	0	4	5	0	1	10	2.2
201	N	T	N and T	0	0	6	2	0	2	10	2.2
202	N	U	N and U	3	2	2	2	0	1	10	3.3
203	N	V	N and V	3	2	2	2	0	1	10	3.3
204	O	P	O and P	0	0	2	5	2	1	10	1.8
205	O	Q	O and Q	0	0	4	4	2	0	10	2.2
206	O	R	O and R	0	0	6	3	0	1	10	2.4
207	O	S	O and S	0	0	5	3	1	1	10	2.2
208	O	T	O and T	0	0	4	4	1	1	10	2.1
209	O	U	O and U	1	2	2	4	1	0	10	2.8
210	O	V	O and V	4	3	2	1	0	0	10	4.0
211	P	Q	P and Q	2	3	2	2	1	0	10	3.3
212	P	R	P and R	0	0	3	5	1	1	10	2.0
213	P	S	P and S	0	2	4	3	0	1	10	2.6
214	P	T	P and T	0	0	3	5	1	1	10	2.0
215	P	U	P and U	0	0	4	4	1	1	10	2.1
216	P	V	P and V	0	0	2	5	2	1	10	1.8
217	Q	R	Q and R	0	1	4	3	2	0	10	2.4
218	Q	S	Q and S	0	3	5	1	0	1	10	2.9
219	Q	T	Q and T	0	0	2	5	1	2	10	1.7
220	Q	U	Q and U	0	0	4	4	2	0	10	2.2
221	Q	V	Q and V	0	0	2	4	3	1	10	1.7
222	R	S	R and S	0	0	5	2	2	1	10	2.1
223	R	T	R and T	0	0	5	2	1	2	10	2.0
224	R	U	R and U	0	1	6	2	1	0	10	2.7
225	R	V	R and V	2	0	6	0	1	1	10	2.9
226	S	T	S and T	1	0	4	3	0	2	10	2.3
227	S	U	S and U	0	0	4	4	1	1	10	2.1
228	S	V	S and V	1	0	2	4	2	1	10	2.1
229	T	U	T and U	1	0	6	1	2	0	10	2.7
230	T	V	T and V	2	1	5	1	1	0	10	3.2
231	U	V	U and V	3	3	2	2	0	0	10	3.7

การวิเคราะห์ผลการให้คะแนนค่าความใกล้ชิดนี้มีข้อสังเกตดังนี้ คู่สิ่งอำนวยความสะดวกที่ผู้ตอบให้ค่าคะแนนโดยเฉลี่ยสูงที่สุดหรือเกินกว่า 4 ขึ้นไป (หมายถึงเห็นพ้องกันว่าควรอยู่ใกล้กัน) ทั้งนี้พบว่าจะเป็นคู่สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีการปฏิบัติงานเกี่ยวโยงกันโดยตรง ตำแหน่งที่อยู่ใกล้กันจะช่วยให้การปฏิบัติงานทำได้อย่างสะดวก ได้แก่ จุดกองเหล็กเส้น (C), โรงตัดดัดเหล็กเส้น (D), และโรงผลิตเกลียวเหล็ก (M) นอกจากนี้เพื่อความสะดวกในการขนย้ายเหล็กเส้นที่มีน้ำหนัก จุดกองเหล็กเส้น (C) และโรงตัดดัดเหล็กเส้น (D) กับปั้นจั่นหอสูง (V) ควรอยู่ใกล้กัน ในทำนองเดียวกันกับ จุดกองไม้แบบ (O) กับปั้นจั่นหอสูง (V), สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง (B) กับจุดส่งวัสดุ (G), และสโตร์ปูนซีเมนต์ (K) กับลิฟต์ขนส่ง (U) ส่วนคู่ของสำนักงานสนาม (A) กับห้องปฐมพยาบาล (L) และสำนักงานสนาม (A) กับจุดรวมพล (Q) ควรอยู่ใกล้กัน เนื่องจากประสิทธิภาพในการสั่งการและดูแล ในแง่ของสวัสดิการและสวัสดิภาพของผู้ปฏิบัติงานในสนาม โรงอาหาร (F) กับจุดน้ำดื่ม (P) ควรอยู่ใกล้กัน เพื่อความมีประสิทธิภาพในการรักษาความปลอดภัย สำนักงานสนาม (A) กับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง (B) ควรอยู่ใกล้กัน

ในทางตรงข้ามสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายและสุขอนามัย ได้แก่ ปั้นจั่นหอสูง (V) โรงตัดดัดเหล็กเส้น (D) และจุดพัก-ทิ้งขยะ (N) ควรอยู่ห่างไกลกับสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีความอ่อนไหว ได้แก่ สำนักงานสนาม (A) โรงอาหาร (F) และห้องปฐมพยาบาล (L) ดังแสดงรายละเอียดของค่าเฉลี่ยของคะแนนของทุกคู่ในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของคะแนนความใกล้ชิดกันของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวแต่ละคู่

		Facility																					
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Facility	A		4.0	1.2	1.1	1.4	2.5	2.5	3.5	2.0	1.3	1.7	4.6	1.4	1.0	1.1	2.7	4.5	1.3	3.2	1.2	1.2	1.0
	B			2.2	2.1	2.4	2.4	4.2	3.5	3.1	2.8	3.4	3.1	2.4	1.8	2.5	2.7	3.1	1.5	3.8	1.4	2.3	2.2
	C				4.7	1.3	1.3	3.4	1.3	2.1	2.4	2.3	1.2	4.4	2.2	2.5	1.6	1.2	2.4	2.1	2.4	2.0	4.1
	D					1.8	1.7	3.3	2.3	2.2	2.5	2.5	1.4	4.3	2.0	2.3	1.6	1.7	2.9	2.1	2.3	2.1	4.0
	E						1.8	2.0	2.0	2.2	2.0	1.7	2.0	1.8	2.1	1.6	1.2	2.6	2.1	2.1	1.7	2.0	1.6
	F							1.8	1.9	2.5	1.7	1.5	2.6	1.8	1.1	1.6	4.3	2.9	1.4	1.7	1.4	2.2	1.4
	G								3.3	2.8	3.7	3.4	2.1	2.5	3.1	3.2	1.9	2.6	3.1	3.2	2.1	3.8	3.8
	H									2.6	2.3	2.2	3.3	1.9	2.2	2.0	2.4	3.2	1.7	2.7	1.9	1.8	1.4
	I										2.7	2.6	2.4	2.5	1.9	2.6	2.9	2.5	3.1	2.1	1.8	2.2	2.1
	J											3.7	2.0	2.2	2.7	2.6	1.7	1.4	2.2	2.3	2.5	3.8	3.7
	K												1.7	2.4	2.5	2.6	1.4	1.7	2.2	2.4	2.3	4.0	3.8
	L													1.7	1.1	1.6	3.2	3.7	1.6	2.5	1.5	1.6	1.0
	M														1.9	2.8	1.9	1.9	2.9	2.5	2.7	3.3	3.9
	N															2.2	1.5	1.4	2.1	2.2	2.2	3.3	3.3
	O																1.8	2.2	2.4	2.2	2.1	2.8	4.0
	P																	3.3	2.0	2.6	2.0	2.1	1.8
	Q																		2.4	2.9	1.7	2.2	1.7
	R																			2.1	2.0	2.7	2.9
	S																				2.3	2.1	2.1
	T																					2.7	3.2
	U																						3.7
	V																						

4.2.3 ผลการทดสอบการออกแบบผังสถานที่ก่อสร้าง

ผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นผู้มีประสบการณ์ได้ทำการออกแบบผังสถานที่ก่อสร้าง ด้วยการจัดวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ จำนวน 22 รายการที่ตั้งเป็นโจทย์ไว้ ให้อยู่ภายในขอบเขตพื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่กำหนดไว้ในโจทย์เช่นกัน จากการวิเคราะห์ผลการสอบถามโดยรวมของผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 10 ราย สามารถแบ่งพื้นที่ของโครงการโจทย์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนด้านหน้าโครงการก่อสร้างที่ติดกับทางเข้าออกไปสู่ถนนภายนอก และส่วนด้านในโครงการก่อสร้างที่เป็นที่ตั้งของอาคารที่ต้องการก่อสร้าง มีข้อคิดเห็นโดยรวมดังนี้

1. ส่วนด้านหน้าโครงการก่อสร้าง ถนนทางเข้าโครงการจะชิดรั้วหนึ่งฝั่ง ความกว้างของถนนไม่น้อยกว่า 6 เมตร ฝั่งคู่ขนานกับถนนชั่วคราวทางเข้าโครงการก็จะเป็นถนนสำหรับจอดรถผู้มาติดต่องานกับทางสำนักงานสนามติดกับลานจอดรถก็จะเป็นสำนักงานสนามกับจุดรวมพล ซึ่งจะอยู่ด้านนอกของทางโครงการ ถัดเข้ามาด้านในจะเป็นในส่วนของสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง กับห้องปฐมพยาบาล

2. ส่วนด้านในโครงการก่อสร้าง ใช้ขอบเขตของอาคารที่ต้องการก่อสร้างและขอบเขตของที่ดินเพื่อวางตำแหน่งถนนชั่วคราว การวางผังนี้กำหนดให้มีถนนโดยรอบตัวอาคารที่ต้องการก่อสร้างเพื่อความสะดวกของรถส่งวัสดุและรถคอนกรีตสามารถเข้ามาถึงพื้นที่ด้านในและด้านหลังอาคารได้ ส่วน Tower Crane ได้ถูกกำหนดตำแหน่งไว้ที่มุมอาคารที่ต้องการก่อสร้างแต่ละหลังเพื่อความคล่องตัว รัศมีวงรอบของ Tower Crane ทั้ง 3 ตัวจะต้องซ้อนเหลื่อมกันอย่างน้อย 3 เมตร ลิฟต์ขนส่งจะวางไว้ข้าง Tower Crane ติดกับโครงสร้างอาคาร อยู่ตรงกลางด้านในโครงการ ไม่อยู่ติดด้านนอกหรือบ้านข้างเคียง ตำแหน่งกองเหล็กเส้น และโรงผลิตเกลียวเหล็กต้องอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กัน รัศมีของ Tower Crane สามารถครอบคลุมได้ทั้งพื้นที่จุดกอง อยู่ตรงกลางของพื้นที่ ติดกับถนนชั่วคราว ทำให้ง่ายต่อการขนส่งและการนำไปใช้งานในแต่ละจุด สโตร์ปูนซีเมนต์ กับจุดกองวัสดุหิน-ทราย อยู่ชิดติดกันและติดกับถนนชั่วคราว และลิฟต์ขนส่งวัสดุขึ้นอาคารอยู่ด้านหน้าอาคาร ในจุดที่รถบรรทุกสามารถเข้าส่งวัสดุได้ง่ายและสะดวก จุดพัก-ทิ้งขยะที่เป็นขยะโครงสร้าง เหมาะที่จะอยู่ข้างลิฟต์ขนส่งในตำแหน่งข้างถนนชั่วคราว จุดส่งวัสดุที่อยู่ติดถนนชั่วคราวอยู่ในบริเวณที่ Tower Crane สามารถยกย้ายได้ อยู่ชิดกับจุดกองไม้แบบ เพื่อง่ายต่อการเก็บ ดูแลรักษา และการเบิกจ่ายวัสดุ จุดเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตควรให้อยู่บริเวณข้างถนนชั่วคราวที่รถคอนกรีตสามารถเข้าถึงและติดประตูโครงการด้านในเป็นจุดแรกที่รถจะผ่านก่อนนำคอนกรีตเข้ามาด้านในโครงการ จุดตั้งปั้มคอนกรีตต้องอยู่กลางอาคารเป็นจุดที่สามารถจอดรถและเทคอนกรีตได้ทั้งโครงการ ไม่อยู่ที่ขอบด้านใดด้านหนึ่ง อยู่จุดที่ถนนชั่วคราวเข้าถึง รถส่งคอนกรีตเข้าได้และวนออกได้สะดวก ห้องน้ำคนงานต้องอยู่ด้านหลังอาคาร ห่างจากโรงอาหารคนงานและสำนักงานสนาม ห่างจาก Tower Crane และจุดที่ต้องการโยกย้ายวัสดุเข้าทำงาน โรงประทานอาหารกับจุดกรองน้ำดื่มควรอยู่ใกล้กันด้านหลังอาคาร ห่างจากจุดห้องน้ำคนงาน และการยกย้ายวัสดุ หากมีอาคารหรือโครงสร้างที่ดำเนินการเสร็จควรที่จะย้ายเข้ามาอยู่ภายในอาคาร เพื่อสะดวกและปลอดภัยจากการยกย้ายวัสดุมากขึ้น สโตร์ผู้รับเหมาควรอยู่ด้านหลังอาคารเป็นจุดที่

รัศมี Tower Crane สามารถครอบคลุม โรงเชื่อมเหล็กควรอยู่ข้างอาคารที่อยู่ในรัศมีของ Tower Crane และไม่ควรติดรั้วเพื่อไม่ให้เกิดเสียงรบกวนบ้างข้างเคียง แต่ควรติดกับถนนภายในเพื่อให้สะดวกต่อการขนย้ายขนส่งวัสดุ เมื่อสร้างอาคารขึ้นแล้วเสร็จควรย้ายเข้าอาคารให้ใกล้กับจุดลิฟต์ขนส่งเพื่อง่ายต่อการขนส่งย้ายขึ้นอาคาร

รายละเอียดคำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละรายมีดังนี้

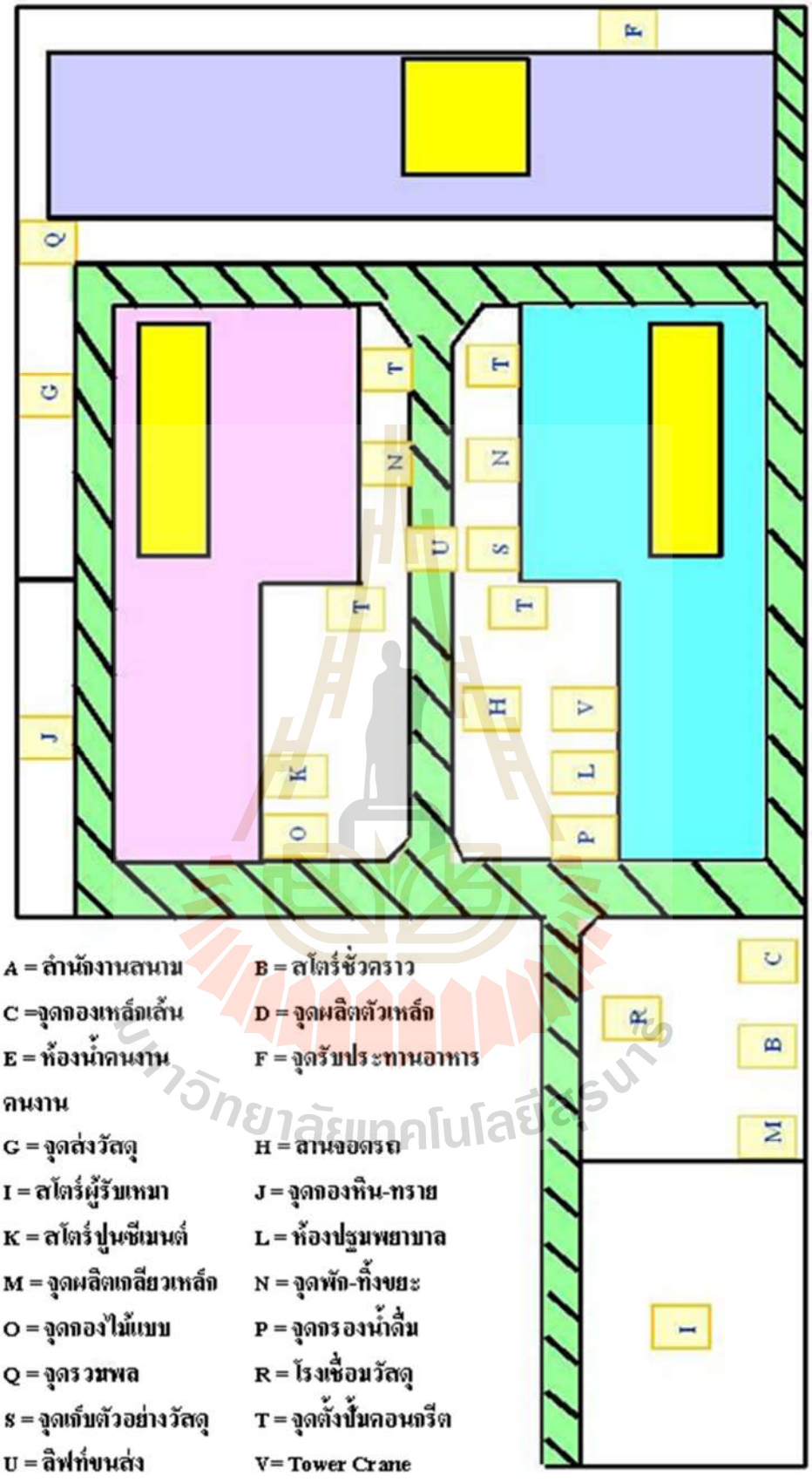
การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 1 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างกับจุดกองเหล็กเส้น และกับโรงผลิตเกลียวเหล็ก ได้ให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 4 ซึ่งหมายความว่าสิ่งอำนวยความสะดวกคู่เหล่านี้ควรอยู่ชิดกันมาก แต่เขากลับจัดวางอยู่ห่างกัน โดยผู้ตอบแบบสอบถามรายนี้อาจตัดสินใจด้วยเงื่อนไขที่สำคัญกว่าอันอื่น ซึ่งแปรผันตามลักษณะพื้นที่ของโครงการ ซึ่งแบบผังที่เขาจัดนี้มีลักษณะพื้นที่แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนด้านหน้าควรให้สโตร์ประเภทต่าง ๆ อยู่ใกล้กัน และช่วยให้การเข้ามาส่งวัสดุทำได้สะดวก ส่วนด้านในควรให้จุดกองเหล็กเส้น โรงผลิตเกลียวเหล็ก และโรงเชื่อมเหล็กอยู่ใกล้อาคารที่ต้องการก่อสร้าง เพื่อความสะดวกต่อการนำมาใช้งาน และเกิดความยากลำบากในการที่จะนำเหล็กที่มีค่าออกนอกโครงการโดยไม่ได้รับอนุญาต และส่วนด้านหลังควรให้สโตร์ผู้รับเหมา อยู่ใกล้ประตูทางออกเพื่อตรวจสอบการนำวัสดุเข้าออกโดยมิได้รับอนุญาต

การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 2 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ ห้องน้ำคนงานกับสำนักงานสนาม ให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 2 ซึ่งหมายความว่าควรอยู่ชิดกันน้อย แต่เขาได้จัดวางห้องน้ำคนงานไว้ด้วยกัน 2 จุดคือ ด้านหน้าและด้านในโครงการเพื่อให้เกิดความสะดวก จึงทำให้มีห้องน้ำอยู่ด้านหน้าโครงการเพิ่มเติม ในส่วนของจุดส่งวัสดุกับจุดกองเหล็กเส้นให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 3 หมายถึงว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันปานกลาง แต่เนื่องจากข้อจำกัดที่ได้จัดให้จุดส่งวัสดุกับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างอยู่ใกล้กันแล้ว จุดส่งวัสดุกับจุดกองเหล็กเส้นจึงอยู่ห่างกันออกมาอีก โรงอาหารกับสโตร์ผู้รับเหมาให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 4 ซึ่งหมายถึงว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันมาก เขาจัดอยู่ห่างกัน เนื่องจากต้องการให้รวมที่รับประทานอาหารไว้จุดเดียวกันเพื่อความสะดวกและสะอาด จึงต้องจัดไว้ตรงกลางระหว่างอาคารที่ก่อสร้างทั้ง 2 หลัง และให้อยู่ใกล้กับจุดกรองน้ำดื่มเพื่อให้เกิดความสะดวกและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

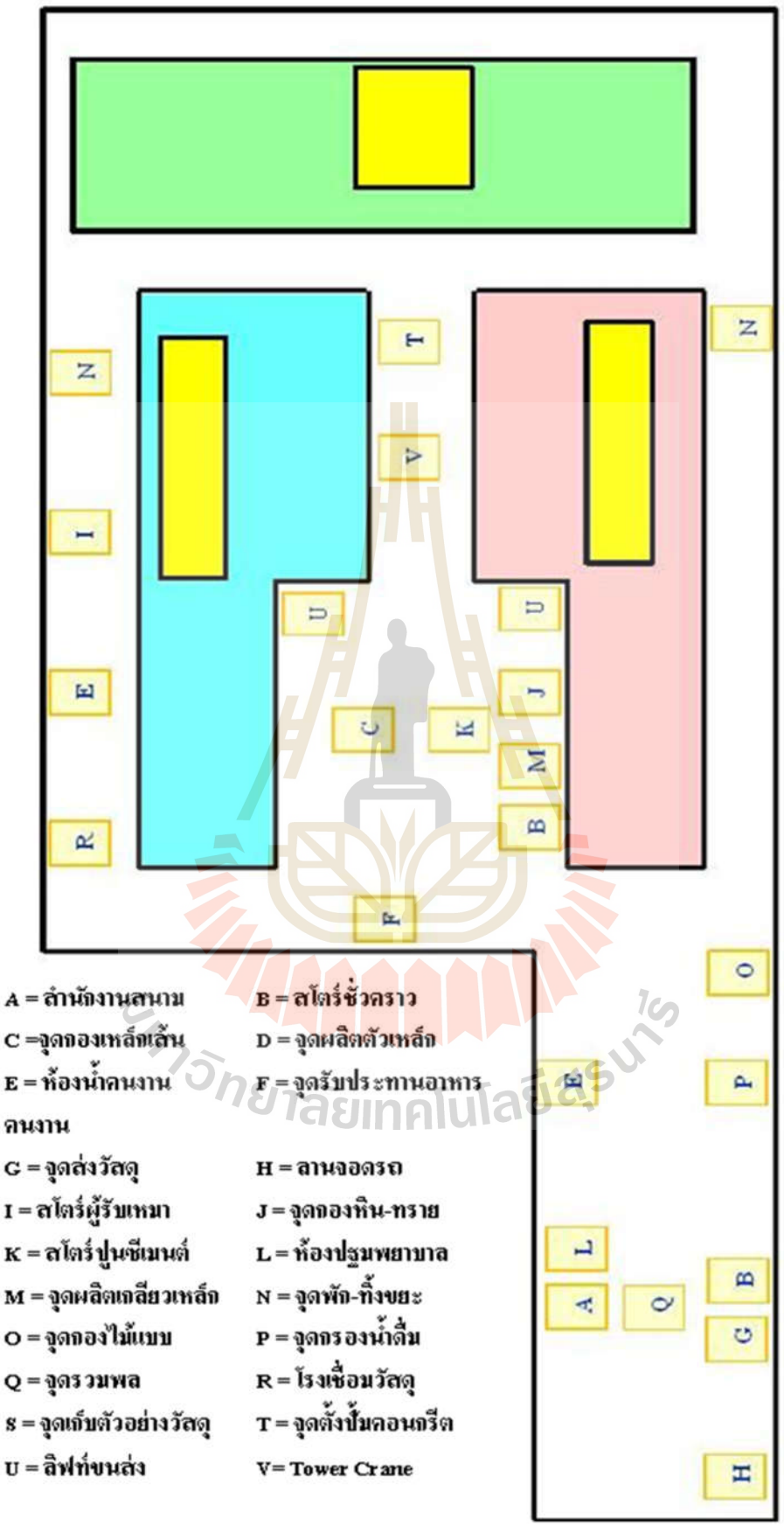
การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 3 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างกับจุดตั้งปั้มคอนกรีตให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 3 มีความหมายว่า ควรใกล้ชิดกันปานกลาง แต่ในผังที่เขาจัด สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ไม่ได้อยู่ใกล้กัน ในผังนี้มีทางเข้าออกกับอาคารที่จะก่อสร้างอยู่ใกล้กัน ในส่วนของสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างควรเป็นจุดที่สามารถส่ง-รับวัสดุได้ง่าย จึงจัดให้อยู่ด้านหน้า ส่วนจุดตั้งปั้มคอนกรีตต้องอยู่ใกล้กับตำแหน่งที่เป็นอาคารหรือตำแหน่งงานที่จะก่อสร้างอยู่ส่วนด้านในโครงการ สำหรับจุดส่งวัสดุและจุดกองวัสดุหิน-ทราย, สโตร์

ปูนซีเมนต์ มีคะแนน เท่ากับ 2 มีความหมายว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันน้อย ในผังนี้ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่าจุดส่งวัสดุในหน่วยงานไม่สมควรที่จะมีจุดเดียวควรที่จะแบ่งเป็นจุดส่งวัสดุเล็กที่สามารถใช้แรงงานคนยกได้ ก็ใช้คนยกเข้าเก็บที่สโตร์ได้เลยแต่ถ้าเป็นวัสดุชิ้นใหญ่และหนัก แรงงานคนไม่สามารถยกได้ต้องจัดจุดที่จัดส่งให้ Tower Crane สามารถยกได้ และอยู่ติดกับถนน ซึ่งการจัดส่งวัสดุไม่ได้ใช้เวลาในการจัดส่งนาน เช่น การส่งหิน-ทรายที่ใช้ในงานก่อ-ฉาบหรืองานเทปรับระดับต่างๆ

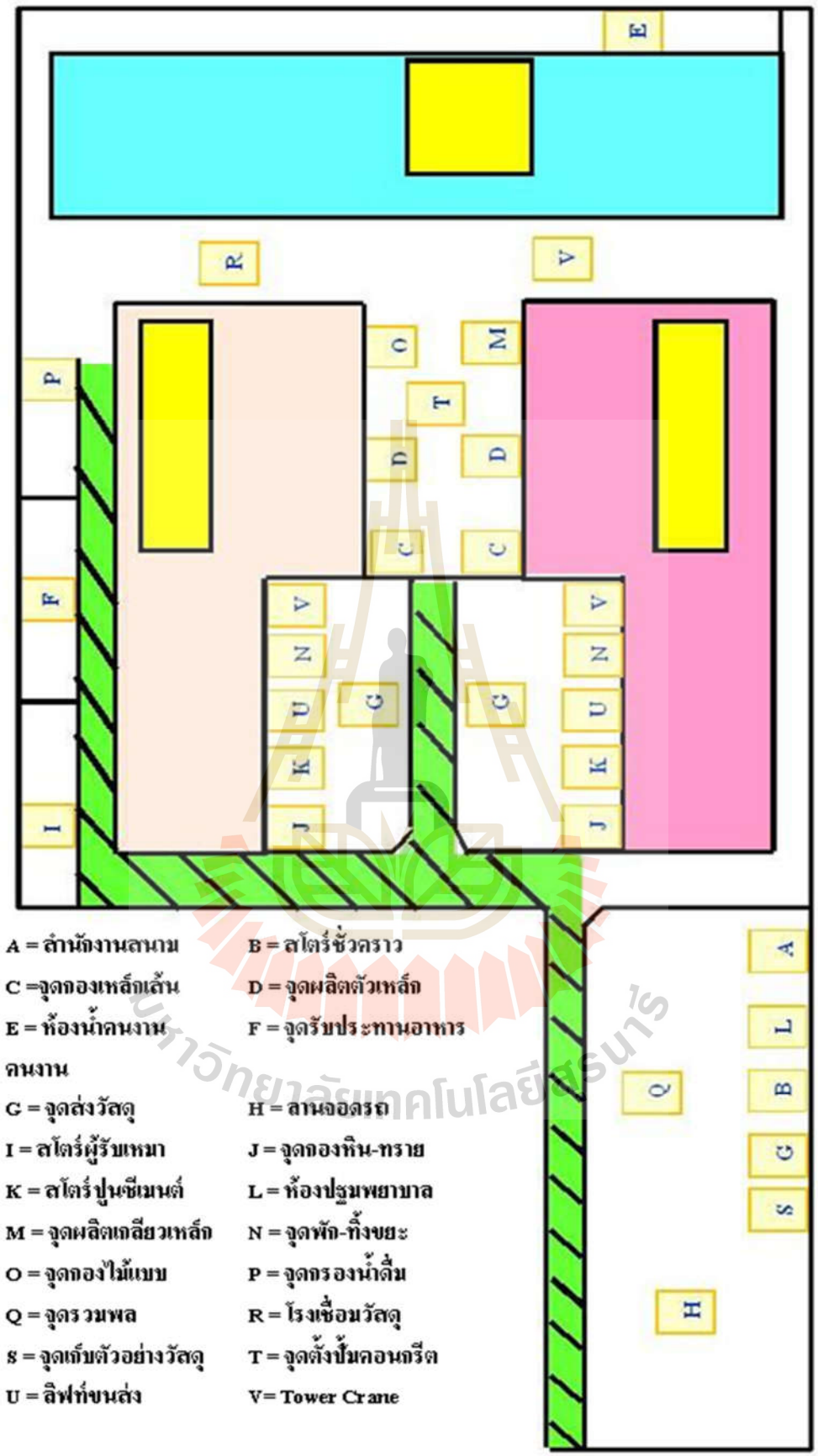
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.2 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 1



รูปที่ 4.3 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 2

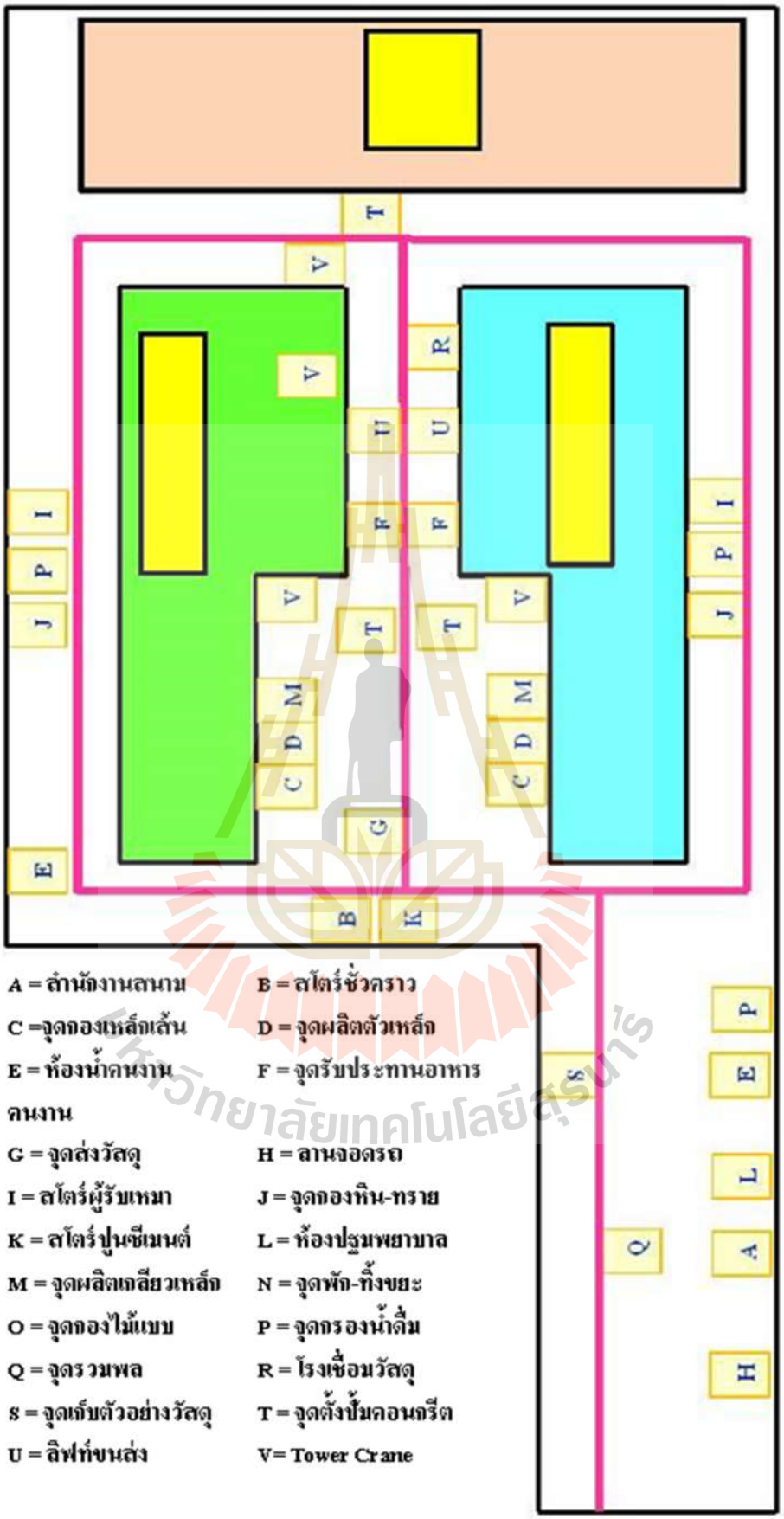


รูปที่ 4.4 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 3

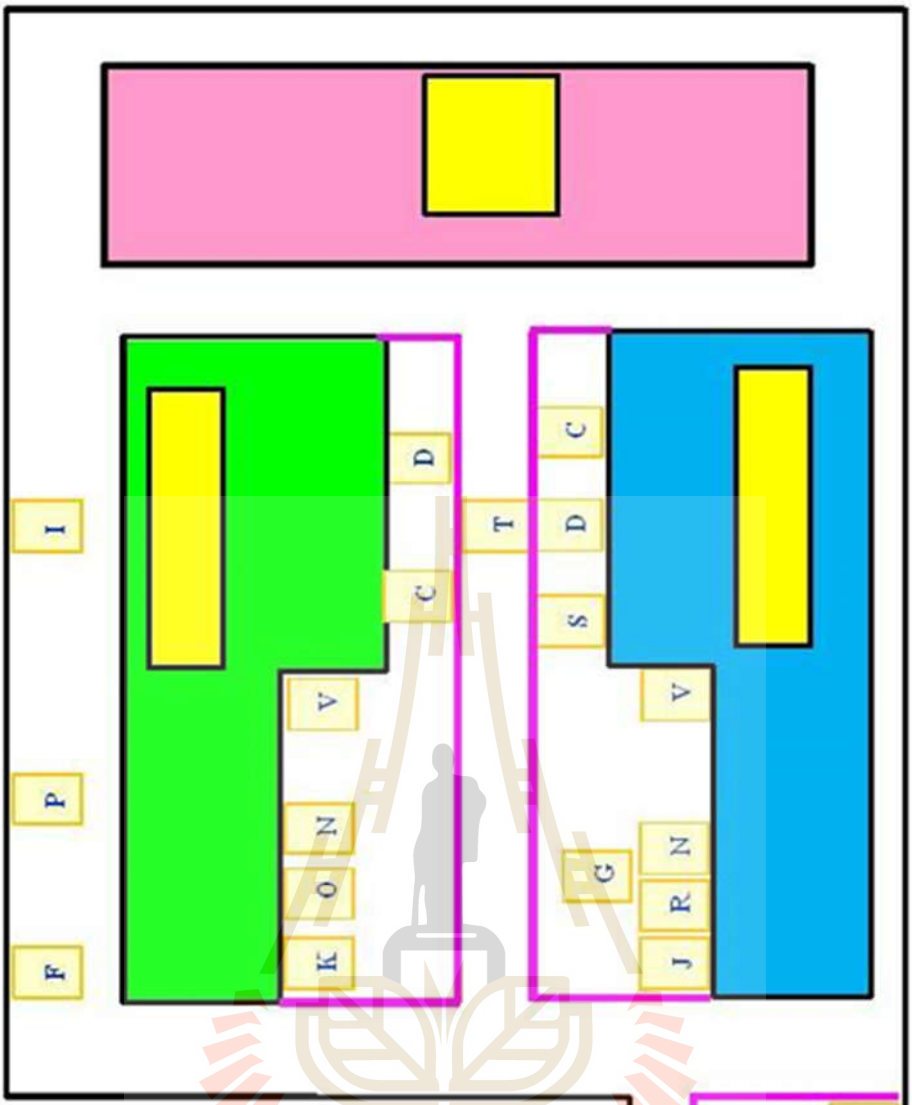
การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 4 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ จุดกองวัสดุหิน-ทราย กับจุดส่งวัสดุ ให้คะแนนไว้เท่ากับ 4 มีความหมายว่าควรอยู่ใกล้กัน แต่เขากลับไม่ได้กำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ไว้ใกล้กันในผังที่ออกแบบ โดยให้เหตุผลว่าจุดส่งวัสดุนี้ต้องการใช้ Tower Crane เพื่อยกวัสดุลง แต่การขนส่งหิน-ทรายสามารถเข้าส่งได้เลยไม่จำเป็นต้องใช้ปั้นจั่น และเขาได้กำหนดให้ห้องปฐมพยาบาลกับห้องน้ำคนงาน มีค่าคะแนนเท่ากับ 0 มีความหมายว่าไม่ควรอยู่ใกล้กัน แต่ผู้ตอบแบบสอบถามรายนี้มีความเห็นว่า ห้องน้ำคนงานไม่ควรที่จะมีจุดเดียวควรจะมี 2 จุด และ 2 จุดต้องห่างกัน จึงกำหนดให้อยู่ด้านในโครงการ 1 จุด และด้านหน้า 1 จุด ส่วนจุดด้านหน้านี้จัดให้อยู่ใกล้กับห้องปฐมพยาบาล เพื่อสะดวกกับผู้ป่วยที่มีความจำเป็นกับการใช้ห้องน้ำจึงไม่ต้องเดินเข้าไปในโครงการ และให้จุดกรองน้ำดื่มอยู่ใกล้บริเวณนี้ด้วย เพื่อให้มีการรักษาความสะอาดให้ถูกสุขลักษณะความปลอดภัยเป็นพิเศษ

การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 5 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างกับจุดกองเหล็กเส้น ได้ให้คะแนนไว้เท่ากับ 4 มีความหมายว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่ในผังที่เขาจัด เขากลับจัดวางให้สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างอยู่ส่วนด้านหน้าโครงการ โดยให้ความเห็นว่าเพื่อความสะดวกต่อการเข้าส่งวัสดุและความปลอดภัยในการตรวจเช็ควัสดุเข้าออกภายในโครงการเป็นหลัก และในส่วนของกองวัสดุเหล็กเส้นจำเป็นต้องอยู่ใกล้กับจุดที่ต้องการใช้งาน จึงจะสะดวกต่อการโยกย้ายเหล็กไปใช้งาน ซึ่งเป็นด้านในโครงการ

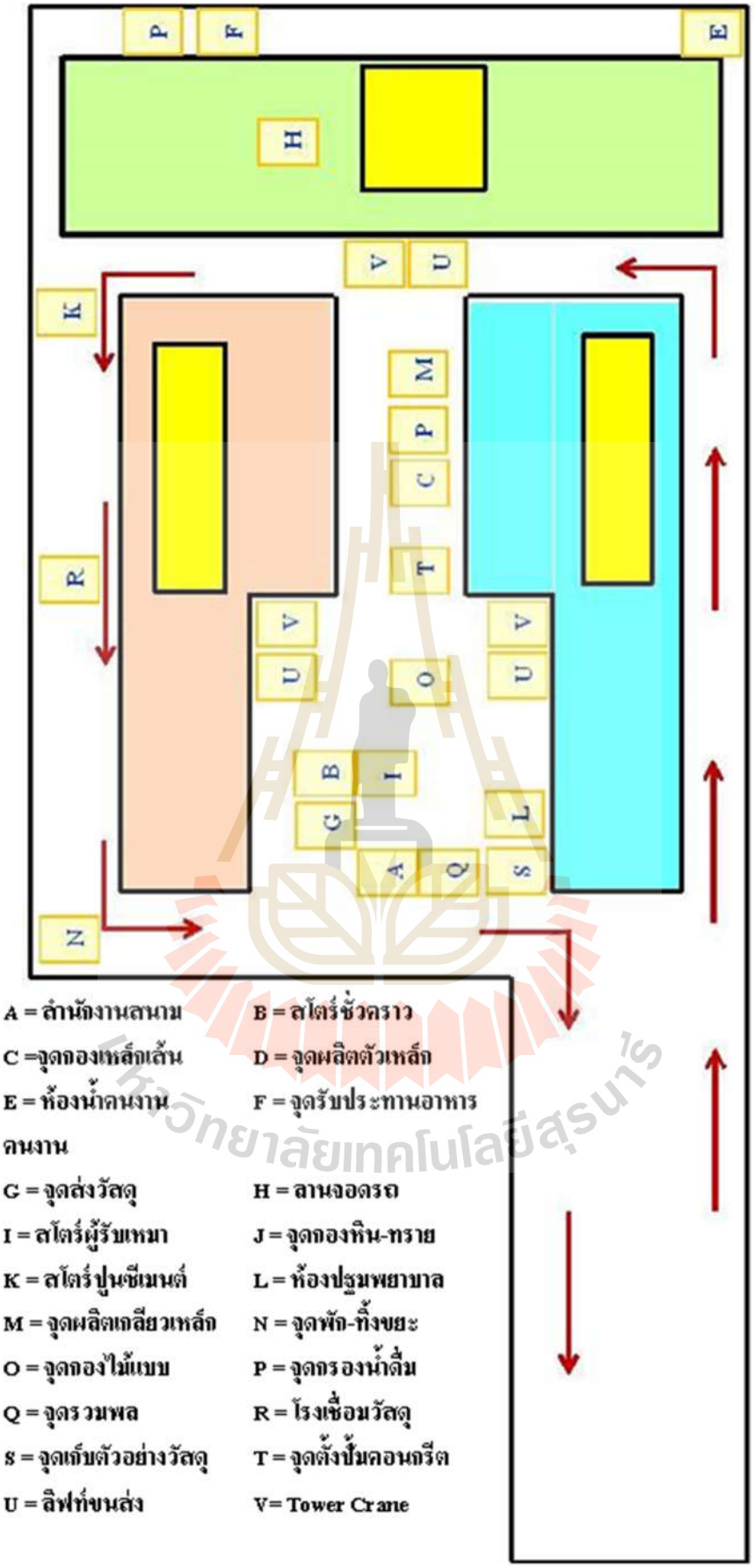
การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 6 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สำนักงานสนามกับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง ได้ให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 2 ซึ่งมีความหมายว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันน้อย แต่เขากลับจัดผังให้สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้อยู่ใกล้ชิดกัน โดยให้เหตุผลว่าสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างมีการขนส่งวัสดุหรือการนำวัสดุเข้า-ออกหน่วยงานจะต้องมีการรับรู้รับทราบและเซ็นเอกสารจากผู้จัดการโครงการหรือผู้รับผิดชอบที่ได้แต่งตั้งไว้ และมีการส่งบิลสินค้าเข้าสำนักงานใหญ่ทุกครั้ง จึงไม่ควรจัดให้อยู่ไกลกันเกินไป ส่วนตำแหน่งของสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างกับจุดกองหิน-ทราย และสโตร์ปูนซีเมนต์ เขาได้ให้ค่าคะแนนไว้เท่ากับ 4 หรือเห็นว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่ในผังที่เขาจัด เขากลับให้ความสำคัญกับความสะดวกในการขนส่งในการจัดตำแหน่งจุดกองหิน-ทรายไม่ควรอยู่ใกล้พื้นที่ที่มีกิจกรรมก่อสร้าง แต่ควรอยู่ในพื้นที่ที่รถขนส่งหิน-ทรายสามารถเข้าออกได้สะดวก และมีพื้นที่ให้กลับรถได้ง่าย ดังนั้นจึงควรให้อยู่ด้านหลังอาคาร



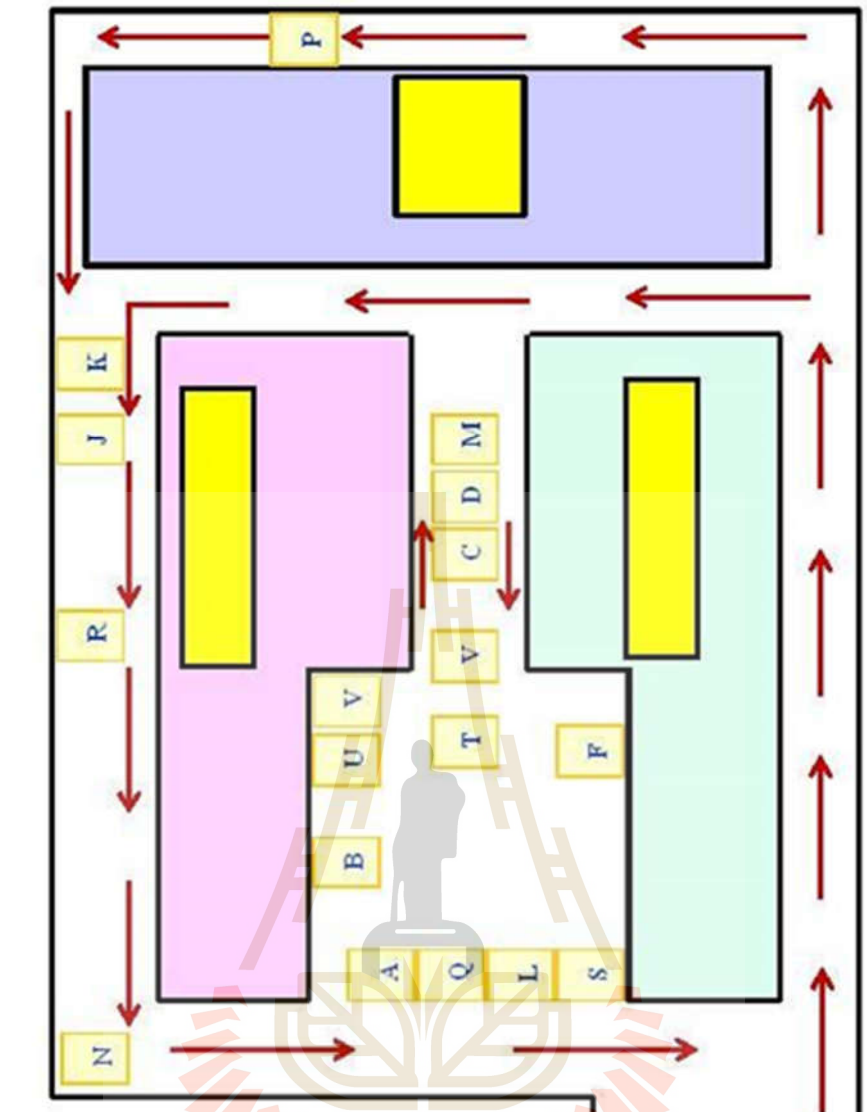
รูปที่ 4.5 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 4



รูปที่ 4.6 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 5



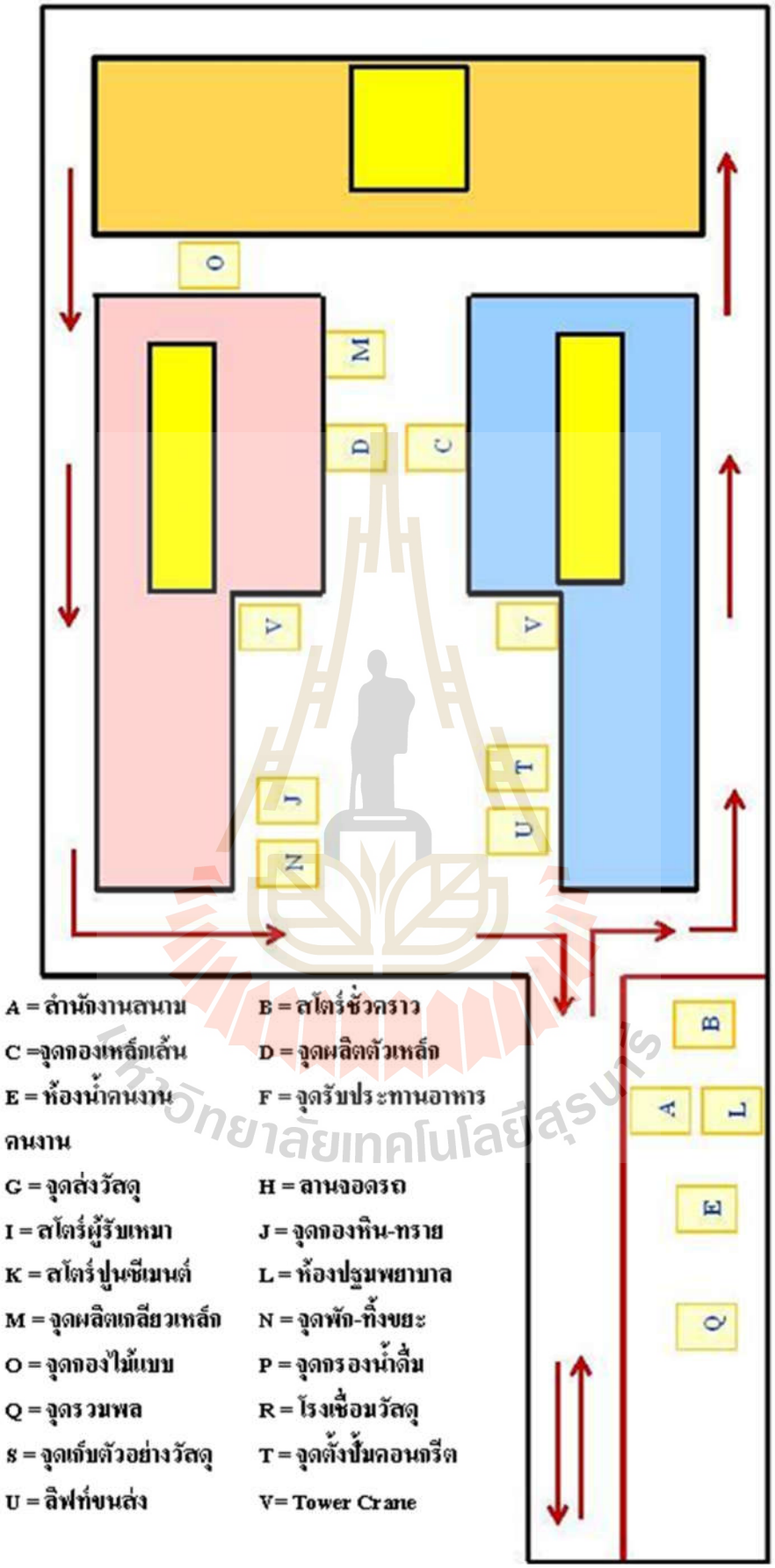
รูปที่ 4.7 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 6



รูปที่ 4.8 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 7

การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 7 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างกับจุดพัก-ทิ้งขยะ ได้ให้คะแนนไว้เท่ากับ 4 ซึ่งมีความหมายว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่เขาจัดผังให้สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้อยู่ห่างกัน โดยให้เหตุผลว่าเนื่องจากสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างเป็นตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ก่อสร้างที่มีเครื่องจักรและใกล้กับสำนักงานสนาม ไม่ควรให้กลิ่นขยะทำความรบกวนหากกำหนดให้จุดพัก-ทิ้งขยะมาอยู่ด้วยกันด้านใน แต่กลับควรอยู่ที่ด้านนอกหรือติดกับถนนภายนอกเพื่อให้รถขนขยะสามารถเข้า-ออกได้สะดวก หากอยู่ด้านในบริเวณเดียวกับพื้นที่ที่มีกิจกรรมก่อสร้างจะส่งผลกระทบต่อการทำงานและสุขภาพจิตของผู้ทำงานได้ สำหรับจุดเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตกับจุดกองเหล็กเส้น เขาได้ให้คะแนนไว้เท่ากับ 4 หรือควรที่จะอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่ในการจัดผังเขามีความเห็นเพิ่มว่า จุดกองเหล็กเส้นเป็นตำแหน่งที่ต้องอยู่ใกล้ Tower Crane เพื่อการโยกย้ายวัสดุอยู่ตลอด หากจุดเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตไว้บริเวณใกล้กันนั้นอาจทำให้ไม่ปลอดภัยจาก Tower Crane ที่กำลังยกวัสดุอยู่ได้ จึงให้ย้ายจุดเก็บตัวอย่างคอนกรีตออกมาอยู่ด้านหน้าเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน นอกจากนี้เมื่อรถส่งคอนกรีตเข้ามาก็สามารถทำการเก็บตัวอย่างได้ก่อนที่จะเข้าเทคอนกรีตในโครงการได้สะดวกกว่า

การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 8 พบว่าเขาเห็นว่าควรใช้พื้นที่ของตัวอาคารที่ก่อสร้างเพื่อจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เพราะสามารถลดระยะการขนถ่ายวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงได้ ช่วยให้ทำงานได้รวดเร็วขึ้น และควรพิจารณาจัดวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ได้เป็นเวลานาน ไม่เกิดการโยกย้ายอีกหลายครั้ง นอกจากนี้ยังพบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างกับสโตร์ปูนซีเมนต์ เขาได้ให้คะแนนไว้เท่ากับ 5 ซึ่งหมายถึงว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันมากที่สุด แต่ในการจัดผังเขากลับให้คู่นี้อยู่ห่างกัน โดยให้เหตุผลว่าสโตร์ปูนซีเมนต์ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บมากพอสมควร เนื่องจากการสั่งซื้อเข้ามาแต่ละครั้งเป็นจำนวนมาก และพื้นที่เก็บรักษานั้นจะต้องเป็นพื้นที่ไม่เปียกชื้น เขาจึงเห็นว่าควรจัดตำแหน่งอยู่ในตัวอาคารที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว จะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมและปลอดภัยที่สุด แต่กลับเป็นตำแหน่งที่ห่างจากสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างซึ่งอยู่ด้านหน้าโครงการ ส่วนตำแหน่งจุดตั้งปั้มคอนกรีตและลิฟต์ขนส่ง เขาได้ให้คะแนนไว้เท่ากับ 2 หมายความว่า สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้ควรอยู่ใกล้ชิดกันน้อย แต่ในทางปฏิบัติลิฟต์ขนส่งจะต้องยึดกับตัวอาคาร และท่อส่งคอนกรีตที่ออกจากปั้มก็จะต้องยึดเข้ากับตัวอาคารเช่นกัน เพื่อความสะดวกในการยึดท่อส่งคอนกรีตของโครงการนี้จึงทำให้ตำแหน่งติดตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกทั้ง 2 นี้อยู่ชิดกัน

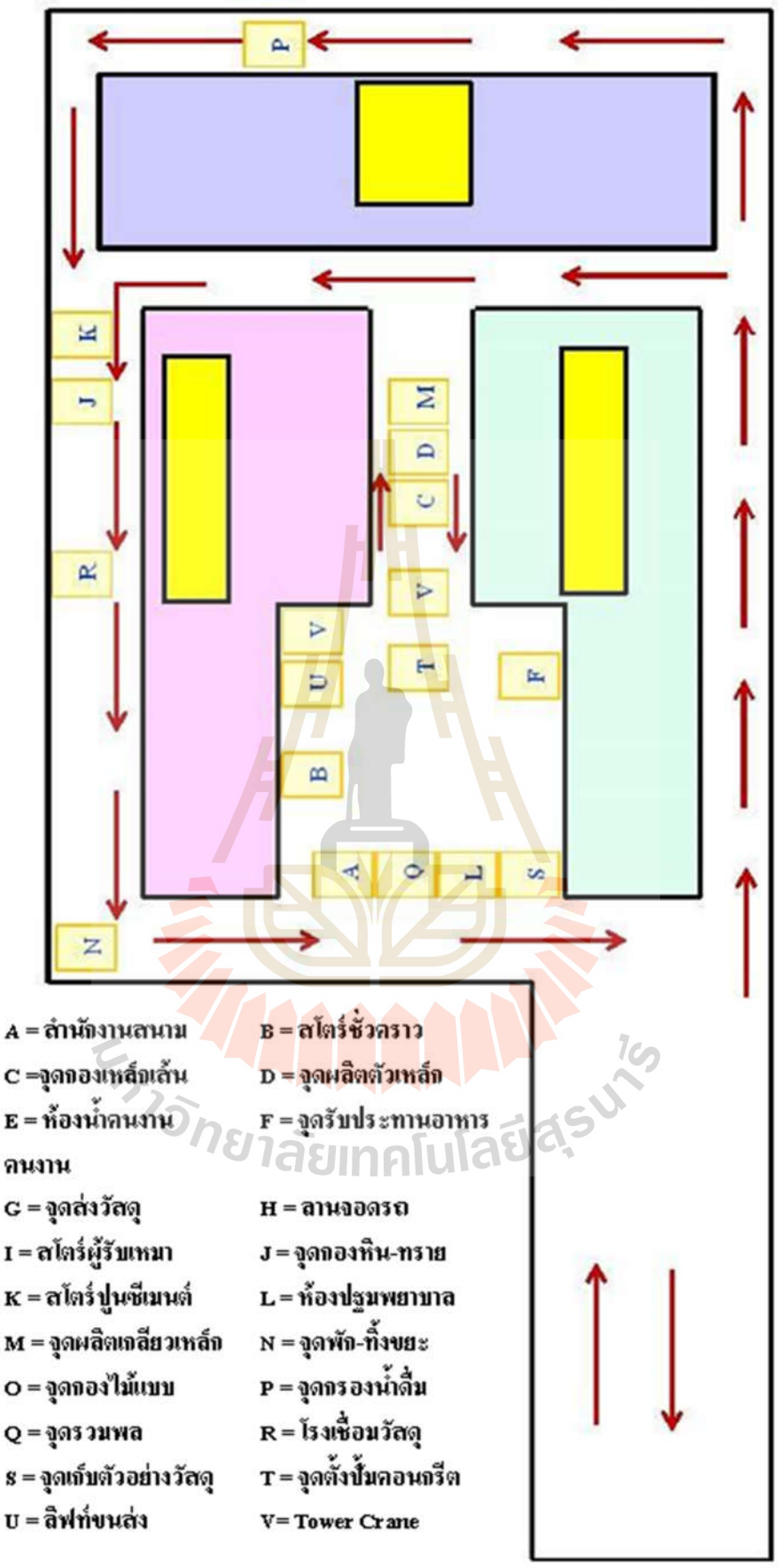


รูปที่ 4.9 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 8

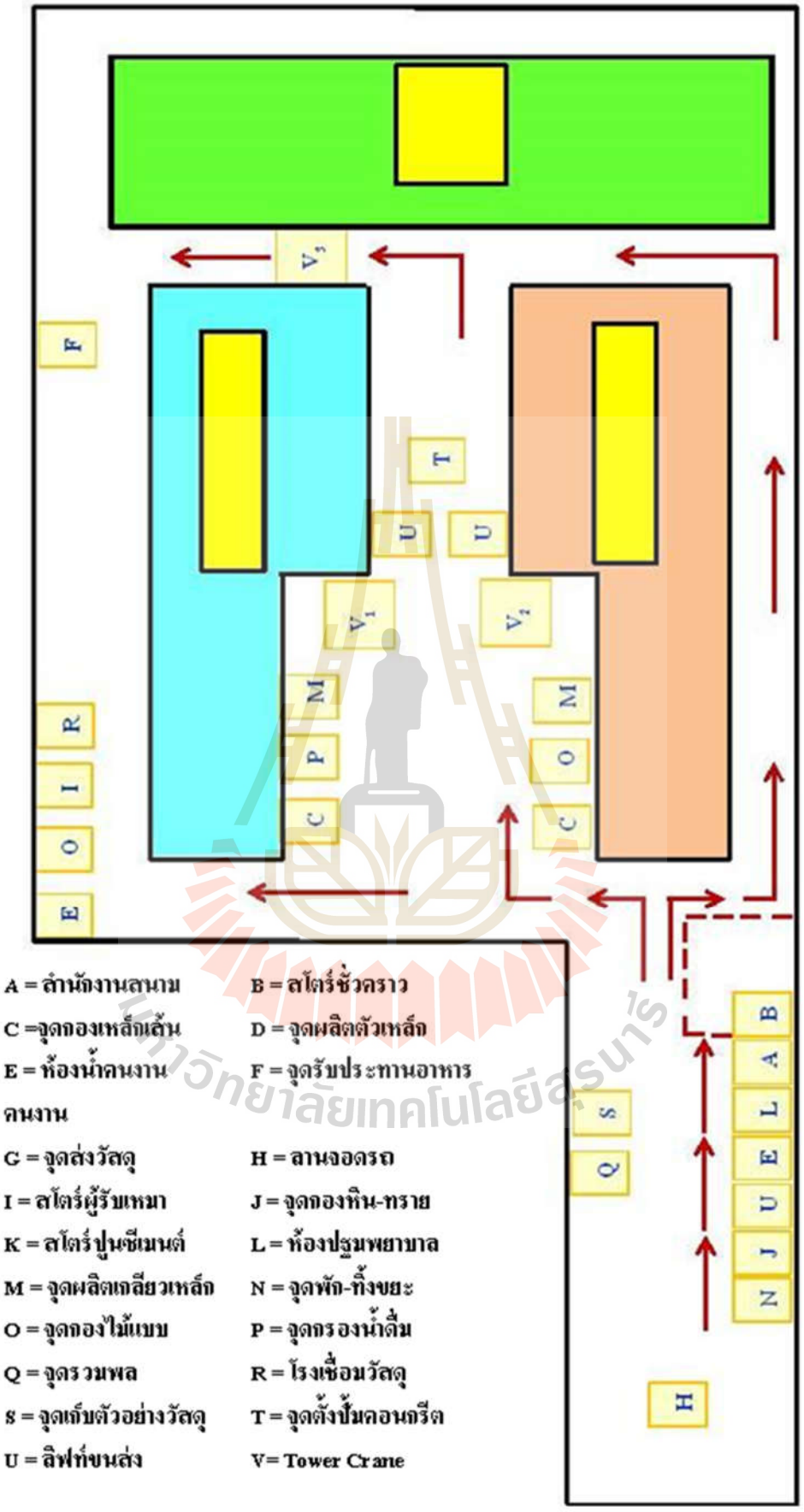
การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 9 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ ลานจอดรถกับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง ควรใกล้ชิดกันปานกลางด้วยค่าคะแนนที่ให้ไว้เท่ากับ 3 แต่ในการจัดผังเขาให้สิ่งอำนวยความสะดวกคู่นี้อยู่ใกล้ชิดกัน โดยให้ความเห็นว่า ควรให้ลานจอดรถเป็นจุดส่งวัสดุให้กับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง จะทำให้การรับส่งวัสดุและการขนย้ายทำได้สะดวกรวดเร็วกว่า ซึ่งเขาได้วางแนวทางหลักในการจัดวางตำแหน่งคือ การคำนึงถึงประโยชน์ของการใช้สอยพื้นที่ ความปลอดภัยและความสะดวก และไม่ควรจัดตำแหน่งที่ทำให้กีดขวางการทำงานระหว่างกันเอง

การวิเคราะห์ผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 10 พบข้อขัดแย้งระหว่างการให้ค่าคะแนนความใกล้ชิดกับการออกแบบผังนี้ดังนี้คือ สำนักงานสนามกับจุดกรองน้ำดื่ม และห้องปฐมพยาบาลได้ให้คะแนนไว้เท่ากับ 3 ซึ่งมีความหมายว่าควรอยู่ใกล้ชิดกันปานกลาง แต่ในการจัดผังเขาได้จัดสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้อยู่ใกล้ชิดกัน โดยให้เหตุผลด้านความปลอดภัย เนื่องจากตำแหน่งที่จัดวางไว้เป็นบริเวณที่ห่างจากพื้นที่ที่มีกิจกรรมอันตราย คือบริเวณด้านหน้าโครงการ และยังสะดวกต่อการนำรถเข้ามารับผู้ป่วยไปโรงพยาบาลได้อย่างรวดเร็ว หากเป็นกรณีฉุกเฉิน และผู้ควบคุมงานยังสามารถคอยดูแลได้อย่างใกล้ชิด ส่วนโรงอาหารที่จัดให้อยู่ด้านหลังซึ่งห่างจากจุดรวมพลและห้องปฐมพยาบาลที่ถูกจัดให้อยู่ด้านหน้าแล้ว จุดรวมพลจึงจำเป็นต้องห่างจากโรงอาหาร แต่การที่โรงอาหารอยู่ด้านหลังก็ยังมีข้อดีที่ทำให้สะดวกต่อการเข้ารับประทานอาหาร เนื่องจากอยู่ใกล้บริเวณที่ทำกิจกรรมก่อสร้าง ทำให้ช่วยลดระยะทางและเวลาเดินทาง ทำให้คนงานมีเวลาพักผ่อนเพิ่มมากขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.10 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 9



รูปที่ 4.11 คำตอบผังสถานที่ก่อสร้างของผู้ตอบแบบสอบถามรายที่ 10

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะอื่น ๆ

จากการสัมภาษณ์และคำถามปลายเปิดของแบบสอบถามในตอนที่ 4 ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง จากผู้ตอบแบบสอบถามโดยรวมแบ่งเป็น 5 ด้าน คือ ด้านผลกระทบต่อผู้อาศัยบริเวณข้างเคียง ด้านสาธารณูปโภคชั่วคราวกีดขวางการทำงาน ด้านพื้นที่กองเก็บวัสดุกีดขวางการทำงาน ด้านเครื่องจักรใหญ่กีดขวางการทำงาน และด้านแนวทางระบายน้ำ (Site Drainage) มีรายละเอียดดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาและข้อเสนอแนะในการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง

ปัญหา	ข้อเสนอแนะ
1. ด้านผลกระทบต่อผู้อาศัยบริเวณข้างเคียง	
งานก่อสร้างทำให้เกิดเสียงดังรบกวน บดบังทัศนียภาพและอาจจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนบริเวณข้างเคียง	ทีมงานโครงการควรเข้าไปทำความรู้จักและหาข้อมูลผู้อาศัยบริเวณข้างเคียงและชุมชนรอบข้าง รวมทั้งแจ้งและอธิบายให้ทราบกิจกรรมก่อสร้างที่สร้างผลกระทบมากล่วงหน้าก่อนดำเนินการ เช่น แรงสั่นสะเทือน เสียง กลิ่น ฯลฯ จัดผังแยกกิจกรรมที่สร้างการรบกวนให้ห่างจากชุมชนมากที่สุดอย่างเหมาะสมเพื่อลดผลกระทบ
แรงสั่นสะเทือนจากการทำงานหรือการเคลื่อนตัวของดินทำให้บ้านเรือนรอบข้างร้าวทรุด และเสียหาย	ทำการสำรวจสภาพบ้านเรือนข้างเคียงโดยรอบสถานที่ก่อสร้าง พร้อมทั้งถ่ายรูปประกอบเพื่อเป็นหลักฐานอ้างอิงสำหรับการชดเชยความเสียหาย
ผู้อาศัยบริเวณข้างเคียงมีทัศนคติไม่ดีกับการก่อสร้าง กังวลปัญหาต่าง ๆ เช่น โจรกรรม ภัยจากคนงานก่อสร้าง กลิ่นเหม็น ฝุ่นละออง ฯลฯ	รักษาความสะอาดบริเวณภายในและหน้าโครงการ สร้างให้มีทัศนียภาพที่ดี และจัดทำรั้วรอบขอบเขตของโครงการให้มิดชิดแข็งแรง กำชับพนักงานและคนงานให้เป็นมิตรและแต่งกายให้เรียบร้อย
2. ด้านสาธารณูปโภคชั่วคราวกีดขวางการทำงาน	
สาธารณูปโภคชั่วคราวต่าง ๆ ที่จำเป็นในระหว่างการก่อสร้าง ได้แก่ ไฟฟ้า ประปา โทรศัพท์ รั้ว ประตู ป้อมรักษาความปลอดภัย และสำนักงานสนามชั่วคราว	ก่อนรับมอบพื้นที่ก่อสร้างทีมงานโครงการจะต้องรีบทำการสำรวจพื้นที่ เพื่อทำการจัดผังเริ่มต้น Pre-site layout ที่สามารถใช้ทำงานเร่งด่วนชั่วคราวได้ประมาณ 1 เดือน ระบบสาธารณูปโภคชั่วคราวต่าง ๆ ควรติดตั้งแล้วเสร็จภายใน 1 สัปดาห์หลังรับมอบพื้นที่ เพื่อให้เริ่มทำงานได้เร็วที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	หลังจากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งสาธารณูปโภคพื้นฐาน ให้แล้วเสร็จภายในเดือนแรกหลังเริ่มโครงการ โดยพิจารณาตรวจสอบลำดับของกิจกรรมก่อสร้างและพื้นที่งานต่าง ๆ ให้ดี เพื่อไม่กีดขวางการทำงานกันเอง
การย้ายตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกหลายครั้ง ในระหว่างดำเนินโครงการ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเสียเวลาในการทำงาน	จัดทำ Pre–site layout และ Site layout ให้รอบคอบเพื่อกำหนดตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกในแต่ละช่วงของโครงการ โดยไม่ควรย้ายสำนักงานสนามเกิน 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งควรให้สามารถอยู่ได้นานที่สุดที่จะไม่กีดขวางการก่อสร้าง เช่น ช่วงแรกใช้ตู้ Container อยู่กลางแจ้ง ช่วงที่ 2 ย้ายเข้าอาคารที่ก่อสร้าง ช่วงที่ 3 ระหว่างเก็บงานจนถึงส่งมอบงานงวดสุดท้าย
สายไฟฟ้าแรงสูงภายในบริเวณโครงการกีดขวางการทำงาน การรื้อย้ายลำบาก ต้องหยุดการทำงานก่อสร้าง	สายไฟแรงสูงควรวางไว้อยู่หน้าโครงการ และไม่ควรลากสายเข้าไปใช้ภายในโครงการ
3. ด้านพื้นที่กองเก็บวัสดุกีดขวางการทำงาน	
การกำหนดตำแหน่งพื้นที่กองเก็บวัสดุที่ไม่เหมาะสมทำให้การขนย้ายไม่สะดวก ต้องมีการย้ายที่กองเก็บหลายรอบ และกีดขวางการทำงาน	ควรแบ่งประเภทของพื้นที่กองเก็บวัสดุให้เป็นหมวดหมู่ตามลักษณะการใช้งาน และมีขอบเขตของพื้นที่กองเก็บวัสดุชัดเจน เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมการใช้และการเบิกจ่าย วัสดุขนาดใหญ่และหนักควรกองเก็บไว้ใกล้พื้นที่ใช้งานหรือเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง เช่น เหล็กรูปพรรณขนาดใหญ่ควรอยู่ใกล้เครื่องตัดกว่าเหล็กเส้น เป็นต้น ควรเลือกพื้นที่กองเก็บวัสดุให้มีการเคลื่อนย้ายเพียง 1 ครั้งเท่านั้น คือการเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้งาน
การจัดเก็บวัสดุที่ใช้ในงานชั่วคราว (Temporary work) เช่น นั่งร้าน แบบหล่อคอนกรีต ฯลฯ ไม่เป็นระเบียบทำให้เสียหายและกีดขวางการทำงาน	เลือกพื้นที่กองเก็บไม่กีดขวางการทำงาน ควรเลือกพื้นที่กองเก็บวัสดุให้มีการเคลื่อนย้ายเพียง 1 ครั้งเท่านั้น คือการเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้งาน
วัสดุที่เจ้าของโครงการจัดซื้อมาเอง มักจะถูกมาส่งในขณะที่สถานที่ติดตั้งยังไม่พร้อม และต้องจัดพื้นที่เพื่อการเก็บรักษา แต่หากเก็บไม่ดีก็จะทำให้เกิดความเสียหายได้หรือกีดขวางการทำงาน	ทีมงานโครงการควรรีบประสานกับเจ้าของโครงการล่วงหน้าเพื่อตกลงเงื่อนไขการจัดเก็บวัสดุที่เจ้าของโครงการจัดซื้อมาเองให้ชัดเจนตั้งแต่ในสัญญา หรือในการประชุมโครงการในครั้งแรก ๆ เพื่อกำหนดผู้รับผิดชอบวางแผน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	กำหนดการจัดส่งและจัดเก็บ รวมทั้งการรับผิดชอบต่อความเสียหายที่อาจเกิดระหว่างการกองเก็บที่โครงการ
4. ด้านเครื่องจักรใหญ่กีดขวางการทำงาน	
ตำแหน่งของเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เช่น Tower Crane หรือเครื่องปั้มคอนกรีตกีดขวางการทำกิจกรรมอื่น ๆ	ในการจัดผังสถานที่ก่อสร้างควรพิจารณาแผนงานก่อสร้างควบคู่กันด้วย เพื่อพิจารณาไม่ให้กีดขวางการทำงานกันเองและมีพื้นที่การทำงานที่ซ้อนทับกัน
ตำแหน่งที่จอดรถขนคอนกรีตแคบและไม่เพียงพอ ไม่สามารถนำรถเข้าไปถึงได้	ทำผังบริเวณให้กับรถขนคอนกรีตสามารถเข้าถึงพื้นที่ทำงานที่ต้องการอย่างทั่วถึง โดยต้องตรวจสอบขนาดและความยาวของรถ และวางตำแหน่งที่จอดรถให้มีขนาดและทิศทางที่สามารถเข้า–ออกได้สะดวก
กิจกรรมการเทคอนกรีตเกิดเสียงดังรบกวนกระทบต่อบ้านเรือนข้างเคียง	ต้องจัดตำแหน่งที่จอดรถขนคอนกรีตและเครื่องปั้มคอนกรีตให้ห่างบ้านข้างเคียงมากที่สุด เพื่อลดผลกระทบ
การวางท่อส่งคอนกรีตจากเครื่องปั้มซ้อนทับกับงานระบบอื่น ๆ เกิดการกีดขวาง	การวางท่อส่งคอนกรีตจากเครื่องปั้ม ไม่ควรซ้อนทับกับแนวท่องานระบบอื่น ๆ เช่น ช่อง Shaft ของงานระบบไฟฟ้า ระบบประปา หรือระบบสุขาภิบาล โดยควรวางไว้ในช่องลิฟต์หรือในช่อง Pressurizer ที่มักจะก่อสร้างตอนช่วงท้าย ๆ ของโครงการ เพื่อมิให้ไปกีดขวางการติดตั้งงานระบบ
การวางท่อส่งคอนกรีตจากเครื่องปั้มไม่ได้มีการเผื่อระยะท่อในแนวราบ ช่วงที่ต่อออกจากเครื่องไว้อย่างเพียงพอ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแนวท่อหลายครั้งเมื่อมีการเพิ่มความสูงของท่อ	ตรวจสอบแรงดันของปั้มคอนกรีตและความสูงของอาคารเพื่อกำหนดระยะท่อในแนวราบให้เพียงพอ หากต้องปั้มคอนกรีตขึ้นไปสูงมากยิ่งต้องการความดันมาก ซึ่งทำให้ต้องการระยะท่อในแนวราบมากขึ้นด้วย
เศษคอนกรีตที่เหลือมักจะถูกทิ้งไว้ทำให้สกปรก กีดขวางการทำงานอื่น และต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพื่อแก้ไขปัญหาในภายหลัง	ควรวางแผนนำเศษคอนกรีตที่เหลือไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ไว้ก่อน เช่น ทำพื้นทางเดิน ทำ wheel stop หรือทำบล็อกปูพื้น เป็นต้น
5. ด้านแนวทางระบายน้ำ	
ทางระบายน้ำฝนชั่วคราวภายในโครงการ (Temporary site drainage) ไม่เหมาะสมและไม่สามารถระบายน้ำได้สะดวก ทำให้เกิดน้ำขังท่วมและกระทบกับการทำงานของโครงการ	วางแผนสำรวจและกำหนดเส้นทางระบายน้ำชั่วคราวของโครงการ โดยพิจารณาจากเส้นทางการระบายน้ำที่มีอยู่เดิมว่าเพียงพอหรือไม่ เพื่อปรับปรุงให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้และต้อง พิจารณาถึงผลกระทบต่อผู้อาศัยบริเวณข้างเคียง

นอกจากนี้ยังสามารถสรุปหลักปฏิบัติทั่วไปสำหรับการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ได้ดังนี้

1. ควรรีบจัดตั้งทีมโครงการทันทีที่เริ่มโครงการใหม่ เพื่อทำการสำรวจบริเวณสถานที่ก่อสร้างจริง และนำข้อจำกัด ปัญหา และอุปสรรคที่พบไปใช้ประกอบการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง การสำรวจสถานที่ก่อสร้างจริงนี้ควรไปเป็นทีมเพื่อให้ผู้รับผิดชอบแต่ละด้านพิจารณาปัญหาได้รอบด้านและครบถ้วน และเพื่อให้มั่นใจว่าการจัดทำผังสถานที่ก่อสร้างจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และไม่ก่อให้เกิดปัญหาความขัดแย้งหรืออุปสรรคกับการทำงานกันเองในแต่ละส่วนและในทุกขั้นตอน

2. การจัดผังสถานที่ก่อสร้างต้องสอดคล้องกับแผนงานก่อสร้าง เพื่อให้ตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ สอดคล้องกับความจำเป็นต่อการใช้งานเพื่อสนับสนุนงานก่อสร้างตามแผนงานนั้น

3. โครงการก่อสร้างอาคารสูงทั่วไปโครงการหนึ่งควรมีการจัดทำผังสถานที่ก่อสร้างจำนวนทั้งสิ้นไม่เกิน 5 ชุด สำหรับการปรับเปลี่ยนตามระยะเวลาต่าง ๆ ของการดำเนินโครงการ ดังต่อไปนี้

ชุดที่ 1 Pre–site layout สำหรับใช้ตั้งแต่เริ่มโครงการจนเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน เป็นผังชั่วคราวเริ่มต้นเพื่อรอการจัดตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกให้เหมาะสมต่อไป ทีมโครงการต้องรีบเข้าสำรวจพื้นที่สถานที่ก่อสร้างจริงและจัดทำ Pre–site layout โดยเร็ว ซึ่งอาจทำด้วยการใช้แบบร่างผังมาตรฐาน (Typical standard site layout) ของบริษัทที่เตรียมไว้แล้ว เพื่อให้ทีมโครงการนำมาปรับแก้เพื่อใช้ต่อไป

ชุดที่ 2 Site layout ที่ 1 สำหรับใช้กับการดำเนินการกิจกรรมงานดิน งานฐานรากและชั้นใต้ดินเป็นหลัก

ชุดที่ 3 Site layout ที่ 2 สำหรับใช้กับการดำเนินการกิจกรรมงานโครงสร้างหลัก

ชุดที่ 4 Site layout ที่ 3 สำหรับใช้กับการดำเนินการกิจกรรมงานสถาปัตยกรรม

ชุดที่ 5 Site layout ที่ 4 สำหรับใช้กับการดำเนินงานการส่งมอบอาคารจนกระทั่งจบโครงการ

4. เมื่อสร้างผังการจัดสถานที่ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว จะต้องส่งให้ผู้รับผิดชอบแต่ละฝ่ายที่เกี่ยวข้องทำการตรวจสอบผังนั้นก่อนว่ามีความเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่องานก่อสร้างในส่วนที่แต่ละฝ่ายรับผิดชอบอยู่

5. การจัดผังสถานที่ก่อสร้างจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน ไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคกีดขวางการทำงานกันเอง จนทำให้ไม่สามารถทำงานตามแผนที่วางไว้ได้และเกิดความล่าช้าในการทำงาน

6. การจัดผังสถานที่ก่อสร้างจะต้องพิจารณาให้ได้ตำแหน่งที่ใช้งานได้ด้วยระยะเวลานานที่สุด ต้องไม่มีการเคลื่อนย้ายหลายครั้งเกินความจำเป็น เพราะการเคลื่อนย้ายแต่ละครั้งอาจต้องหยุดงานและเสียค่าใช้จ่ายในการรื้อย้ายและติดตั้งใหม่

7. ต้องสำรวจพื้นที่บริเวณข้างเคียงโครงการโดยรอบเพื่อหาแนวทางป้องกันผลกระทบ ไม่ให้การรบกวน ซึ่งช่วยลดข้อพิพาทและการร้องเรียนที่อาจเกิดขึ้น

8. ทางเข้าออกของโครงการต้องถูกการกำหนดตำแหน่งโดยคำนึงถึงความสะดวกและมีขนาดประตูที่ใหญ่เพียงพอกับรถบรรทุกหรือเครื่องจักรขนาดใหญ่สามารถเข้าออกได้ ซึ่งอย่างน้อยควรมีความกว้าง 6 เมตร สูง 5 เมตร

9. รั้วชั่วคราวของโครงการ ต้องพิจารณาการติดตั้งจากพื้นที่ที่ดินของโครงการ เป็นรั้วทึบและควรมีความสูงอย่างน้อย 6 เมตร หรือหากจำเป็นต้องมีความสูงเพิ่มเติมตามข้อกำหนดมาตรฐาน EIA ของโครงการหรือข้อพิพาทจากบริเวณผู้อาศัยข้างเคียงเพิ่มเติม

10. ถนนภายใน ควรพิจารณากำหนดตำแหน่ง เส้นทางและการจราจรภายในโครงการให้รอบคอบโดยเครื่องขนาดใหญ่ที่ต้องสามารถเข้าถึงบริเวณที่ทำงานได้ ต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งและขอบเขตของอาคารที่กำลังก่อสร้าง และบ้านเรือนใกล้เคียง ควรมีความกว้างถนนอย่างน้อย 6 เมตร วางโดยรอบโครงการเพื่อความเข้าถึงและความสะดวกในการปฏิบัติงาน

11. ปั้นจั่นหอสูง (Tower Crane) ในโครงการก่อสร้างที่มีความจำเป็นต้องใช้ หากเป็นพื้นที่คับแคบและติดกันกับบ้านข้างเคียง ควรใช้ปั้นจั่นหอสูงแบบบูมกระดกเพื่อไม่ให้ลุกล้ำเข้าไปในพื้นที่บ้านข้างเคียง การกำหนดตำแหน่งติดตั้งต้องให้ปั้นจั่นหอสูงแต่ละตัวมีรัศมีการทำงานซ้อนทับกันด้วยเพื่อให้สามารถยกย้ายวัสดุต่อกันได้ และไม่ควรติดตั้งภายในรัศมีใกล้กับเสาไฟฟ้าและสายไฟฟ้าแรงสูง

12. ตำแหน่งสำนักงานสนามควรอยู่ในบริเวณที่ปลอดภัยห่างจากกิจกรรมก่อสร้างที่อันตราย เป็นตำแหน่งที่บุคคลภายนอกสามารถเข้ามาติดต่อได้โดยสะดวก และควรอยู่ใกล้แหล่งจ่ายสาธารณูปโภค เช่น ไฟฟ้า น้ำประปา โทรศัพท์ เป็นต้น การจัดวางสำนักงานสนามควรอยู่ในตำแหน่งที่ใช้งานได้ยาวนานที่สุดและไม่กีดขวางกิจกรรมการก่อสร้างอื่น ๆ ควรมีขนาดทั่วไป 6 x 12 เมตร

13. สโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง ควรมีการกำหนดตำแหน่งให้ติดกับถนนชั่วคราวและอยู่ภายในรัศมีของปั้นจั่นหอสูง เพื่อให้ขนส่งวัสดุก่อสร้างได้สะดวก และควรอยู่ติดกับสำนักงานสนามเพื่อความสะดวกในการดำเนินการด้านเอกสารกำกับวัสดุต่าง ๆ การเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์ และสามารถดูแลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

14. จุดกองเหล็กเส้น และโรงผลิตเกลียวเหล็ก ควรอยู่บริเวณใกล้ชิดกัน และอยู่ติดกับถนนภายในชั่วคราวและปั้นจั่นหอสูง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานต่างๆ

15. จุดส่งวัสดุ ต้องเป็นตำแหน่งที่อยู่ติดกับถนนภายในชั่วคราว และเป็นตำแหน่งที่ปั้นจั่นหอสูงเข้าถึงได้ นอกจากนี้ยังควรอยู่ติดกับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้างเพื่อที่พนักงานสโตร์จะได้สามารถตรวจเช็ควัสดุได้สะดวกขณะที่มีวัสดุมาส่ง

16. จุดกองเก็บวัสดุไม้แบบ และอุปกรณ์วัสดุใช้งานซ้ำอื่น ๆ ควรมีการจัดเก็บให้เป็นหมวดหมู่ มีขอบเขตการกองเก็บชัดเจน และอยู่ภายในรัศมีของปั้นจั่นหอสูงหรือเครื่องจักรอื่นที่สามารถยกย้ายวัสดุเหล่านี้ได้ ควรอยู่ติดถนนและใกล้กับสโตร์เก็บวัสดุก่อสร้าง เพื่อความสะดวกต่อการขนส่งและควบคุมการเบิกจ่าย

17. ห้องน้ำผู้ปฏิบัติงานในสนาม เป็นสิ่งที่อาจก่อความรบกวน จึงต้องอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากบ้านเรือนบริเวณข้างเคียง และไม่ควรอยู่ใกล้โรงอาหารและสำนักงานสนามเพื่อสุขอนามัยที่ดี ตำแหน่งที่เหมาะสมคือด้านหลังโครงการ

18. โรงอาหาร และจุดกรองน้ำดื่ม ต้องเป็นพื้นที่ที่มีอากาศโปร่ง ถ่ายเท และไม่อยู่ใกล้ห้องน้ำหรือสิ่งปฏิกูลอื่น ๆ อยู่ห่างจากรัศมีของปั้นจั่นหอสูงหรือบริเวณที่มีการทำงานเครื่องจักรหนักที่มีความเสี่ยงอันตราย บริเวณที่เหมาะสมเป็นโรงอาหารและจุดกรองน้ำดื่มคือภายในอาคารที่ต้องการก่อสร้าง

19. ลานจอดรถและจุดรวมพล ต้องอยู่ด้านหน้าโครงการหรือข้างสำนักงานสนาม เพื่อความสะดวกต่อผู้ที่มาติดต่อ และเด่นชัดในการรวมพล

20. ห้องปฐมพยาบาล ควรตั้งอยู่ในบริเวณที่เข้าถึงได้ง่าย ไม่ควรอยู่ในที่ลึกเกินไปหรือไกลเกินไป และไม่ควรอยู่ในพื้นที่เปลี่ยวลับตาคน ขนาดของห้องต่อจำนวนคนงานโดยประมาณเท่ากับ 175 ตารางฟุต ต่อ 200 คน หรือขนาดประมาณ 4 x 3 เมตร

21. สโตร์ผู้รับเหมา ใช้ในการเก็บเครื่องมือที่ในงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วง ตั้งอยู่บริเวณหน้างานที่ปฏิบัติงานก่อสร้าง และอยู่ภายในรัศมีปั้นจั่นหอสูง

22. จุดกองวัสดุหิน-ทราย กำหนดจุดข้างอาคารที่ต้องการก่อสร้างใกล้ลิฟต์ขนส่งวัสดุเพื่อความสะดวกในการขนย้ายวัสดุขึ้นอาคาร และต้องอยู่ติดกับถนนชั่วคราวเพื่อง่ายต่อการขนส่งสินค้าของร้านค้า

23. สโตร์ปูนซีเมนต์ ต้องเป็นตำแหน่งที่อยู่ติดถนนภายใน อยู่ในขอบเขตรัศมีปั้นจั่นหอสูง ติดกับลิฟต์ขนส่ง สะดวกต่อการขนส่งเพื่อนำไปใช้งาน

24. โรงเชื่อมเหล็ก ต้องเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมีของปั้นจั่นหอสูง อยู่ติดถนนภายในและไม่ติดกับบ้านข้างเคียง เพราะอาจมีการเคาะและการเชื่อมที่มีเสียงดังรบกวน

25. จุดตั้งปั้มคอนกรีต ควรเป็นพื้นที่ที่เข้าถึงได้ด้วยถนนภายใน มีขนาดพื้นที่ไม่น้อยกว่าขนาดของรถขนคอนกรีต เพื่อให้รถขนคอนกรีตสามารถเข้าออกได้สะดวกและสามารถจอดรอได้ ต้องห่างจากบ้านข้างเคียงให้มากที่สุด และไม่กีดขวางการทำงานกิจกรรมอื่น ๆ

26. จุดเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีต ควรที่จะอยู่ใกล้กับจุดตั้งปั้มคอนกรีต และเป็นตำแหน่งที่รถขนคอนกรีตสามารถเข้าถึงได้สะดวก

27. ลิฟต์ขนส่ง ควรติดตั้งบริเวณที่ถนนภายในเข้าถึงได้สะดวก อยู่ภายในรัศมีของปั้นจั่นหอสูง และต้องติดกับตัวโครงสร้างอาคารที่ต้องการก่อสร้างเพื่อการยึดรั้งตัวลิฟต์

28. จุดพัก-ทิ้งขยะ ควรมีการแยกประเภทขยะและจุดทิ้งออกเป็นขยะจากงานก่อสร้างและขยะสดอื่น ๆ ในส่วนที่เป็นขยะจากงานก่อสร้างควรอยู่ใกล้กับลิฟต์ขนส่งเพื่อที่จะสามารถนำขยะออกจากตัวอาคารที่ก่อสร้างได้สะดวก และอยู่ติดกับถนนชั่วคราวเพื่อที่ง่ายต่อการขนย้ายออกไปทิ้งด้านนอกโครงการ

4.3 สรุปการสำรวจ

การสำรวจความคิดเห็นของวิศวกรที่มีประสบการณ์การจัดผังสถานที่ก่อสร้างนี้ ได้ผลลัพธ์สำคัญเป็นค่าคะแนนความใกล้ชิดกัน (Closeness Relationships) (ที่จะนำไปใช้หาค่าน้ำหนักของความใกล้ชิดกัน (Proximity weights) ต่อไป) ของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวทั่วไปเป็นรายคู่ และได้ปัญหา ข้อเสนอแนะ และหลักปฏิบัติทั่วไปสำหรับการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง รวมทั้งถนนภายในชั่วคราวด้วย ทำให้เห็นได้ว่าวิศวกรที่เป็นกลุ่มเป้าหมายมีความตระหนักถึงความสำคัญของการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานก่อสร้างตลอดระยะเวลาของโครงการ

โดยได้รวบรวมความคิดเห็นของกลุ่มเป้าหมาย เพื่อวิเคราะห์หาข้อสรุปโดยรวม โดยเฉพาะความคิดเห็นที่มีความคล้ายคลึงตรงกันของหลาย ๆ คน ร่วมกับการใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนความใกล้ชิดกัน และหากความคิดเห็นใดมีข้อขัดแย้งหรือไม่เป็นไปทิศทางเดียวกันก็จะใช้การสัมภาษณ์เพื่อเข้าใจข้อพิจารณาในการจัดวางตำแหน่งโดยละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนด้วย เนื่องจากในการจัดวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกจำนวนมากต่าง ๆ เหล่านี้ อาจมีเงื่อนไขหรือข้อพิจารณาที่ซ้อนทับหรือขัดแย้งกันเองร่วมอยู่ด้วย การตัดสินใจในรายละเอียดจากประสบการณ์ของแต่ละบุคคลจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5 แบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง

5.1 หลักการทั่วไปของแบบจำลองปัญหา

ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (Construction-site layout problem: CSLP) ได้ถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองด้วยการพิจารณาผังบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ณ ขณะเวลาหนึ่งใด ๆ ในลักษณะหยุดนิ่ง หรือเป็นรูปแบบปัญหาแบบ Static CSLP และในระบบ 2 มิติ ที่เป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งส่วนประกอบทั้งหมดของโครงการก่อสร้าง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น ขอบเขตของโครงการ (Site boundary) สิ่งกีดขวาง (Obstacles) ถนนภายในโครงการ (Access roads) ที่เชื่อมโยงระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (Fixed facilities) และสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ใช้ในระหว่างการก่อสร้าง (Temporary facilities) โดยที่ส่วนประกอบเหล่านี้เองที่ต้องการการวางแผนจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะต้องมีการกำหนดประเภท จำนวน ขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน ที่แน่นอนไว้ก่อนแล้ว หรือบางอันอาจมีการกำหนดตำแหน่งไว้ก่อนแล้วด้วย โดยที่พื้นที่ว่างของโครงการจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับส่วนประกอบทั้งหมดนี้ได้ ซึ่งอาจรวมถึงพื้นที่ว่างที่ยังคงเหลือด้วย ในลักษณะการจำลองปัญหาแบบ Unequal-area facility layout problem การจำลองพื้นที่สถานที่ก่อสร้างนี้จะใช้ระบบพิกัด (Grid system) ในการอ้างอิงตำแหน่งและเป็นหน่วยย่อยที่สุดของการบอกค่าระยะ โดยคำตอบที่ต้องการจากปัญหาก็คือตำแหน่งที่เหมาะสมของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่ยังไม่ได้กำหนดตำแหน่งไว้ก่อน ซึ่งก็สามารถแสดงแทนตำแหน่งคำตอบเหล่านี้ด้วยค่าจุดพิกัด (Coordinates) การประเมินความเหมาะสมทำได้ด้วยการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไว้สำหรับประเมินคำตอบ ซึ่งมักจะใช้ฟังก์ชันในรูปของค่าใช้จ่าย (Cost function) หรือเรียกว่า Inter-facilities transportation cost

โดยส่วนหลักสำคัญของแบบจำลองนี้ที่ได้พัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่ผ่านมาคือ การคำนวณระยะเดินทางจริง (Actual Path) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดเป็นค่าตัวแปรในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการใช้ Particle Swarm Optimization (PSO) เป็น Algorithm ในการหาคำตอบของปัญหาที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น

5.2 แบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง

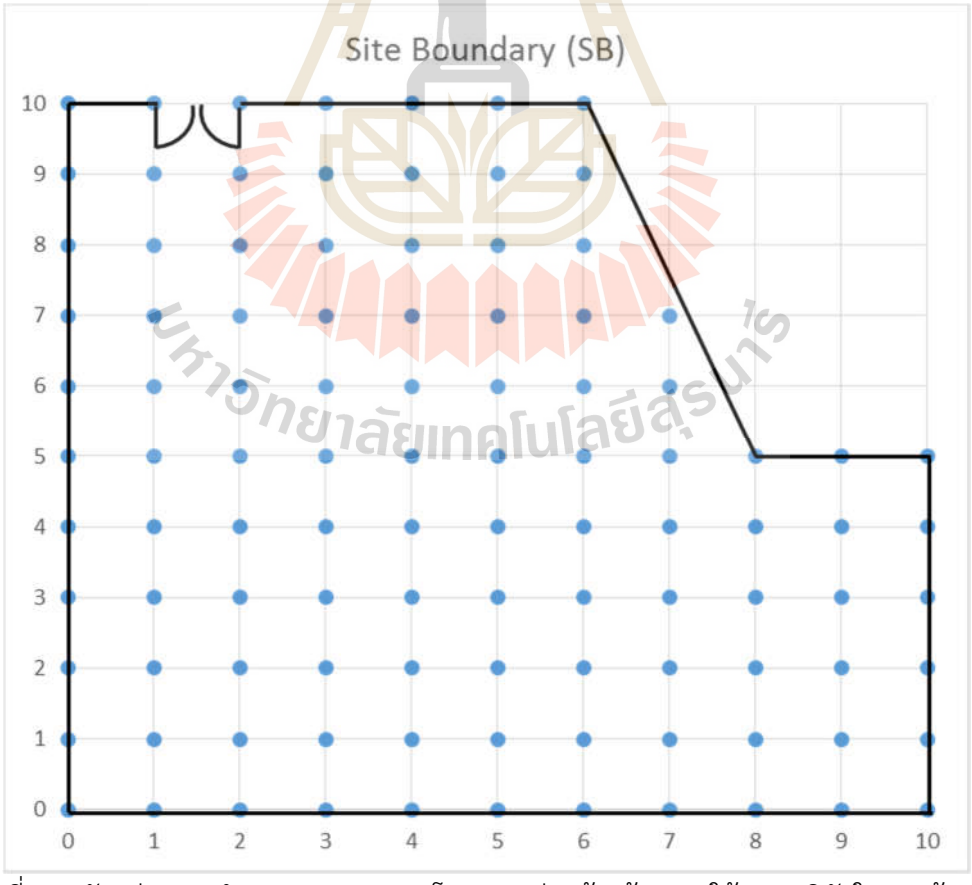
แบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (CSLP) ได้สร้างขึ้นจากการนำองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ของสถานที่ก่อสร้างมาจำลองไว้ด้วยตัวแปรทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ และรวมทั้งการสร้างสมการคำนวณระยะเดินทางจริง (Actual Path) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ พร้อมกันกับส่วนประกอบหลักของแบบจำลองปัญหา CSLP ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนเหมือนกับแบบจำลองปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization problem models) โดยทั่วไป คือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) เงื่อนไขข้อจำกัด (Constraints) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบ

อื่น ๆ ที่กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบจำลองปัญหา CSLP ไว้อีก 2 ส่วน ได้แก่ องค์ประกอบของสถานที่ก่อสร้าง และค่าน้ำหนักใกล้ชิดของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจึงรวมเป็น 5 ส่วนดังนี้

5.2.1 องค์ประกอบของสถานที่ก่อสร้าง

องค์ประกอบภายในสถานที่ก่อสร้างที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองของปัญหา ได้แก่ ขอบเขตของโครงการ และสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหลายซึ่งแบ่งออกได้อีกเป็น 4 ประเภท

ขอบเขตของโครงการ (Site Boundary: SB) เป็นเส้นกำหนดขนาดความกว้างและยาว และรูปร่างของพื้นที่ทั้งหมดของโครงการก่อสร้างที่กำลังพิจารณา ซึ่งอาจเป็นรูปร่างใด ๆ (Irregular shape) ตามสภาพของสถานที่ก่อสร้างจริง โดยที่พื้นที่ทั้งหมดนี้จะต้องเพียงพอต่อการรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ทั้งหมดที่อยู่ในโครงการได้ และอาจมีพื้นที่ว่างที่ยังคงเหลืออีกด้วย การจำลองพื้นที่สถานที่ก่อสร้างนี้จะใช้ระบบพิกัด (Grid system) ในการอ้างอิงตำแหน่ง โดยพื้นที่ทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ ในหน่วยย่อยที่สุดของการบอกค่าระยะ ซึ่งต้องใช้การประมาณพื้นที่บริเวณขอบเขตของโครงการที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทั้งนี้การกำหนดขอบเขตของโครงการยังรวมถึงประตูทางเข้าออกสู่ภายนอกของโครงการด้วย



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตของโครงการก่อสร้างด้วยการใช้ระบบพิกัดในการอ้างอิง

ตัวอย่างของขอบเขตของโครงการก่อสร้างด้วยการใช้ระบบพิกัดในการอ้างอิงแสดงในรูปข้างบน กำหนดให้พื้นที่ SB โครงการเป็นรูปร่างใด ๆ ตามขอบเขตที่กำหนดด้วยเส้นทึบ ซึ่งสามารถวางให้ครอบคลุมด้วยจำนวนพิกัดขนาด 10x10 หน่วย โดยให้พื้นที่ของโครงการทั้งหมดอยู่ภายในจตุภาค (Quadrant) ที่ 1 ทั้งนี้เพื่อให้พิกัดที่พิจารณาทั้งหมดเป็นค่าบวก จากนั้นจึงสามารถกำหนดจุดพิกัดที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตโครงการ (SB's non-available coordinates) ทั้งหมด ได้แก่ จุดที่ (7, 8), (7, 9), (7, 10), (8, 6), (8, 7), (8, 8), (8, 9), (8, 10), (9, 6), (9, 7), (9, 8), (9, 9), (9, 10), (10, 6), (10, 7), (10, 8), (10, 9), และ (10, 10) ส่วนจุดพิกัดที่อยู่ในพื้นที่โครงการ (SB's available coordinates) แสดงแทนด้วยวงกลมจุด รวมถึงมีตำแหน่งประตูทางเข้าออกโครงการถูกกำหนดไว้ก่อนแล้วที่ด้านบนของพื้นที่ จุดที่ (1, 10), และ (2, 10)

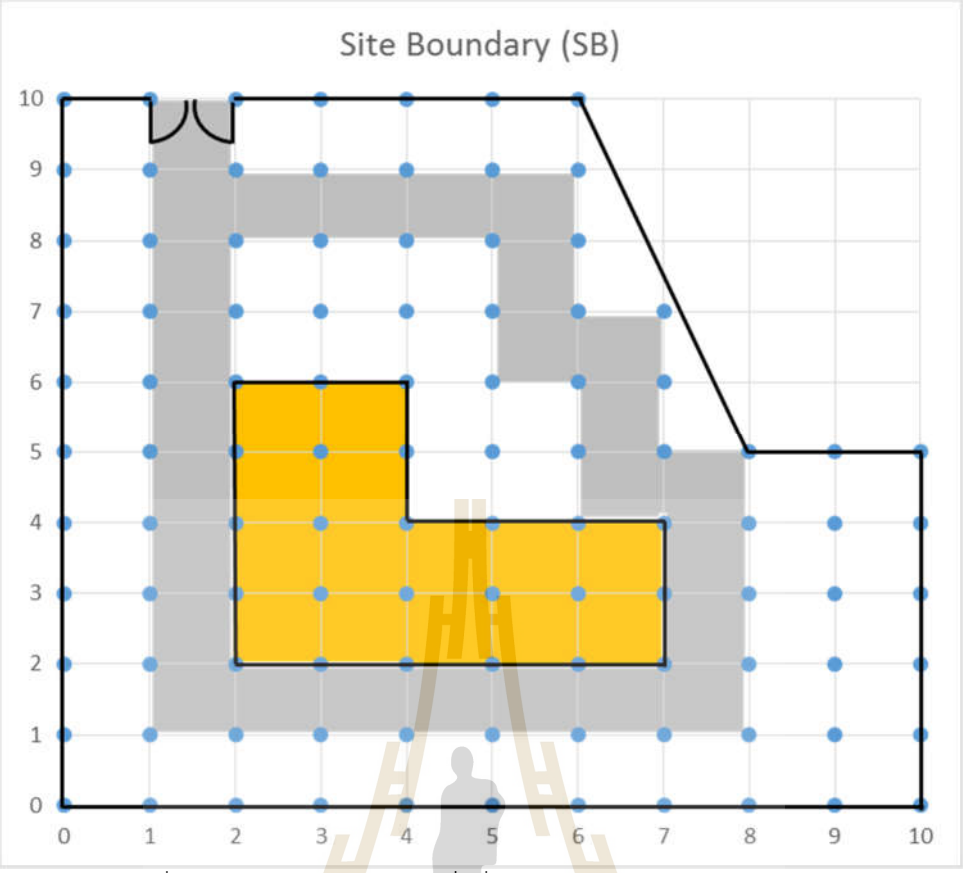
สิ่งอำนวยความสะดวก (Facilities) ของโครงการ เป็นคำที่มีความหมายครอบคลุมสิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ภายในขอบเขตโครงการที่มีการกำหนดตำแหน่ง ขนาด และรูปร่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (Fixed Facilities: FF) หมายถึง ตัวสิ่งก่อสร้างเองที่มีการกำหนดจำนวน ขนาด รูปร่างและตำแหน่งที่แน่นอนมาก่อนแล้ว สิ่งที่ต้องการก่อสร้างจึงมีตำแหน่งคงที่ที่ไม่พิจารณาเคลื่อนย้าย สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ที่ต้องปฏิบัติงานร่วมกัน ดังตัวอย่างในรูปข้างล่าง ให้มี FF เป็นรูปร่างตัว L ที่ประกอบขึ้นจากรูปสี่เหลี่ยมสองรูป

2. สิ่งกีดขวาง (Obstacles: OB) หมายถึง สิ่งที่โดยสภาพไม่มีส่วนช่วยอำนวยความสะดวกหรือเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานก่อสร้างเลย เป็นสิ่งที่มีอยู่แล้วภายในขอบเขตของพื้นที่โครงการและไม่สามารถนำออกไปหรือเคลื่อนย้ายได้ หรืออาจเป็นสิ่งที่ต้องการเก็บรักษาไว้สำหรับประกอบกับสิ่งก่อสร้างเมื่อตอนแล้วเสร็จ มีตำแหน่งกำหนดแน่ชัดคงที่คล้ายกับสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) ตัวอย่างเช่น ต้นไม้ใหญ่ บ่อน้ำ แม่น้ำ ก้อนหินใหญ่ สิ่งก่อสร้างเดิม เป็นต้น สิ่งกีดขวางไม่มีส่วนช่วยสนับสนุนการปฏิบัติงานจึงมีลักษณะที่คอยกีดขวางทำให้การปฏิบัติงานไม่สะดวก หรือทำให้ต้องเพิ่มระยะทางในการเดินทางอ้อมสิ่งกีดขวางเหล่านี้

3. ถนนภายใน (Access Roads: AR) หมายถึง ถนนชั่วคราวภายในโครงการที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เพื่อปฏิบัติงานก่อสร้าง ถนนภายในนี้จะต้องถูกกำหนดเส้นทางไว้ก่อนแล้วและใช้อ้างอิงในการคำนวณหาระยะเดินทางจริง (Actual Path) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทำให้การกำหนดตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ จะสัมพันธ์ขึ้นกับการกำหนดแนวเส้นทางของถนนภายในนี้ด้วย ดังตัวอย่างในรูปข้างล่างนี้ ให้ AR เริ่มตั้งแต่ประตูของโครงการและยาวรอบล้อม FF จนไปบรรจบกันและกลับออกไปที่ประตู

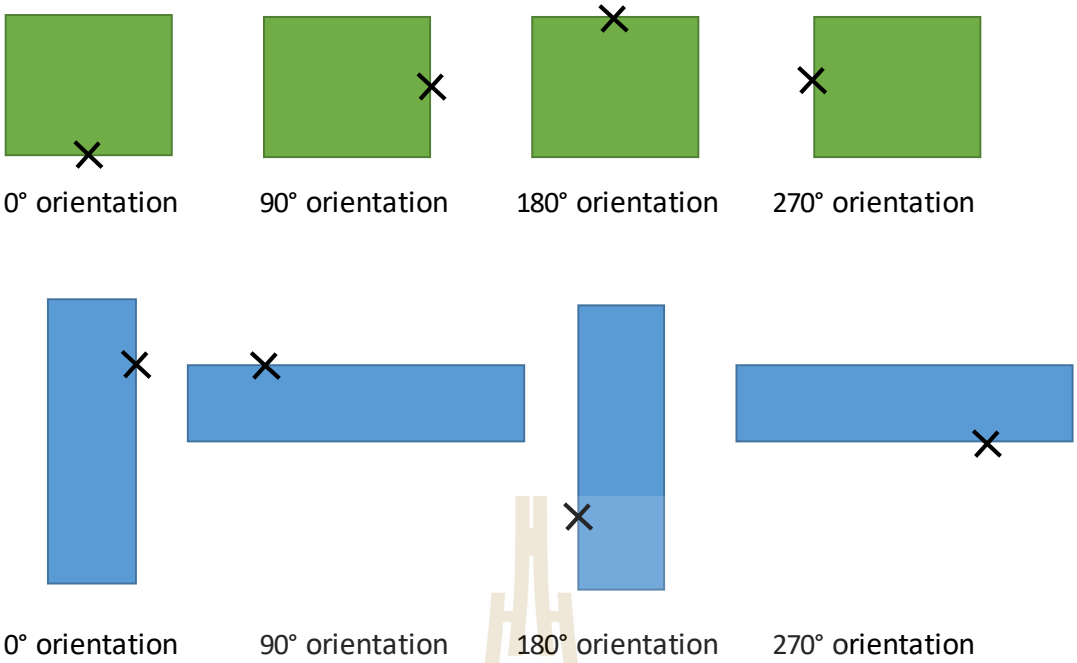
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการกำหนดสิ่งที่ต้องการก่อสร้างและถนนภายใน

4. สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (Temporary Facilities: TF) หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ใช้ในระหว่างการก่อสร้างที่ต้องการการกำหนดตำแหน่งที่เป็นประเด็นหลักของปัญหา CSLP สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวเหล่านี้ต้องมีการกำหนดจำนวน ขนาดและรูปร่างที่แน่นอนมาก่อนแล้ว ซึ่งรูปร่างของ TF จะต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปประกอบของสี่เหลี่ยมเท่านั้น และยังมีลักษณะที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวอื่น ๆ ที่ต้องปฏิบัติงานร่วมกัน ตัวอย่างสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว ได้แก่ สำนักงานสนาม ห้องน้ำ ห้องเก็บวัสดุก่อสร้าง โรงประกอบงานเหล็ก โรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นต้น

นอกจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของสถานที่ก่อสร้างดังกล่าวแล้ว ในการจำลองปัญหา CSLP นี้ยังได้ปรับปรุงให้ใช้การอ้างอิงจุดตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทั้ง FF และ TF ด้วยจุดทางเข้าออก (Entrance) ซึ่งจะใช้เป็นจุดเริ่มต้นหรือสิ้นสุดของการคำนวณหาระยะเดินทาง แทนการอ้างอิงตำแหน่งด้วยจุด Centroid ของรูปดังที่ปรากฏในการวิจัยอื่น ๆ ซึ่งการอ้างอิงจุดตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกที่จุดทางเข้าออกนี้จะทำให้แนวการวางตัว (Orientation) ส่งผลต่อค่าระยะเดินทางมากขึ้น ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงนำแนวการวางตัวของ TF มาร่วมการพิจารณาในการจัดวางตำแหน่งด้วย โดยกำหนดให้ TF สามารถจัดวางตัวในแนวตั้งฉาก (Orthogonal angles) ต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ ได้แก่ 0°, 90°, 180°, และ 270°



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวและการวางตัวในมุมต่าง ๆ

ตัวอย่างในรูปข้างบนแสดง TF สองอันข้างบนและล่าง ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม และมีการกำหนดจุดทางเข้าออก (Entrance) ด้วยเครื่องหมาย x ซึ่ง TF แต่ละอันสามารถวางตัวในแนวตั้งฉากได้สี่แนวตั้งฉาก (Orthogonal angles)

องค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งหลายเหล่านี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานของโจทย์ปัญหา ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามสภาพของแต่ละโครงการก่อสร้าง เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองที่จะนำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดให้กับปัญหา

5.2.2 ตัวแปรคำตอบ

ตัวแปรคำตอบ คือตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ของแบบจำลองของ CSLP นี้ ซึ่งก็คือค่าที่แสดงการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวก TF ต่าง ๆ ทั้งหมดในโจทย์ ซึ่งประกอบด้วย จุดพิกัด (Coordinates) ที่บอกตำแหน่งการจัดวาง และการวางตัว (Orientations) ทั้งนี้จะใช้จุดทางเข้าออกของ TFs เป็นจุดอ้างอิงในการวางตำแหน่งและการหมุนตามแนววางตัว ค่าของตัวแปรคำตอบเหล่านี้จะหาได้จากการแก้ปัญหา และทำให้ได้แผนการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพดี (ที่สุด) ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งใช้ค่าตัวแปรดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ: (X_i, Y_i, Z_i) ; for i = 1 to n

โดยที่ X_i = ค่าพิกัดแนวนอนของ TF ตัวที่ i, Y_i = ค่าพิกัดแนวดิ่งของ TF ตัวที่ i, และ Z_i = ค่ามุมของแนวการวางตัวของ TF ตัวที่ i, n = จำนวน TF ทั้งหมดในโครงการที่ต้องการจัดตำแหน่ง

5.2.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั่วไปของแบบจำลอง CSLP นี้ มักกำหนดให้อยู่ในรูปการหาค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันต้นทุน (Cost function) ของการเดินทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก หรือ Minimize the total inter-facilities transportation cost ซึ่งจากการกำหนดสมการสำหรับหาค่าระยะเดินทางจริง (Actual Path) และค่าน้ำหนักใกล้ชิด (Proximity weights) ข้างต้น ทำให้สามารถหาค่าผลรวมของต้นทุนการเดินทางระหว่างคู่ของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด แสดงเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้ได้ดังสมการที่ (1)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: Minimize $\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}(AP_{ij}R_{ij})$ (1)

โดยที่ AP_{ij} = ระยะเดินทางจริง (Actual Path) ระหว่าง TF ตัวที่ i และ j, R_{ij} = ค่าน้ำหนักใกล้ชิด (Proximity weight) ระหว่าง TF ตัวที่ i และ j, n = จำนวน TF ทั้งหมดในโครงการที่ต้องการจัดตำแหน่ง

การประเมินประสิทธิภาพของคำตอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ (1) จะทำให้ได้แผนการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีค่าน้ำหนักใกล้ชิดกันมากมาวางอยู่ในระยะใกล้กันสั้นที่สุด และในทางกลับกัน จึงจะทำให้ฟังก์ชันต้นทุนที่กำหนดได้ค่าน้อยที่สุด

5.2.4 ค่าน้ำหนักใกล้ชิดของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก

ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ถูกแสดงออกมาเป็นค่าน้ำหนักใกล้ชิด (Proximity weights) สำหรับแต่ละคู่ของสิ่งอำนวยความสะดวก โดยที่หากสิ่งอำนวยความสะดวกคู่ใดมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดต่อกัน หรือมีความเกี่ยวข้องต่อเนื่องในการปฏิบัติงาน จึงเหมาะสมที่ต้องอยู่ใกล้กันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน จะมีค่าน้ำหนักมาก หรือในทางกลับกันควรจัดวางให้ไกลกันจะมีค่าน้ำหนักน้อย ซึ่งการกำหนดค่าน้ำหนักใกล้ชิดนี้จะทำโดยผู้วางแผนเองหรือจากการสำรวจข้อมูลจริงในโครงการ งานวิจัยที่ผ่านมาหลายชิ้นมักใช้วิธีการแปลงความสัมพันธ์นี้เป็นค่าน้ำหนักใกล้ชิดด้วยทฤษฎี Fuzzy set ในการพัฒนาแบบจำลองนี้ได้ปรับปรุงให้เหมาะสมกับขนาดของโจทย์ทดสอบ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Sanad, Ammar, and Ibrahim (2008) ที่ใช้การแปลงค่าน้ำหนักนี้ในลักษณะแบบ Exponential number ดังแสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 5.1 ค่าน้ำหนักใกล้ชิดตามระดับความสัมพันธ์ต่าง ๆ

Descriptive relationships	Scale of Closeness Relationships	Proximity weight
No relationships	n.a.	0
Undesirable	0	$6^0 = 1$
Unimportant	1	$6^1 = 6$

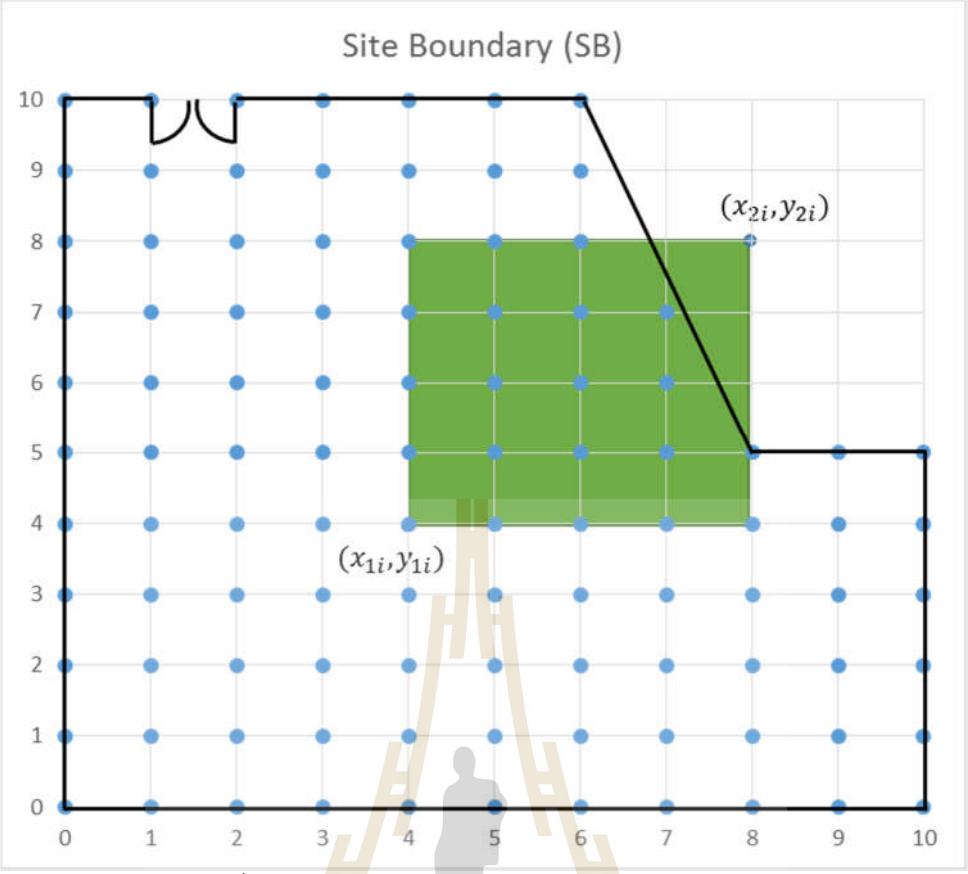
Neutral	2	$6^2 = 36$
Important	3	$6^3 = 216$
Very Important	4	$6^4 = 1296$
Absolutely necessary	5	$6^5 = 7776$

5.2.5 เงื่อนไขข้อจำกัด

เงื่อนไขข้อจำกัด เป็นกลุ่มฟังก์ชันที่ใช้กำหนดลักษณะของผังการจัดสถานที่ที่เป็นไปได้ (Feasible layouts) ผังการจัดสถานที่ที่อยู่ภายใต้หรือสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดทุกเงื่อนไขเท่านั้นที่จะนำมาพิจารณาประเมินประสิทธิภาพด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่อไป ส่วนผังสถานที่ที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดข้อใดข้อหนึ่งหรือทั้งหมดจะเป็นแผนผังที่ใช้ไม่ได้และไม่นำมาพิจารณาต่อ ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีเงื่อนไขข้อกำจัดแบ่งเป็นด้านต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ข้อจำกัดด้านขอบเขตของโครงการ (Site boundary) เป็นเงื่อนไขเบื้องต้นที่ต้องมีในแบบจำลอง CSLP โดยพื้นที่ของโครงการต้องถูกกำหนดไว้อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเป็นรูปร่างใด ๆ ที่ต่อมาถูกประมาณด้วยจุดพิกัด ทำให้พื้นที่ของโครงการถูกประมาณด้วยตารางสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เป็นหน่วยย่อยของค่าพิกัด สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทั้งหมดจะต้องถูกจัดวางอยู่ในขอบเขตของโครงการที่กำหนดไว้นี้ โดยหลักการในการสร้างเงื่อนไขข้อจำกัดนี้จะใช้การพิจารณาแบบตรงไปตรงมา คือ จุดพิกัดที่เป็นขอบเขตของสิ่งอำนวยความสะดวกใด ๆ จะต้องไม่เป็นจุดพิกัดที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตโครงการ (SB's non-available coordinates: SBNACs)

เพื่อการอธิบายได้ใช้ตัวอย่างในรูปข้างล่าง ให้ขอบเขตของโครงการถูกกำหนดไว้ด้วยจุดพิกัดที่อยู่ในขอบเขตโครงการ (SB's available coordinates: SBACs) ที่แสดงแทนด้วยวงกลมจุดต่าง ๆ ที่รู้ค่าพิกัดแน่นอนแล้ว หากมีสิ่งอำนวยความสะดวก i ใด ๆ ที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมถูกจัดวางอยู่ที่ตำแหน่งดังรูป โดยมีจุดพิกัดที่ 1 ของมุมล่างซ้าย (x_{1i}, y_{1i}) และจุดพิกัดที่ 2 ของมุมบนขวา (x_{2i}, y_{2i}) ที่หาค่าได้เป็นตัวแทนสำหรับพิจารณา เงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัดคือ จุดพิกัดที่ 1 หรือ จุดพิกัดที่ 2 ต้องไม่เป็น SBNACs จากตัวอย่างในรูปจะเห็นได้ว่า จุดพิกัดที่ 2 เป็น SBNACs ดังนั้นจึงไม่สามารถวางสิ่งอำนวยความสะดวก i ที่ตำแหน่งนี้ได้

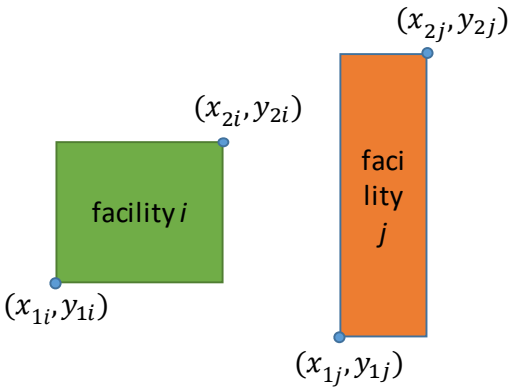


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างข้อจำกัดด้านขอบเขตของโครงการ

2. ข้อจำกัดด้านการซ้อนทับ (overlap conditions) เป็นเงื่อนไขทั่วไปที่จำเป็นต้องมี โดยกำหนดให้พื้นที่หนึ่งสามารถรองรับสิ่งอำนวยความสะดวกได้เพียงหนึ่งอันเท่านั้น ดังนั้นสิ่งอำนวยความสะดวก (กำหนดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม) สองอัน i และ j ใด ๆ ที่มีพิกัดตำแหน่งมุมด้านล่างซ้ายและมุมด้านบนขวา เป็น (x_{1i}, y_{1i}), (x_{2i}, y_{2i}), (x_{1j}, y_{1j}), และ (x_{2j}, y_{2j}) ตามลำดับ จะต้องมีเงื่อนไขตามอสมการด้านล่างนี้เป็นจริง

$$\text{Max}\ \{[x_{1i} - x_{2j}][x_{2i} - x_{1j}], [y_{1i} - y_{2j}][y_{2i} - y_{1j}]\} \geq 0 \qquad (2)$$

สิ่งอำนวยความสะดวกที่พิจารณาในเงื่อนไขข้อจำกัดนี้จะต้องเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกทุกประเภทได้แก่ FF, OB, AR, TF ดังแสดงตัวอย่างในรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างค่าพิกัดของสิ่งอำนวยความสะดวกสองอัน i และ j ใด ๆ

3. ข้อจำกัดด้านระยะห่าง (inter-facility distance constraints) เป็นเงื่อนไขที่เกิดขึ้นระหว่างคู่ facilities ใดๆ ที่ไม่ต้องการให้วางในตำแหน่งที่ใกล้กันเกินกว่าระยะที่กำหนด ทั้งนี้อาจมีเหตุผลเพื่อความปลอดภัยหรือประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น โรงซ่อมบำรุงที่มีเสียงดังไม่ควรวางอยู่ใกล้สำนักงานสนาม เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$$d_{ij} \geq DMIN_{ij} \qquad (3)$$

โดยที่ d_{ij}= ระยะห่าง Euclidean distance ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j ที่มีข้อจำกัดกันอยู่, $DMIN_{ij}$ = ค่าระยะห่างขั้นต่ำที่ยอมให้อยู่ใกล้กันของสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j

ในทางกลับกันบางคู่ facilities ใด ๆ อาจต้องการให้วางในตำแหน่งที่ใกล้กันไม่เกินกว่าระยะที่กำหนด เช่น เครนต้องวางในตำแหน่งที่ใกล้กับอาคารที่ก่อสร้าง โรงเตรียมประกอบชิ้นส่วน และโรงเก็บวัสดุ สามารถแสดงเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$$d_{ij} \leq DMAX_{ij} \qquad (4)$$

โดยที่ d_{ij}= ระยะห่าง Euclidean distance ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j ที่มีข้อจำกัดกันอยู่, $DMAX_{ij}$ = ค่าระยะห่างขั้นสูงที่ยอมให้อยู่ไกลกันของสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j

หรือแม้แต่บางคู่ facilities ใด ๆ อาจต้องการให้วางในตำแหน่งที่ติดกัน ทั้งนี้อาจใช้เงื่อนไขนี้เพื่อสร้างรูปทรงของสิ่งอำนวยความสะดวกให้ได้รูปประกอบสี่เหลี่ยมใด ๆ โดยอาจกำหนดค่าคงที่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ลักษณะการประกอบกันตามที่ต้องการ สามารถแสดงตัวอย่างเงื่อนไขนี้ได้ด้วย

$$x_{2i} = x_{1j} \text{ และ } y_{2i} - y_{1j} = C \qquad (5)$$

หรือ $y_{2i} = y_{1j}$ และ $x_{2i} - x_{1j} = C$

โดยที่ (x_{1i}, y_{1i}), (x_{2i}, y_{2i}), (x_{1j}, y_{1j}), และ (x_{2j}, y_{2j}) = พิกัดของจุดมุมล่างซ้ายและบนขวาของสิ่งอำนวยความสะดวก i และ j ตามลำดับ, C = ค่าคงที่ที่ต้องการ

5.3 ระยะเดินทางจริง (Actual Path)

ในการประเมินผังการจัดสถานที่ก่อสร้างด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง CSLP ทั่วไปนั้นจะเป็น Cost function ที่สัมพันธ์กับค่าระยะทางรวมระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทั้งหมด ดังสมการที่ (1) ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมามักเลือกใช้การคำนวณหาระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกแบบ Euclidean distance หรือการกระจัดระหว่างจุด 2 จุด โดยใช้จุด Centroid ของรูปร่างสิ่งอำนวยความสะดวกนั้นเป็นจุดอ้างอิงในการหาค่าระยะทางดังกล่าว อย่างไรก็ตามการใช้ค่าระยะทางแบบ Euclidean ระหว่างจุด Centroid นี้เป็นเพียงการประมาณระยะการเดินทางของผู้ปฏิบัติงานจริง ซึ่งระยะการเดินทางจริงนั้นควรมีจุดเริ่มต้นจากทางออกของสิ่งอำนวยความสะดวกอันหนึ่ง (ดังแสดงในรูปที่ 5.3) จากนั้นเดินทางมุ่งสู่ถนนภายในโครงการ (Access Road) แล้วจึงเดินทางไปตามถนนภายในนี้จนกระทั่งออกจากถนนเมื่อใกล้ถึงที่หมายและไปสิ้นสุดที่ทางเข้าของสิ่งอำนวยความสะดวกอีกอันหนึ่ง โดยในการวิจัยนี้ได้แนวคิดของการคำนวณระยะเดินทางเสมือนการปฏิบัติงานจริงนี้มาจาก Sanad, Ammar, and Ibrahim (2008) และ Park et al. (2012) ซึ่งเรียกระยะเดินทางนี้ว่า ระยะเดินทางจริง (Actual Path) โดยการหาระยะ Actual Path นี้จะอ้างอิงกับการเดินทางด้วยถนนภายในโครงการ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดแนวของถนนภายใน (Access Road: AR) ไว้ก่อนล่วงหน้าด้วย ซึ่งรวมทั้งการกำหนดจุดแทนประตูทางเข้าออก (Entrance) ของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ (TFs) ที่จะใช้เป็นจุดอ้างอิงการคำนวณระยะทางแทนการใช้จุด Centroids

Actual Path ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก 2 อันใด ๆ จึงเป็นผลรวมของค่าระยะทาง 3 ระยะ คือ L_1, L_2, และ L_3 ดังสมการนี้

$$AP_{ij} = L_1 + L_2 + L_3 \qquad (6)$$

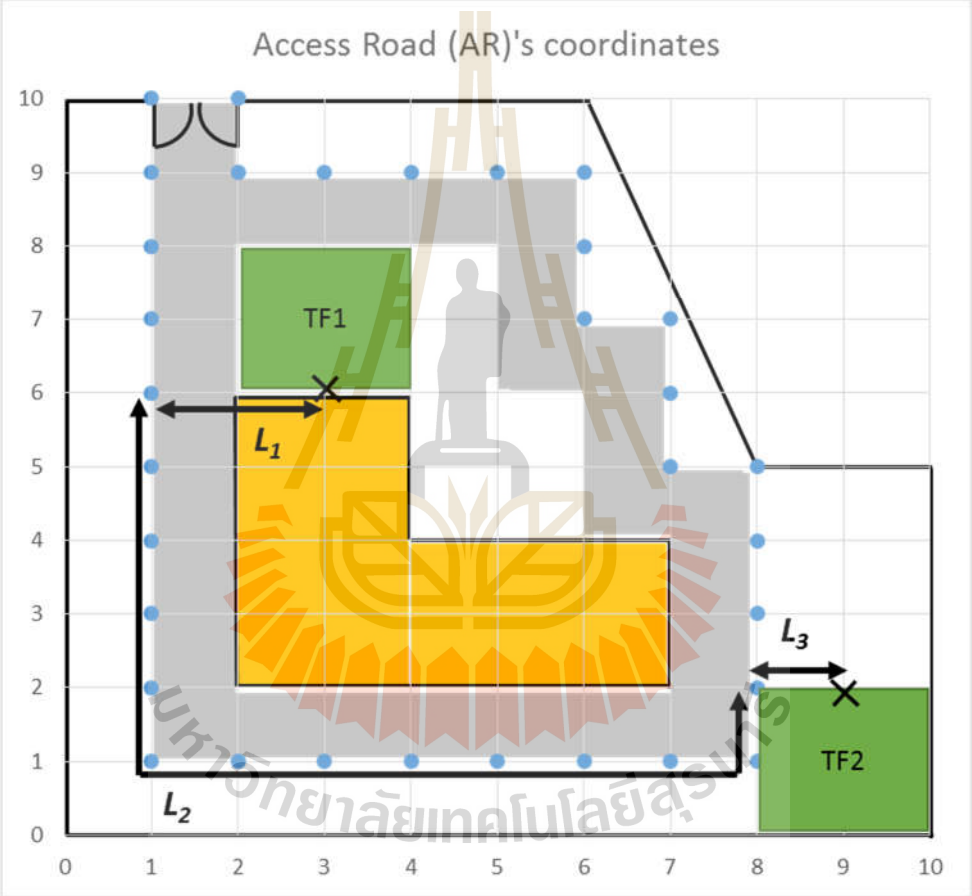
โดยที่ AP_{ij} = ระยะเดินทางจริง (Actual Path) ระหว่าง TF ตัวที่ i และ j, L_1 = ระยะทาง Euclidean distance ระหว่างจุดทางเข้าออกของ TF_i ไปสู่จุดตำแหน่งของถนนภายใน (AR) ที่ใกล้ที่สุด, L_2 = ระยะทางตามแนวของถนนภายในที่สั้นที่สุดที่หาได้จากการอ้างอิงจุดตำแหน่งต่าง ๆ ของถนนภายใน, L_3 = ระยะทาง Euclidean distance ระหว่างจุดตำแหน่งของถนนภายใน (AR) ที่ใกล้ที่สุดไปสู่จุดทางเข้าออกของ TF_j

รูปภาพตัวอย่างแสดง Actual Path ที่ประกอบด้วยระยะ L_1, L_2, และ L_3 ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว TF_1 และ TF_2 โดยให้ TF_1 และ TF_2 วางอยู่ที่พิกัด (3, 6) และ (9, 2) ตามลำดับ มีจุดพิกัดต่าง ๆ ที่แสดงแทนแนวของถนนภายในดังรูป มีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณ Actual Path ดังนี้

1. เริ่มต้นคำนวณระยะ L_1 ด้วยการหาจุดพิกัดของถนนภายในที่ใกล้กับจุดทางออกของ TF_1 ที่สุด ซึ่งได้ผลเป็นจุดพิกัด (1, 6) เรียกจุดนี้ว่า Start point (SP) หรือจุดที่เริ่มการเดินทางด้วยถนนภายใน จึงทำให้ได้ระยะ L_1 มีค่าเท่ากับ 2 หน่วย

ในทำนองเดียวกัน คำนวณระยะ L_3 ด้วยการหาจุดพิกัดของถนนภายในที่ใกล้กับจุดทางเข้าของ TF_2 ที่สุด ซึ่งได้ผลเป็นจุดพิกัด (8, 2) เรียกจุดนี้ว่า Finish point (FP) หรือจุดที่สิ้นสุดการเดินทางด้วยถนนภายใน จึงทำให้ได้ระยะ L_3 มีค่าเท่ากับ 1 หน่วย

2. จากจุด SP (1, 6) พิจารณาหาจุดพิกัดของถนนจุดถัดไป พบว่าหากเดินทางต่อไปที่จุด (1, 5) จะทำให้เข้าใกล้กับจุด FP (8, 2) ของถนนได้มากกว่าการเดินทางไปที่จุด (1, 7) และพิจารณาเช่นนี้ซ้ำ ๆ เพื่อหาจุดพิกัดของถนนถัด ๆ ไปจนกระทั่งถึงจุดปลายทางของถนนที่จุด FP (8, 2) ในการเดินทางไปตามแนวจุดพิกัดของถนนเหล่านี้จะทำให้เกิดระยะทางในแต่ละครั้งเท่ากับ 1 หน่วย จากตัวอย่างทำให้คำนวณระยะได้เท่ากับ 13 หน่วย



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างของการคำนวณระยะเดินทางจริงระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว

3. ระยะทางรวมของ Actual Path ที่ได้คือ 2 + 13 + 1 = 16 หน่วย

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าหากคำนวณระยะทางแบบ Euclidean distance จะได้ค่าเท่ากับ $\sqrt{(3-9)^2+(6-2)^2}$ = 7.21 หน่วย ซึ่งแตกต่างกับระยะ Actual Path ที่ได้มาก อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะ Actual Path นี้จะมีข้อยกเว้นในกรณีที่สิ่งอำนวยความสะดวกสองอันอยู่ใกล้กันมาก จนทำให้การเดินทางระหว่างกันไม่จำเป็นต้องใช้ถนน แต่เป็นการเดินทางถึงกันโดยตรงได้เลย ซึ่งกรณีนี้จะคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกคู่นั้นด้วย Euclidean distance

Pseudo code ของการคำนวณ Actual Path ระหว่าง TF_1 และ TF_2 ที่ใช้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นดังนี้

Start ActualPath

Input a set of ARCs

Input TF_1 and TF_2

***1. Determine the closest Access Road's coordinates (ARCs) to TF_1 and TF_2 and set them as Start Point (SP) and Finish Point (FP) ***

For each coordinate *c* in ARCs

Find *c*, which gives the minimum Euclidean distance between *c* and TF_1

Set *c* as SP; and the minimum distance as L_1

Find *c*, which gives the minimum Euclidean distance between *c* and TF_2

Set *c* as FP; and the minimum distance as L_3

Next coordinate *c*

2. Determine the distance along the path between SP and FP or L_2

CP = SP

Do While CP <> FP

2.1 Determine the Next Points (NP) of the Current Point (CP)

Set Array NP(1 to 4); *n* = 1

For each coordinate *c* in ARCs

If the Euclidean distance between *c* and CP = 1 Then

NP(*n*) = *c*

n = *n* + 1

End If

Next coordinate *c*

2.2 Evaluate all Next Points (NPs), which is not the Previous Point (PP)

For *n* = 1 to 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

***2.2.1 Identify the best NP and the second best NP

If NP(*n*) <> PP Then

Find NP(*n*) which gives the minimum Euclidean distance between NP(*n*) and FP; set *n* as *minn*

Find NP(*n*) which gives the second minimum Euclidean distance between NP(*n*) and FP; set *n* as *min2n*

End If

***2.2.2 Record the Turning Point (TP)

If this CP is Turning Point then

TP = CP

PTP = PP

End If

Next *n*

If *outward* < *maxoutward* Then this move is allowed

***2.3 Update the Current Point (CP) and the Previous Point (PP)

PP = CP

If move to the min next point Then CP = NP(*minn*)

Else move to the second min next point Then CP = NP(*min2n*)

End If

$L_2 = L_2 + 1$

***2.4 Record outward moves

If the Euclidean distance between CP and FP is shorter or move toward FP Then *outward* = 0

Else the Euclidean distance between CP and FP is longer or move outward FP Then *outward* = *outward* + 1

End If

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Else *outward* >= *maxoutward* Then this move is not allowed

***2.5 Select the fix method

Method 1 Switch the Start and Finish Points

CP = FP; FP = SP; SP = CP; and recalculate L_2 from the beginning

Method 2 Return to the Turning Point

CP = TP; PP = PTP; and take the second min next point

Increase *maxoutward*

End If

Loop Until CP <> FP

‘***3. Sum up the three distances

If L_1 <= L_2 or L_3 <= L_2 Then

ActualPath = $L_1 + L_2 + L_3$

Else

ActualPath = Euclidean distance between TF_1 and TF_2

End If

End ActualPath

การเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณระยะ Actual Path ให้ครอบคลุมเส้นทางที่เป็นไปได้ต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาในการเดินทางจริง มีความซับซ้อนอย่างมาก จาก Pseudo code ที่แสดงข้างบน ขั้นตอนที่ 2 เป็นการคำนวณระยะทาง L_2 ซึ่งเป็นระยะทางตามแนวของถนนภายในที่สั้นที่สุดจาก SP ไปสู่ FP โปรแกรมถูกกำหนดให้สร้างเส้นทางขึ้นแบบค่อยเป็นค่อยไปทีละหนึ่งหน่วยจาก SP จนกระทั่งถึง FP ด้วยการวนลูปเพื่อทำการคำนวณซ้ำเดิม ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนย่อย ดังนี้คือ

2.1 ที่ ณ จุดปัจจุบัน (Current Point: CP) พิจารณาหาจุดถัดไป (Next Point: NP) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่อยู่ห่างออกไปหนึ่งหน่วย ซึ่งก็ได้แก่จุดบนถนนภายในที่อยู่ติดกับ CP นั้นเอง โดยสามารถมี NP ได้สูงสุด 4 จุด (n= 4) ในกรณีจุดกลางสี่แยก

2.2 ประเมิน NPs เหล่านี้ เพื่อหา NP(n) ที่มีระยะห่าง Euclidean กับ FP น้อยที่สุด แล้วกำหนดให้ค่า n นี้เก็บไว้ในตัวแปร *minn* และหา NP(n) อื่นที่มีระยะห่างกับ FP น้อยที่สุดเป็นลำดับที่สอง แล้วให้ค่า n ที่ได้นี้เป็น *min2n* โดยการประเมิน NPs นี้จะไม่นำจุดก่อนหน้า (Previous Point: PP) มาร่วม

พิจารณาด้วย อีกทั้งในขั้นตอนย่อย 2.2 นี้ต้องบันทึกจุด CP เป็นจุดทางแยก (Turning Point: TP) หากพบว่ามี NP ที่เป็นไปได้จากจุด CP นี้หลายจุด จุดทางแยก TP นี้จะถูกเก็บไว้ใช้อ้างอิงสำหรับกลยุทธ์การเปลี่ยนการเลือกทางแยกใหม่ต่อไป

2.3 ขั้นตอนต่อไปคือการพิจารณาว่าการเดินทางไปจุดถัดไปนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของการอนุญาตให้เดินทางออกห่างจาก FP หรือไม่ หากอนุญาตก็จะทำการปรับปรุงค่าจุดต่าง ๆ ได้แก่ ให้ CP กลายเป็น PP และให้ NP กลายเป็น CP ซึ่งอาจเลือกใช้ NP(*minn*) หรือ NP(*min2n*) แล้วแต่กรณีที่จะกล่าวต่อไป รวมทั้งการปรับปรุงค่าระยะทาง L_2 ให้เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยเพื่อแสดงว่ามีการเดินทางเคลื่อนที่จาก CP ไป NP

2.4 พิจารณาการเคลื่อนที่ไป NP นี้ว่ามีทิศทางที่ทำให้เข้าใกล้ FP มากขึ้นหรือไม่ หากเข้าใกล้ขึ้นจะกำหนดให้ตัวแปร *outward* = 0 แต่หากตรงกันข้ามคือเป็นการเคลื่อนที่ที่ออกห่างจาก FP มากขึ้น จะกำหนดให้ตัวแปร *outward* มีค่าเพิ่มขึ้น 1 โดยการเคลื่อนที่ในทิศทางออกห่างนี้จะถูกกำหนดให้ทำได้ไม่เกินจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ด้วยตัวแปร *maxoutward*

2.5 ในกรณีที่ไม่อนุญาตการเดินทางไปจุดถัดไป (อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากทิศทางของการเดินทางออกห่างจาก FP เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายครั้งของการเดินทาง จนเกินจำนวนครั้งที่อนุญาตไว้ (*maxoutward*) หรือเนื่องจากโปรแกรมหา NP (ที่ไม่ใช่ PP) ไม่พบเลยเพราะ CP นี้เป็นจุดทางตันไม่มีจุดเดินทางไปต่อได้) โปรแกรมจะนำเข้าสู่โหมดการแก้ไข โดยได้พัฒนากลยุทธ์ในการแก้ไขไว้ 3 กลยุทธ์คือ

กลยุทธ์ที่ 1 การสลับจุดเริ่มต้นกับจุดปลายทาง โดยให้ CP = FP; FP = SP; และ SP = CP พบว่าในหลายโจทย์ปัญหา กลยุทธ์การสลับจุดนี้ช่วยให้การเดินทางจุดต่อจุดของโปรแกรมหลุดออกจากทางตันหรือการเลือกไปทางแยกที่ไม่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพดี อีกทั้งระยะทาง L_2 จาก SP ไป FP ยังมีค่าเท่ากับจาก FP ไป SP

กลยุทธ์ที่ 2 การเปลี่ยนการเลือกทางแยกใหม่ การเดินทางต่อจากจุดที่เป็นทางแยกในกรณีปกติโปรแกรมจะตัดสินใจเลี้ยวไปทางที่ทำให้เข้าใกล้ FP มากที่สุด [*NP(minn)*] แต่ในบางโจทย์ปัญหาพบว่าการตัดสินใจเลือกเช่นนี้อาจทำให้ไม่ได้เส้นทางที่ดีเสมอไป ดังนั้นโปรแกรมจึงกำหนดให้สามารถย้อนกลับไปที่จุดทางแยก (TP) ที่เคยบันทึกไว้ในขั้นตอน 2.2 เพื่อเปลี่ยนการตัดสินใจเลือกเลี้ยวไปอีกเส้นทางหนึ่งที่เคยถูกประเมินไว้ว่าดีเป็นลำดับที่สอง [*NP(min2n)*] นั้นเอง

กลยุทธ์ที่ 3 การเพิ่มค่า *maxoutward* เป็นกลยุทธ์ที่ใช้ร่วมกับกลยุทธ์ที่ 1 และ 2 ซึ่งจะทำให้ทุกครั้งที่เกิดปัญหาหาเส้นทางไปต่อไม่ได้ นอกจากจะแก้ไขด้วยกลยุทธ์ที่ 1 หรือ 2 แล้ว ยังใช้กลยุทธ์ที่ 3 นี้เพื่อเพิ่มค่า *maxoutward* ขึ้น ซึ่งเป็นขอบเขตการอนุญาตให้มีจำนวนครั้งการเดินทางที่ออกห่างจาก FP ได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งพบว่าในหลายโจทย์ปัญหาเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสการเดินทางเพื่อให้ถึงจุดหมายได้

อย่างดี เนื่องจากไม่มีค่า *maxoutward* ที่เหมาะสมแน่นอน แต่ค่าที่เหมาะสมจะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์ตลอดเวลา

การดำเนินการตามขั้นตอนย่อยทั้ง 5 เหล่านี้จะเป็นไปแบบวนซ้ำหลายรอบจนกระทั่งการกำหนดเส้นทางจาก SP ไปสู่ FP ได้สำเร็จ จึงเป็นการสิ้นสุดการคำนวณค่าระยะทาง L_2 จากนั้นจึงดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 ต่อไป

จะเห็นได้ว่าการดำเนินการของโปรแกรมในขั้นตอนที่ 2 นี้มีความซับซ้อนอย่างมากเพราะเป็นการจำลองการกำหนดเส้นทางไปตามถนนภายในโครงการ เลียนแบบการตัดสินใจเดินทางจริง ซึ่งความซับซ้อนจะขึ้นอยู่กับโครงข่ายถนนภายในที่มีอยู่ของโครงการ การสร้างโปรแกรมนี้จะต้องพิจารณาให้ครอบคลุมความซับซ้อนเหล่านี้และมีการทดสอบกับโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนได้สำเร็จมาแล้ว

5.4 วิธีการหาคำตอบด้วย PSO

การแก้ปัญหา CSLP นี้ได้เลือกใช้วิธี Particle Swarm Optimization (PSO) และเป็นการหาคำตอบที่เป็นค่าพิกัดของจุดตำแหน่งจัดวาง TFs ทั้งหมด เนื่องจาก PSO สามารถเข้ารหัสคำตอบแบบค่าพิกัดได้โดยตรงจึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับปัญหานี้ อีกทั้งตัว Algorithm ยังมีความเรียบง่ายสามารถทำการเขียนโปรแกรมได้สะดวก มีการใช้พารามิเตอร์ไม่มากจึงสามารถปรับแต่งหาค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับปัญหาได้สะดวกด้วย ซึ่ง PSO มีหลักการที่ใช้หน่วยประชากรของฝูงในการช่วยกันค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดไปบนพื้นที่ของคำตอบ โดยที่ทุกตัวในฝูงไม่มีตัวใดรู้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้กลยุทธ์การเคลื่อนที่ตามตัวที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงไป จุดเด่นของ PSO คือการใช้หน่วยของการค้นหาคำตอบเป็นจำนวนมากและทำการค้นหาไปพร้อม ๆ กัน โดยมีทิศทางไปตามจ่าฝูง ซึ่งต่างจาก Evolutionary based algorithms ที่จะใช้การค้นหาแบบสร้างสิ่งมีชีวิตรุ่นลูก ๆ แบบสุ่มสร้างจากพ่อแม่

PSO algorithm ที่ใช้ในการหาคำตอบนี้มีรายละเอียดหลักแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ การเข้ารหัสคำตอบและสร้างประชากรของฝูง, การประเมินค่า Fitness ของ Particles, การปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particles, และการวนรอบซ้ำจนสิ้นสุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 การเข้ารหัสคำตอบและสร้างประชากรของฝูง

กำหนดให้ประชากร Particles ในฝูง (Swarm size) มีอยู่จำนวน *swarmsize* ตัว ซึ่งประชากร Particle แต่ละตัวก็คือหน่วยย่อยของการค้นหาคำตอบ หากกำหนดให้มีจำนวน Particle ในฝูงมากก็จะทำให้การค้นหาคำตอบเกิดขึ้นอย่างกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่ของคำตอบทั้งหมดได้ เป็นการเพิ่มโอกาสของการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็ต้องแลกด้วยเวลาที่ใช้ดำเนินการของ Algorithm ที่มากขึ้น โดย Particle แต่ละตัวจะมีค่าตำแหน่งของ TFs ทุกอันที่ต้องการจัดวาง ซึ่งค่าตำแหน่งประกอบด้วยค่า Coordinate (x, y) และ ค่า Orientation (z) ตัวอย่างเช่น สมมติให้ปัญหา CSLP นี้มี TFs ที่ต้องการจัดวางทั้งหมด 5 อัน Particle P1 จะมีการเข้ารหัสดังตัวอย่างในรูปข้างล่าง

facility k		1	2	3	4	5
P1	x	4	6	2	0	7
	y	8	7	8	2	2
	z	1	2	0	2	1

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสคำตอบของ Particle P1

มีค่าตำแหน่งของ TF_1 ประกอบด้วย Coordinate = (4, 8) และ Orientation = 1

มีค่าตำแหน่งของ TF_2 ประกอบด้วย Coordinate = (6, 7) และ Orientation = 2

มีค่าตำแหน่งของ TF_3 ประกอบด้วย Coordinate = (2, 8) และ Orientation = 0

มีค่าตำแหน่งของ TF_4 ประกอบด้วย Coordinate = (0, 2) และ Orientation = 2

มีค่าตำแหน่งของ TF_5 ประกอบด้วย Coordinate = (7, 2) และ Orientation = 1

ค่า Coordinate นี้เป็นค่าพิกัดในระบบที่กำหนดขอบเขตพื้นที่ของโครงการ ส่วนค่า Orientation กำหนดให้ 0 = 0° orientation, 1 = 90° orientation, 2 = 180° orientation, 3 = 270° orientation

ทั้งนี้เมื่อรวมกันข้อมูลของ P1 (หรือของ Particle ใด ๆ) จะแทนได้กับแผนการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่เป็นไปได้อันหนึ่ง ซึ่งต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดทุกข้อที่กำหนดไว้ด้วย โดยในการสร้างประชากร Particles ขึ้นในรุ่นแรก (รอบแรก) เมื่อตอนเริ่มต้นจะใช้การสุ่มค่า Coordinates และ Orientations ของ TFs ต่าง ๆ

5.4.2 การประเมินค่า Fitness ของ Particles

ขั้นตอนภายหลังจากที่ได้ประชากร Particles รุ่นแรกของฝูงแล้วคือ การประเมินค่า Fitness ของ Particles ทุกตัวของฝูง เนื่องจากตัว Particle จะเก็บข้อมูลตำแหน่งจัดวาง TFs ดังนั้นจึงสามารถนำค่าตำแหน่งนี้มาสร้างผังการจัดวาง TFs และนำไปประเมินหาค่าระยะเดินทางจริง (Actual Path) ระหว่างคู่สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ได้ พร้อมกับนำค่าระยะนี้ไปถ่วงน้ำหนักด้วย Proximity weights ที่เตรียมไว้ก่อน ได้เป็นผลรวมค่าระยะเดินทางจริงทั้งหมดที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ซึ่งจะใช้เป็นค่า Fitness ของ Particle ในการประเมินประสิทธิภาพของผังการจัดวางอันนี้ โดยค่า Fitness นี้ก็คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาที่ต้องการ Minimization นั่นเอง ดังแสดงไว้ในสมการที่ (1)

ค่า Fitness ของ Particles ทุกตัวที่คำนวณได้แล้ว จะถูกนำไปเปรียบเทียบใน 2 ลักษณะ เพื่อบันทึกค่าที่ดีที่สุด 2 ค่า คือ

1. Individual best values (*pbest*) คือ ค่าตำแหน่งของแต่ละ Particle ที่มีค่า Fitness ที่ดีที่สุดเท่าที่ Particle ตัวนั้นเคยมีมา เมื่อเปรียบเทียบกันกับของตนเองในรอบก่อน ๆ (รุ่นก่อน ๆ) แต่หากเป็นประชากรรุ่นแรกก็จะได้ว่าค่า Fitness ที่ได้นั้นเป็นค่าที่ดีที่สุด หากค่าตำแหน่งของ Particle ตัวนั้น ๆ ใน

รอบปัจจุบันทำให้ได้ค่า Fitness ที่ดีขึ้นกว่า *pbest* ที่เคยบันทึกไว้ก็จะมีการเปลี่ยนไปใช้ค่า *pbest* ที่ดีกว่าที่เพิ่งพบนั้นเอง

2. Global best values (*gbest*) คือ ค่าตำแหน่งที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดที่เปรียบเทียบกับค่า Fitness ของ Particles ทุกตัวในฝูงในทุกรอบที่เคยผ่านมา ซึ่งหากเป็นประชากรรุ่นแรก จะยังไม่มีค่าที่ดีที่สุดที่เคยบันทึกไว้ จะใช้ค่าตำแหน่งของ Particle ที่มีค่า Fitness ที่ดีที่สุดจากการเปรียบเทียบกันเองภายในรุ่นแรกนี้เป็น *gbest* แต่หากเป็นประชากรรุ่น (รอบ) ถัด ๆ มา ได้ค่าตำแหน่งที่ให้ค่า Fitness ที่ดีขึ้นกว่า *gbest* เดิมก็จะเปลี่ยนไปใช้ *gbest* ที่ดีที่สุดในรุ่น (รอบ) ปัจจุบันที่เพิ่งพบนั้น

5.4.3 การปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particles

ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงค่าความเร็ว (Velocity) และตำแหน่ง (Position) ของ Particles ทุกตัวของฝูง โดยค่าความเร็วของ Particle ในรอบปัจจุบันหรือ Iteration t+1 ได้จากผลรวมของการคำนวณพจน์ 3 พจน์ดังสมการข้างล่างนี้

$$v_{xi}(t+1) = w \cdot v_{xi}(t) + c_1 r_1[pbest_{xi}(t) - x_i(t)] + c_2 r_2[gbest_x(t) - x_i(t)]$$

โดยที่ i = ดัชนีของ Particle ตัวที่ i; $v_{xi}(t)$ = ความเร็วของ Particle ตัวที่ i ที่รอบ Iteration ที่ t; $x_i(t)$ = ค่าตำแหน่งของ Particle ตัวที่ i ที่ Iteration t; $pbest_{xi}(t)$ = เป็นค่าตำแหน่ง *pbest* ของ Particle i ที่ t; $gbest_x(t)$ = เป็นค่าตำแหน่ง *gbest* ที่ t; w, c_1, และ c_2 = ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นสัมประสิทธิ์ที่ควบคุมสัดส่วนของค่าของแต่ละพจน์ ซึ่งมักจะกำหนดให้ w = [0, 1.2], c_1 = [0, 2], และ c_2 = [0, 2]; r_1 และ r_2 = เป็นตัวเลขสุ่มที่สร้างใหม่ทุกครั้ง มีค่าในช่วง r_1 และ r_2 = [0, 1]

พจน์ที่ 1 Inertia component คือค่าความเฉื่อยของการเคลื่อนที่ ได้จากค่าความเร็วในรอบ Iteration t ก่อนหน้า ที่ปรับแต่งสัดส่วนของพจน์นี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ w ค่าของพจน์นี้จะทำให้ตำแหน่งของ Particle i เคลื่อนไปในทิศทางเดียวกับรอบก่อนหน้า

พจน์ที่ 2 Cognitive component คือการเรียนรู้ของปัจเจก Particle พยายามเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ตนเองได้ค้นพบมาจากรอบก่อน ๆ จนถึงรอบที่ t หรือ $pbest_i$ โดยสามารถกำหนดสัดส่วนของพจน์นี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ c_1

พจน์ที่ 3 Social component คืออิทธิพลของฝูงที่ทำให้ปัจเจก Particle พยายามเคลื่อนที่ไปที่บริเวณตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ทั้งฝูงได้ค้นพบมาจากรอบก่อน ๆ จนถึงรอบที่ t หรือ *gbest* โดยสามารถกำหนดสัดส่วนของพจน์นี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ c_2

นอกจากนี้ในพจน์ที่ 2 และ 3 ยังมีตัวเลขสุ่ม r_1 และ r_2 ที่ใช้เป็นสัมประสิทธิ์ของพจน์ทั้งสองตามลำดับ เพื่อให้การเคลื่อนที่ของแต่ละ Particle เกิดความไม่แน่นอนและไม่มีแบบแผนในลักษณะแบบสุ่ม หรือ Stochastic influence ส่วนความเร็วเริ่มต้นของ Particle ใด ๆ กำหนดให้เท่ากับศูนย์

เมื่อคำนวณได้ค่าความเร็วแล้วจากนั้นจึงนำมาปรับปรุงค่าตำแหน่งของ Particle i ด้วยสมการ

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_{xi}(t+1)$$

อย่างไรก็ตามค่าตำแหน่งของ Particle ใด ๆ ในแบบจำลองปัญหานี้มี 3 ค่า ได้แก่ ค่า Coordinate (x, y), และค่า Orientation (z) ดังนั้นการปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particles จะต้องทำทั้งในค่า x, y และ z ด้วย โดยใช้สมการคำนวณในลักษณะเดียวกัน อีกประเด็นคือการกำหนดให้ค่าตำแหน่งของ Particles อยู่ในระบบพิกัดกริดที่มีหน่วยย่อยที่สุดเป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นค่าความเร็วที่คำนวณได้จะถูกนำมาปัดให้เป็นเลขจำนวนเต็มแล้วจึงนำไปปรับปรุงค่าตำแหน่งต่อไป

5.4.4 การวนรอบซ้ำจนสิ้นสุด

PSO เป็น algorithms ที่ใช้หลักการคล้ายกับกลุ่มพวกวิวัฒนาการ เช่น Genetic Algorithms (GAs) ที่จะเริ่มต้นขั้นตอนด้วยการสร้างประชากรของคำตอบรุ่นแรกขึ้นมาแบบสุ่ม จากนั้นจะค่อย ๆ พัฒนาคำตอบให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ผ่านการปรับปรุงแบบวนรอบไปเรื่อย ๆ จำนวนรอบของการวนรอบซ้ำ (Iteration) จึงเป็นปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด หากกำหนดให้ Max. Iteration (จำนวนวนรอบทั้งหมด) มีค่ามากจะเป็นการเพิ่มโอกาสการพัฒนาคำตอบให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้น แต่ก็ต้องแลกด้วยเวลาของการดำเนินการของ Algorithm ที่มากขึ้นด้วย ซึ่งการวนรอบซ้ำของ PSO จะวนรอบทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนกระทั่งสิ้นสุด โดยที่เงื่อนไขของการสิ้นสุดอาจกำหนดได้หลายรูปแบบ เช่น กำหนดให้เป็นจำนวนรอบ Iterations ทั้งหมด (Max. Iteration), จำนวนรอบ Iteration ที่ไม่มีการพัฒนาเกินกว่าที่กำหนด (Max. Iteration for Improvement < xx%) เป็นต้น

5.4.5 การเขียนโปรแกรม

Pseudo code ของ PSO algorithm ที่ใช้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นแบ่งเป็นสี่ขั้นตอนหลักดังนี้

Initialize input variables

4. Evolve the swarm through the procedures until the ending criteria are met

Do While the ending criteria are not met

For each Particle *i* in *swarmsize*

1. Update positions and velocities of Particles in the swarm

For each Facility *f* in a Particle

Do While *cloop* < *maxloop*

Generate randomly variable of Facility *f*

Calculate the velocity of Facility *f* of Particle

Update the position of Facility *f* of Particle

2. Validate Facilities' positions

2.1 Site boundary condition

If Facility *f* of Particle *i* is within the site boundary Then

2.2 Facility overlapping condition

If Facility *f* of Particle *i* does not overlap with the other facilities

Exit For; this Facility *f* of Particle *i* is valid

Else

Reset previous facilities before Facility *f*

End If

Loop and regenerate new position of Facility *f*

Next Facility

Next Particle

3. Evaluate the fitness value of particles and remember the best particles

For each Particle *i* in *swarmsize*

Calculate the Fitness value using the Actual Path or Euclidean Method

If the Fitness value is better than the individual $pbest_i$ value

Set the current Particle value as the new $pbest_i$

End If

If the Fitness value is better than the global *gbest* value

Set the current Particle value as the new *gbest*

End If

Next Particle

Loop until the ending criteria are met

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.5 การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบด้วยโปรแกรมกระดานคำนวณ

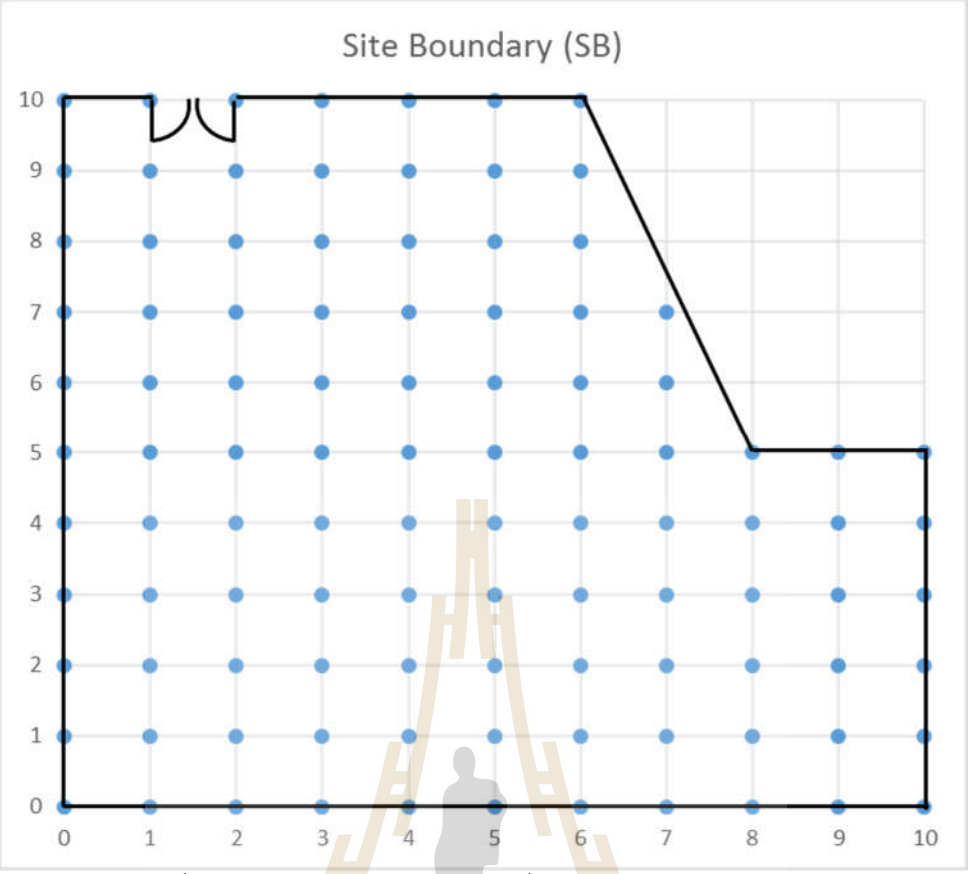
แบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง CSLP นี้ได้ถูกนำไปพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ (Prototype) ต่อด้วยโปรแกรมกระดานคำนวณ (Spreadsheet) Microsoft Excel™ 2013 เนื่องจากเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประเภท Spreadsheet ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีเครื่องมือช่วยสนับสนุนต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับใช้สร้างแบบจำลองได้อย่างดี เช่น การบันทึกข้อมูลต่าง ๆ การคำนวณ การเขียนโปรแกรมเพิ่ม การแสดงรูปแผนภาพ เป็นต้น โดยตัวแบบจำลองปัญหาจะถูกบันทึกเป็นไฟล์หนึ่งไฟล์ ที่ประกอบด้วยแผ่นงาน (Sheet) เพียงแผ่นเดียวชื่อว่า “Model” ที่ใช้ป้อนบันทึกและแสดงค่าต่าง ๆ ทั้งหมดของแบบจำลอง และจัดวางอย่างเป็นระเบียบในรูปแบบตารางต่าง ๆ โดยแบ่งพื้นที่สำหรับการใช้งานในหน้าที่ต่าง ๆ กัน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการป้อนข้อมูลนำเข้า (Input) และเพื่อแสดงข้อมูลผลลัพธ์ (Output) ให้เข้าใจได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีการเรียกใช้งานโปรแกรมส่วนเพิ่ม (Add-ins program) เพื่อช่วยในการคำนวณและหาคำตอบ และการเขียนชุดคำสั่ง (Macros) ด้วยภาษา VBA เพื่อให้โปรแกรมเกิดการทำงานโดยอัตโนมัติ ส่วนประกอบของแบบจำลองบน Excel แบ่งพื้นที่ของแผ่นงานออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนป้อนข้อมูลโจทย์ปัญหาและค่าพารามิเตอร์ของ PSO, ส่วนบันทึกค่าการคำนวณของ PSO, และส่วนแสดงผลลัพธ์ผังสถานที่ก่อสร้าง มีรายละเอียดดังหัวข้อต่าง ๆ ข้างล่างนี้

5.5.1 ข้อมูลโจทย์ปัญหาและข้อมูลค่าพารามิเตอร์

ส่วนข้อมูลโจทย์ปัญหาและค่าพารามิเตอร์คือพื้นที่สำหรับป้อนข้อมูลนำเข้า (Input) จากผู้ใช้งานเป็นตัวโจทย์ปัญหาการตัดของโครงการก่อสร้างที่ต้องการหาคำตอบ และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการหาคำตอบจาก PSO

1. ข้อมูลโจทย์ปัญหา CSLP ประกอบด้วย ขอบเขตของโครงการในระบบพิกัดกริด ขอบเขตของสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทต่าง ๆ คือ FF, AR, OB, และ TF ค่าจุดพิกัดของถนนภายในโครงการ และค่า Proximity weights ของทุกคู่สิ่งอำนวยความสะดวก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขอบเขตของโครงการในระบบพิกัดกริด (Site Boundary’s coordinates) ได้จากการนำผังสถานที่จริงของโครงการมาแบ่งย่อยออกด้วยระบบพิกัดกริดให้มีขนาดความละเอียดของระยะกริดตามที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งจะทำให้เส้นแสดงขอบเขตของโครงการสามารถแบ่งแยกจุดพิกัดต่าง ๆ ออกเป็น จุดที่อยู่ภายในขอบเขตของโครงการ (SBACs) (แสดงแทนด้วยจุดวงกลมในรูป) และ จุดที่อยู่นอกขอบเขตของโครงการ (SBNACs) โดยผู้ใช้จะต้องนำเข้าจุดพิกัด SBNACs ทั้งหมดที่ใช้เส้นขอบเขตของโครงการเป็นตัวแบ่ง ดังตัวอย่างแสดงในรูปข้างล่าง จากผังสถานที่ของโครงการตัวอย่างและความละเอียดของระยะกริดที่กำหนดขึ้นจะได้ว่า ผู้ใช้ต้องป้อนจุดพิกัด SBNACs ต่าง ๆ รวม 18 จุดได้ดังตาราง



รูปที่ 5.8 ตัวอย่างจุดพิกัด SBACs ที่แสดงขอบเขตของโครงการ

SB's non-available coordinates (SBNACs)																		
X	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10
Y	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10

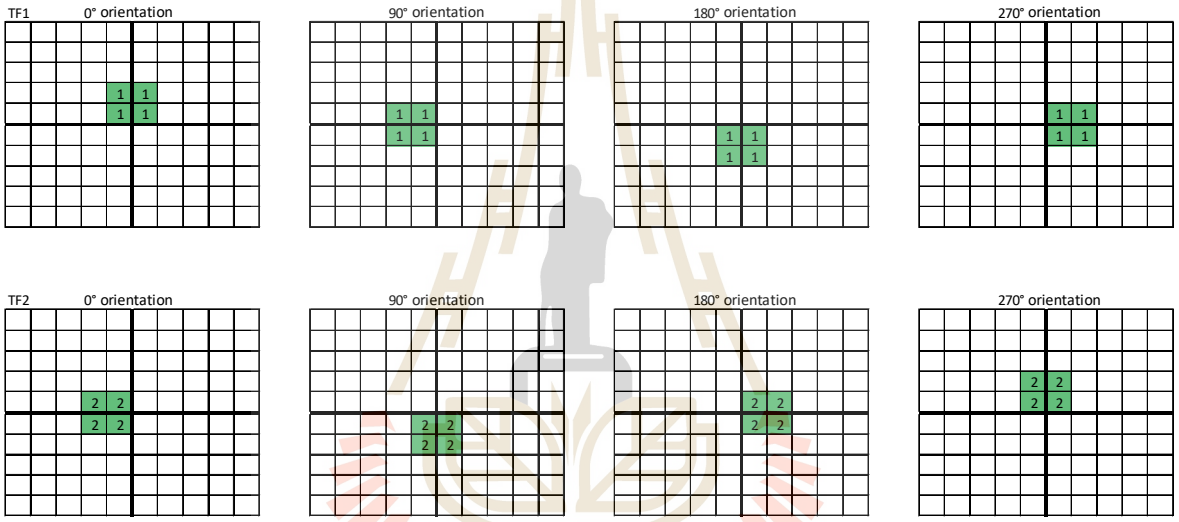
รูปที่ 5.9 การป้อนค่าจุดพิกัด SBNACs ที่ได้จากเส้นขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทต่าง ๆ (Facilities' boundaries) คือ FF, AR, OB, และ TF ผู้ใช้จะต้องเตรียมข้อมูลของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด และนำมาป้อนลงในแบบจำลอง สิ่งอำนวยความสะดวกทั้ง 4 ประเภทแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีตำแหน่งคงที่ ได้แก่ FF, AR, OB และกลุ่มที่ต้องจัดวางตำแหน่ง ได้แก่ TF เนื่องจากข้อกำหนดที่ให้สิ่งอำนวยทุกอันมีรูปร่างพื้นฐานเป็นสี่เหลี่ยมเท่านั้น การป้อนข้อมูลค่าตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกแต่ละอันจึงใช้ค่าจุดพิกัดของ Non-dominated points 2 จุดคือที่มุมล่างซ้าย (Lower left corner) และมุมบนขวา (Upper right corner) โดยที่มุมล่างซ้ายจะกำหนดด้วยค่าพิกัด X1 และ Y1 ส่วนมุมบนขวาจะกำหนดด้วยค่าพิกัด X2 และ Y2 ดังตัวอย่างแสดงในรูปข้างล่าง

Fixed Facility's boundary info		
Coordinate	X1	X2
	Y1	Y2
FF1	3	7
	4	6
FF2	2	3
	2	4

รูปที่ 5.10 การป้อนค่าจุดพิกัดที่เป็นมุมของ Fixed Facility

อย่างไรก็ตามหากเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกอีกกลุ่มหนึ่งที่เป็น TF จะมีข้อกำหนดให้มีการวางตัว (Orientation) ได้ 4 แนว ทำให้ค่าจุดพิกัดของมุมที่กำหนดขอบเขตของ TF มีได้ 4 ชุด โดยจุดที่ใช้เป็นจุดหมุนของรูปคือจุดทางเข้าออกของ TF นั้นเอง ดังแสดงตัวอย่างในรูปข้างล่าง



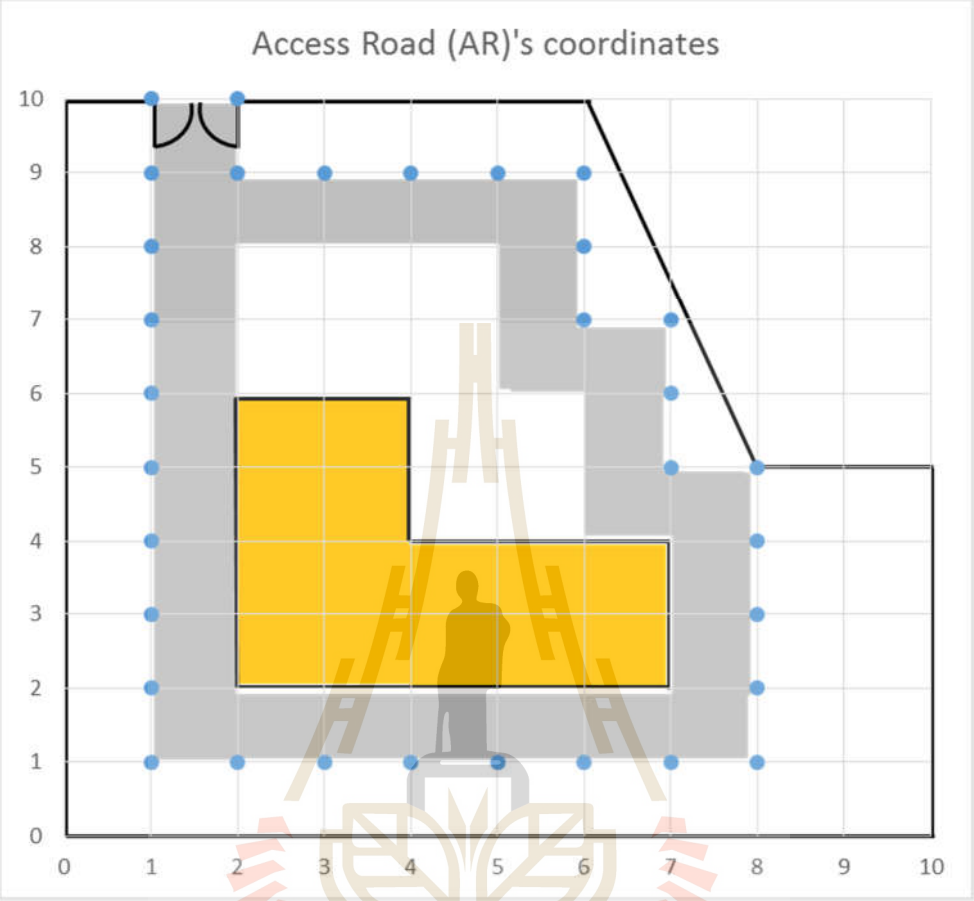
Temporary Facility's boundary info								
Orientation	0		90		180		270	
Coordinate	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
TF1	-1	1	-2	0	-1	1	0	2
	0	2	-1	1	-2	0	-1	1
TF2	-2	0	-1	1	0	2	-1	1
	-1	1	-2	0	-1	1	0	2

รูปที่ 5.11 การป้อนค่าจุดพิกัดที่เป็นมุมของ Temporary Facility พร้อมแนวการวางตัวทั้ง 4 แนว

ค่าจุดพิกัดของถนนภายในโครงการ (Access Road's coordinates) นอกจากขอบเขตของสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทถนนภายใน (AR) แล้วผู้ใช้ยังต้องป้อนนำเข้าข้อมูลค่าจุดพิกัดทั้งหมดที่แสดงแนวเส้นทางของถนนภายใน (ARCs) เหล่านี้ด้วย ดังตัวอย่างแสดงในรูปข้างล่างจะได้ว่า ผู้ใช้ต้องป้อนจุดพิกัด ARCs ต่าง ๆ รวม 32 จุดได้ดังตาราง ซึ่งแสดงแทนด้วยจุดวงกลมในรูปภาพข้างล่าง

AR's coordinates (ARCs)																																
X	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	9	9	9	10	10	9	8	7	6	5	4	3	2

รูปที่ 5.12 การป้อนค่าจุดพิกัดที่เป็นแนวถนน Access Road



รูปที่ 5.13 ตัวอย่างจุดพิกัดแนวถนนภายใน ARCs และการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกกลุ่มที่มีตำแหน่งคงที่

ค่าความใกล้ชิด (Closeness relationships) ของทุกคู่สิ่งอำนวยความสะดวก สามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ที่แสดงได้ด้วยตารางข้างล่าง โดยผู้ใช้เป็นผู้กำหนดค่าความใกล้ชิดเหล่านี้ตามความเหมาะสมหรือความเห็นของตนเอง จากนั้นจึงแปลงค่าความใกล้ชิดนี้ให้เป็นค่าตัวเลขน้ำหนัก (Proximity weights) ตามอัตราที่แนะนำไว้ในหัวข้อ 5.2.4 ตารางป้อนค่าความใกล้ชิดนี้มีลักษณะแบบเมทริกซ์ที่การสลับที่ภายในคู่เดิมมีค่าน้ำหนักเท่าเดิม เช่น ค่าน้ำหนักระหว่าง TF1 กับ TF2 เท่ากับ TF2 กับ TF1 เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดค่าความใกล้ชิด (Closeness relationships) ให้กับคู่ของสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) และสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทชั่วคราว (TF) ได้ด้วย

Relationships for Proximity Weight
between a pair of facilities

I.D.: I.D.	1	2	3	4	5
1		1	1	1	1
2			1	1	1
3				1	1
4					1
5					

รูปที่ 5.14 การป้อนค่าความใกล้ชิดระหว่างคู่ของ Temporary Facilities

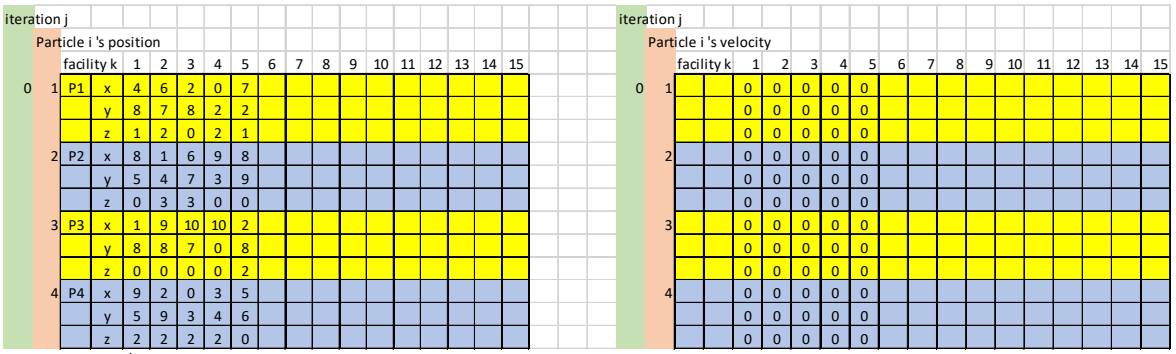
2. ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของ PSO มีพื้นที่สำหรับการป้อนค่าดังแสดงในรูป ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ PSO ได้แก่ Swarm size คือค่าจำนวน Particles ทั้งหมดของฝูงที่ใช้, Max. Iteration คือจำนวนรอบของการวนรอบซ้ำทั้งหมดเพื่อพัฒนาคำตอบ, Improvement criteria คืออัตราขั้นต่ำของการพัฒนาของค่าตำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้แล้ว, Iteration for unimprove. คือจำนวนรอบที่การไม่เกิดการพัฒนาของค่าตำตอบที่ดีที่สุดที่มากกว่าอัตราขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้ร่วมกับ Improvement criteria, Max. loop for par. gen. คือจำนวนวนรอบสูงสุดที่กำหนดใช้สำหรับการสุ่มสร้างค่าตำแหน่งของ Particle ใด ๆ ของฝูง, ส่วน w, C1, และ C2 คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ควบคุมสัดส่วนของค่าแต่ละพจน์ของการปรับปรุงความเร็วของ Particles ที่เป็นพจน์ Inertia, Cognitive, และ Social components ตามลำดับ

PSO parameters	
Swarm Size	80
Max. Iteration	30
Improvement criteria	0.10%
Max. Iteration for unimprove.	10
Max. loop for par. gen.	100
W	1.00
C1	1.00
C2	1.00

รูปที่ 5.15 การป้อนค่าพารามิเตอร์ของ PSO

5.5.2 ข้อมูลการคำนวณของ PSO

ส่วนที่บันทึกข้อมูลผลการคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องในระหว่างการดำเนินการของ PSO ได้แก่ ค่าตำแหน่งและค่าความเร็วของ Particles ทั้งหมดที่ถูกพัฒนาปรับปรุงไปในแต่ละรอบ Iteration, ค่าตำแหน่งและ Fitness ของ *pbest* และ *gbest* ที่ได้ในแต่ละรอบ ค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกบันทึกไว้ตามลำดับของการดำเนินการของ PSO ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้ใช้ในการอ้างอิงของโปรแกรมที่ดำเนินการ โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้โดยตรงและอาจพิจารณาซ่อนการแสดงข้อมูลเหล่านี้ได้



iteration j		Particle i 's position															
		facility k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	P1	x	4	6	2	0	7									
			y	8	7	8	2	2									
			z	1	2	0	2	1									
	2	P2	x	8	1	6	9	8									
			y	5	4	7	3	9									
			z	0	3	3	0	0									
	3	P3	x	1	9	10	10	2									
			y	8	8	7	0	8									
			z	0	0	0	0	2									
	4	P4	x	9	2	0	3	5									
			y	5	9	3	4	6									
			z	2	2	2	2	0									

iteration j		Particle i 's velocity															
		facility k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1		0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
	2		0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
	3		0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
	4		0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										
			0	0	0	0	0										

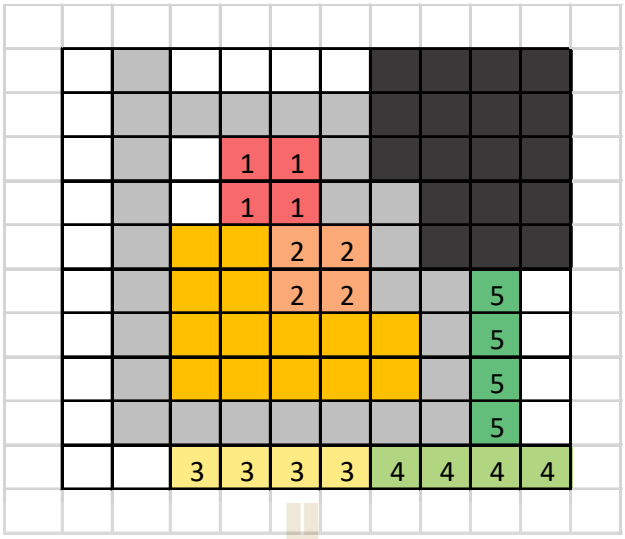
รูปที่ 5.16 ตัวอย่างข้อมูลค่าตำแหน่งและค่าความเร็วของ Particles ในแต่ละรอบ Iteration

Particle 's fitness								gbesti	16	gbestj	6																								
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
pbestj	12	15	12	15	50	12	8	50	15	50	8	15	15	15	12	6	12	12	12	15	15	15	12	50	12	15	12	12	15	12	12	50	12	8	12	12	50	50	12	15
0	56	53	73	55	66	56	61	55	54	77	57	61	68	68	65	32	56	62	54	63	59	53	69	61	68	65	52	55	58	62	53	64	72	46	48	54	72	50	63	56
j = 1	40	42	52	41	54	44	47	37	48	57	49	52	46	45	46	32	42	44	51	37	49	47	62	44	47	44	44	42	50	60	43	49	65	39	38	46	45	42	49	52
2	42	43	37	38	55	38	39	35	52	50	35	44	29	35	50	32	46	37	37	38	50	43	49	38	36	41	39	49	35	53	53	49	46	39	51	47	49	40	35	47
3	39	40	37	35	51	33	42	42	39	52	38	40	38	37	34	32	43	41	35	36	49	41	42	43	44	44	36	48	30	40	41	41	51	39	42	42	46	34	41	46
4	34	41	37	39	52	28	40	30	40	39	36	45	40	38	31	29	35	34	36	36	47	39	34	37	41	35	38	45	41	42	28	37	30	39	35	44	38	41	36	40
5	28	34	28	34	37	28	32	31	37	44	33	43	32	35	31	25	31	25	26	35	41	34	33	34	27	35	33	42	35	36	30	33	33	28	34	36	30	36	33	37
6	27	32	24	30	33	27	25	28	31	40	28	30	28	36	26	20	30	25	28	27	31	30	34	28	23	35	29	31	31	28	25	33	31	21	28	28	27	32	26	34
7	25	25	24	27	31	23	25	26	27	30	29	22	25	28	25	20	28	23	25	25	26	25	35	26	23	33	22	27	28	26	22	30	29	22	22	25	25	33	22	25
8	26	25	25	26	29	23	20	20	22	25	20	22	27	25	25	20	22	25	26	26	29	22	25	23	23	30	22	27	24	22	22	27	25	20	22	26	24	28	22	23
9	28	26	23	23	29	20	20	20	26	25	20	22	25	26	22	20	22	20	20	23	26	23	26	20	23	27	23	23	22	27	20	27	20	20	20	23	22	23	22	27
10	27	25	20	22	30	20	20	20	23	24	20	22	22	26	22	20	20	20	20	23	23	23	20	22	23	25	23	22	22	22	22	20	20	20	20	20	28	23	20	25

รูปที่ 5.17 ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งและ Fitness ของ *pbest* และ *gbest* ที่ได้ในแต่ละรอบ Iteration

5.5.3 ข้อมูลผลลัพธ์ผังสถานที่ก่อสร้าง

ส่วนของการแสดงผังสถานที่ก่อสร้างซึ่งเป็นข้อมูลส่งออก (Output) ของแบบจำลอง โดยใช้พื้นที่ตารางและเซลล์ของ Excel มาแสดงแทนผังสถานที่ก่อสร้างที่เป็นคำตอบที่ได้จากแบบจำลอง เนื่องจากผังสถานที่ก่อสร้างจะถูกจำลองไว้ด้วยระบบพิกัดกริด จึงนำค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นค่าจุดพิกัดตำแหน่งจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวก TFs ทั้งหมด มาใช้กำหนดวางรูปที่แสดงตัว TFs ต่าง ๆ ลงไปภายในขอบเขตของพื้นที่โครงการ รวมทั้งการแสดงรูปที่ใช้แทนสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ได้แก่ FF, OB, และ AR ทำให้ได้เป็นผังสถานที่ก่อสร้างที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้และพร้อมนำไปปฏิบัติงานต่อไป รูปข้างล่างแสดงตัวอย่างผังสถานที่ก่อสร้างที่เป็นคำตอบที่ได้

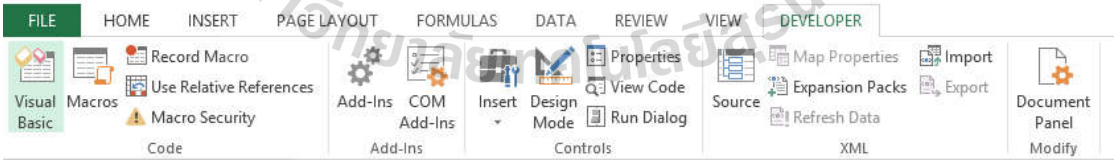


รูปที่ 5.18 การแสดงผังสถานที่ก่อสร้างที่จัดวางตำแหน่งตามคำตอบที่ได้

ในรูปตัวอย่างข้างบน แสดงผลลัพธ์ของการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้จาก PSO โดยให้มีการแสดงด้วยสีที่แตกต่างกัน โดย FF, OB, และ AR ตามตัวอย่างเดิมในรูปที่ 5.2 และตำแหน่งของ TFs ที่ได้จัดวางตามคำตอบที่ได้มีจำนวน 5 อันที่แสดงแทนด้วยสีที่แตกต่างกันและมีค่าตัวเลขแสดงในเซลล์ด้วย

5.5.4 เครื่องมือช่วยสร้างชุดคำสั่งอัตโนมัติ

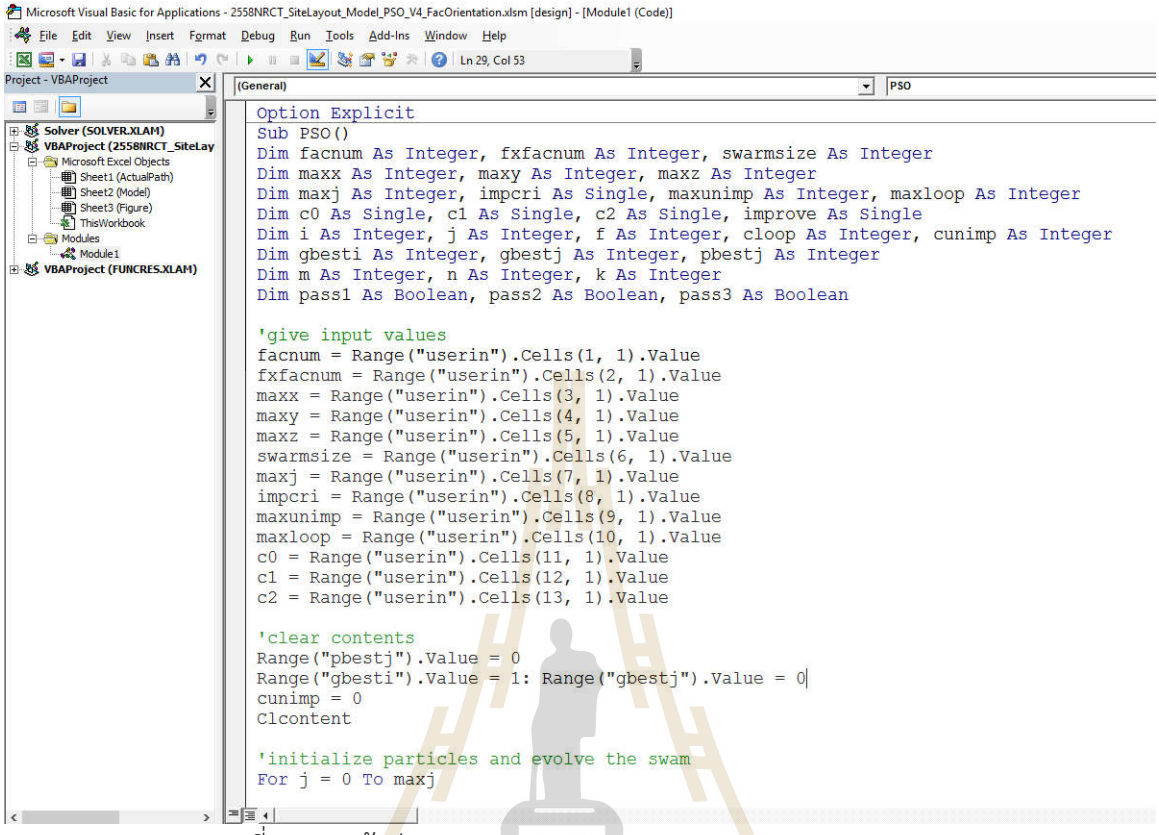
นอกจากโปรแกรม Excel จะมีเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองของปัญหาแล้ว ยังมีเครื่องมือช่วยในการสร้างชุดคำสั่งอัตโนมัติ (Macros) ที่ใช้ภาษา Visual Basics for Application (VBA) ในการพัฒนา ซึ่งในการวิจัยนี้จำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเหล่านี้ขึ้นเอง เพื่อดำเนินการ PSO ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ผ่านการเรียกใช้เครื่องมือ VBA Editor ในแท็บ DEVELOPER บนเมนู Ribbon ของ Excel ซึ่งจะปรากฏไอคอนของ Visual Basic ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.19 Visual Basic icon ใน DEVELOPER tab บนเมนู Ribbon

การสร้างชุดคำสั่งอัตโนมัติ (Macros) นี้มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้การหาคำตอบเป็นไปอย่างต่อเนื่องอัตโนมัติและราบรื่น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ช่วยควบคุมการทดสอบโจทย์ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบจำนวนมากและแบ่งเป็นหลากหลายกรณี ที่ต้องทำการสั่งให้ปรับเปลี่ยนค่าข้อมูลต่าง ๆ ของโจทย์ปัญหาแล้วทำการหาคำตอบ วนรอบซ้ำเช่นนี้เป็นจำนวนมาก ให้เกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ พร้อมทั้งยังสั่งให้บันทึกข้อมูลผลคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งจำนวนมากมายเพื่อจัดเก็บไว้อย่างเป็น

ระเบียบได้อีกด้วยและเพื่อการวิเคราะห์ผลที่ได้ต่อไป เมื่อเรียกใช้งานจะปรากฏหน้าต่างของ VBA Editor ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.20 หน้าต่าง Visual Basic for Application (VBA) Editor

5.6 สรุปผลการพัฒนา

การสร้างแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (CSLP) ขึ้นมาในการวิจัยนี้ เพื่อให้ได้เครื่องมือใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีสำหรับการวางแผนจัดผังสถานที่ก่อสร้าง ให้ได้ตำแหน่งการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่ดีภายในโครงการที่จะช่วยสนับสนุนการปฏิบัติงาน การพัฒนาแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของปัญหา CSLP นี้ได้อยู่บนพื้นฐานของงานวิจัยระดับสากลที่ผ่านมาเพื่อให้ได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาจริงยิ่งขึ้นและวิธีการหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสรุปประเด็นต่าง ๆ ในการพัฒนา ได้แก่

- การใช้ระบบพิกัดกริดในการอ้างอิงตำแหน่งซึ่งช่วยให้สามารถจำลองขอบเขตของสถานที่ก่อสร้างที่มีรูปร่างใด ๆ ได้อย่างยืดหยุ่นและสมจริงที่สุด
- การแบ่งประเภทของสิ่งอำนวยความสะดวกออกมาทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) สิ่งกีดขวาง (OB) ถนนภายใน (AR) และสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (TF) ทำให้สามารถครอบคลุมลักษณะปฏิสัมพันธ์ที่แตกต่างกันของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ปรากฏในโครงการได้ครบถ้วนทั้งหมด

- การกำหนดจุดตำแหน่งทางเข้าออก (Entrance) ของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (TFs) และสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) แทนการอ้างอิงใช้จุด Centroid ทำให้ได้ค่าระยะเดินทางสมจริงมากยิ่งขึ้น

- จากการอ้างอิงจุดตำแหน่งทางเข้าออกของสิ่งอำนวยความสะดวก ทำให้สามารถพิจารณาแนวการวางตัว (Orientation) ของ TFs ร่วมกับการกำหนดตำแหน่งได้ด้วย โดยกำหนดให้ TFs สามารถมีทิศทางการวางตัวตามแนวฉากได้ถึง 4 องศา สอดคล้องกับสภาพการปฏิบัติงานจริง ทำให้เป็นการเพิ่มโอกาสรูปแบบการจัดวางใหม่ ๆ ที่ทำให้เกิดคำตอบที่ดียิ่งขึ้น

- การกำหนดให้ TFs สามารถเป็นรูปร่างใด ๆ ที่เป็นรูปประกอบของรูปพื้นฐานสี่เหลี่ยมได้ ทำให้สามารถจำลองสิ่งอำนวยความสะดวกให้สมจริงยิ่งขึ้น

- การสร้างขั้นตอนวิธี (Algorithm) และสมการสำหรับคำนวณระยะเดินทางจริง (Actual Path) ที่ช่วยให้การคำนวณระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก สอดคล้องใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงมากขึ้น ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นเองนี้สามารถนำไปใช้ได้กับเครือข่ายถนนภายในที่ซับซ้อนมีทางแยกเป็นสามแยกและมีทางตันได้ โดยการใช้กลยุทธ์การสลับจุดเริ่มต้นกับจุดปลายทางที่จะช่วยให้หลุดออกจากทางตันได้ดีหรือการเลือกไปทางแยกที่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น อีกกลยุทธ์คือการย้อนกลับไปที่ทางแยกแล้วทำการเลือกไปทางแยกใหม่ที่ไม่เคยไปซึ่งช่วยให้ได้เส้นทางรวมที่สั้นกว่าเดิมได้ และกลยุทธ์สุดท้ายคือการเพิ่มค่า *maxoutward* ที่ใช้ร่วมกับกลยุทธ์ที่ 1 และ 2 ที่เป็นตัวแปรขอบเขตการอนุญาตให้มีจำนวนครั้งการเดินทางที่ออกห่างจาก FP ได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งหมดนี้ทำให้ระยะทาง Actual Path ที่คำนวณได้จาก Algorithm มักเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดและน่าจะเป็นเส้นทางที่คนงานควรจะเลือกใช้เดินทางในการปฏิบัติงานจริง

- การกำหนดใช้ค่าน้ำหนักความใกล้ชิด (Proximity weights) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกคู่ต่าง ๆ ด้วยการแบ่งสเกลแบบ Exponential numbers ตามหลักการของ Fuzzy set ที่แปลงความใกล้ชิดตามที่ผู้ใช้ปรารถนาไปเป็นค่าตัวเลข

- การใช้ Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด มีความเหมาะสมกับปัญหา CSLP เนื่องจากเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่ง การพัฒนาคำตอบด้วย Algorithm ของ PSO จึงมีประสิทธิภาพดีกว่า Algorithm อื่น ๆ เช่น Genetic Algorithm เป็นต้น

- การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ (Prototype) ของแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของ CSLP นี้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2013 ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่นำเข้าข้อมูลโจทย์และค่าพารามิเตอร์ ส่วนการคิดคำนวณค่าต่าง ๆ ส่วนที่ควบคุมการทำงานของชุดคำสั่งอัตโนมัติ

ส่วนที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด และส่วนที่แสดงผลคำตอบ ส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดเหล่านี้ถูกบรรจุรวมกันอยู่ในไฟล์รูปแบบ .xlsx จำนวนหนึ่งไฟล์ ทำให้สะดวกต่อการเผยแพร่และการนำไปใช้งาน

แบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของ CSLP ที่ได้ถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมต้นแบบ (Prototype) ไว้สมบูรณ์แล้วนี้จึงพร้อมนำไปทดสอบและประเมินประสิทธิภาพต่อไป

บทที่ 6 การทดสอบและประเมินผล

หลังจากที่ได้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบสำหรับแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างขึ้นมาใหม่ในการวิจัยนี้ โปรแกรมต้นแบบนี้ถูกนำมาทดสอบเพื่อประเมินผลประสิทธิภาพที่ได้ โดยประเด็นของการทดสอบแบ่งเป็น 5 ประเด็น ได้แก่ ความถูกต้องของการคำนวณ, ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO, การเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง Actual Path และ Euclidean, การเปรียบเทียบวิธีหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA, และการทดสอบกับโจทย์ปัญหาจริง ซึ่งรายละเอียดของการทดสอบในประเด็นต่าง ๆ เหล่านี้จะประกอบด้วย ข้อมูลตัวโจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการทดสอบ และผลประเมินที่ได้ ดังหัวข้อข้างล่างนี้

6.1 ความถูกต้องของการคำนวณ

ประเด็นความถูกต้องของสมการคำนวณของโปรแกรมต้นแบบเป็นการทดสอบในเบื้องต้น โดยการทดสอบเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณที่ได้จากโปรแกรมในขั้นตอนต่าง ๆ กับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ เนื่องจากโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีการพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ที่หลากหลายในการจัดผังสถานที่ก่อสร้างเพื่อให้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริง ทำให้การคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีหลายขั้นตอนและมีความซับซ้อน รวมทั้งมีการเขียนโปรแกรมชุดคำสั่งอัตโนมัติ (Macros) ขึ้นเองจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบความถูกต้องของการคำนวณของโปรแกรมตามขั้นตอนต่าง ๆ ทั้งหมด โดยตรวจสอบผลการคำนวณค่าต่าง ๆ ของโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณเองด้วยมือ ซึ่งการทดสอบความถูกต้องของการคำนวณนี้ควรถูกดำเนินการเป็นลำดับแรกเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมให้สามารถนำโปรแกรมต้นแบบที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้วนั้นไปใช้ทดสอบในประเด็นอื่น ๆ ต่อไปได้

โจทย์ปัญหาสำหรับการทดสอบนี้เรียกว่า Case A ใช้การสร้างขึ้นเพื่อจงใจให้มีความหลากหลายเฉพาะในส่วนที่ต้องการตรวจสอบความถูกต้อง แต่กำหนดให้มีขนาดไม่ใหญ่มากจนเกินไป เพื่อให้การคำนวณเองด้วยมือสามารถดำเนินการได้ถูกต้องแน่นอน ข้อมูลของโจทย์ปัญหา CSLP นี้มีจำนวนมากดังที่ได้แจกแจงไว้ในบทที่ผ่านมา รายละเอียดของโจทย์ปัญหา Case A ที่ใช้ทดสอบในประเด็นนี้มีดังนี้

1. Site Boundary (SB) ให้มีขนาดขอบเขตสูงสุด ได้แก่ SBX_{min} = 0, SBY_{min} = 0, SBX_{max} = 10, และ SBY_{max} = 10 หน่วย โดยกำหนดให้มีรูปร่างใด ๆ และมีจุดพิกัด SBNACs จำนวน 18 จุดตามตาราง

SB's non-available coordinates (SBNACs)																		
X	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10
Y	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10

รูปที่ 6.1 จุดพิกัด SBNACs ของโจทย์ปัญหา Case A

2. Fixed Facilities (FF) ให้มีสิ่งที่ต้องการก่อสร้างเป็นรูปร่างตัว L ที่เป็นรูปประกอบของสี่เหลี่ยม 2 รูป (Facility I.D. 1 ถึง 2) ที่มีจุดพิกัดแสดงขอบเขตด้วยจุดมุมล่างซ้าย (Lower left corner: LL) และมุมบนขวา (Upper right corner: UR) และตำแหน่งวางคงที่ในตาราง

และกำหนดให้ไม่มี Obstacles (OB) อื่นใด

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลของสิ่งอำนวยความสะดวกของโจทย์ปัญหา Case A

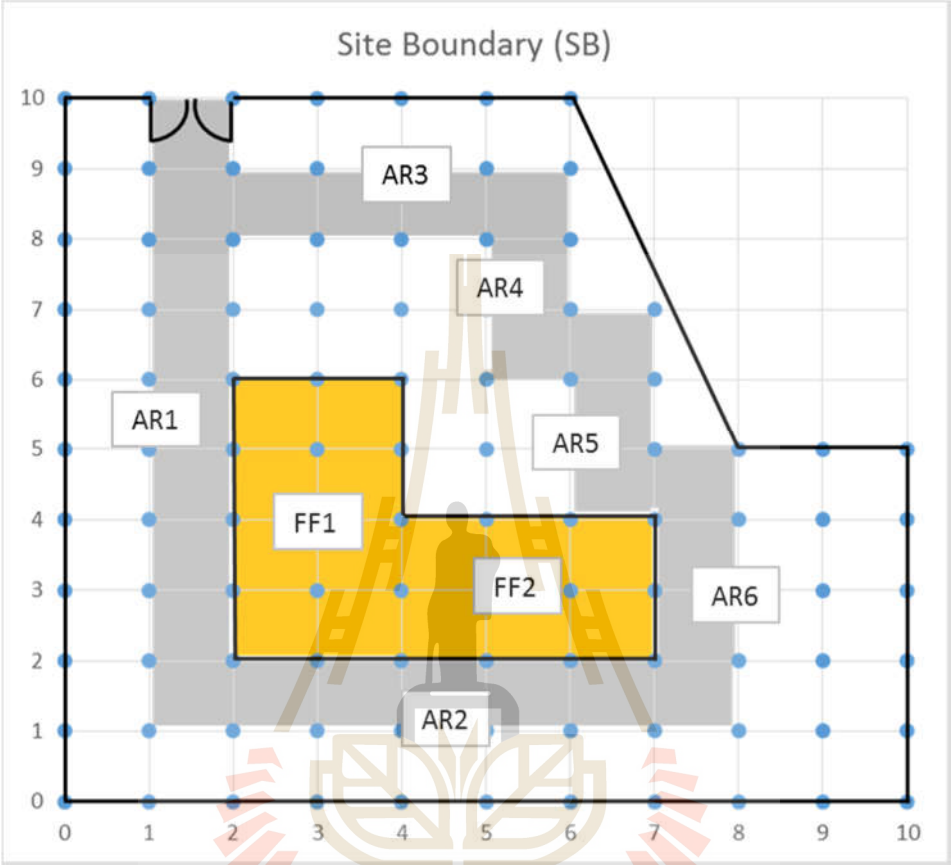
			Default entrance position	Boundary coordinates with orientations 0° LL	UR	90° LL	UR	180° LL	UR	270° LL	UR
Facility I.D.	Name	Type	X0 Y0	X1 Y1	X2 Y2	X3 Y3	X4 Y4	X5 Y5	X6 Y6	X7 Y7	X8 Y8
1	FF1	Fixed Facility	5 4	-3 -2	-1 2						
2	FF2	Fixed Facility	5 4	-1 -2	2 0						
3	AR1	Access Road	0 0	1 1	2 10						
4	AR2	Access Road	0 0	2 1	8 2						
5	AR3	Access Road	0 0	2 8	6 9						
6	AR4	Access Road	0 0	5 6	6 8						
7	AR5	Access Road	0 0	6 4	7 7						
8	AR6	Access Road	0 0	7 2	8 5						
9	TF1	Temporary Facility	0 0	-1 0	1 2	-2 -1	0 1	-1 -2	1 0	0 -1	2 1
10	TF2	Temporary Facility	0 0	-2 -1	0 1	-1 -2	1 0	0 -1	2 1	-1 0	1 2
11	TF3	Temporary Facility	0 0	-1 -3	0 1	-1 -1	3 0	0 -1	1 3	-3 0	1 1
12	TF4	Temporary Facility	0 0	-4 0	0 1	-1 -4	0 0	0 -1	4 0	0 0	1 4
13	TF5	Temporary Facility	0 0	-2 0	2 1	-1 -2	0 2	-2 -1	2 0	0 -2	1 2

3. Access Roads (AR) ให้มีถนนภายในล้อมรอบ FF ที่เป็นรูปประกอบของสี่เหลี่ยมจำนวน 6 อัน (Facility I.D. 3 ถึง 8) ที่มีจุดพิกัดแสดงขอบเขตด้วยจุดมุมล่างซ้าย (Lower left corner: LL) และมุมบนขวา (Upper right corner: UR) และตำแหน่งวางคงที่ในตาราง

นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลจุดพิกัดของ ARCs จำนวน 32 จุดดังแสดงในตาราง

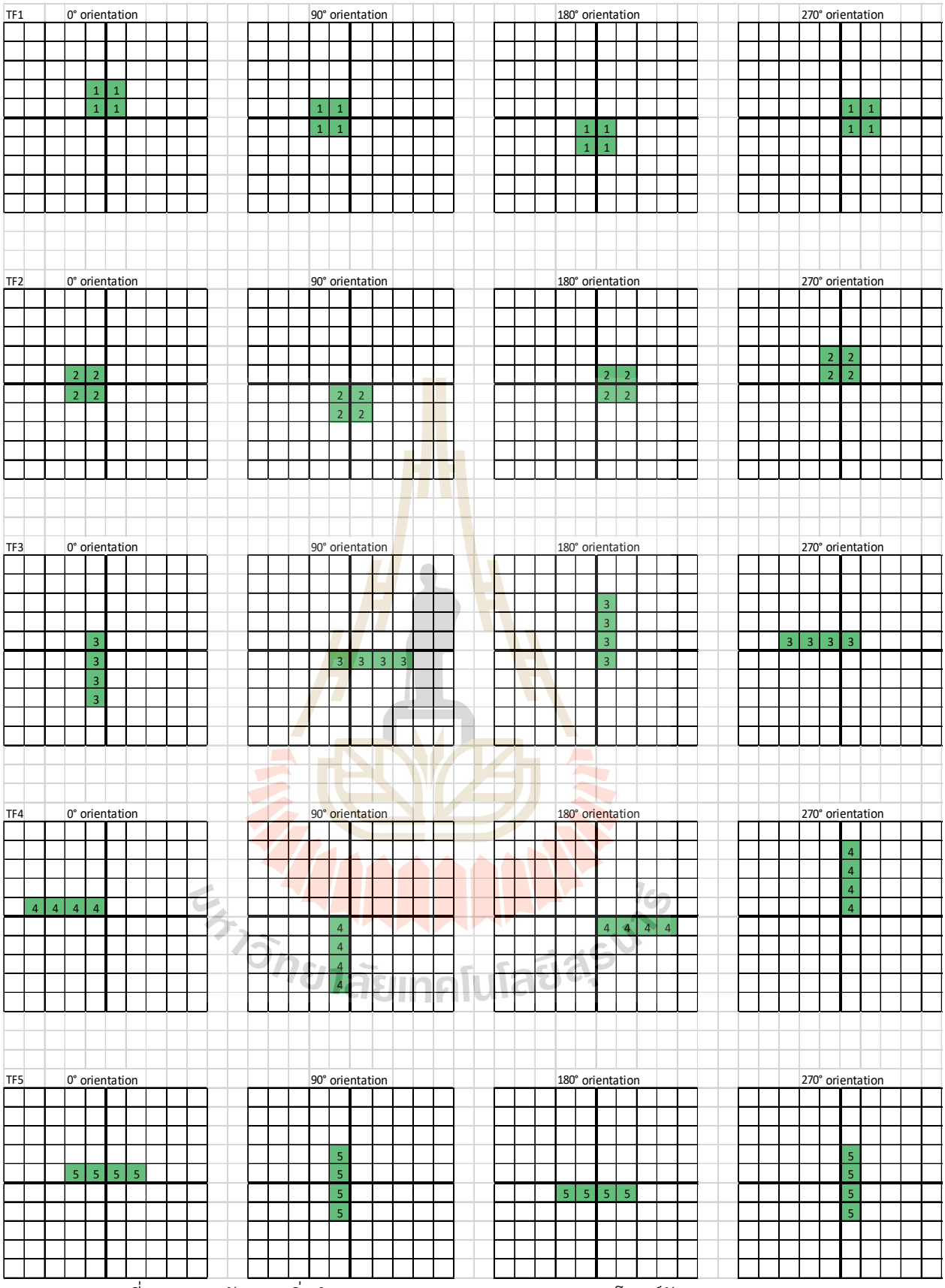
AR's coordinates (ARCs)																																
X	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	9	9	9	10	10	9	8	7	6	5	4	3	2

รูปที่ 6.2 จุดพิกัด ARCs ของโจทย์ปัญหา Case A



รูปที่ 6.3 แผนผังแสดงสิ่งอำนวยความสะดวกประเภท FF และ AR ของโจทย์ปัญหา Case A

4. Temporary Facilities (TF) ให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีจุดทางเข้าออกต่าง ๆ กันจำนวน 5 อัน (Facility I.D. 9 ถึง 13) ที่มีจุดพิกัดแสดงขอบเขตด้วยจุดมุมล่างซ้าย (Lower left corner: LL) และมุมบนขวา (Upper right corner: UR) โดยที่ให้จุดทางเข้าออก (Entrance position) เริ่มต้นอยู่ที่จุดพิกัด (0, 0) และมี Orientation ต่าง ๆ ทั้ง 4 แนวการวางตัวที่เป็นไปได้ ด้วยค่าพิกัด (X1, Y1), (X2, Y2), (X3, Y3), (X4, Y4), (X5, Y5), (X6, Y6), (X7, Y7), และ (X8, Y8) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางข้างบน รูปข้างล่างแสดงแผนผังของสิ่งอำนวยความสะดวกประเภท TF ของโจทย์ปัญหา Case A ที่มีการจัดวางตัวทั้ง 4 แนวที่เป็นไปได้



รูปที่ 6.4 แผนผังแสดงสิ่งอำนวยความสะดวกประเภท TF ของโจทย์ปัญหา Case A

5. ค่าความใกล้ชิด (Closeness relationships) ของทุกคู่สิ่งอำนวยความสะดวก ที่ใช้ค่าสเกลอ้างอิงตามตารางที่ 5.1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ ซึ่งจะมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างคู่สิ่งอำนวยความสะดวกประเภท FF กับ TF, และ TF กับ TF เท่านั้น ดังแสดงในตาราง จากนั้นจึงใช้ค่าความใกล้ชิดนี้ไปใช้กำหนดค่าน้ำหนัก Proximity weights ต่อไป

	Relationships for Proximity Weight between a pair of facilities												
I.D.: I.D.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1													
2									4	3	2	1	0
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9										1	2	3	4
10											1	2	3
11												1	2
12													1
13													

รูปที่ 6.5 ค่า Closeness relationships สำหรับกำหนดค่า Proximity weights ของโจทย์ปัญหา Case A

6. PSO's parameters ให้ค่าพารามิเตอร์ของ PSO ในเบื้องต้นสำหรับการหาคำตอบของโจทย์ปัญหา Case A ในประเด็นการทดสอบแรกนี้เป็นดังแสดงในตาราง

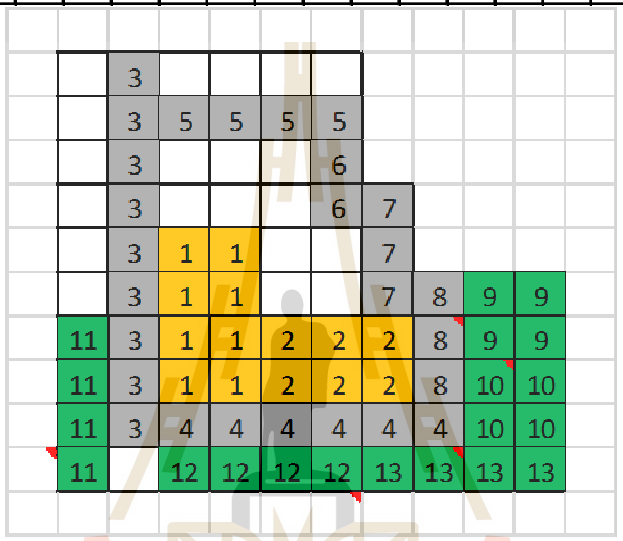
PSO parameters	
Swarm size	40
Iteration	30
Improvement criteria	0.10%
Iteration for unimprove	10
Max loop for par. gen.	1000
W	1.00
C1	1.00
C2	1.00

รูปที่ 6.6 ค่าพารามิเตอร์ของ PSO ในเบื้องต้นสำหรับการหาคำตอบของโจทย์ปัญหา Case A

ผลที่ได้จากการทดสอบซ้ำจำนวน 100 ครั้ง พบว่าโปรแกรมต้นแบบสามารถให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องสมบูรณ์ทุกครั้งเมื่อพิจารณาตรวจสอบรายละเอียดการทำงานของขั้นตอนต่าง ๆ ด้วยผู้วิจัยเองในประเด็นสำคัญ 3 ประเด็น โดยใช้ตัวอย่างผลของการทดสอบครั้งหนึ่งประกอบการอธิบายดังนี้

1. คำตอบที่เป็นไปได้สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัด โดยการนำค่าคำตอบที่เป็นไปได้ที่ได้จากโปรแกรมมาพิจารณากับเงื่อนไขข้อจำกัดของแบบจำลองทั้ง 2 ประการ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านขอบเขตของโครงการ (Site boundary) และข้อจำกัดด้านการซ้อนทับ (Overlap conditions) ตัวอย่างอธิบายเช่น ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ (ที่ดีที่สุด) ได้ค่าในรูปตารางแสดงค่าตำแหน่งการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกทั้ง 13 อัน ซึ่งสามารถนำมาแสดงแผนผังสถานที่ก่อสร้างได้ดังรูป

facility i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P21	x	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	0	6	8
	y	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	1	0	1
	z	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	0	2



รูปที่ 6.7 การทดสอบคำตอบที่เป็นไปได้สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัด

เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมดสามารถนำไปจัดวางได้อย่างสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดที่มีอยู่ทั้งสองประการ โดยไม่ทำให้สิ่งอำนวยความสะดวกอยู่เกินขอบเขตของโครงการ และไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกใดที่ซ้อนทับกันเอง ซึ่งคำตอบอื่น ๆ ที่ได้จากโปรแกรมที่ไม่ได้นำมาเป็นตัวอย่างอธิบายก็มีลักษณะเช่นนี้ด้วย โปรแกรมจึงมีการคำนวณที่ถูกต้อง

2. การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยระยะทาง Actual Path โดยการนำค่าคำตอบและค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่า Fitness ที่ได้จากโปรแกรมมาพิจารณาตรวจสอบกับการคำนวณเองด้วยมือจากตัวอย่างคำตอบเดิมดังรูปข้างบน โปรแกรมคำนวณได้ค่า Fitness = 496.32 ซึ่งสามารถตรวจสอบการคำนวณได้ดังนี้

Facility		Relationships	Proximity Weight	Actual Path				Score
i	j	(R)	(2^R)	L1	L2	L3	Sum(L)	
2	9	4	16	2.236	2	0	4.24	67.78
2	10	3	8	2.236	3	1	6.24	49.89
2	11	2	4	2.236	18	1	21.24	84.94
2	12	1	2	2.236	7	1	10.24	20.47
2	13	0	1	2.236	5	0	7.24	7.24
9	10	1	2	0	1	1	2	4.00
9	11	2	4	0	10	1	11	44.00
9	12	3	8	0	5	1	6	48.00
9	13	4	16	0	3	0	3	48.00
10	11	1	2	1	9	1	11	22.00
10	12	2	4	1	4	1	6	24.00
10	13	3	8	1	2	0	3	24.00
11	12	1	2	1	5	1	7	14.00
11	13	2	4	1	7	0	8	32.00
12	13	1	2	1	2	0	3	6.00
							Total Score	496.32

รูปที่ 6.8 การคำนวณค่า Fitness ของคำตอบตัวอย่างเองด้วยมือ

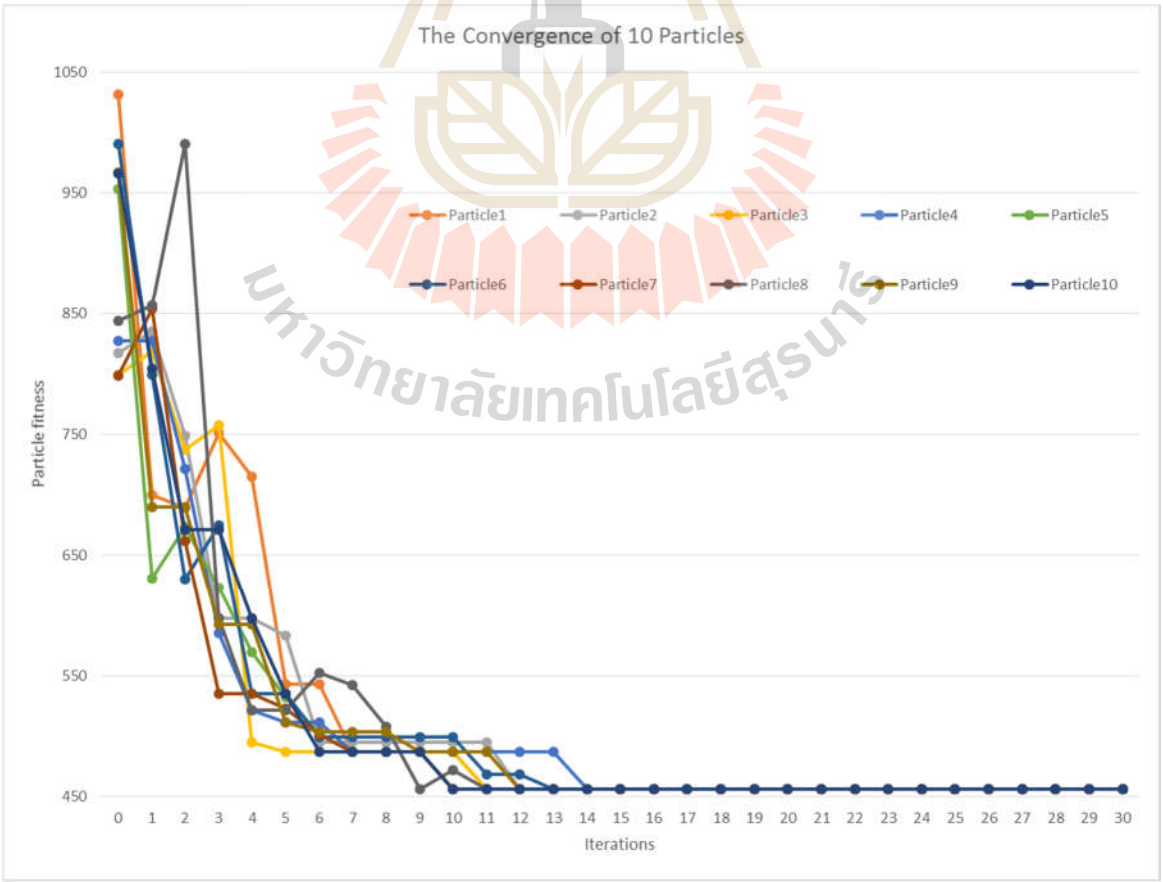
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันแล้วจึงพบว่าค่า Fitness (หรือ Total Score) ที่ได้จากโปรแกรมเท่ากับที่คำนวณรายละเอียดตามขั้นตอนเองด้วยมือ คือ 496.32 ซึ่งคำตอบอื่น ๆ ที่ได้จากโปรแกรมที่ไม่ได้นำมาเป็นตัวอย่างอธิบายก็มีลักษณะเช่นนี้ด้วย โปรแกรมจึงมีการคำนวณที่ถูกต้อง

3. การพัฒนาของคำตอบที่ดีที่ได้จาก PSO โดยการพิจารณาตรวจสอบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่า Fitness ของ Particles ทั้งหมด (40 ตัว) ในทุกรอบการพัฒนา (Max. Iteration = 30 รอบ) ที่ได้จากการบันทึกของโปรแกรม และเลือกนำค่าของ Particles 10 ตัวแรกมาเขียนกราฟ (เนื่องจากมีข้อมูล Particles จำนวนมากจึงเลือกนำค่ามาแสดงกราฟเพียง 10 ตัว) ดังรูปข้างล่าง

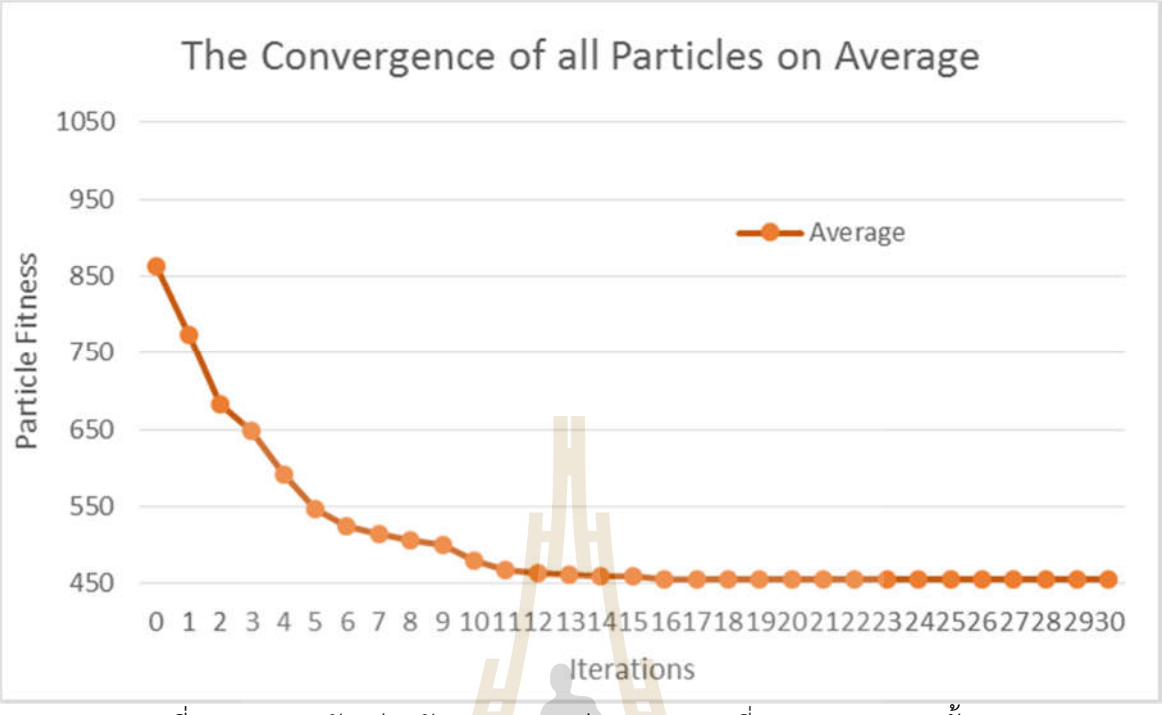
จากตัวอย่างนี้พบว่า ค่า Fitness ของ Particles ทุกตัวมีพัฒนาการที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ ในแต่ละรอบ โดยค่า Fitness ตอนเริ่มต้นที่แย่ที่สุดมีค่า = 1031.64 และค่า Fitness ที่ดีที่สุดเป็นของ Particle ตัวที่ 8 ในรอบ Iteration ที่ 9 มีค่า = 456.32 ซึ่งหลังจากนั้น Particles ทั้งหลายก็มีทิศทางพัฒนาการไปในทางที่เข้าใกล้กันมากขึ้นเรื่อย ๆ หรือเกิดการ Convergence จนเท่ากันเท่ากับค่า Fitness ที่ดีที่สุดนั้นเอง กราฟพัฒนาการของค่า Fitness เฉลี่ยของ Particles ทั้งหมดก็แสดงให้เห็นการ Convergence นี้ด้วย ซึ่งคำตอบอื่น ๆ ที่ได้จากโปรแกรมที่ไม่ได้นำมาเป็นตัวอย่างอธิบายก็มีลักษณะเช่นนี้ด้วย โปรแกรมจึงมีการคำนวณที่ถูกต้องเหมาะสมตามที่ควรเป็น

	Particle's fitness																																							
Particle i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
pbest j	11	12	11	14	10	13	10	9	12	10	11	11	11	13	10	11	10	10	14	12	11	16	11	10	11	12	10	10	10	10	12	11	10	10	10	10	12	10	11	14	Average
Iteration j																																									
0	1032	817	799	827	953	990	798	844	967	966	844	868	803	971	623	1025	674	906	794	907	881	817	805	887	782	842	738	1025	837	786	896	720	870	887	770	896	918	1018	807	923	863
1	700	835	818	827	631	799	853	856	690	804	812	786	766	861	623	904	690	846	841	928	787	824	647	772	795	702	717	738	667	754	771	623	679	803	701	939	703	789	756	923	774
2	690	749	737	721	673	631	662	990	690	671	681	679	641	861	619	595	613	846	732	584	649	824	671	596	680	555	643	691	575	660	623	585	610	681	697	825	563	619	619	902	683
3	751	597	757	586	623	675	535	598	592	671	609	623	676	861	605	555	595	846	794	563	691	871	555	582	683	555	554	783	535	590	625	577	610	561	625	825	569	507	568	902	647
4	715	597	495	521	569	535	535	522	592	597	545	615	576	861	539	569	563	846	722	537	551	871	555	523	651	555	554	617	499	513	549	523	549	515	597	640	499	523	549	737	591
5	543	583	487	511	532	535	523	522	511	535	535	501	499	544	539	521	520	780	686	511	551	839	509	523	547	520	554	495	487	499	495	523	487	515	560	640	499	495	495	745	548
6	543	495	487	511	501	499	501	553	503	487	487	487	499	503	487	487	487	503	718	487	543	814	495	511	533	487	540	487	487	499	487	495	487	515	501	640	499	495	511	735	525
7	487	495	487	487	487	499	487	543	503	487	487	487	499	487	487	487	487	503	732	487	495	838	487	487	487	487	507	487	487	499	487	495	487	515	487	511	499	495	503	725	515
8	487	495	487	487	487	499	487	508	503	487	487	487	487	487	487	487	487	503	528	487	495	849	487	487	487	487	499	487	487	499	487	487	487	515	487	559	487	487	495	603	506
9	487	495	487	487	487	499	487	456	487	487	487	487	487	487	487	487	487	503	501	487	487	846	487	487	487	487	487	487	487	499	487	487	487	487	487	487	487	487	495	619	501
10	487	495	487	487	456	499	456	472	487	456	487	487	487	487	456	487	456	456	501	487	487	598	487	456	487	487	456	456	456	456	487	487	456	456	456	456	487	456	464	619	481
11	456	495	456	487	456	468	456	456	487	456	456	456	456	487	456	456	456	456	487	487	456	602	456	456	456	487	456	456	456	456	487	456	456	456	456	456	487	456	456	503	469
12	456	456	456	487	456	468	456	456	456	456	456	456	456	487	456	456	456	456	487	456	456	578	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	517	464
13	456	456	456	487	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	487	456	456	578	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	470	461
14	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	578	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	459
15	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	578	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	459
16	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
17	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	472	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	457
18	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	472	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	457
19	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
20	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
21	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
22	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
23	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
24	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
25	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
26	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
27	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
28	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
29	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456
30	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456

รูปที่ 6.9 ตัวอย่างพัฒนาการของค่า Fitness ของ Particles ทั้งหมดในการหาคำตอบด้วย PSO



รูปที่ 6.10 กราฟตัวอย่างพัฒนาการของค่า Fitness ของ Particles 10 ตัวในการหาคำตอบด้วย PSO



รูปที่ 6.11 กราฟตัวอย่างพัฒนาการของค่า Fitness เฉลี่ยของ Particles ทั้งหมด

6.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO

ประเด็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO เป็นการทดสอบในขั้นต่อมา ทั้งนี้เพื่อเตรียมความพร้อมในการนำโปรแกรมต้นแบบไปทดสอบในประเด็นถัด ๆ ไปได้อย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด วิธีการทดสอบทำโดยการหาคำตอบด้วย PSO ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันกับโจทย์ปัญหาเดิมซ้ำ ๆ จำนวนมาก แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาข้อสรุปว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ PSO มีประสิทธิภาพดีที่สุดนั้นมีค่าเท่ากับเท่าใด ทั้งนี้เนื่องจาก PSO เป็น Algorithm สำหรับการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาในกลุ่มวิธี Metaheuristics ที่ใช้การ Stochastic optimization ที่ทำให้คำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรบางตัวที่ได้จากการสุ่ม การหาคำตอบซ้ำเดิมในแต่ละครั้งที่มีข้อมูลนำเข้าเหมือนเดิมทุกประการอาจทำให้ได้คำตอบที่แตกต่างกันไปไม่เท่าเดิม ค่าคำตอบที่ได้จาก PSO เหล่านี้เป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดโดยประมาณ (Near optimal solutions) โดยไม่ได้รับประกันว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (Globally optimal solution) ดังนั้นในการทดสอบประเด็นนี้จึงจำเป็นต้องใช้การทดสอบซ้ำเดิมหลาย ๆ ครั้งเพื่อนำค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้มาพิจารณา อย่างไรก็ดี PSO Algorithm ถือว่ามีการใช้พารามิเตอร์จำนวนไม่กี่ตัวจึงทำให้การทดสอบในประเด็นนี้ถูกออกแบบไว้ดังนี้

โจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบเป็นโจทย์ Case A อันเดิมเนื่องจากถูกปรับแต่งให้มีความครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการทดสอบและมีขนาดปัญหาที่เหมาะสมจะใช้เป็นตัวแทน โดยพารามิเตอร์ที่ถูกทดสอบเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของ PSO จำนวน 5 ตัว ได้แก่ Swarm Size, Max. Iteration, w, c_1, และ

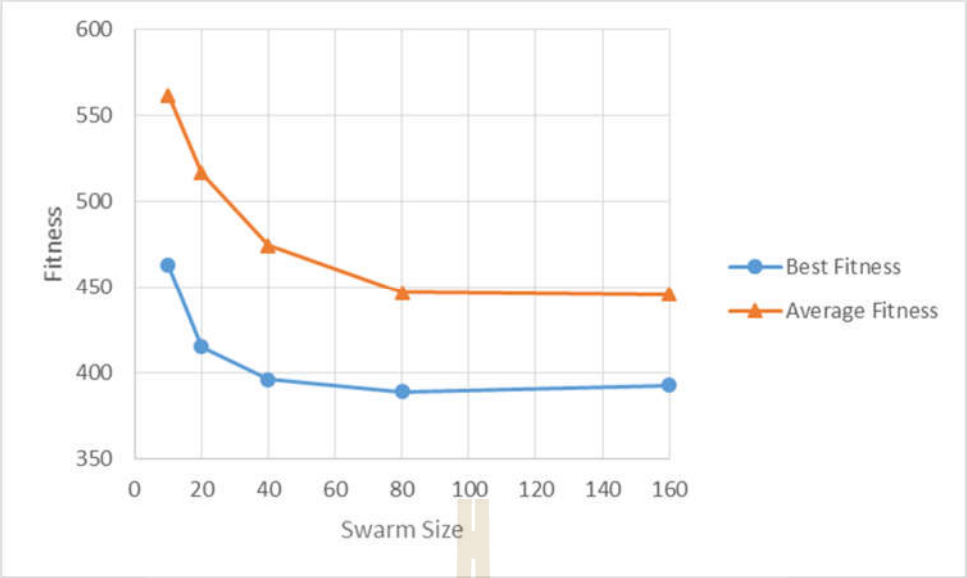
c_2 ซึ่งจะทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เหล่านี้คราวละหนึ่งตัวทีละน้อยภายในช่วงของค่าที่กำหนดไว้ แบ่งชุดการทดสอบได้ทั้งหมด 15 ชุด ดังรูปตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 6.2 ชุดทดสอบต่าง ๆ สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่เหมาะสม

	PSO's parameters					Repeating
Test set	Swarm Size	Max. Iteration	w	c_1	c_2	runs
1	10	30	1	1	1	20
2	20	30	1	1	1	20
3	40	30	1	1	1	20
4	80	30	1	1	1	20
5	160	30	1	1	1	20
6	40	10	1	1	1	20
7	40	20	1	1	1	20
8	40	40	1	1	1	20
9	40	80	1	1	1	20
10	40	160	1	1	1	20
11	80	30	0.5	0.5	0.5	20
12	80	30	1	1	1	20
13	80	30	2	2	2	20
14	80	30	3	3	3	20
15	80	30	4	4	4	20

ผลที่ได้จากชุดการทดสอบต่าง ๆ ตามตาราง แบ่งรายละเอียดตามแต่ละพารามิเตอร์อธิบายได้ดังนี้

1. พารามิเตอร์ Swarm Size ได้ถูกทดสอบด้วยการกำหนดค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10, 20, 40, 80, และ 160 ซึ่งในแต่ละค่าจะทำการทดสอบซ้ำเดิมเป็นจำนวน 20 ครั้ง พบแนวโน้มว่าเมื่อกำหนดให้ค่า Swarm Size มากขึ้นจะได้ค่า Fitness ของคำตอบน้อยลง หรือได้คำตอบที่ดีขึ้น ซึ่งแนวโน้มนี้เป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้งค่าเฉลี่ยและค่าที่ดีที่สุดของ Fitness ของการทดสอบซ้ำทั้ง 20 ครั้ง อย่างไรก็ตามเมื่อค่า Swarm Size มากกว่าตั้งแต่ 80 ขึ้นไป ทำให้ค่า Fitness ดีขึ้นน้อยมากหรือคงที่ และสรุปได้ว่าค่า Swarm Size ที่เหมาะสมที่ได้คือ 80 แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังรูปข้างล่าง

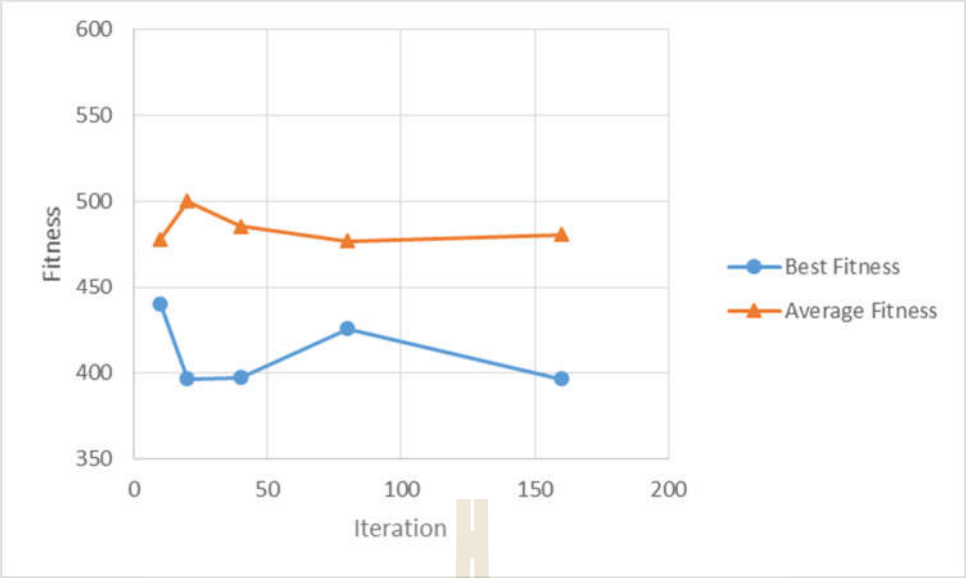


รูปที่ 6.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fitness กับค่าพารามิเตอร์ Swarm Size

2. พารามิเตอร์ Max. Iteration ได้ถูกทดสอบด้วยการกำหนดค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10, 20, 40, 80, และ 160 ซึ่งในแต่ละค่าจะทำการทดสอบซ้ำเดิมเป็นจำนวน 20 ครั้ง พบว่าไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างค่า Max. Iteration กับค่า Fitness ของคำตอบ ซึ่งลักษณะนี้พบได้ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าที่ดีที่สุดของ Fitness ของการทดสอบซ้ำทั้ง 20 ครั้ง แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังรูปข้างล่าง อาจกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์นี้ไม่มีผลต่อ Fitness โดยตรง

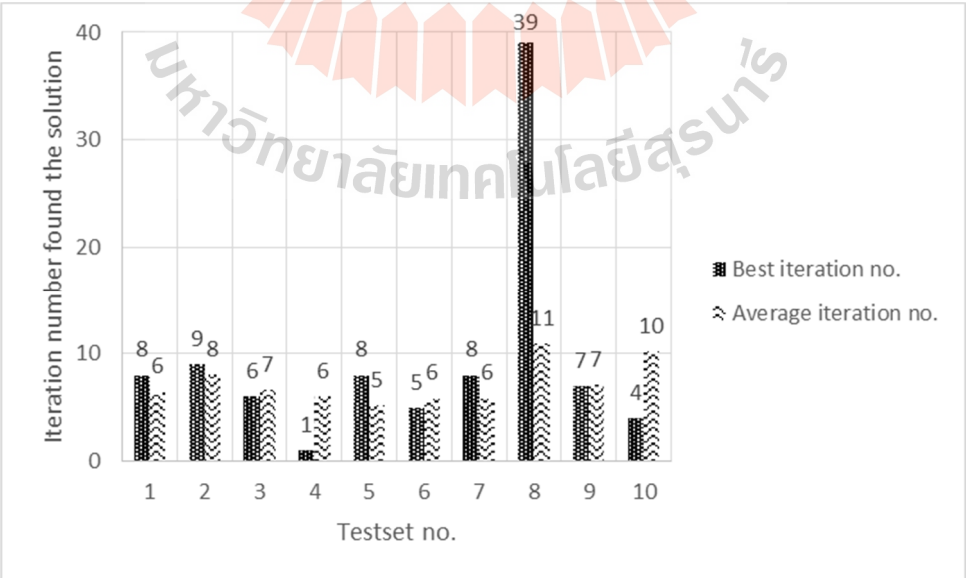
ค่า Max. Iteration นี้เป็นจำนวนรอบสูงสุดที่ใช้ในการวนหาคำตอบ ซึ่งหาก PSO พบกับคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว การวนรอบถัด ๆ ไปจะไม่ได้ช่วยทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น แต่จะได้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าเดิม ดังนั้นการกำหนดค่า Max. Iteration ที่มากเกินไปอาจไม่ช่วยให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นแต่จะเป็นการเสียเวลาในการหาคำตอบเท่านั้น การกำหนดค่า Max. Iteration ที่เหมาะสมจึงควรให้มีการวนรอบเพื่อการพัฒนาคำตอบได้อย่างเพียงพอเท่านั้นและไม่ควรให้มากเกินความจำเป็นเพราะไม่ช่วยให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



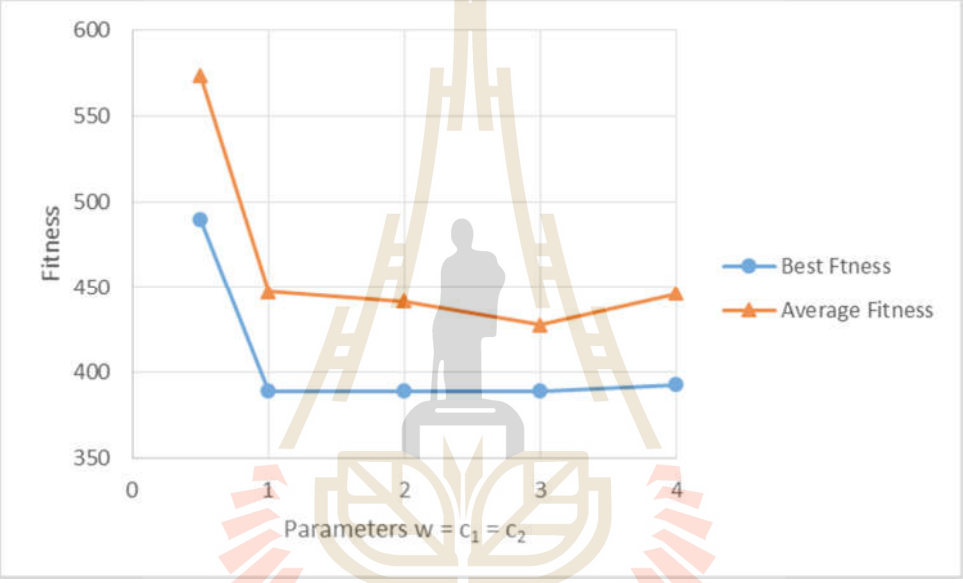
รูปที่ 6.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fitness กับค่าพารามิเตอร์ Max. Iteration

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า Iteration number found the solution หรือค่าการวนรอบที่พบคำตอบที่ดีที่สุดของการทดสอบทั้ง 10 ชุดทดสอบที่ผ่านมา พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบแต่ละชุดมักจะพบได้ที่การวนรอบไม่เกิน 10 รอบ และไม่มีการทดสอบที่พบคำตอบที่ดีที่สุดที่การวนรอบสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับทั้งผลของค่าเฉลี่ยของการวนรอบที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดด้วย แสดงกราฟดังรูปข้างล่าง มีเพียงชุดทดสอบที่ 8 ที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดที่การวนรอบ (Best iteration no.) = 39 และค่าเฉลี่ยการวนรอบที่พบคำตอบที่ดีที่สุด (Average iteration no.) = 11 ดังนั้นจึงสรุปว่าการกำหนดค่า Max. Iteration ที่เหมาะสมควรมากกว่า 11 รอบ อย่างไรก็ตามต้องกำหนดจำนวนวนรอบเผื่อไว้ให้มากกว่าค่าเฉลี่ยนี้อีกตามที่เหมาะสม ซึ่งมีความเห็นว่าควรกำหนดไว้ที่ Max. Iteration = 30 รอบ



รูปที่ 6.14 กราฟแท่งแสดง Iteration no. ที่พบคำตอบของชุดทดสอบต่าง ๆ

3. พารามิเตอร์ w, c_1, และ c_2 ได้ถูกทดสอบพร้อมกันทั้งสามค่า ด้วยการกำหนดค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.5, 1, 2, 3, และ 4 ซึ่งในแต่ละค่าจะทำการทดสอบซ้ำเดิมเป็นจำนวน 20 ครั้ง พบแนวโน้มว่าเมื่อกำหนดให้ค่า w, c_1, และ c_2 มากขึ้นจะได้ค่า Fitness ของคำตอบน้อยลง หรือได้คำตอบที่ดีขึ้น ซึ่งแนวโน้มนี้เป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้งค่าเฉลี่ยและค่าที่ดีที่สุดของ Fitness ของการทดสอบซ้ำทั้ง 20 ครั้ง โดยเฉพาะในชุดทดสอบที่ 11 ที่กำหนดค่า w, c_1, และ c_2 เท่ากับ 0.5 จะพบว่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้เกิดจากการวนรอบในรอบที่ 0 ซึ่งเท่ากับว่าไม่เกิดการพัฒนาของคำตอบจากการวนรอบเลย สามารถสะท้อนให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ w, c_1, และ c_2 น้อยเกินไป อย่างไรก็ตามเมื่อค่า w, c_1, และ c_2 มากกว่าตั้งแต่ 3 ขึ้นไป ทำให้ค่า Fitness ดีขึ้นน้อยมากหรือแย่ลง และสรุปได้ว่าค่า w, c_1, และ c_2 ที่เหมาะสมที่ได้คือ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 6.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fitness กับกลุ่มค่าพารามิเตอร์ w, c_1, และ c_2

รายละเอียดของผลที่ได้จากการทดสอบของชุดทดสอบต่าง ๆ สรุปได้ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 6.3 ผลทดสอบชุดต่าง ๆ สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่เหมาะสม

PSO's Results						
	Best solution			Average solution		
Test set	Fitness	Particle i	Iteration j	Fitness	Iteration j	Runtime (mins)
1	463.17	2	8	562.08	6	2
2	415.17	6	9	516.65	8	5
3	396.32	33	6	474.48	7	12
4	389.17	58	1	447.08	6	26
5	392.89	7	8	446.02	5	51
6	439.74	3	5	478.34	6	7
7	396.32	29	8	500.25	6	9
8	397.17	34	39	485.58	11	15
9	425.57	15	7	476.88	7	19
10	396.32	1	4	480.69	10	28
11	489.32	67	0	573.16	4	55
12	389.17	58	1	447.08	6	26
13	389.17	44	9	441.45	9	51
14	389.17	8	24	427.79	15	115
15	392.89	55	14	445.98	19	139

6.3 การเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง Actual Path และ Euclidean

ประเด็นการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง Actual Path และ Euclidean เป็นการทดสอบในขั้นปฏิบัติการ เพื่อหาข้อสรุปว่าการประเมินค่าคำตอบแผนการจัดผังด้วยวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง Actual Path ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้และ Euclidean ที่มักใช้กันในการวิจัยที่ผ่านมา มีความแตกต่างกันในด้านใดบ้าง ซึ่งหากพิจารณาในเชิงหลักการแล้วจะเห็นว่าวิธีการคำนวณระยะทาง Actual Path มีความใกล้เคียงสอดคล้องกับระยะการเดินทางจริงของผู้ปฏิบัติงานมากกว่าวิธีการคำนวณระยะทาง Euclidean ซึ่งต้องแลกมาด้วยการคำนวณและการโปรแกรมที่ซับซ้อนกว่ามาก รวมถึงใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าด้วย อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณที่ต่างกัน 2 วิธีนี้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่ได้หรือไม่อย่างไร สามารถพิสูจน์ได้ด้วยการทดสอบในประเด็นนี้

โจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบถูกเลือกเป็นโจทย์ Case A อันเดิมเนื่องจากถูกปรับแต่งให้มีความครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการทดสอบและมีขนาดปัญหาที่เหมาะสมจะใช้เป็นตัวแทน โดยกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบที่ผ่านมาในการทดสอบครั้งนี้ดังนี้ Swarm Size = 80, Max. Iteration = 30, และค่าถ่วงน้ำหนัก w, c_1, และ c_2 = 3 ซึ่งแบ่งชุดการทดสอบออกเป็น 2 ชุดในแต่ละชุดใช้วิธีการคำนวณระยะทางต่างกันเป็น Actual Path และ Euclidean และทำการทดสอบในแต่ละชุดนี้ซ้ำเดิมเป็นจำนวน 20 ครั้ง ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 6.4 ชุดทดสอบสำหรับการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทาง

	PSO's parameters					Distance	Repeating
Test set	Swarm Size	Max. Iteration	w	c_1	c_2	Method	runs
14	80	30	3	3	3	Actual Path	20
16	80	30	3	3	3	Euclidean	20

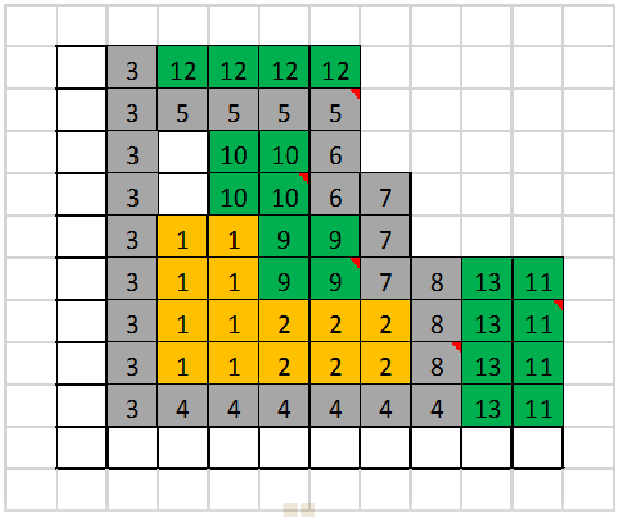
ผลที่ได้จากการทดสอบอธิบายได้ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 6.5 ผลทดสอบสำหรับการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทาง

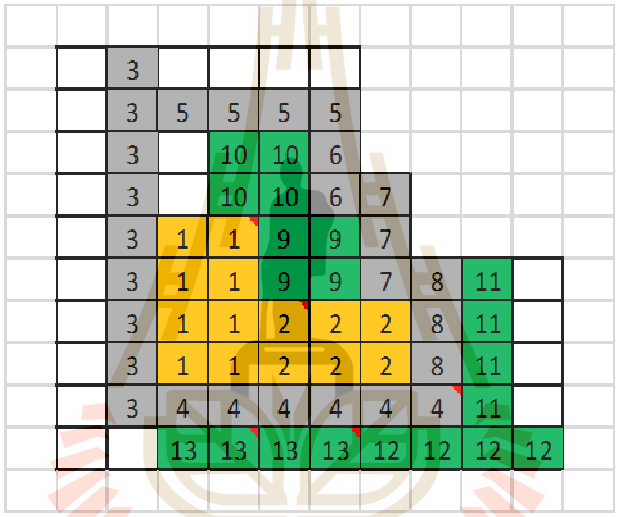
	PSO's Results					
	Best solution			Average solution		
Test set	Fitness	Particle i	Iteration j	Fitness	Iteration j	Runtime (mins)
14	389.17	8	24	427.79	15	115
16	234.41	51	9	246.86	12	83

เมื่อพิจารณาค่า Fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดและค่าเฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบทั้งสองพบว่ามีค่าแตกต่างกัน แต่ไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกันได้เนื่องจากเป็นค่า Fitness ที่ได้มาจากค่าระยะทางที่คำนวณด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการประเมินจึงจะนำแผนการจัดผังของคำตอบที่ดีที่สุดมาพิจารณาดังแสดงในรูปข้างล่าง จะเห็นว่าผังสถานที่ก่อสร้างของคำตอบที่ได้จากวิธี Actual Path จะมีลักษณะหันด้านทางเข้าออกของสิ่งอำนวยความสะดวกไปสู่ถนนภายในและยึดโยงกับถนนภายในเพื่อไปสู่สิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ซึ่งจะเป็นรูปแบบการจัดตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าระยะทาง Actual Path โดยรวมสั้น ในขณะที่ผังสถานที่ก่อสร้างของคำตอบที่ได้จากวิธี Euclidean จะไม่ยึดโยงกับถนนภายใน ซึ่งทำให้การปฏิบัติงานจริงต้องเดินทางด้วยระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกมากกว่าที่คำนวณได้

นอกจากนี้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 14 เท่ากับ 389.17 ซึ่งหากนำค่าพิกัดของคำตอบนี้ไปคำนวณใหม่ด้วยวิธีคำนวณระยะทางแบบ Euclidean จะได้ค่า Fitness เปลี่ยนเป็นเท่ากับ 273.21 ในขณะที่ค่า Fitness ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 16 เท่ากับ 234.41 ซึ่งหากนำค่าพิกัดของคำตอบนี้ไปคำนวณใหม่ด้วยวิธีคำนวณระยะทางแบบ Actual Path จะได้ค่า Fitness เปลี่ยนเป็นเท่ากับ 619.29 จากการพิจารณาเปรียบเทียบการคำนวณสลับวิธีนี้จะเห็นว่า คำตอบที่ได้จากวิธี Actual Path ยังคงให้คำตอบที่ค่อนข้างดีสำหรับวิธี Euclidean ในขณะที่ คำตอบที่ได้จากวิธี Euclidean จะให้คำตอบที่ไม่ดีนักสำหรับวิธี Actual Path



รูปที่ 6.16 ผังสถานที่ของคำตอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบวิธีคำนวณระยะทาง Actual Path



รูปที่ 6.17 ผังสถานที่ของคำตอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบวิธีคำนวณระยะทาง Euclidean

6.4 การเปรียบเทียบวิธีหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA

ประเด็นการเปรียบเทียบวิธีหาคำตอบระหว่าง Particle Swarm Optimization (PSO) และ Genetic Algorithm (GA) เป็นการทดสอบในขั้นปฏิบัติการ เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของการหาคำตอบด้วยวิธี PSO ซึ่งถูกเลือกนำมาใช้พัฒนาเป็นวิธีหาคำตอบหลักในการวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบกับวิธี GA ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างแพร่หลายกว่าและยังมีโปรแกรมสำเร็จรูปแบบ Add in ที่ใช้กับโปรแกรม Excel ที่ชื่อ Evolver™ ของบริษัท Palisade Corporation อีกด้วย จึงสะดวกและเหมาะสมต่อการนำมาตัวเปรียบเทียบ

โจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบถูกเลือกให้เป็นโจทย์ Case A อีกครั้งเนื่องจากถูกปรับแต่งให้มีความครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการทดสอบและมีขนาดปัญหาที่เหมาะสมจะใช้เป็นตัวแทน โดยกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบที่ผ่านมาและใช้วิธีการคำนวณระยะทาง Actual

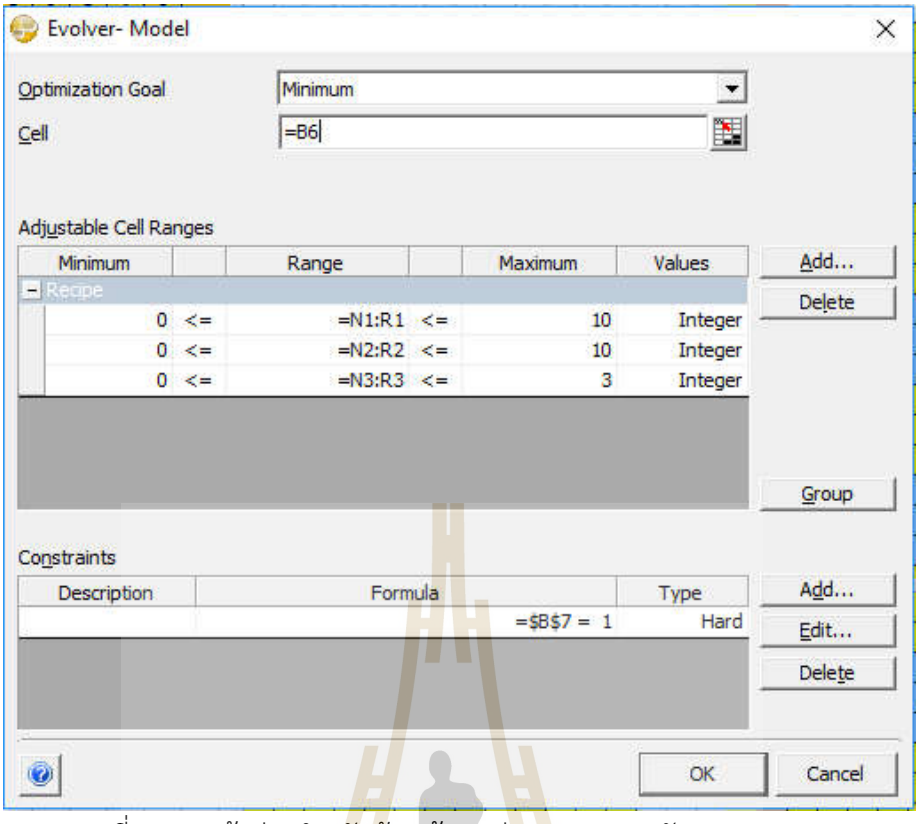
Path ในการทดสอบครั้งนี้ ซึ่งก็คือผลคำตอบของชุดทดสอบที่ 14 ที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดเท่ากับ 389.17 และค่า Fitness เฉลี่ยเท่ากับ 427.79 เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่ได้จาก GA

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Evolver ที่ถูกนำมาใช้หาคำตอบด้วยวิธี GA เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้คือ เริ่มจากการกำหนดส่วนประกอบหลักของแบบจำลองปัญหาซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และฟังก์ชันข้อจำกัด หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองทั้ง 3 ส่วนนี้แสดงดังในรูปข้างล่าง

1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถกำหนดได้ว่า Optimization Goal เป็นการ Minimization หรือ Maximization โดยการเลือกจาก Dropdown list เป็นค่า Minimum หรือ Maximum ซึ่งในกรณีปัญหานี้กำหนดให้เป็นการ Minimization (Minimum) และยังต้องกำหนดเซลล์ (Cell) ที่ใช้คำนวณค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนวณตามสมการที่ (1) ซึ่งได้คำนวณค่าไว้ที่เซลล์ B6

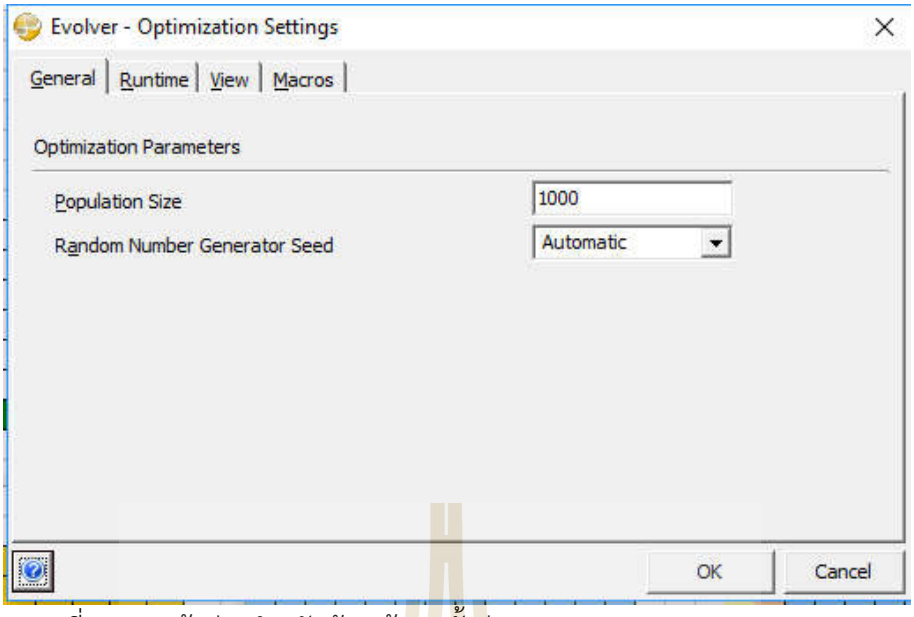
2. ตัวแปรตัดสินใจกำหนดด้วยกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า Adjustable Cell Ranges ซึ่งโปรแกรม Evolver จะบังคับให้กำหนดชื่อกลุ่มเซลล์และช่วงขอบเขตของค่าต่ำที่สุดและค่าสูงที่สุดของตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้ รวมทั้งต้องกำหนดประเภทของค่าข้อมูลที่เป็นตัวแปรเหล่านี้ เช่น จำนวนเต็ม หรือจำนวนจริง ซึ่งในกรณีปัญหานี้กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจประกอบด้วย 3 กลุ่มเซลล์ ที่เป็นค่าพิกัดตำแหน่ง x, y, และ z ตามลำดับของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ของโจทย์ โดยที่ค่าพิกัดตำแหน่ง x และ y มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0 ถึงค่าสูงที่สุดเท่ากับ 10 ที่กำหนดจากค่าขอบเขตของโครงการ (Site Boundary: SB) ส่วนค่า z หรือ orientation มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0 ถึงค่าสูงที่สุดเท่ากับ 3 ซึ่งค่าตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดนี้ต้องเป็นประเภทจำนวนเต็มเท่านั้น

3. ฟังก์ชันข้อจำกัดสามารถป้อนข้อมูลแบ่งเป็นชุด ๆ ตามแต่ละฟังก์ชันที่ต้องการได้ โดยอ้างอิงไปที่กลุ่มเซลล์ที่มีสูตรฟังก์ชันข้อจำกัดที่ต้องการ จากนั้นกำหนดเครื่องหมายสมการหรืออสมการที่เหมาะสมและกำหนดค่าคงที่หรือข้อมูลทางด้านขวาของอสมการ (หรือสมการ) ทั้งนี้ชนิดของฟังก์ชันข้อจำกัดจะเป็นแบบ Hard constraints คือจำเป็นต้องได้ค่าที่สอดคล้องทั้งหมดทุกฟังก์ชันข้อจำกัด ในกรณีปัญหานี้กำหนดใช้ฟังก์ชันข้อจำกัดเพียงฟังก์ชันเดียว ซึ่งได้จากการเขียนโปรแกรมตรวจสอบค่าตัวแปรคำตอบใด ๆ ที่สร้างขึ้นว่าเป็นคำตอบที่เป็นไปได้หรือไม่ (Feasibility) ด้วยความสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดของปัญหาตามหัวข้อที่ 5.2.5 ซึ่งหากคำตอบนั้นเป็นไปได้โปรแกรมตรวจสอบนี้จะคืนค่าเท่ากับ 1 ไว้ที่เซลล์ B7 แต่หากคำตอบนั้นเป็นไปไม่ได้ก็จะคืนค่าเท่ากับ 0



รูปที่ 6.18 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของ Evolver

นอกจากส่วนประกอบหลักของแบบจำลองปัญหาแล้ว Evolver ยังเปิดโอกาสให้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Genetic Algorithm ที่ใช้ในการหาคำตอบอีกด้วย ดังแสดงในรูปข้างล่าง เนื่องจาก GA เองนั้นก็มีพารามิเตอร์หลายตัวที่ต้องกำหนดค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้ ซึ่งในกรณีปัญหานี้จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาช่วงค่าที่เหมาะสม พบว่าควรกำหนดใช้ค่า Population Size = 1000, ค่า Crossover Rate = 0.5, และค่า Mutation Rate = Automatic (หรือให้โปรแกรมทำการปรับค่าที่เหมาะสมให้ โดยพิจารณาจากพัฒนาการของคำตอบในขณะนั้น) ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ จะกำหนดให้ใช้ค่าดั้งเดิมของโปรแกรม โดยมีสมมติฐานว่าเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ทั่วไปที่ผู้พัฒนาโปรแกรมนี้ได้เตรียมไว้ให้แล้ว



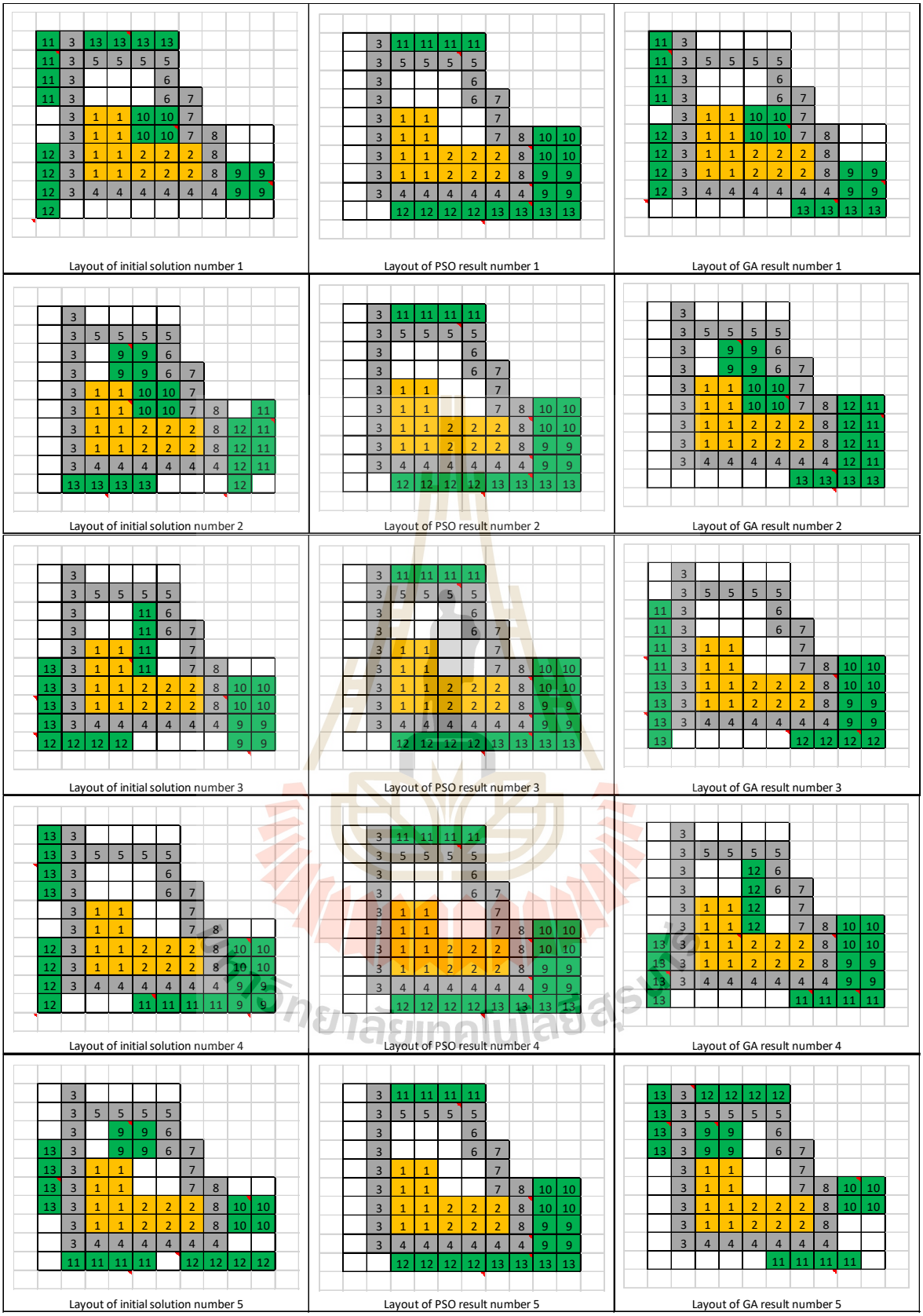
รูปที่ 6.19 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลตั้งค่าการ Optimization ของ Evolver

ผลที่ได้จากการทดสอบอธิบายได้ดังนี้

- การหาคำตอบด้วยวิธี GA จำเป็นต้องกำหนดคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) เพื่อให้ Algorithm สร้างคำตอบที่เป็นไปได้อื่น ๆ ขึ้นมาเป็นประชากรและพัฒนาคำตอบเหล่านี้ในรุ่นต่อ ๆ ไป คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก GA จะขึ้นกับคำตอบเริ่มต้นนี้โดยตรง ในการทดสอบได้กำหนดใช้คำตอบเริ่มต้นจำนวน 10 คำตอบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นค่าคำตอบที่ได้จากวิธี PSO ในรอบการคำนวณที่ 0 หรือรอบเริ่มต้น ซึ่งเป็นค่าคำตอบที่ได้จากการสุ่มสร้าง

- หากนำผังสถานที่ก่อสร้างของคำตอบเริ่มต้นมาเปรียบเทียบกับผังสถานที่ก่อสร้างของค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธี PSO และ GA จะแสดงได้ดังรูปข้างล่างนี้

- พบว่าวิธี GA ให้ค่าคำตอบที่ดีขึ้นจากคำตอบเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย การจากทดสอบนี้ค่า Fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดจาก GA คิดเป็นสัดส่วนโดยเฉลี่ย 0.77 เมื่อเทียบกับค่า Fitness ของคำตอบเริ่มต้น นอกจากนี้หากใช้คำตอบเริ่มต้นที่มีค่า Fitness ที่ไม่ดีก็จะทำให้ได้คำตอบจาก GA ที่ไม่ดีด้วยคือดีขึ้นจากเริ่มต้นอีกเพียงเล็กน้อย แต่หากใช้คำตอบเริ่มต้นที่ดีอยู่แล้วจะทำให้ได้คำตอบจาก GA ที่ดีขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยหรือไม่พบคำตอบที่ดีกว่า ทำให้ GA เป็นวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ในขณะที่วิธี PSO สามารถให้ค่า Fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดคิดเป็นสัดส่วนโดยเฉลี่ยถึง 0.46 เมื่อเทียบกับค่า Fitness ของคำตอบเริ่มต้น



Layout of initial solution number 1

Layout of PSO result number 1

Layout of GA result number 1

Layout of initial solution number 2

Layout of PSO result number 2

Layout of GA result number 2

Layout of initial solution number 3

Layout of PSO result number 3

Layout of GA result number 3

Layout of initial solution number 4

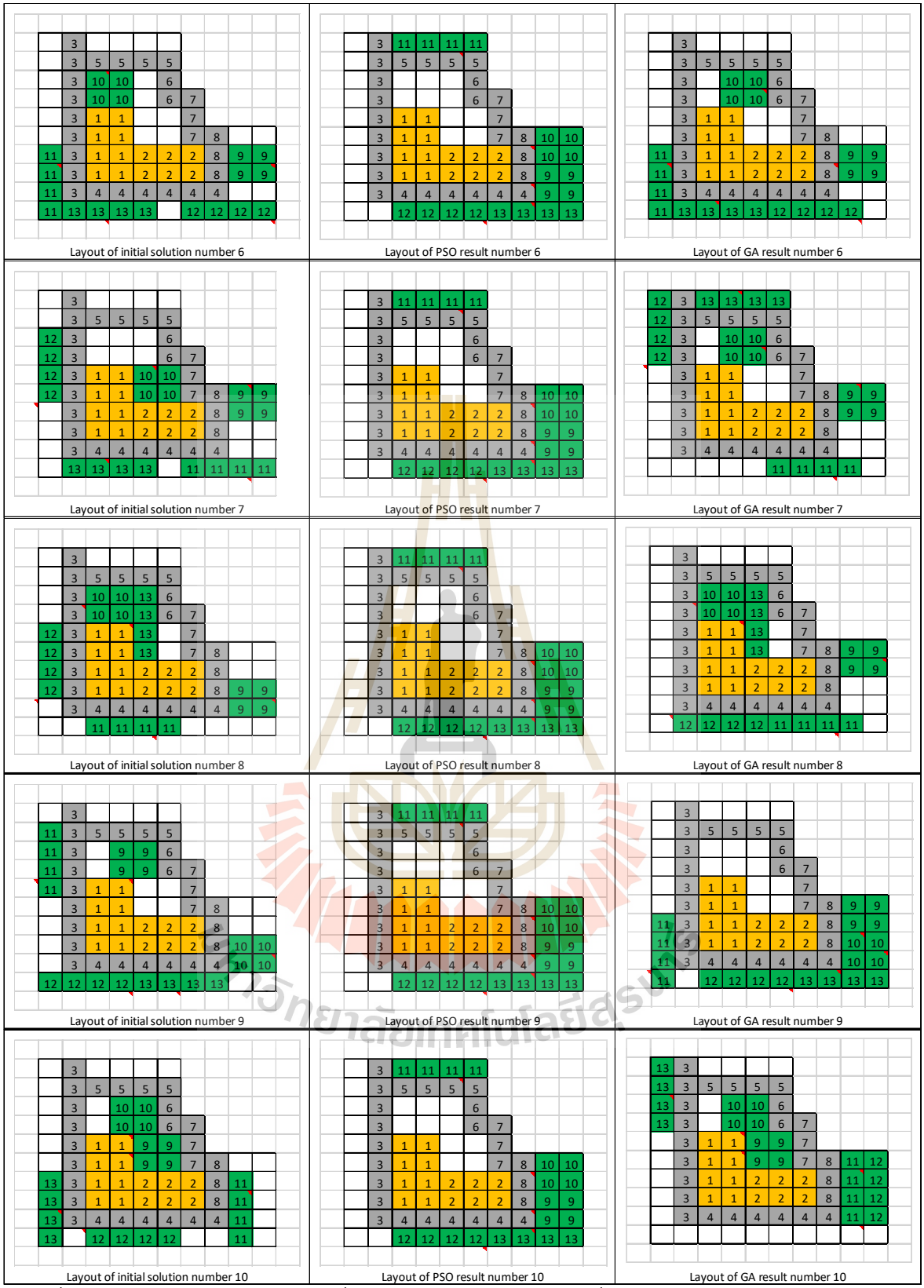
Layout of PSO result number 4

Layout of GA result number 4

Layout of initial solution number 5

Layout of PSO result number 5

Layout of GA result number 5



รูปที่ 6.20 การเปรียบเทียบผังสถานที่ก่อสร้างของระหว่างคำตอบเริ่มต้น คำตอบจากวิธี PSO และ GA

- กระบวนการพัฒนาคำตอบของ GA ทำให้เกิดการสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible solutions or invalid trials) ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 10 ครั้งนี้คือ 9200

คำตอบ จากคำตอบทั้งหมดโดยเฉลี่ย 28200 คำตอบ (Total trials) หรือคิดเป็นสัดส่วนโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 และมีคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution or valid trials) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 19000 คิดเป็นร้อยละ 67 เนื่องจากกระบวนการถ่ายทอดพันธุกรรมหรือ Crossover operation ของ GA เป็นการสลับตำแหน่งของยีนพ่อและแม่แบบสุ่ม ซึ่งทำให้ตำแหน่งการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นมาเป็นไปไม่ได้ คืออาจเกินขอบเขตของโครงการ หรือมีการซ้อนทับกันเอง ซึ่งทำให้การพัฒนาคำตอบเป็นไปอย่างไร้ทิศทางแบบสุ่มและไม่มีประสิทธิภาพ หรือต้องใช้เวลาในการหาคำตอบมากเพราะเวลาส่วนหนึ่งเสียไปกับการสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ รวมทั้งอาจไม่พบคำตอบที่ดีได้เลย

- จากการทดสอบซ้ำเดิมทั้ง 10 ครั้งได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธี GA ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้ ซึ่งสามารถสรุปการเปรียบเทียบกับ PSO ได้ว่า วิธี PSO สามารถใช้หาคำตอบได้ดีกว่า GA ในกรณีทดสอบนี้ ซึ่งทำให้ได้ค่า Fitness ของคำตอบที่ดีสุดต่ำกว่า และยังได้คำตอบที่ดีที่สุดอันเดิมเท่ากันทุกครั้ง ทำให้วิธี PSO เป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพดีและยังให้คำตอบที่น่าเชื่อถืออีกด้วย อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการเปรียบเทียบนี้ก็คือ การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาคำตอบด้วยวิธี GA ซึ่งอาจไม่ได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างนี้

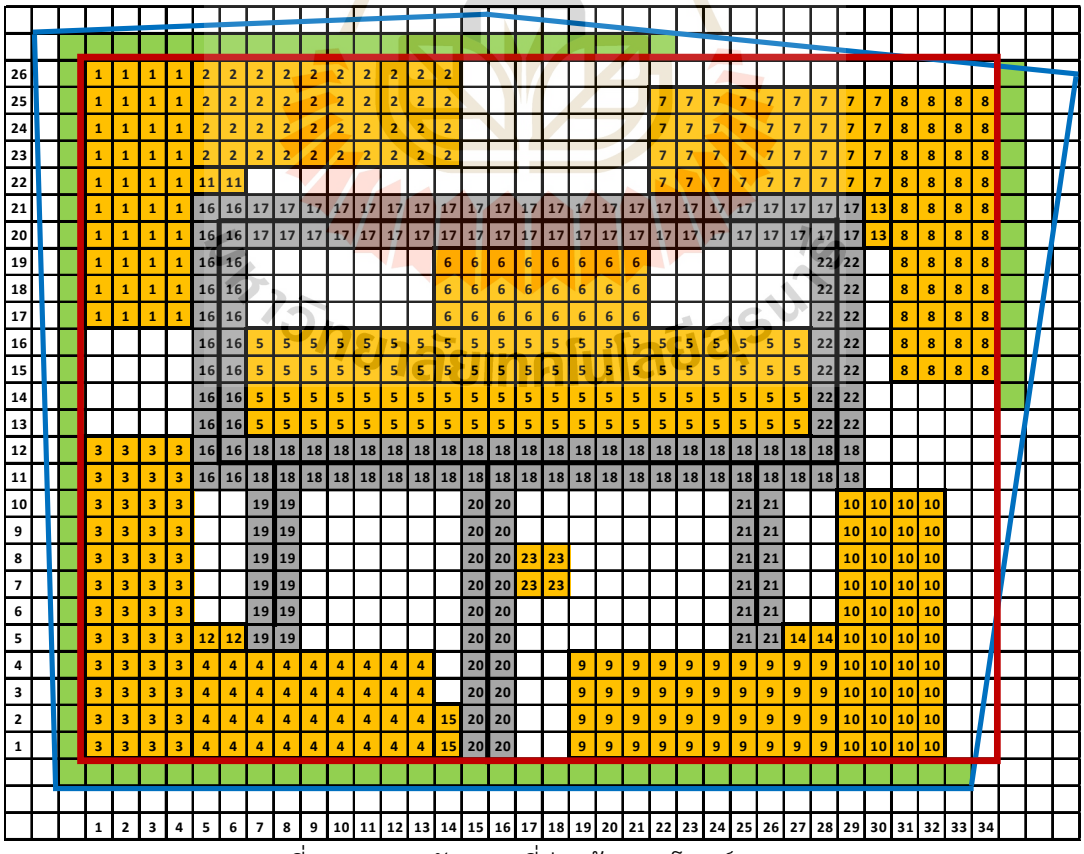
ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA

Test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
Initial fitness	876	970	855	910	865	903	996	944	890	1048	926
PSO result fitness	428	428	428	428	428	428	428	428	428	428	428
PSO result/Initial fitness	0.49	0.44	0.50	0.47	0.49	0.47	0.43	0.45	0.48	0.41	0.46
The pbest iteration	25	23	27	18	29	22	27	19	14	26	23
Total iteration	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
GA result fitness	700	743	721	660	716	665	733	856	548	784	713
GA result/Initial fitness	0.80	0.77	0.84	0.73	0.83	0.74	0.74	0.91	0.62	0.75	0.77
Valid trials	14988	21983	17621	17932	17186	20846	21318	19753	21276	16413	18932
Total trials	23806	33659	26442	25567	25966	30160	30404	28266	31789	25601	28166
Valid/Total trials	0.63	0.65	0.67	0.70	0.66	0.69	0.70	0.70	0.67	0.64	0.67
Best trial number	2461	10935	23359	22799	2604	30029	17797	21806	19988	2340	15412

6.5 การทดสอบกับโจทย์ปัญหาจริง

เมื่อทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมต้นแบบจนมั่นใจแล้ว รวมทั้งทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO เรียบร้อยแล้ว บททดสอบต่อไปคือการทดสอบกับโจทย์ปัญหาจริง โดยจะเรียกว่า Case B ซึ่งจัดเตรียมขึ้นจากโครงการก่อสร้างจริงที่คัดเลือกมา เป็นโครงการก่อสร้างหมู่อาคารห้องชุดพักอาศัย สูง 8 ชั้นเท่ากัน จำนวน 5 อาคาร รวม 882 ยูนิต บนที่ดินขนาด 16,456 ตร.ม. ในกรุงเทพ ฯ ที่ดำเนินโครงการโดยบริษัทมหาชนกลุ่มพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ของประเทศ มูลค่าโครงการก่อสร้างประมาณ 1,300 ล้านบาท มีแบบแปลนภาพรวมของโครงการดังแสดงในรูปข้างล่าง ซึ่งนำมาดัดแปลงเป็นแผนผังของโครงการก่อสร้างได้ดังรูปถัดไป

รูปที่ 6.21 แบบแปลนภาพรวมโครงการก่อสร้างจริงที่ใช้จัดเตรียมโจทย์ Case B



รูปที่ 6.22 แผนผังสถานที่ก่อสร้างของโจทย์ Case B

โจทย์ Case B มีขนาดใหญ่และความซับซ้อนมากขึ้นกว่า Case A มาก มีรายละเอียดของข้อมูลนำเข้าดังนี้

1. Site Boundary (SB) มีขอบเขต ได้แก่ SBX_{min} = 0, SBY_{min} = 0, SBX_{max} = 34, และ SBY_{max} = 26 หน่วย (โดยที่หนึ่งหน่วยเทียบได้กับขนาดความยาวจริงประมาณ 4 เมตร) ขอบเขตสถานที่ก่อสร้างที่ใช้จัดผังมีรูปร่างใด ๆ และมีจุดพิกัด SBNACs จำนวน 37 จุด ดังรูปข้างล่าง

SB's non-available coordinates (SBNACs)																																				
X	33	34	33	34	33	34	33	34	33	34	33	34	33	34	33	34	33	34	34	34	34	34	34	34	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Y	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	10	11	12	13	14	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26

รูปที่ 6.23 จุดพิกัด SBNACs ของโจทย์ปัญหา Case B

2. Fixed Facilities (FF) ให้มีสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (Buildings) เป็นรูปประกอบของสี่เหลี่ยม 2 รูป จำนวน 5 อาคารหลัก ได้แก่ Facility I.D. 1 ถึง 10 และมีปั้นจั่นหอสูง (Tower Cranes) ที่กำหนดตำแหน่งประจำไว้ที่อาคารที่ก่อสร้าง จำนวน 4 ตัว ได้แก่ Facility I.D. 11 ถึง 14 รวมทั้งมีป้อมรักษาความปลอดภัย (Guardhouse) ที่ทางเข้าของโครงการ ซึ่งกำหนดตำแหน่งแน่นอนไว้แล้ว จำนวน 1 ตัว ได้แก่ Facility I.D. 15

3. Obstacles (OB) เป็นต้นไม้ใหญ่ (Big Tree) จำนวน 1 ต้น ที่ต้องการเก็บรักษาไว้ ได้แก่ Facility I.D. 23

4. Access Roads (AR) ให้มีถนนภายในเพื่อการเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่เป็นรูปประกอบของสี่เหลี่ยมแบ่งออกรูปสี่เหลี่ยมจำนวน 7 รูป ได้แก่ Facility I.D. 16 ถึง 22 นอกจากค่าพิกัดที่แสดงขอบเขตของถนนภายในแล้วยังมีข้อมูลจุดพิกัดของ ARCs จำนวน 87 จุดดังแสดงข้างล่างนี้

AR's coordinates (ARCs)																																				
X	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27	26
Y	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	11	11
AR's coordinates (ARCs)																																										
X	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	7	7	7	7	7	7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25	25	25	25	25
Y	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	9	8	7	6	5	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	10	9	8	7	6	5

รูปที่ 6.24 จุดพิกัด SBNACs ของโจทย์ปัญหา Case B

5. Temporary Facilities (TF) ให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีจุดทางเข้าออกต่าง ๆ กัน จำนวน 16 อัน เรียงลำดับตามขนาดพื้นที่ที่กำหนดไว้ก่อนแล้วจากมากไปน้อย ได้แก่ ลานจอดรถ (Car Park), สำนักงานสนาม (General Contractor's Site Office), ลานกองเก็บเหล็กเส้น (Rebar Stockyard), โรงอาหาร (Cafeteria), สำนักงานสนามของผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor's Site Office), ลานกองเก็บเหล็กรูปพรรณ (Steel Stockyard), ลานกองเก็บหินทราย (Aggregate Stockyard), โรงเก็บของ (General Contractor's Store), โรงตัดดัดเหล็กเส้น (Rebar Workshop), โรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร (Mechanic Shop), ลานกองเก็บแบบเหล็ก (Steel Formwork Stockyard), ลานกองเก็บไม้แบบ (Timber Formwork Stockyard), โรงเก็บของของผู้รับเหมาช่วง

(Subcontractor's Store), โรงเชื่อมประกอบเหล็ก (Steel Workshop), ห้องน้ำคนงาน (Worker Toilet), ห้องน้ำสำนักงาน (Office Toilet), ห้องปฐมพยาบาล (First Aid Room) โดยกำหนดให้เป็น Facility I.D. 24 ถึง 40 ตามลำดับ

สิ่งอำนวยความสะดวกแต่ละประเภทดังกล่าว ได้แก่ FF, OB, และ AR เหล่านี้มีจุดพิกัดแสดงขอบเขตด้วยจุดมุมล่างซ้าย (Lower left corner: LL) และมุมบนขวา (Upper right corner: UR) และตำแหน่งวางคงที่ดังแสดงในตาราง ส่วนสิ่งอำนวยความสะดวกประเภท TF มีจุดพิกัดแสดงขอบเขตด้วยจุด LL และ UR โดยที่ให้จุดทางเข้าออก (Entrance position) เริ่มต้นอยู่ที่จุดพิกัด (0, 0) และมี Orientation ต่าง ๆ ทั้ง 4 แนวการวางตัวที่เป็นไปได้ ด้วยค่าพิกัด (X1, Y1), (X2, Y2), (X3, Y3), (X4, Y4), (X5, Y5), (X6, Y6), (X7, Y7), และ (X8, Y8) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางเช่นกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 6.7 ข้อมูลพิกัดของสิ่งอำนวยความสะดวกของโจทย์ Case B

				Default	Boundary coordinates with orientations							
			Size	entrance	0°		90°		180°		270°	
			($unit^2$)	position	LL	UR	LL	UR	LL	UR	LL	UR
Facility	Type	Description	width	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
I.D.			x length	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
1	FF	Building 1	4x10	4	-4	0						
				22	-6	4						
2	FF	Building 1	4x10	4	0	10						
				22	0	4						
3	FF	Building 2	4x12	4	-4	0						
				4	-4	8						
4	FF	Building 2	4x9	4	0	9						
				4	-4	0						
5	FF	Building 3	4x21	17	-11	11						
				16	-4	0						
6	FF	Building 3	3x8	17	-4	4						
				16	0	3						
7	FF	Building 4	4x9	30	-9	0						
				21	0	4						
8	FF	Building 4	4x11	30	0	4						
				21	-7	4						
9	FF	Building 5	4x10	28	-10	0						
				4	-4	0						
10	FF	Building 5	4x10	28	0	4						
				4	-4	6						
11	FF	Tower Crane 1	1x2	4	0	2						
				22	-1	0						
12	FF	Tower Crane 2	1x2	4	0	2						
				4	0	1						
13	FF	Tower Crane 3	1x2	30	-1	0						
				21	-2	0						
14	FF	Tower Crane 4	1x2	28	-2	0						
				4	0	1						
15	FF	Guardhouse	1x2	14	-1	0						
				1	-1	1						
16	AR	Access Road 1	2x11	0	4	6						
				0	10	21						
17	AR	Access Road 2	2x23	0	6	29						
				0	19	21						
18	AR	Access Road 3	2x23	0	6	29						
				0	10	12						
19	AR	Access Road 4	2x6	0	6	8						
				0	4	10						
20	AR	Access Road 5	2x10	0	14	16						
				0	0	10						

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

				Default	Boundary coordinates with orientations							
			Size	entrance	0°		90°		180°		270°	
			(unit^2)	position	LL	UR	LL	UR	LL	UR	LL	UR
Facility	Type	Description	width	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
I.D.			x length	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
21	AR	Access Road 6	2x6	0	24	26						
				0	4	10						
22	AR	Access Road 7	2x7	0	27	29						
				0	12	19						
23	OB	Big Tree	2x2	0	16	18						
				0	6	8						
24	TF	Car Park	3x5	0	-2	3	0	3	-3	2	-3	0
				0	-3	0	-2	3	0	3	-3	2
25	TF	GC's Site Office	3x4	0	-4	0	-1	2	0	4	-2	1
				0	-2	1	-4	0	-1	2	0	4
26	TF	Rebar Stockyard	2x5	0	-3	2	0	2	-2	3	-2	0
				0	-2	0	-3	2	0	2	-2	3
27	TF	Cafeteria	3x3	0	-2	1	0	3	-1	2	-3	0
				0	-3	0	-2	1	0	3	-1	2
28	TF	SC's Site Office	2x4	0	-2	0	-2	2	0	2	-2	2
				0	-2	2	-2	0	-2	2	0	2
29	TF	Steel Stockyard	2x4	0	-2	2	0	2	-2	2	-2	0
				0	-2	0	-2	2	0	2	-2	2
30	TF	Aggregate Stockyard	2x4	0	-2	2	0	2	-2	2	-2	0
				0	-2	0	-2	2	0	2	-2	2
31	TF	GC's Store	2x3	0	-2	0	-1	2	0	2	-2	1
				0	-2	1	-2	0	-1	2	0	2
32	TF	Rebar Workshop	2x3	0	-2	1	0	2	-1	2	-2	0
				0	-2	0	-2	1	0	2	-1	2
33	TF	Mechanic Shop	2x3	0	-3	0	-1	1	0	3	-1	1
				0	-1	1	-3	0	-1	1	0	3
34	TF	Steel Formwork Stockyard	2x3	0	-3	0	-1	1	0	3	-1	1
				0	-1	1	-3	0	-1	1	0	3
35	TF	Timber Formwork Stockyard	2x2	0	-1	1	0	2	-1	1	-2	0
				0	-2	0	-1	1	0	2	-1	1
36	TF	SC's Store	1x4	0	-4	0	0	1	0	4	-1	0
				0	-1	0	-4	0	0	1	0	4
37	TF	Steel Workshop	2x2	0	-2	0	-1	1	0	2	-1	1
				0	-1	1	-2	0	-1	1	0	2
38	TF	Worker Toilet	1x4	0	-2	2	0	1	-2	2	-1	0
				0	-1	0	-2	2	0	1	-2	2
39	TF	Office Toilet	1x3	0	-2	1	0	1	-1	2	-1	0
				0	-1	0	-2	1	0	1	-1	2
40	TF	First Aid Room	1x2	0	-2	0	0	1	0	2	-1	0
				0	-1	0	-2	0	0	1	0	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. Closeness relationships ค่าความใกล้ชิดของคู่สิ่งอำนวยความสะดวก ที่ใช้ค่าสเกลอ้างอิงตามตารางที่ 5.1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ ซึ่งได้ค่าความใกล้ชิดนี้มาจากผลการสำรวจในบทที่ 4 แต่บางสิ่งอำนวยความสะดวกที่ไม่มีอยู่ในการสำรวจจะใช้การประมาณเทียบเคียงตามความเห็นของผู้วิจัยเอง ทั้งนี้ในทางปฏิบัติค่าความใกล้ชิดจะเป็นค่าที่กำหนดขึ้นตามความเห็นของผู้วางผังเองและอาจแตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล โดยค่าความใกล้ชิดนี้จะแทนค่าความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่สิ่งอำนวยความสะดวกประเภท FF กับ TF, และ TF กับ TF เท่านั้น ดังแสดงในตาราง จากนั้นจึงใช้ค่าความใกล้ชิดเพื่อกำหนดค่าน้ำหนัก Proximity weights ต่อไป

Closeness Relationships between a pair of facilities

I.D.:I.D.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	Building 1																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
2	Building 1																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
3	Building 2																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
4	Building 2																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
5	Building 3																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
6	Building 3																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
7	Building 4																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
8	Building 4																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
9	Building 5																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
10	Building 5																								1	3	4	2	4	4	4	3	5	1	2	2	4	4	3	1	3
11	Tower Crane 1																								1	1	4	1	1	4	4	3	4	3	4	4	3	4	1	1	1
12	Tower Crane 2																								1	1	4	1	1	4	4	3	4	3	4	4	3	4	1	1	1
13	Tower Crane 3																								1	1	4	1	1	4	4	3	4	3	4	4	3	4	1	1	1
14	Tower Crane 4																								1	1	4	1	1	4	4	3	4	3	4	4	3	4	1	1	1
15	Entrance and Security																								2	2	3	1	2	3	3	5	1	1	3	3	4	1	1	1	1
16	Access Road 1																																								
17	Access Road 2																																								
18	Access Road 3																																								
19	Access Road 4																																								
20	Access Road 5																																								
21	Access Road 6																																								
22	Access Road 7																																								
23	Big Tree																																								
24	Car Park																									5	1	1	3	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1	1	3
25	GC's Site Office																										1	2	3	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	5	5
26	Rebar Stockyard																											1	1	1	1	4	5	1	1	1	3	2	1	1	1
27	Cafeteria																												2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1
28	SC's Site Office																													1	1	3	2	1	1	1	3	3	2	4	4
29	Steel Stockyard																														1	4	3	1	1	1	3	5	1	1	1
30	Aggregate Stockyard																															3	1	1	1	1	3	1	1	1	1
31	GC's Store																																2	3	3	3	3	2	1	3	1
32	Rebar Workshop																																	2	1	1	2	3	2	2	3
33	Mechanic Shop																																		1	1	3	2	2	2	3
34	Steel Formwork Stockyard																																			4	3	3	1	1	1
35	Timber Formwork Stockyard																																				3	1	1	1	1
36	SC's Store																																					3	2	2	1
37	Steel Workshop																																						2	2	3
38	Worker Toilet																																							1	2
39	Office Toilet																																								2
40	First Aid Room																																								

รูปที่ 6.25 ค่า Closeness relationships สำหรับโจทย์ Case B

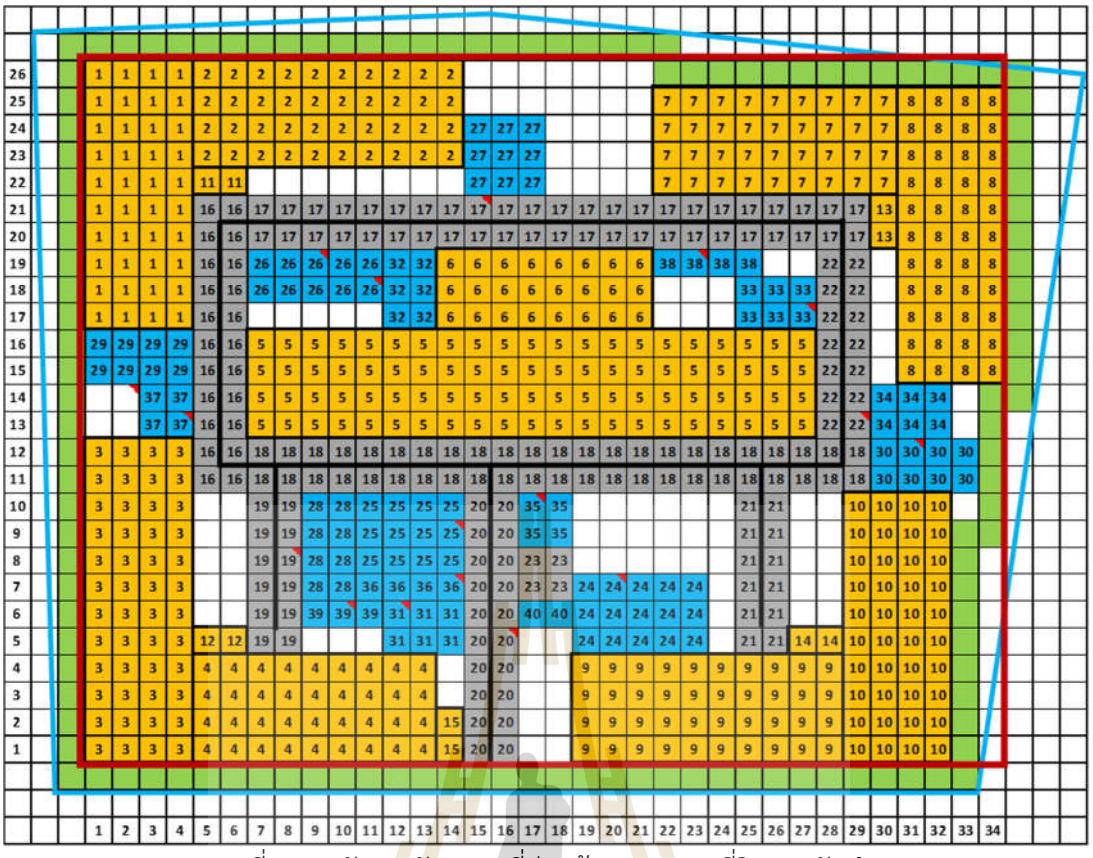
7. PSO’s parameters ให้ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของ PSO สำหรับการหาคำตอบของโจทย์ Case B นี้เป็นค่าเหมาะสมที่หาได้จากการทดสอบในหัวข้อ 6.2 ค่าสำคัญได้แก่ Swarm Size = 80, Max. Iteration = 30, $w = c_1 = c_2 = 3.00$, และใช้วิธีคำนวณระยะทางแบบ Actual Path แต่จากการทดสอบเบื้องต้นซ้ำจำนวนหลายครั้ง พบว่าค่า w, c_1, c_2 ที่เหมาะสมควรเท่ากับ 1.00 และโปรแกรมต้นแบบสามารถให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องสมบูรณ์ทุกครั้ง

จึงจัดทำการทดสอบแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ให้ Swarm Size = 80 และชุดที่ 2 = 160 ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ของ PSO ให้ใช้ค่าเท่ากันดังนี้ Max. Iteration = 30, w = c_1 = c_2 = 1.00 ทำการทดสอบซ้ำเดิมชุดละ 10 ครั้ง ได้ค่าผลการทดสอบแบ่งเป็นสองชุด รวมทั้งเปรียบเทียบกับผังที่ได้จากการจัดทำของวิศวกรโครงการ (Engineer's plan) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลที่โครงการก่อสร้าง ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

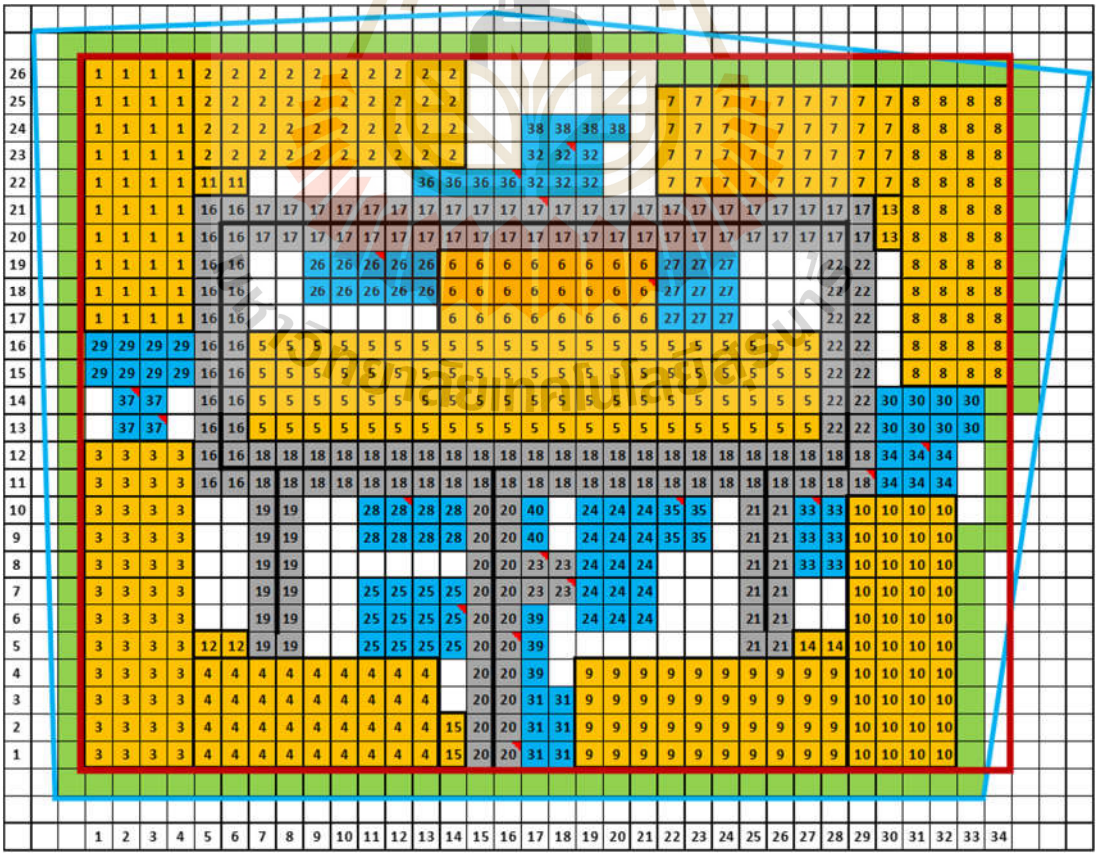
	PSO's Parameter					Resulting	Run time
Test no.	Swarm Size	Max.Iteration	W	C1	C2	Fitness	(h:m)
Engineer's	-- not applicable --					4.81E+06	??
1	80	30	1	1	1	4.47E+06	11:11
2	80	30	1	1	1	4.39E+06	12:12
3	80	30	1	1	1	4.27E+06	14:22
4	80	30	1	1	1	4.39E+06	14:04
5	80	30	1	1	1	4.32E+06	14:05
6	80	30	1	1	1	4.36E+06	13:35
7	80	30	1	1	1	4.49E+06	12:48
8	80	30	1	1	1	4.38E+06	12:49
9	80	30	1	1	1	4.49E+06	12:57
10	80	30	1	1	1	4.39E+06	12:45
11	160	30	1	1	1	4.30E+06	19:15
12	160	30	1	1	1	4.27E+06	19:17
13	160	30	1	1	1	4.40E+06	20:32
14	160	30	1	1	1	4.35E+06	19:57
15	160	30	1	1	1	4.42E+06	19:43
16	160	30	1	1	1	4.25E+06	19:08
17	160	30	1	1	1	4.37E+06	21:12
18	160	30	1	1	1	4.45E+06	27:16
19	160	30	1	1	1	4.39E+06	20:36
20	160	30	1	1	1	4.36E+06	21:28
			Average (1 to 10)			4.40E+06	13:05
			Average (10 to 20)			4.35E+06	20:50
			Average (overall)			4.38E+06	16:58

ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบโจทย์ปัญหาจริง Case B

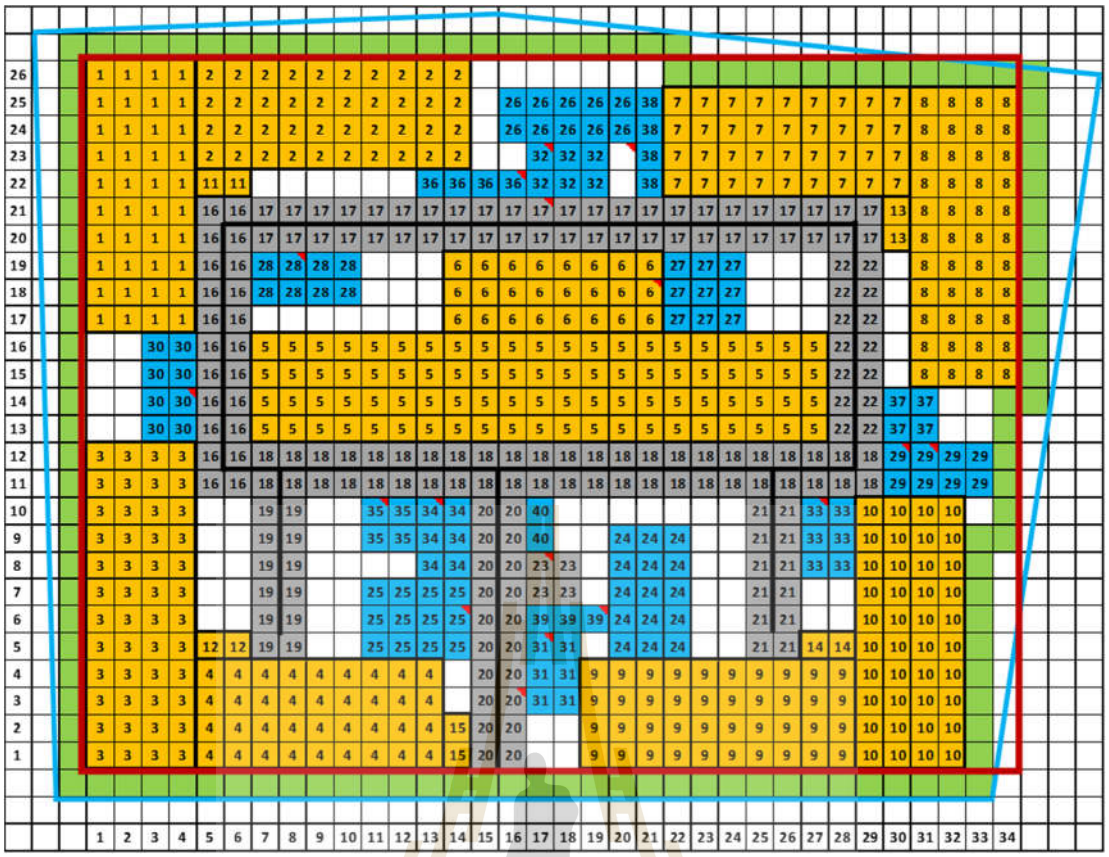
เมื่อนำรูปผังที่ได้จากการจัดทำของวิศวกรโครงการเปรียบเทียบกับรูปผังสถานที่ที่ดีที่สุดของแต่ละชุดทดสอบที่ได้จากโปรแกรมต้นแบบ แสดงดังรูปข้างล่างนี้ และสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.26 ผังการจัดสถานที่ก่อสร้าง Case B ที่วิศวกรจัดทำ



รูปที่ 6.27 ผังการจัดสถานที่ก่อสร้าง Case B ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 1 จากโปรแกรมต้นแบบ



รูปที่ 6.28 ผังการจัดสถานที่ก่อสร้าง Case B ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 2 จากโปรแกรมต้นแบบ

หากนำผังการจัดสถานที่ของวิศวกรมาคำนวณค่า Fitness ตามแบบจำลองดังสมการที่ (1) จะได้ค่าเท่ากับ 4.81 E+06 ซึ่งเป็นค่าที่แย่กว่าที่ได้จากโปรแกรมต้นแบบทั้งผลจากชุดทดสอบที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 E+06 และ 4.35 E+06 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างผังของวิศวกรและของโปรแกรมดังกล่าวมีเพียงประมาณ 10% ซึ่งแสดงว่าผังการจัดสถานที่ของวิศวกรก็มีความเหมาะสมดีอยู่แต่สามารถปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นได้อีกหากใช้โปรแกรมจัดผังสถานที่ ทั้งนี้ความแตกต่างอาจขึ้นอยู่กับโจทย์และความสามารถของวิศวกร โดยที่โจทย์อื่นอาจให้ค่าความแตกต่างมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ได้

การจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกโดยวิศวกร มีลักษณะความพยายามจัดให้สิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมดอยู่ชิดกันค่อนมาทางด้านหน้าโครงการ มีความเป็นระเบียบ และยังมีการคำนึงถึงทิศทางการจัดวางให้ประตูทางเข้าออกหันเข้ากันหรือหันออกสู่ถนนภายในด้วย แสดงถึงวิสัยทัศน์และความรอบคอบของวิศวกร อย่างไรก็ตามผังที่ได้จากโปรแกรมทั้งสองกลุ่มทดสอบสามารถชนะวิศวกรด้วยการให้ผลค่า Fitness ที่ดีกว่า แต่ก็เพียงเล็กน้อยประมาณ 10% โดยผังที่ได้จากโปรแกรมมีลักษณะความพยายามจัดให้สิ่งอำนวยความสะดวกกระจายกันออกไปอย่างทั่วถึง และคำนึงถึงทิศทางการจัดวางและการหันประตูทางเข้าออกสู่ถนนภายในอย่างมาก เพราะเป็นแนวทางที่ทำให้ค่า Fitness ที่ได้ต่ำที่สุดตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ในแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าลักษณะการจัดของโปรแกรมนี้เกินความคาดหมายของวิศวกรที่อาจคิดว่าการจัดสิ่งอำนวยความสะดวกไว้ใกล้กันคือแนวทางที่ดี แต่จากโครงการตัวอย่างนี้มีสิ่งก่อสร้างกระจายตัวออกเป็น

หลายอาคาร การจัดสิ่งอำนวยความสะดวกโดยโปรแกรมแบบกระจายตัวออกไปทั่วบริเวณโครงการกลับให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นได้

เมื่อพิจารณาสถิติการทำงานของโปรแกรมพบว่า ชุดทดสอบที่ 1 ซึ่งใช้ค่า Swarm Size น้อยกว่าชุดทดสอบที่ 2 หนึ่งเท่าคือ 80 และ 160 ตามลำดับ ทำให้ใช้เวลาหาคำตอบน้อยกว่าเกือบครึ่งหนึ่ง คือโดยเฉลี่ย 13 ชั่วโมงและ 21 ชั่วโมงตามลำดับ และชุดทดสอบที่ 1 ให้ผลลัพธ์ที่แย่กว่าชุดทดสอบที่ 2 เล็กน้อยเพียง 1% โดยเฉลี่ย หรืออาจกล่าวได้ว่าผลทดสอบทั้งสองชุดให้ผลดีไม่แตกต่างกัน แต่ใช้เวลาค่อนข้างต่างกันมาก การทดสอบซ้ำเดิมหลายครั้งแสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมได้ผลดีใกล้เคียงกันและมีผลการทำงานสม่ำเสมอใกล้เคียงกันในการรันโปรแกรมแต่ละครั้ง

ข้อแนะนำการใช้โปรแกรมอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ใช้ควรปรับค่าพารามิเตอร์ของ PSO ให้เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาที่พิจารณาด้วยการทดลองเบื้องต้นก่อน ค่าที่เหมาะสมอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโจทย์ โดยทั่วไป โจทย์ที่ซับซ้อนและมีสิ่งอำนวยความสะดวกจำนวนมากควรกำหนดให้ค่า Swarm Size และ Max. Iteration มากขึ้นด้วยเพื่อให้เกิดหน่วยหาคำตอบที่มากพอและครอบคลุมเซ็ตของคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมากเหล่านั้น แต่ค่า Swarm Size และ Max. Iteration ที่มากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบนานมากยิ่งขึ้นด้วย ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก w, c_1, และ c_2 ควรพิจารณาทดลองใช้ในช่วงประมาณ (0, 1) ผลลัพธ์คำตอบที่ได้จะมีการจัดวางให้สอดคล้องตามค่า Closeness relationships ของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นเป็นข้อมูลนำเข้าของโจทย์ ทั้งนี้ค่า Closeness relationships ที่ต้องกำหนดขึ้นสำหรับโจทย์อาจมีจำนวนมากมายอย่างยิ่ง อาจทำให้การกำหนดค่าของบางคู่ไม่เหมาะสมหรืออาจขัดแย้งกันเองได้ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ผังสถานที่ไม่ตรงกับความต้องการ แม้โปรแกรมจะใช้เวลาค่อนข้างนานในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาจริง Case B แต่ภารกิจการจัดผังสถานที่ก่อสร้างก็ทำเพียงครั้งคราว การรันโปรแกรมอาจทำช่วงข้ามคืนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์โดยไม่ต้องรอคอยในช่วงเวลาทำงานปกติ ซึ่งทำให้เวลาการหาคำตอบของโปรแกรมไม่เป็นอุปสรรคในการใช้งานจริง

การใช้งานกับโจทย์ปัญหาจริงอาจมีขนาดใหญ่และซับซ้อน จึงมีจำนวนข้อมูลนำเข้าจำนวนมาก ผู้ใช้ต้องระมัดระวังให้การกำหนดค่าข้อมูลนำเข้าให้ถูกต้องทั้งหมดเพื่อให้โปรแกรมสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้ โดยอาจต้องมีการตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของคำตอบที่ได้ก่อนนำไปใช้ด้วย ในทางปฏิบัติอาจใช้โปรแกรมร่วมกับวิศวกร โดยอาจให้วิศวกรจัดผังสถานที่ขึ้นก่อนแล้วใช้เป็นผังเริ่มต้นเพื่อให้โปรแกรมปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น และหลังจากที่ได้ผังจากโปรแกรมแล้วก็ให้วิศวกรตรวจสอบความถูกต้อง รวมทั้งปรับแก้ให้เป็นไปตามความต้องการมากยิ่งขึ้นได้อีก การใช้งานแบบผสมร่วมกันนี้จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงได้

6.6 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบแบบจำลองมีเป้าหมายเพื่อทดสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์การจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่ได้ ซึ่งการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบด้วยโจทย์ปัญหาทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่จะเป็นตัวแทนของโครงการก่อสร้างทั่วไป ทั้งนี้ข้อจำกัดของการทดสอบครั้งนี้น่าจะขึ้นอยู่กับตัวโจทย์อยู่ด้วยส่วนหนึ่ง การทดสอบด้วยโจทย์ทั้งสองขนาดจึงเป็นการยืนยันถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบในกรณีทั่วไป การวิจัยนี้ได้ตั้งประเด็นการทดสอบไว้ทั้งหมด 5 ประเด็นเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการนำแบบจำลองไปใช้งาน ได้แก่ 1. ความถูกต้องของสมการคำนวณต่าง ๆ 2. ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO 3. ผลของการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยวิธีการคำนวณระยะทาง Actual Path เปรียบเทียบกับ Euclidean 4. ผลของการกำหนดวิธีการหาคำตอบด้วย PSO เปรียบเทียบกับ GA และ 5. ผลของการนำไปใช้จัดผังสถานที่ของโครงการก่อสร้างจริงเปรียบเทียบกับผังที่เป็นอยู่

ผลการทดสอบแบบจำลองพบว่าสมการคำนวณค่าตำแหน่ง เงื่อนไข และ Algorithms ต่าง ๆ ของกระบวนการจัดผังสถานที่มีความถูกต้องโดยอ้างอิงกับผลคำนวณด้วยมือและตรวจสอบกับเงื่อนไขข้อจำกัดที่กำหนดไว้ รวมทั้งยังพิจารณาได้จากพัฒนาการของค่าคำตอบที่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ผลค่าพารามิเตอร์ของ PSO ที่เหมาะสมสำหรับปัญหา Case A ได้แก่ ค่า Swarm Size = 80 ตัว ค่า Max. Iteration = 30 รอบ และค่าสัมประสิทธิ์ w, c_1, และ c_2 = 3.0 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมนั้นอาจทำให้ได้คำตอบที่ยังไม่ดีพอ หรือทำให้ใช้ระยะเวลาการคำนวณมากเกินไปโดยไม่เกิดผลประโยชน์ การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเหล่านี้จึงช่วยให้สามารถนำแบบจำลองไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลการทดสอบยังพบว่าวิธีการคำนวณระยะทาง Actual Path ที่พัฒนา Algorithm ขึ้นใช้เองในการวิจัยนี้ ทำให้ได้ผังสถานที่ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริงมากกว่าวิธี Euclidean ที่นิยมใช้ในแบบจำลองของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยการจัดวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกจะมีแนวโน้มที่ยึดโยงกับเส้นทางถนนภายในที่ใช้เดินทางจริงในการปฏิบัติงาน และมีตำแหน่งทางเข้าออกที่เหมาะสมด้วย และผลการทดสอบยังชี้ว่าการหาคำตอบด้วย PSO มีประสิทธิภาพดี และดีกว่า GA ที่นิยมใช้ในแบบจำลองของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งในด้านการให้คำตอบที่ดีสม่ำเสมอและดีกว่าและใช้ระยะเวลาดำเนินการที่สั้นกว่าด้วย

ส่วนผลการทดสอบกับโจทย์ปัญหาจริง Case B พบว่า Algorithm ของ Actual Path ที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณหาเส้นทางที่ดีตามที่คนงานควรเลือกใช้เดินทางจริงได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง แม้ว่าเส้นทางถนนภายในโครงการจะซับซ้อน โดยมีทางแยกแบบสามทางและทางตัน ที่ยากต่อการหาเส้นทางเดินทางที่ดี นอกจากนี้โปรแกรมสามารถให้ผลลัพธ์ค่า Fitness ที่ดีกว่าวิศวกรเล็กน้อยโดยเฉลี่ยประมาณ 10% ซึ่งหากนำไปใช้แบบผสมร่วมกันก็จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงได้ ผลความแตกต่างระหว่างโปรแกรมและวิศวกรอาจขึ้นอยู่กับโจทย์และความสามารถของวิศวกรอย่างมาก โจทย์ Case B นี้อาจได้วิศวกรที่มีความ

รอบคอบและมีความสามารถสูงจึงจัดผังสถานที่ได้ค่อนข้างดีมากอยู่แล้ว ทำให้โปรแกรมจัดผังได้ดีกว่าได้เพียง 10% เท่านั้น อย่างไรก็ตามการใช้โปรแกรมก็เป็นการลดการพึ่งพาหรือลดภาระของวิศวกรลงได้

บทที่ 7 บทสรุป

7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่ประกอบด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวหลากหลายประเภทที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของสภาพงานก่อสร้าง และพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพด้วย Particle Swarm Optimization (PSO) พร้อมทั้งทดสอบและประเมินผลแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากหน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของการบริหารโครงการก่อสร้างคือการวางแผนจัดสรรการใช้พื้นที่ของโครงการที่เป็นทรัพยากรหมุนเวียนให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดและอีกทั้งยังช่วยสนับสนุนการดำเนินกิจกรรมการก่อสร้างต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพดีและปลอดภัยมากขึ้นด้วย แต่งานวิจัยที่ผ่านมาจำนวนมากได้มุ่งพัฒนาแบบจำลองปัญหานี้ โดยละเลยสภาพเงื่อนไขบางประการได้แก่ การแบ่งหน่วยย่อยของพื้นที่โครงการ การกำหนดขนาด รูปร่างและแนวการวางตัวของสิ่งอำนวยความสะดวก การคำนวณค่าระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก และการใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเหล่านี้ส่งผลต่อผังสถานที่ที่เป็นคำตอบของปัญหา

การวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (Construction Site Layout Problem: CSLP) โดยแบบจำลองใหม่นี้อยู่บนพื้นฐานของการจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่จุดเวลาหนึ่งของโครงการ (Static CSLP) มีคุณลักษณะพิเศษได้แก่ การใช้ระบบพิกัดกริด 2 มิติสำหรับการอ้างอิงตำแหน่งบนพื้นที่ของโครงการทำให้สามารถจำลองสถานที่ก่อสร้างจริงตามรูปร่างที่ปรากฏได้อย่างยืดหยุ่นและสมจริง การแบ่งประเภทของสิ่งอำนวยความสะดวกออกเป็น สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) สิ่งกีดขวาง (OB) ถนนภายใน (AR) และสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (TF) ทำให้สามารถครอบคลุมลักษณะปฏิสัมพันธ์ที่แตกต่างกันของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ปรากฏในโครงการได้ครบถ้วนทั้งหมด โดยสามารถจำลองสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ที่เป็นรูปร่างใด ๆ ให้เป็นรูปประกอบสี่เหลี่ยมได้ทำให้สามารถจำลองสิ่งอำนวยความสะดวกให้สมจริงยิ่งขึ้น ในลักษณะการจำลองปัญหาแบบ Unequal-area facility layout problem นอกจากนี้สิ่งอำนวยความสะดวกยังถูกจำลองให้สามารถมีแนวการวางตัว (Orientation) ต่าง ๆ ร่วมกับการกำหนดตำแหน่งได้ด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนผังการจัดวางที่เป็นไปได้ให้มากขึ้นที่อาจทำให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้น และริเริ่มการกำหนดจุดตำแหน่งทางเข้าออก (Entrance) ของสิ่งอำนวยความสะดวกแทนการใช้จุด Centroid เป็นจุดอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณค่าระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก โดยได้สร้างขั้นตอนวิธี (Algorithm) และสมการสำหรับคำนวณระยะเดินทางจริง (Actual Path) ที่เป็นค่าระยะทางที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงมากขึ้น มีการกำหนดใช้ค่าน้ำหนักความใกล้ชิด (Proximity weights) ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกคู่ต่าง ๆ ด้วยการแบ่งสเกลแบบ Exponential numbers ตามหลักการของ Fuzzy set ที่แปลงมาจากคะแนนความใกล้ชิด (Closeness Relationships) ตามที่ผู้จัดผังปรารถนา แบบจำลองปัญหา CSLP ที่พัฒนาขึ้นนี้จะหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย

วิธี Particle Swarm Optimization (PSO) ที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับปัญหาการกำหนดตำแหน่งนี้ ท้ายที่สุดของการพัฒนาคือโปรแกรมต้นแบบ (Prototype) ของแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบ PSO ได้ถูกโปรแกรมด้วย Microsoft Excel 2013 และชุดคำสั่งอัตโนมัติ (Macros) ซึ่งแบ่งส่วนประกอบออกเป็น ส่วนที่นำเข้าข้อมูลโจทย์ปัญหาและค่าพารามิเตอร์ของ PSO ส่วนการคำนวณตามขั้นตอนต่าง ๆ ของ PSO และส่วนที่แสดงผลลัพธ์ผังสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งทั้งหมดถูกบรรจุรวมอยู่ในไฟล์รูปแบบ .xlsx จำนวนหนึ่งไฟล์

แบบจำลองใหม่ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้วได้ถูกนำมาทดสอบในประเด็นต่างๆแบ่งเป็น 5 ประเด็นกับโจทย์ตัวอย่างโครงการก่อสร้าง เพื่อประเมินความถูกต้องของแผนผังผลลัพธ์และประสิทธิภาพของแบบจำลอง ได้ข้อสรุปแยกเป็นประเด็นดังนี้

ประเด็นที่ 1 ความถูกต้องของสมการคำนวณของแบบจำลอง พบว่าสมการคำนวณค่าตำแหน่งและเงื่อนไขต่าง ๆ ทั้งหมดของกระบวนการจัดผังสถานที่ก่อสร้างมีความถูกต้องแม่นยำทุกครั้ง โดยอ้างอิงกับผลการคำนวณด้วยมือ และ Algorithms ของการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี PSO ทำให้เกิดการพัฒนาของค่าคำตอบดีขึ้นเรื่อย ๆ ตามที่ออกแบบไว้

ประเด็นที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO ได้ผลค่าพารามิเตอร์สำคัญของ PSO ที่เหมาะสมสำหรับปัญหา ดังนี้ ค่า Swarm Size = 80 ตัว ค่า Max. Iteration = 30 รอบ และค่าสัมประสิทธิ์ w, c1, และ c2 = 3.0 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเหล่านี้ช่วยให้ได้คำตอบที่ดีในระยะเวลาที่รวดเร็ว ทำให้สามารถนำแบบจำลองไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประเด็นที่ 3 ผลของการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยวิธีการคำนวณระยะทาง Actual Path เปรียบเทียบกับ Euclidean ได้ผลว่าวิธีการคำนวณระยะทาง Actual Path ที่พัฒนา Algorithm ขึ้นใช้เองในการวิจัยนี้ ทำให้ได้ผังสถานที่ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริงมากกว่าวิธี Euclidean ที่นิยมใช้ในแบบจำลองของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยการจัดวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกจะมีแนวโน้มที่ยึดโยงกับเส้นทางถนนภายในที่ใช้เดินทางจริงในการปฏิบัติงาน มีผลต่อแนวการวางตัวและตำแหน่งทางเข้าออกที่เหมาะสมของสิ่งอำนวยความสะดวกด้วย

ประเด็นที่ 4 ผลของการกำหนดวิธีการหาคำตอบด้วย PSO เปรียบเทียบกับ GA ได้ผลที่ชี้ว่าการหาคำตอบด้วย PSO มีประสิทธิภาพดี และดีกว่า GA ที่นิยมใช้ในแบบจำลองของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งในด้านการให้คำตอบที่ดีสม่ำเสมอและดีกว่าและใช้ระยะเวลาดำเนินการที่สั้นกว่าด้วย

ประเด็นที่ 5 ผลของการนำไปใช้จัดผังสถานที่ของโครงการก่อสร้างจริงเปรียบเทียบกับผังที่เป็นอยู่ได้ผลที่ชี้ว่า Algorithm ที่พัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณ Actual Path สามารถให้ผลที่ถูกต้องในกรณีที่ถนนภายในซับซ้อนตามที่เป็นจริงได้ นอกจากนี้ยังแสดงว่าโปรแกรมสามารถจัดผังสถานที่ก่อสร้างได้ค่า Fitness ที่ดีกว่าผังที่เป็นอยู่ที่จัดโดยวิศวกร โดยเฉลี่ยประมาณ 10% ทั้งนี้ความแตกต่างนี้อาจขึ้นตรงกับความสามารถ

ของวิศวกรและความซับซ้อนและขนาดของโจทย์ โปรแกรมอาจให้ผลที่ดีแตกต่างมากกว่านี้กับโจทย์อื่นได้ ระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบค่อนข้างนานโดยเฉลี่ยประมาณ 17 ชั่วโมง จึงควรปล่อยให้โปรแกรมทำงานในช่วงนอกเวลาทำการของโครงการ เช่น ในเวลากลางคืนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในวันรุ่งขึ้นโดยไม่ต้องรอคอย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงอาจใช้งานโปรแกรมผสมร่วมกับวิศวกร คือนำผังผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมาปรับปรุงต่อโดยวิศวกร ก็จะทำให้ได้ผังที่ดียิ่งขึ้นได้

ผลลัพธ์ของการวิจัยนี้จึงทำให้ได้โปรแกรมต้นแบบของแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างอันใหม่ที่สามารถจำลองปัญหาตามสภาพความเป็นจริงได้ละเอียดสมจริงยิ่งขึ้น พร้อมทั้งมีวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น เพื่อนำไปใช้จัดผังสถานที่ของโครงการก่อสร้างให้ประสบความสำเร็จต่อไป

7.2 ข้อจำกัด

โปรแกรมต้นแบบ (Prototype) ของแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างด้วยวิธีการหาคำตอบ PSO ได้ถูกพัฒนาขึ้นบนโปรแกรมกระดานคำนวณ (Spreadsheet) ที่มีใช้กันอยู่แพร่หลาย ที่สามารถป้อนและบันทึกข้อมูลนำเข้าของโจทย์ ทำการคำนวณตามชุดโปรแกรมคำสั่งอัตโนมัติต่าง ๆ และแสดงข้อมูลผลลัพธ์เป็นค่าตำแหน่งพิกัดของสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และแผนผังสถานที่ก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการนำเข้าโจทย์ปัญหาหนึ่ง ๆ จำเป็นต้องป้อนข้อมูลค่าพิกัดและขนาดต่าง ๆ ของสิ่งอำนวยความสะดวก รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน PSO ให้ถูกต้องครบถ้วน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องทำด้วยความเข้าใจหรือต้องได้รับคำแนะนำประกอบการใช้จากผู้วิจัยผู้พัฒนาโปรแกรมด้วย นอกจากนี้โปรแกรมต้นแบบได้ถูกกำจัดขนาดของปัญหาไว้บางด้านเพื่อความเหมาะสมในการเขียนโปรแกรม ได้แก่ จำนวนแนวการวางตัวที่เป็นไปได้มีทั้งหมด 4 แนวฉาก จำนวน Particle สูงสุดที่มีได้ และการตัดสินใจเลือกเส้นเดินทางใน Algorithm ของ Actual Path เป็นต้น ซึ่งในทางปฏิบัติก็เพียงพอสำหรับปัญหาของโครงการก่อสร้างทั่วไปแต่ก็ยังสามารถปรับแก้โปรแกรมได้ตามที่ต้องการ โดยที่ไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงหลักการที่สำคัญแต่อย่างใด

โปรแกรมต้นแบบใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี PSO ซึ่งจะเป็นการค้นหาแบบสุ่ม (Metaheuristic and stochastic optimization) ภายในเซ็ตของคำตอบที่เป็นไปได้ ทำให้แผนผังคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้ง (Runtime) อาจไม่เหมือนกัน และใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการหยุดค้นหาคำตอบที่กำหนดให้ ดังการทดสอบในประเด็นเรื่องค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ปัญหานั้น ๆ จะช่วยให้คำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งสม่ำเสมอได้ และใช้ระยะเวลาไม่นานเกินไป อย่างไรก็ตามการจัดผังสถานที่ก่อสร้างเป็นภารกิจที่ทำเป็นครั้งคราวไม่ได้ทำอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ระยะเวลาในการหาคำตอบของโปรแกรมไม่ได้สร้างผลกระทบอย่างมีนัยยะสำคัญอย่างใด

คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากแบบจำลองอาจขึ้นอยู่กับตัวโจทย์ปัญหาอย่างมาก ซึ่งเป็นธรรมชาติของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่มีคำตอบที่เป็นไปได้และเงื่อนไขต่าง ๆ จำนวนมากมายมหาศาล ข้อสรุปทั่วไปที่ได้จากการทดสอบอาจจะไม่เป็นจริงสำหรับบางโจทย์ปัญหาได้ อย่างไรก็ตามคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ควรจะดีกว่าแผนผังที่จัดทำด้วยการพิจารณาของวิศวกรเองอย่างมาก ทิศทางและความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ควรเป็นไปอย่างสมเหตุสมผล

7.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไปคือ แบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นนี้ไม่ได้เป็นแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบที่สุด โดยในการสร้างแบบจำลองไม่ว่าอันใดก็ยังคงต้องมีสมมติฐานเป็นพื้นฐานในการพิจารณากับปัญหา ดังนั้นแบบจำลองคงนำไปใช้ได้ภายใต้ขอบเขตจำกัดกับกรณีที่เป็นไปตามสมมติฐานของแบบจำลองเท่านั้น เช่น การพิจารณาแบ่งพื้นที่ออกเป็นพิกัดกริดและการจำลองรูปร่างของสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นรูปประกอบสี่เหลี่ยม โดยการวิจัยต่อไปก็อาจนำข้อสมมติฐานของแบบจำลองนี้ไปพัฒนาปรับปรุงต่อไป

รูปลักษณ์ของโปรแกรมต้นแบบของแบบจำลองนี้เป็นไปเพื่อการวิจัย ยังคงมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User interface) ที่ไม่สวยงามเหมือนกับโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการค้า โดยเฉพาะไม่มีส่วนการคำนวณฟังก์ชันและการแสดงผลลัพธ์เป็นรูปกราฟต่าง ๆ อย่างอัตโนมัติสมบูรณ์ทั้งหมด แต่ต้องอาศัยการทำงานจากผู้ใช้ด้วยบางส่วน อย่างไรก็ตามการวิจัยต่อไปอาจเลือกที่จะพัฒนาโปรแกรมให้มีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ใช้งานได้สะดวกและสวยงามยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

Cheng, M., and J. O'Connor. 1996. "ArcSite: Enhanced GIS for Construction Site Layout." *Journal of Construction Engineering and Management* 122 (4): 329–36. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:4(329).

Easa, S., and K. Hossain. 2008. "New Mathematical Optimization Model for Construction Site Layout." *Journal of Construction Engineering and Management* 134 (8): 653–62. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:8(653).

Eberhart, Russ C., and James Kennedy. 1995. "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory." In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1:39–43. New York, NY. http://www.ppgia.pucpr.br/~alceu/mestrado/aula3/PSO_2.pdf.

El Rayes. 2009. "Dynamic Site Layout Planning Using Approximate Dynamic Programming." *Journal of Computing in Civil Engineering* 23 (2): 119–27. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(2009)23:2(119).

Elbeltagi, Emad, Tarek Hegazy, and Adel Eldosouky. 2004. "Dynamic Layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety." *Journal of Construction Engineering and Management* 130 (4): 534–41. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(534).

Hegazy, Tarek, and Emad Elbeltagi. 1999. "EvoSite: Evolution-Based Model for Site Layout Planning." *Journal of Computing in Civil Engineering* 13 (3): 198–206.

Li, H., and P. Love. 1998. "Site-Level Facilities Layout Using Genetic Algorithms." *Journal of Computing in Civil Engineering* 12 (4): 227–31. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(1998)12:4(227).

Li, Heng, and Peter ED Love. 2000. "Genetic Search for Solving Construction Site-Level Unequal-Area Facility Layout Problems." *Automation in Construction* 9 (2): 217–226.

Liggett, Robin S. 2000. "Automated Facilities Layout: Past, Present and Future." *Automation in Construction* 9 (2): 197–215. doi:10.1016/S0926-5805(99)00005-9.

Ma, Zhaoyang, Qiping Shen, and Jianping Zhang. 2005. "Application of 4D for Dynamic Site Layout and Management of Construction Projects." *Automation in Construction*,

International Conference for Construction Information Technology 2004, 14 (3): 369–81. doi:10.1016/j.autcon.2004.08.011.

Mawdesley, M., S. Al-jibouri, and H. Yang. 2002. “Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning.” *Journal of Construction Engineering and Management* 128 (5): 418–26. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:5(418).

Ning, Xin, and Ka Chi Lam. 2013. “Cost–safety Trade-off in Unequal-Area Construction Site Layout Planning.” *Automation in Construction* 32 (July): 96–103. doi:10.1016/j.autcon.2013.01.011.

Ning, Xin, Ka-Chi Lam, and Mike Chun-Kit Lam. 2010. “Dynamic Construction Site Layout Planning Using Max-Min Ant System.” *Automation in Construction* 19 (1): 55–65. doi:10.1016/j.autcon.2009.09.002.

———. 2011. “A Decision-Making System for Construction Site Layout Planning.” *Automation in Construction* 20 (4): 459–73. doi:10.1016/j.autcon.2010.11.014.

Osman, Hesham M., Maged E. Georgy, and Moheeb E. Ibrahim. 2003. “A Hybrid CAD-Based Construction Site Layout Planning System Using Genetic Algorithms.” *Automation in Construction* 12 (6): 749–764.

Park, Moonseo, Youngjun Yang, Hyun-Soo Lee, Sangwon Han, and Sae-hyun Ji. 2012. “Floor-Level Construction Material Layout Planning Model Considering Actual Travel Path.” *Journal of Construction Engineering and Management* 138 (7): 905–15. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000493.

Rilett, L., and D. Park. 2001. “Incorporating Uncertainty and Multiple Objectives in Real-Time Route Selection.” *Journal of Transportation Engineering* 127 (6): 531–39. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:6(531).

Sadeghpour, Farnaz, Osama Moselhi, and Sabah Alkass. 2004. “A CAD-Based Model for Site Planning.” *Automation in Construction* 13 (6): 701–15. doi:10.1016/j.autcon.2004.02.004.

Sanad, H., M. Ammar, and M. Ibrahim. 2008. “Optimal Construction Site Layout Considering Safety and Environmental Aspects.” *Journal of Construction Engineering and Management* 134 (7): 536–44. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(536).

Wang, H. J., J. P. Zhang, K. W. Chau, and M. Anson. 2004. "4D Dynamic Management for Construction Planning and Resource Utilization." *Automation in Construction* 13 (5): 575–589.

Xu, Jiuping, and Zongmin Li. 2012. "Multi-Objective Dynamic Construction Site Layout Planning in Fuzzy Random Environment." *Automation in Construction* 27 (November): 155–69. doi:10.1016/j.autcon.2012.05.017.

Yan, Xuesong, Can Zhang, Wenjing Luo, Wei Li, Wei Chen, and Hanmin Liu. 2012. "Solve Traveling Salesman Problem Using Particle Swarm Optimization Algorithm." *International Journal of Computer Science* 9 (2012): 264–271.

Yeh, I.-Cheng. 1995. "Construction-Site Layout Using Annealed Neural Network." *Journal of Computing in Civil Engineering* 9 (3): 201–208.

Zhang, Hong, and Jia Yuan Wang. 2008. "Particle Swarm Optimization for Construction Site Unequal-Area Layout." *Journal of Construction Engineering and Management* 134 (9): 739–48. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:9(739).

Zouein, P. P., H. Harmanani, and A. Hajar. 2002. "Genetic Algorithm for Solving Site Layout Problem with Unequal-Size and Constrained Facilities." *Journal of Computing in Civil Engineering* 16 (2): 143–151.

Zouein, P. P., and I. D. Tommelein. 1999. "Dynamic Layout Planning Using a Hybrid Incremental Solution Method." *Journal of Construction Engineering and Management* 125 (6): 400–408.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อสกุล : ดร. วชรภูมิ เบญจโอฬาร (Dr. Vacharapoom Benjaoran)

ตำแหน่ง : รองศาสตราจารย์

ที่อยู่หน่วยงานที่ติดต่อได้ : สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-224172, โทรสาร 044-224607
E-mail: vacharapoom@sut.ac.th

ประวัติการศึกษา :

2005 – Doctor of Philosophy in Construction Management and IT,
School of Science and Technology, University of Teesside, Middlesbrough, UK.

2002 –Master of Engineering in Construction Engineering and Management,
School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

1997 – Bachelor of Engineering in Civil Engineering Program,
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

รางวัล :

2002 – Research Studentship to pursue PhD in Construction Management and IT at School of Science and Technology, University of Teesside, UK.

2002 – Mahesh Varma Prize awarded for the most outstanding academic performance among graduating master's students in Construction Engineering and Management Program.

2000 – AIT-STAR Foundation full scholarship to pursue Master'sDegree at School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Thailand.

1997 – Second Honour, Civil Engineering Program, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Thailand.

ประสบการณ์ทำงาน :

2007 to present Full-time lecturer, School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

2005 – 2007 Full-time lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, Thailand.

2002 – 2005 Research Assistant, Centre for Construction Innovation and Research (CCIR), University of Teesside, Middlesbrough, UK.

1997 – 2000 Civil Engineer, Italian-Thai Development Public Company Limited, Bangkok, Thailand.

หัวข้อวิจัยที่สนใจ :

- Artificial intelligence, optimization, simulation, visualization and process modeling;
- Information and communication technology for construction industry;
- Cost accounting and control;
- Material waste reduction;

ผลงานทางวิชาการ :

[1] Benjaoran, V., Tabyang, W., and Sooksil, N. (2015) "Precedence relationship options for the resource levelling problem using a genetic algorithm" Construction Management and Economics, 33(9), 711-723.

[2] Tabyang, W. and Benjaoran, V. (2015) "Modified finance-based scheduling model with variable contractor-to-subcontractor payment arrangement" KSCE Journal of Civil Engineering, 20(5), 1621-1630.

[3] Benjaoran, V. and BhoKha, S. (2014) "Three-Step Solutions for Cutting Stock Problem of Construction Steel Bars." Korean Society of Civil Engineers Journal of Civil Engineering, 18(5), 1239-1247.

[4] Benjaoran, V. and Tabyang, W. (2013) "Construction Resource-Constrained Scheduling with Alternative Relationships Compared with the Conventional Method." The 2nd

International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM), September 23-25, 2014, Yogyakarta, Indonesia.

[5] Benjaoran, V. and Bhokha, S. (2013) "Cutting pattern generation for reinforcement bars using Intensive Search Algorithm." The Thirteenth East Asia-Pacic Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), September 11-13, 2013, Sapporo, Japan.

[6] Benjaoran, V. and BhoKha, S. (2009) "Enhancing visualization of 4D CAD model compared to conventional methods." Engineering, Construction and Architectural Management, 16(4), 392-408.

[7] Benjaoran, V. (2009) "A cost control system development: A collaborative approach for small and medium-sized contractors." International Journal of Project Management, 27(3), 270-277.

[8] วชรภูมิ เบญจโอษาร (2009) เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการบริหารงานก่อสร้าง (Construction Management), สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 180 หน้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี