แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยงานก่อสร้าง และลดผลกระทบการจราจรของงานซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ

นางสาววิชยา ริงคะนานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2562

4D CAD MODEL FOR CONSTRUCTION SAFELY MANAGEMENT AND TRAFFIC IMPACT REDUCTION AT INTERCHANGE MAINTENANCE PROJECTS

Whichay Ringkananont

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Construction and Infrastructure Management

Suranaree University of Technology

Academic Year 2019

แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยงานก่อสร้าง และลดผลกระทบการจราจรของงานซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์)
ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอพาร)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ

(ผศ. ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
กรรมการ

(ผศ. ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิชยา ริงคะนานนท์ : แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยงานก่อสร้าง และลดผลกระทบการจราจรของงานซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (4D CAD MODEL FOR CONSTRUCTION SAFELY MANAGEMENT AND TRAFFIC IMPACT REDUCTION AT INTERCHANGE MAINTENANCE PROJECTS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอพาร, 99 หน้า.

โครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับมีการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อนมากกว่าการซ่อมบำรุงถนนทั่วไป เนื่องจากพื้นที่โครงการมีความต่างระดับทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ทำงานของเครื่องจักร และมีกระแสจราจรสัญจรผ่านพื้นที่ จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุต่อผู้ปฏิบัติงานและเกิดผลกระทบต่อการจราจร

การศึกษานี้จึงสร้าง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และสามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ก่อสร้างในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง เพื่อกำหนดมาตรการจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจรอย่างเหมาะสมในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ

ซึ่งพบว่า 4D CAD ที่สร้างขึ้นสามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุง ที่เกิดจากการใช้พื้นที่ของเครื่องจักรขนาดใหญ่อย่างรถเครนและการเข้าออกพื้นที่ของรถบรรทุก ซึ่งทับซ้อนกับการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบและช่องจราจรข้างเคียงรวมถึงช่องจราจรด้านล่างของโครงสร้างของทางแยกต่างระดับ และ 4D CAD แสดงภาพเหตุการณ์ของพื้นที่ก่อสร้างในอนาคตทำให้เห็นความจำเป็นต้องปิดช่องจราจรอื่น ๆ นอกเหนือจากช่องจราจรที่ทำการซ่อมบำรุง ซึ่งผู้วางแผนโครงการสามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบนั้น ๆ ทำให้สามารถปรับแผนการดำเนินงานโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวให้มีความเหมาะสมกับช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ก่อนที่จะเริ่มดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถจัดเตรียมงบประมาณในการดำเนินโครงการได้อย่างเพียงพอในการจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ทำให้บริหารโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

WHICHAYA RINGKANANONT : 4D CAD MODEL FOR CONSTRUCTION SAFELY MANAGEMENT AND TRAFFIC IMPACT REDUCTION AT INTERCHANGE MAINTENANCE PROJECTS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VACHARAPOOM BENJAORAN, Ph.D., 99 PP.

D CAD MODEL/SAFETY MANAGEMENT/ROAD MAINTENANCE PROJECTS/ INTERCHANGE

The interchange maintenance projects are more complicated than the general road maintenance since the site area has different elevations and the current traffic flows through the area. Such constraints on the working space create a risk of accidents to workers and the negative impacts on traffic.

Therefore, this study created a 4D CAD to visualize the risk of accidents and the impact on traffic at different project times. Also, it can visualize changes in the area at different times according to the maintenance procedures. This tool assists a project manager to determine appropriate safety management measures and reduce traffic impact in road maintenance projects at interchange.

The results showed that the 4D CAD is able to demonstrate the risk of accidents and impact on traffic during the maintenance project caused by the use of large types of machinery such as cranes and trucks. Their working spaces overlap with the surrounding land uses, and the lanes adjacent and below the constructing parts of the interchange structure. The project planner can visualize these risks of accidents and impacts. The 4D CAD developed in this study makes it possible to adjust the construction schedule for the maintenance project and to wisely close the

lanes affected by the construction at different project time even before starting the project. This also helps to allocate a sufficient budget for safety management and to reduce the impact on current traffic. All results in the effective management of the interchange maintenance project.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Construction and Infrastructure Management Student's Signature _____

Academic Year 2019 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิ เช่น

- รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

- ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ประธานหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค และกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำปรึกษาชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

- รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์ ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำปรึกษาชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

- คุณวิสิษฐ์ กุลอริยทรัพย์ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานด้านเอกสารต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ ครู คณาจารย์ ทุกท่านที่ได้สั่งสอนประสิทธ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้วิจัย จนประสบผลสำเร็จในวันนี้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ อบรม เลี้ยงดูด้วยความรัก และ ส่งเสริมทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

วิชยา ริงคะนานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ง

สารบัญ..... จ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูป..... ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 คำถามของการวิจัย..... 3

1.4 สมมติฐานของการวิจัย..... 3

1.5 ขอบเขตการวิจัย..... 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 5

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 4D CAD..... 6

2.1.1 ความหมายของแบบจำลอง 4 มิติ และการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้าง..... 6

2.1.2 ขั้นตอนการสร้าง 4D CAD..... 7

2.1.3 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการสร้างและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD..... 10

2.1.3.1 4D CAD กับโครงการก่อสร้างอาคาร..... 10

2.1.3.2 4D CAD กับโครงการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค..... 12

2.2. การจัดการความปลอดภัย (Safety Management) ในการก่อสร้าง..... 15

2.2.1 การตรวจสอบความปลอดภัยทางถนนระหว่างการก่อสร้าง..... 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1.1 การตรวจสอบลักษณะทั่วไปในเขตพื้นที่ก่อสร้าง....16
2.2.1.2 การควบคุมและจัดการจราจร....16
2.2.1.3 อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยชั่วคราว....16
2.2.1.4 ทางเชื่อมเดิมและประชาชนบริเวณโดยรอบ....17
2.2.1.5 ความปลอดภัยในเวลากลางคืน....17
2.3 ค่าพารามิเตอร์การจราจร การสำรวจและวิธีการสำรวจปริมาณจราจร....17
2.3.1 ค่าพารามิเตอร์การจราจร....17
2.3.1.1 ความล่าช้า (Delay Time)....17
2.3.1.2 ความเร็ว (Speed)....17
2.3.1.3 ระยะเวลาเดินทาง (Travel Time)....18
2.3.2 การสำรวจปริมาณการจราจร....19
2.3.2.1 วัตถุประสงค์....19
2.3.2.2 ประโยชน์ของข้อมูลปริมาณจราจร....19
2.3.2.3 ชนิดของปริมาณการจราจร....19
2.3.2.4 คุณลักษณะของปริมาณการจราจร....20
2.3.2.5 การสำรวจหาค่าปริมาณการจราจร....22
2.3.3 วิธีการสำรวจปริมาณจราจร....23
2.3.3.1 สำรวจโดยใช้คนนับ (Manual Counts)....24
2.3.3.2 การสำรวจโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical Counts)....24
2.3.3.3 การสำรวจโดยใช้ภาพถ่าย (Photographic Techniques)....24
2.3.3.4 การสำรวจโดยวิธีการเคลื่อนที่ของรถ (Moving Vehicles Method)....23
3 ระเบียบการวิจัย....28
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย....28
3.2 การกำหนดพื้นที่ศึกษา....36
3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย....38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 38
3.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล 39
3.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัย 39
3.7 การสรุปผลทางการศึกษาและข้อเสนอแนะ 40
4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล 42
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุดในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ 42
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณหาอัตราการไหล (Flow) 42
4.1.2 การกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ 50
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 57
4.1.4 ผลคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด 58
4.2 การสร้าง 4D CAD 59
4.2.1 การแสดงผลของ 4D CAD 59
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 68
5.1 การพัฒนาวิธีคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AIMSUN® 68
5.2 การพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ 69
5.3 การเสนอมาตรการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ 81
5.4 ข้อเสนอแนะ 94
รายการอ้างอิง 95
ประวัติผู้เขียน 99

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่า Passenger Car Unit (PCU).....22
2.2 สัมประสิทธิ์เปรียบเทียบรถยนต์นั่ง (Passenger Car Equivalent).....22
4.1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันธรรมดา 43
4.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันหยุดสุดสัปดาห์.....45
4.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันเริ่มวันหยุดนักขัตฤกษ์.....47
4.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันสิ้นสุดวันหยุดนักขัตฤกษ์.....49
4.5 แผนงาน A เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ 55
4.6 แผนงาน B เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก 56
4.7 แผนงาน C ช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากทิศตะวันตกและช่วงบ่าย
ให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ 57
4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น
ที่สุดในสภาพโครงข่ายถนนปกติที่ไม่มีการปิดกั้นช่องจราจร กับผลการ
วิเคราะห์ปริมาณจราจร ฯ ในขณะมีการปิดกั้นช่องทางจราจร
ตามแผนซ่อมบำรุง A B และ C.....57
5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ
ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ 71
5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ
ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ 82

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ลักษณะภูมิประเทศ และการใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบทางแยกต่างระดับ....4
3.1 กรอบแนวคิด....29
3.2 ลักษณะการแสดงผลของโปรแกรม Aimsun® 34
3.3 การแสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจรในโปรแกรม Aimsun® 35
3.4 ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบและทิศทางการจราจร ของทางแยกต่างระดับนครราชสีมาที่ได้รับผลกระทบ 37
4.1 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันธรรมดา 43
4.2 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันธรรมดา....44
4.3 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันหยุดสุดสัปดาห์....45
4.4 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันหยุดสุดสัปดาห์....46
4.5 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันเริ่มวันหยุดนักขัตฤกษ์ 47
4.6 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันเริ่มวันหยุดนักขัตฤกษ์ 48
4.7 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันสิ้นสุด วันหยุดนักขัตฤกษ์ 49
4.8 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันสิ้นสุดวันหยุดนักขัตฤกษ์....50
4.9 โครงสร้างฐานรากที่มีส่วนประกอบเป็นดินอัดแน่นและมีกำแพงกันดิน 52
4.10 โครงสร้างเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยกลอย....52
4.11 การแสดงผลของ 4D CAD โครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ช่วงเช้าวันที่ 23 ถึงวันที่ 34....63
4.12 การแสดงผลของ 4D CAD โครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ช่วงบ่าย วันที่ 23 ถึงวันที่ 34....66
4.13 การแสดงผลของ 4D CAD ให้เห็นผลกระทบต่อการจราจรในช่องจราจรข้างเคียง....67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเติบโตทางเศรษฐกิจและความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอย่างเร่งรุดในปัจจุบัน ได้ก่อให้เกิดความต้องการเดินทางเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ มากมาย ส่งผลให้การคมนาคมขนส่งเติบโตขึ้นอย่างก้าวกระโดด มีความต้องการระบบโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานเพื่อรองรับความต้องการเดินทางหลากหลายรูปแบบ เช่น โครงข่ายถนน โครงข่ายระบบราง สนามบิน และท่าเรือน้ำลึก ซึ่งโครงข่ายถนนเป็นโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานหลักที่รองรับการคมนาคมขนส่งในปัจจุบัน จึงมีปริมาณยานพาหนะเดินทางบนท้องถนนในเขตเมืองและถนนสายหลักที่เชื่อมต่อระหว่างเมืองอย่างหนาแน่น เมื่อมีการเปิดใช้งานถนนได้ระยะเวลาหนึ่งจึงจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงให้ถนนอยู่ในสภาพพร้อมให้บริการ แต่ในการดำเนินโครงการซ่อมบำรุงถนนนั้นแตกต่างจากการดำเนินโครงการก่อสร้างถนน เนื่องจากในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงถนนจะมีกระแสจราจรเดินทางผ่านพื้นที่ดำเนินโครงการตลอดเวลา ทำให้การดำเนินโครงการซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานที่ซับซ้อนอยู่แล้ว นั้น มีความเสี่ยง และส่งผลกระทบต่อประชาชนในวงกว้างมากกว่าโครงการก่อสร้างถนน โดยเฉพาะบริเวณทางแยกต่างระดับซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญภายในโครงข่ายถนน เนื่องจากช่วยขจัดจุดตัดของกระแสจราจรบริเวณทางแยกที่มีการจราจรหนาแน่น ทำให้กระแสจราจรสามารถสัญจรผ่านทางแยกนั้น ๆ ได้อย่างปลอดภัยและคล่องตัว ซึ่งในขณะซ่อมบำรุงบริเวณทางแยกต่างระดับนอกจากเกิดการทับซ้อนกันของพื้นที่ระหว่างรถที่สัญจรผ่านกับเครื่องมือเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้ในการซ่อมบำรุงแล้ว ยังมีความต่างระดับของโครงสร้างบริเวณทางแยกที่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ อีกด้วย ซึ่งการทับซ้อนกันของพื้นที่ดังกล่าวก่อให้เกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุดังเช่น อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2561 เวลาประมาณ 17.00 น. บนทางหลวงหมายเลข 2 ถนนมิตรภาพ ช่วง กม. 81-81 ต.หนองสาหร่าย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษหมายเลข 6 บางปะอิน-สระบุรี-นครราชสีมา โดยลักษณะการเกิดเหตุ ได้มีรถปั๊มบริษัทรับเหมาก่อสร้างถอยรถไปชนเสาไฟฟ้าบริเวณหน้างาน ทำให้ไฟฟ้าล้มและไม้คอยสายไฟได้หลุดไปบริเวณกลางถนน ในขณะนั้นได้มีรถยนต์วิ่งมาชนไม้คอยสาย รถพังยับและมีผู้บาดเจ็บสาหัส 3 คน จะเห็นว่าจากอุบัติเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นมูลค่าสูง ดังนั้น ผู้วางแผน

โครงการจึงจำเป็นต้องมองเห็นภาพของผลกระทบต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการปิดช่องทางจราจรที่ทำการซ่อมบำรุง ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้หลายกรณี เช่น ทำให้เกิดคอขวดบริเวณที่ปิดช่องทาง หรือการใช้พื้นที่ช่องจราจรข้างเคียงในการทำงานของเครื่องจักร เศษวัสดุก่อสร้างตกจากที่สูงลงมาถูกรถที่สัญจรอยู่ด้านล่าง และความเสี่ยงต่อผู้ปฏิบัติงานจากความต่างระดับของพื้นที่ปฏิบัติงาน เป็นต้น ทำให้เกิดความเสียหายที่รุนแรง เพื่อให้สามารถวางแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับได้อย่างเหมาะสมผู้วางแผนอาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น CORSIM® VISSIM® หรือ AIMSUN® ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการจราจรที่ได้รับผลกระทบ (Clara Fang and Elefteriadou, 2005; Moridpour, Mazloumi1, and Mesbah, 2015; Černický, Kalašová, and Kapusta. 2016; Wang, Kong, Fu, and Stipancic, 2017) เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกแผนการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุด แต่โปรแกรมดังกล่าวมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งานตามขั้นตอนการซ่อมบำรุงที่เกิดการทับซ้อนกันของพื้นที่ได้ ทำให้ไม่สามารถกำหนดแผนการซ่อมบำรุงและมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมได้ แบบจำลอง 4D CAD จึงเป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้กำจัดข้อจำกัดดังกล่าวได้ ดังนั้นหากมีการนำแบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD ที่สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแสดงภาพของการดำเนินงานโครงการได้ทุกขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปรงเชิงพื้นที่ตามตารางดำเนินงานตั้งแต่ก่อนเริ่มปฏิบัติงานจริง ซึ่งช่วยให้ผู้วางแผนโครงการสามารถคาดการณ์และวางแผนรับมือกับความเสี่ยงต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ก็จะสามารถป้องกันหรือช่วยลงความรุนแรงของผลกระทบและอุบัติเหตุที่มีมูลค่าความเสียหายสูงที่อาจจะเกิดขึ้นลงได้

การศึกษานี้ จึงต้องการพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ซึ่งเป็นแบบจำลอง 4 มิติ ที่ผนวกลักษณะทางกายภาพของทางแยกต่างระดับเข้ากับแผนปฏิบัติงานของโครงการซ่อมบำรุง สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการแสดงภาพจุดเสี่ยงที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินงานตามขั้นตอนต่าง ๆ ก่อนเริ่มดำเนินโครงการจริง เป็นข้อมูลในการจัดการความปลอดภัยในโครงการ สำหรับผู้วางแผนโครงการใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการซ่อมบำรุงและมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ที่สัมพันธ์กับปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1.2.1 พัฒนาวิธีคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AIMSUN®

1.2.2 พัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AutoDesk Navisworks®

1.2.3 เสนอมาตรการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ที่สัมพันธ์กับปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งาน และสอดคล้องกับแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่เหมาะสมที่สุด เพื่อกำจัดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่ 4D CAD แสดงให้เห็นก่อเริ่มดำเนินงานจริง

1.3 คำถามของการวิจัย

1.3.1 การคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด จะสามารถวิเคราะห์จากพารามิเตอร์การจราจรใดบ้าง

1.3.2 จะพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุงได้จากเครื่องมือใดบ้าง

1.3.3 จุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับจะมีความเสี่ยงแบบใดบ้าง และมีมาตรการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมกับการป้องกันหรือกำจัดจุดเสี่ยงเหลานั้นอย่างไรบ้าง

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

1.4.1 กำหนดพารามิเตอร์การจราจร 3 ตัว ที่ใช้คัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time)

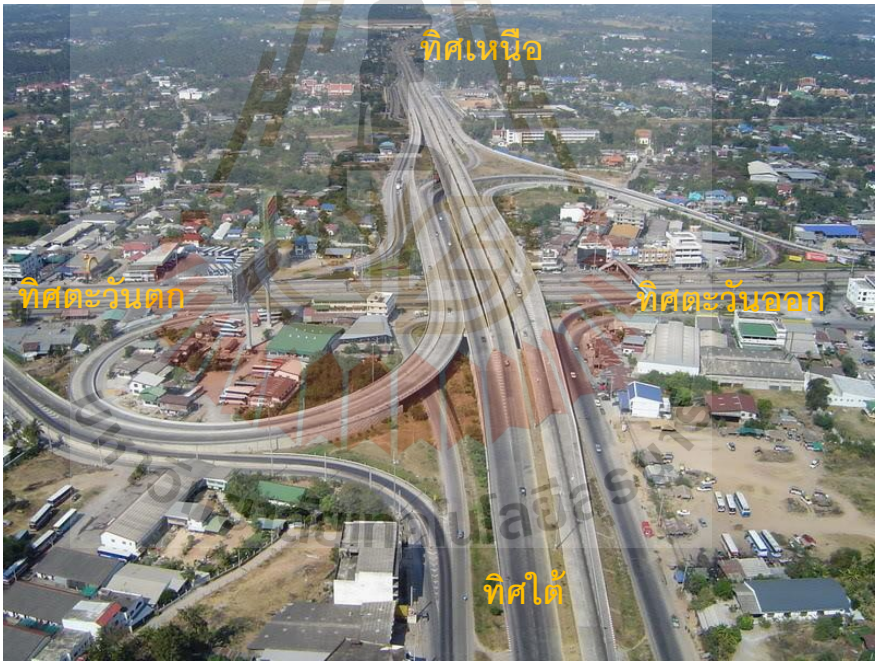
1.4.2 พัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AutoDesk Navisworks® โดยการนำเข้าแบบจำลอง 3 มิติ ของลักษณะทาง

กายภาพของทางแยกต่างระดับ และนำเข้าแผนการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด

1.5 ขอบเขตการวิจัย

แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจร ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ มีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1.5.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ ขอบเขตพื้นที่ทำการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ทางแยกต่างระดับนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย เป็นกรณีศึกษา ซึ่งเป็นทางแยกต่างระดับที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาปกติในวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และการจราจรติดขัดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ มีสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน รวมถึงมีลักษณะภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบทางแยกต่างระดับที่หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลักษณะภูมิประเทศ และการใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบทางแยกต่างระดับนครราชสีมา

1.5.2 ประเภทของยานพาหนะที่ศึกษา เนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีลักษณะการใช้ประโยชน์ของพื้นที่อย่างหลากหลาย ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ จึงพิจารณายานพาหนะทุกประเภท ได้แก่ รถเก๋ง รถปิคอัพ รถตู้/เอนกประสงค์ รถบรรทุก รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถจักรยานยนต์

1.5.3 การศึกษาครั้งนี้ เป็นการสร้างแบบจำลองและพยากรณ์ปริมาณต่าง ๆ ทางด้านวิศวกรรมจราจร โดยอาศัยข้อมูลจากกระแสจราจรในช่วงการไหลอิสระ (Uncongested Flow)

1.5.4 การศึกษานี้ เป็นการสร้างแบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน ลักษะการใช้ประโยชน์ที่ดินข้างถนน และตารางเวลาดำเนินงานโครงการซ่อมบำรุงถนน

1.5.5 การศึกษาครั้งนี้ ยังมีข้อจำกัดในการนำมาตราการการจัดการความปลอดภัยที่ได้ไปทดลองใช้กับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวยังเป็นเพียงแผน การซ่อมบำรุงที่คาดการณ์ว่าจะดำเนินการในอนาคต

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากแบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจร ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ มีดังนี้

1.6.1 เป็นแนวทางในการพัฒนาหรือเลือกใช้เครื่องมือสำหรับคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดได้

1.6.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาหรือเลือกใช้เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดมาตรการลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อประชาชนที่พักอาศัยบริเวณโดยรอบโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับและผู้ใช้รถใช้ถนนได้

1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาหรือเลือกใช้เครื่องมือในการวางแผนและกำหนดมาตรการจัดการความปลอดภัยในโครงการก่อสร้าง รวมถึงโครงการซ่อมบำรุงอาคารต่าง ๆ และโครงข่ายสาธารณูปโภคอื่น ๆ ได้

1.6.4 เป็นแนวทางในการวางแผนจัดเตรียมงบประมาณ เพื่อบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในการดำเนินงานโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ จะเป็นการทบทวนพื้นฐานทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. ความหมายของแบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD การนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้าง และขั้นตอนการสร้าง 4D CAD
2. การจัดการความปลอดภัย (Safety Management) ในการก่อสร้าง
3. ทฤษฎีค่าพารามิเตอร์การจราจร การสำรวจและวิธีการสำรวจปริมาณจราจร

2.1. 4D CAD

2.1.1 ความหมายของแบบจำลอง 4 มิติ และการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้าง

การศึกษาครั้งนี้ให้ความหมายของ 4D CAD หรือแบบจำลอง 4 มิติ ว่าคือ “แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากการนำแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลเชิงพื้นที่ทางวิศวกรรมมาผนวกเข้ากับตารางเวลาการปฏิบัติงาน ซึ่งทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ดำเนินโครงการก่อสร้างที่สัมพันธ์กับตารางเวลาการปฏิบัติงาน”

โดยที่ผ่านมานั้น มีการให้ความหมายที่พบจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องว่า 4D CAD เป็นแบบจำลอง ที่สร้างขึ้นโดยบูรณาการการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลเชิงพื้นที่ทางเข้ากับตารางเวลาการก่อสร้าง (Jongeling and Olofsson, 2007; Hartmann, Gao, and Fischer, 2008) และโครงการก่อสร้างหลายโครงการได้นำ 4D CAD มาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง เช่น การสร้างภาพจำลองในขั้นตอนของการออกแบบสำหรับใช้ในการนำเสนอโครงการสู่สาธารณะชน เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตของโครงการ และใช้ประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารในขั้นตอนตรวจสอบการออกแบบ การประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับเตรียมการเสนอราคาและการจัดซื้อจัดจ้าง (Kassem, Dawood, and Chavada, 2015; Hartmann, Gao, and Fischer, 2008) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความก้าวหน้าในระหว่างดำเนินการก่อสร้าง

(Hartmann and Fischer, 2007) การจัดการระบบในไซต์งานก่อสร้าง (Chau, Anson, and Zhang, 2004) การจัดตารางเวลาการทำงาน และวางแผนบริหารจัดการด้านพื้นที่ รวมถึงระบุรายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ดำเนินโครงการ (Jongeling and Olofsson, 2007) และยังใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ประมาณการต้นทุนการก่อสร้าง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงของโครงการหรือกำหนดมาตรการเพื่อแก้ไขปัญหาด้านความปลอดภัยตามบริบทของโครงการ (Zhou, Whyte and Sacks, 2012)

2.1.2 ขั้นตอนการสร้าง 4D CAD

สำหรับขั้นตอนการสร้าง 4D CAD จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาขั้นตอนการสร้าง 4D CAD ในหลากหลายวิธี เช่น การใช้ 4D CAD แสดงภาพ 3 มิติ ในส่วนของข้อมูลทางวิศวกรรม เช่น ข้อมูลเชิงพื้นที่ของไซต์งานก่อสร้างและตารางปฏิบัติงานก่อสร้าง ด้วยการใช้เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามความเหมาะสมกับโครงการ นั้น ๆ ซึ่งแบบจำลอง 4D ยังช่วยให้เข้าใจกระบวนการก่อสร้างได้ง่ายขึ้นมากกว่าแบบ 2D และการวางแผนตารางเวลาปฏิบัติงานแบบเดิม (Webb and Haupt, 2003; Heesom and Mahdjoubi, 2004; Jongeling and Olofsson, 2007; Hartmann, Gao, and Fischer, 2008) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม AutoCAD ที่แสดงสถานที่ตั้ง ลักษณะและชิ้นส่วนต่าง ๆ ขององค์ประกอบอาคาร ร่วมกับการวางแผนกระบวนการทำงานโดยใช้เส้นดุลยภาพ แล้วกำหนดรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างเป็นแบบจำลอง 4 มิติ ร่วมกับโปรแกรม MS Excel และ DYNA Project ซึ่งเป็นการจำลองกระบวนการทำงานโดยใช้เส้นดุลยภาพกับ 4D CAD ใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนกำหนดตารางเวลาปฏิบัติงานตามกระบวนการทำงาน หรือการระบุพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหารวมถึงช่วงเวลาที่จะเกิดขึ้น และการแก้ปัญหาในช่วงเวลานั้น (Jongeling and Olofsson, 2007) โครงการก่อสร้างอื่น ๆ ได้ใช้ 4D CAD เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนต่าง ๆ ในการดำเนินงาน เช่น การแสดงภาพของการออกแบบเพื่อการตลาดในการประชาสัมพันธ์โครงการและการสื่อสารการทบทวนการออกแบบการประมาณราคาสำหรับการเตรียมการประมูลและการจัดซื้อ ทำให้มั่นใจได้ว่าแบบจำลอง CAD 4D มีไว้เพื่อให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างสามารถประสานงานกันได้อย่างมีอย่างมีประสิทธิภาพในกิจกรรมการทำงานต่าง ๆ ที่คาดการณ์ไว้ (Hartmann, Gao, and Fischer, 2008; Vacharapoom Benjaoran and Sdhabhon Bhokha, 2009) ใช้ในการตรวจสอบความก้าวหน้าของการทำงานของโครงการก่อสร้าง และการประยุกต์ใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้กล่าวถึงข้อดีของการใช้ 4D CAD ในระหว่างการวางแผนโครงการการก่อสร้าง เช่น แบบจำลอง 4D เป็นเครื่องมือที่แสดงข้อมูลที่ใช้ในการสนับสนุนนักวางแผนในกระบวนการระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นก่อนเริ่มการก่อสร้างจริง ด้วยการแสดงให้เห็นโครงการก่อสร้างที่จะดำเนินการ

ตามตารางการปฏิบัติงาน (Hartmann and Fischer, 2007) ยังมีการใช้ 4D CAD ในการสร้างภาพเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการพื้นที่ก่อสร้าง (Chau, Anson, and Zhang, 2004) รวมถึงมีการใช้งานการสร้างภาพข้อมูล 4D โดยเริ่มรวมตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติมลงในแบบจำลอง 4 มิติเหล่านี้ เช่น ต้นทุนการก่อสร้าง ความเสี่ยงของโครงการ หรือปัญหาด้านความปลอดภัย (Zhou, Whyte and Sacks, 2012) บางครั้งโมเดลดังกล่าวจะเรียกว่าเป็นแบบจำลอง 5D (Popov, Juocevicius, Migilinskas, Ustinovichius and Mikalauskas, 2010) หรือแม้แต่รุ่น nD (Ding, Zhou, Luo and Wu, 2012) และยังมีการใช้แบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลรายละเอียดองค์ประกอบทางกายภาพของโครงสร้าง สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของโครงการ ผนวกกับตารางเวลาที่ได้จากการวางแผนตารางเวลาปฏิบัติงานด้วยวิธี CPM แล้วสร้างขึ้นเป็น 4D CAD ด้วย Autodesk's Architectural (Russell, French, Tran, and Wong, 2009) มีการพัฒนาการสร้าง 4D CAD ของโครงการด้วย AutoCAD Architecture และ Microsoft Project จากข้อมูลรายละเอียดกิจกรรม ต่าง ๆ ในงานก่อสร้างของโครงการ ร่วมกับแผนงานโครงการที่กำหนดระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ จนเสร็จสิ้นโครงการ และข้อมูลมาตรฐานมาตรการด้านความปลอดภัยสำหรับการทำงานในกิจกรรมต่าง ๆ ในงานก่อสร้าง (Vacharapoom Benjaoran and Sdhabhon Bhokha, 2010) อีกทั้งยังมีการพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD โดยการรวมแบบจำลอง 3 มิติ หรือ 3D CAD เข้ากับตารางเวลาปฏิบัติงาน ด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์สำเร็จรูปต่าง ๆ สำหรับสร้าง 4D CAD แม้ว่าโปรแกรมเหล่านี้จะแตกต่างกันในฟังก์ชั่นของสำหรับการสร้างแบบจำลอง ในรวมตารางเวลาปฏิบัติงานและแบบจำลอง 3 มิติ เข้าด้วยกันได้ ซึ่งการใช้โปรแกรม Jet Stream v5 เป็นแพลตฟอร์มสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ในอีกวิธีการหนึ่ง Jet Stream เดิมได้รับการพัฒนาโดย Navisworks ในเครือ Autodesk เพื่อให้ทำงานเป็นแพลตฟอร์มแบบบูรณาการในการแปลงรูปแบบ 3D CAD และตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการก่อสร้างเป็นไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ที่ Jet Stream สามารถประมวลผลได้แบบจำลอง 3 มิติ ที่ใช้ สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Revit Suite 2008 ผลิตโดย Autodesk ดังนั้นการแปลงของแบบจำลอง 3D เป็นไฟล์ที่มีรูปแบบที่ Jet Stream สามารถทำได้โดยใช้ฟังก์ชั่นการส่งออกของ Revit อย่างไรก็ตามตารางเวลาปฏิบัติงานที่สร้างขึ้นจากข้อมูลกิจกรรมทั้งหมดในโครงการก่อสร้าง จำเป็นต้องมีการแปลงหลายครั้งขั้นตอนในการนำเข้าสู่ Jet Stream โดยการกำหนดการส่งออกไปยังรูปแบบสเปรดชีต Microsoft Excel กล่องเครื่องมือประมวลผลภาพ MATLAB ใช้สำหรับข้อเสนอวิธีการประมวลผลภาพและอัลกอริทึมรวมอยู่ในวิธีการโดยรวม เพื่อสร้างตารางเวลาปฏิบัติงานก่อสร้างใน Excel โดยตารางเวลาปฏิบัติงานก่อสร้างในรูปแบบ Excel จะถูกนำเข้าเข้าสู่แพลตฟอร์มการจัดการตารางการก่อสร้าง เช่น Primavera หรือรูปแบบ Microsoft Excel ได้รับการออกแบบให้ข้อมูลการตั้งเวลาสามารถนำเข้าต่อเนื่องเพื่อการตั้งเวลาโปรแกรมซอฟต์แวร์ โปรแกรมการตั้งเวลาสามารถบันทึก

ตารางเวลาได้ในรูปแบบไฟล์ของตัวเองเพื่อใช้ในภายหลัง จากนั้นนำเข้าตารางเวลาปฏิบัติงานใน Jet Stream ด้วยโปรแกรมของ Microsoft และข้อมูลเกี่ยวกับแต่ละกิจกรรมจากไฟล์ MS-Project เช่น ชื่อกิจกรรม ระยะเวลาวันที่เริ่มต้น และวันที่เสร็จสิ้น จะถูกนำเข้าไปยัง Jet Stream เมื่อแพลตฟอร์ม Jet Stream มีข้อมูลกำหนดเวลาทั้งสองและแบบจำลอง 3 มิติ จากนั้นจับคู่ข้อมูลเวลาแต่ละชิ้นกับคู่ของแบบจำลอง ซึ่งสามารถแสดงผล 4D CAD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับอีกวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในโครงการปรับปรุงสถานีรถไฟขนาดใหญ่และโครงการส่วนต่อขยายในประเทศเนเธอร์แลนด์ (Trebbe, Hartmann and Dorée, 2015) มีวิธีการดังนี้ เนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ในโครงการก่อสร้างเกี่ยวข้องกับทีมงานจำนวนมากตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งในภาพรวมแล้วโครงการได้รับการจัดการโดยผู้รับเหมาหลักที่รับผิดชอบในการจัดตำแหน่งและประสานงานการก่อสร้างทั้งหมด นอกจากผู้รับเหมาหลักแล้ว ยังมีรับเหมาช่วงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง จึงใช้เทคโนโลยี 4D CAD เพื่อสนับสนุนการประสานงานของทีมงานทั้งหมด เพราะระหว่างการก่อสร้างสถานีรถไฟจะต้องสามารถให้บริการได้ตลอดเวลา จึงต้องมีการวางแผนกิจกรรมการก่อสร้างอย่างละเอียดโดยคำนึงถึงความปลอดภัยและแผนการดำเนินกิจกรรมการก่อสร้างจำนวนมากจะต้องสอดคล้องกับตารางเดินรถไฟพร้อมกับสภาพพื้นที่ที่จำกัด ทำให้มีการจำกัดสถานที่สำหรับวางอุปกรณ์ก่อสร้าง เพราะความซับซ้อนเหล่านี้จึงใช้ 4D CAD เพื่อสนับสนุนการประสานงานของทีมงาน การสร้างแบบจำลอง 4D CAD เริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลการออกแบบที่มีอยู่ในรูปแบบของภาพวาด 2D จากนั้นทำข้อมูลดังกล่าวเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้ AutoCAD 2010 ของ Autodesk ซอฟต์แวร์ เพื่อสร้างวัตถุ 3 มิติ ที่แตกต่างกันได้อย่างรวดเร็วโดยกำหนดสีลักษณะที่แตกต่างให้กับกลุ่มของวัตถุ จากนั้นรวบรวมตารางเวลาปฏิบัติงานก่อสร้างรวมตารางเหล่านี้เข้ากับแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้ ซอฟต์แวร์ในเครือของ Autodesk คือ Navisworks Manage 2010 ด้วยการใช้ฟังก์ชั่น time – space ของซอฟต์แวร์ Navisworks รวมเข้ากับแบบจำลอง 3D ของไซต์งานก่อสร้างระหว่างการก่อสร้างตามแผนงาน เพื่อสร้างเป็นแบบจำลอง 4D CAD (Hartmann and Fischer, 2007) และยังมีการสร้าง 4D CAD ที่จำลองรูปแบบ 3 มิติโดยใช้ Autodesk Civil 3D และทำการจำลองการก่อสร้าง 4D โดยใช้ Navisworks โดยการเชื่อมโยงรูปแบบ 3 มิติเข้ากับตารางเวลาปฏิบัติงาน (Platt, 2007)

2.1.3 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการสร้างและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD

2.1.3.1 4D CAD กับโครงการก่อสร้างอาคาร

Jongeling and Olofsson (2007) นำแบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD มาประยุกต์ใช้ในโครงการก่อสร้างหลายส่วนของโครงการ เช่น ใช้ในการวางแผนกระบวนการทำงานร่วมกับวิธี เส้นดุลยภาพในโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์วัฒนธรรมในประเทศสวีเดน ในการติดตั้งแบบหล่อ ติดตั้งแบบเสริม งานคอนกรีต งานตั้งเสาและผนัง ติดตั้งหน้าต่าง ติดตั้งบันไดและผนังยิปซั่มของอาคาร โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรม AutoCAD ที่แสดงสถานที่ตั้ง ลักษณะและชิ้นส่วนต่าง ๆ ขององค์ประกอบอาคาร ร่วมกับการวางแผนกระบวนการทำงานโดยใช้เส้นดุลยภาพ แล้วกำหนดรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างเป็นแบบจำลอง 4 มิติร่วมกับโปรแกรม MS Excel และ DYNA Project ซึ่งเป็นการจำลองกระบวนการทำงานโดยใช้เส้นดุลยภาพกับ 4D CAD ทำให้ได้รูปแบบการบริหารงานก่อสร้างช่วยลดการใช้ทรัพยากร ส่งผลให้งานเสร็จตามเวลาที่กำหนด จัดระบบการปฏิบัติงานหลากหลายประเภทที่แตกต่างกันในพื้นที่เดียวกัน ในช่วงเวลาและสถานที่เดียวกันได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ โดยจะทำการประมวลผลซ้ำจนได้รูปแบบการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุด และ 4D CAD จะแสดงรูปแบบแผนการดำเนินงานตลอดจนประมาณการค่าใช้จ่ายตลอดทั้งโครงการให้ตลอดแนว ในขณะที่การดำเนินงานแบบเส้นดุลยภาพยังมีข้อจำกัดในการอธิบายรายละเอียดของการทำงานอย่างเช่น วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการก่อสร้างในการทำงานจริง

Russell, French, Tran and Wong (2009) นำ 4D CAD มาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์การก่อสร้างอาคารสูง เช่น คอนโดมิเนียม 15 ชั้น โดยใช้ 4D CAD ที่บูรณาการการใช้แบบจำลอง 3 มิติ กับตารางเวลาที่ได้จากการวางแผนตารางเวลาปฏิบัติงานด้วยวิธี CPM ได้เป็น 4D CAD เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดกลยุทธ์การก่อสร้างอาคารสูง โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) กำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน และข้อจำกัดต่าง ๆ ในการดำเนินงาน เช่น สถานที่ตั้งโครงการ ระยะเวลาและทรัพยากรที่จะต้องใช้ในการดำเนินงานก่อสร้าง 2) การสร้าง 4D CAD ด้วย Autodesk's Architectural Desktop จากข้อมูลรายละเอียดองค์ประกอบทางกายภาพของโครงสร้าง สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของโครงการ 3) การเชื่อมโยงข้อมูลตารางเวลาปฏิบัติงานที่วางแผนด้วยวิธี CPM ที่ใช้สำหรับการดำเนินงานก่อสร้างในสถานที่ก่อสร้างจริง รวมเข้ากับแบบจำลองที่สร้างด้วย Autodesk's Architectural Desktop 4) แสดงผลความคืบหน้าคิดเป็นร้อยละของงานที่แล้วเสร็จจริงเป็นแบบจำลอง 4 มิติ

Mahalingam, Kashyap and Mahajan (2010) ได้ประยุกต์ใช้ 4D CAD ในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานท่าเทียบเรือขนส่งสินค้าในพอร์ตภาคใต้ของอินเดีย และก่อสร้างอาคารสำนักงานต่าง ๆ ภายในบริเวณท่าเทียบเรือ แล้วประเมินผลการใช้ 4D CAD โดยใช้แบบสอบถามในการรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่นำ 4D CAD มาประยุกต์ใช้ในโครงการก่อสร้างจริง ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลความแปรปรวนในแต่ละสมมติฐานจาก 27 คำถามในแบบสอบถาม จากผู้ประยุกต์ใช้ 4D CAD ในงานก่อสร้างจริง พบว่า 4D CAD ช่วยลดค่าใช้จ่ายและการทำงานซ้ำซ้อน สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนการออกแบบโครงการที่มีความจำเป็นจะต้องติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่ง 4D CAD ช่วยลดความขัดแย้งในการสื่อสาร ทำให้สามารถดำเนินการออกแบบและแก้ไขแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการใช้ทรัพยากร และตรวจสอบความก้าวหน้าของโครงการ เพื่อให้สามารถวางแผนการดำเนินโครงการได้อย่างมีประสิทธิ ภาพ ช่วยป้องกันความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นในระหว่างดำเนินการตามโครงการ

Vacharapoom Benjaoran and Sdhabhon Bhokha (2010) ได้บูรณาการการจัดการด้านความปลอดภัยกับการบริหารงานก่อสร้างโดยใช้ 4D CAD ในโครงการก่อสร้างโรงแรมสามชั้นในประเทศ ซึ่งเป็นโครงการขนาดกลางงบประมาณก่อสร้าง 2.5 ล้านดอลลาร์ โรงแรมมี 45 ห้อง มีห้องประชุมขนาด 700 ที่นั่งหนึ่งห้อง และมีพื้นที่โดยรวมอยู่ที่ 6,650 ตารางเมตร ด้วยการสร้าง 4D CAD ของโครงการด้วย AutoCAD Architecture และ Microsoft Project จากข้อมูลรายละเอียดกิจกรรม ต่าง ๆ ในงานก่อสร้างของโครงการ ร่วมกับแผนงานโครงการที่กำหนดระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ จนเสร็จสิ้นโครงการ และข้อมูลมาตรฐานมาตรการด้านความปลอดภัยสำหรับการทำงานในกิจกรรมต่าง ๆ ในงานก่อสร้าง จากการพัฒนาระบบบูรณาการ เพื่อความปลอดภัยและการจัดการงานก่อสร้าง สามารถนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาใช้ในการออกแบบและวางแผน โดยระบบจะช่วยให้ผู้ร่วมโครงการทั้งหมดพิจารณาและเตรียมความพร้อมสำหรับข้อจำกัดด้านความปลอดภัยก่อนที่จะเริ่มทำงานในสถานที่จริง ซึ่งระบบนี้สามารถช่วยให้วิศวกรโครงการมีความพร้อมในการจัดการด้านความปลอดภัยและบริหารงานก่อสร้างตามกฎ ขั้นตอน วิธีการที่มีแนวทางปฏิบัติแน่นอน สามารถจัดระบบการทำงานที่มีอันตรายสูง ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การวางแผน และให้คำแนะนำที่เหมาะสมเกี่ยวกับมาตรการด้านความปลอดภัย การทำงานในที่สูง ซึ่งเป็นปัจจัยหลัก ในการเกิดอุบัติเหตุในงานก่อสร้างซึ่งอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถประสานงานร่วมกันระหว่างนักออกแบบ วิศวกรโครงการ เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยและทีมงาน นำไปสู่การออกแบบ การวางแผนให้สอดคล้องกับมาตรการด้านความปลอดภัย และจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม

Zhou, Ding, Wang, Truijens and Luo (2015) ใช้ 4D CAD ในโครงการก่อสร้างโรงแยกก๊าซธรรมชาติในออสเตรเลีย โดยการใช้ 4D CAD เป็นเครื่องมือช่วยในกระบวนการวางแผนการดำเนินโครงการ จากการจำลองการดำเนินงานก่อสร้างเพื่อวิเคราะห์แผนการดำเนินโครงการที่กำหนดขึ้นจากตารางเวลาปฏิบัติงานก่อสร้าง ทำให้สามารถมองเห็นความเสี่ยงที่มีอยู่ในขั้นตอนการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จเสร็จโครงการได้ก่อนลงมือก่อสร้างจริง และกำหนดมาตรการที่จะจัดการกับความเสี่ยงนั้น ๆ รวมถึงสามารถบริหารจัดการทรัพยากรในการดำเนินโครงการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วย 4D CAD ที่สร้างจากโปรแกรม AutoDesk Navisworks® แล้วเลือกแนวทางกำหนดเป็นมาตรการการบริหารจัดการโครงการที่ดีที่สุดมาบังคับใช้ในการดำเนินโครงการ

Kassem, Dawood and Chavada (2015) ทำการจัดการภายในพื้นที่ทำงานก่อสร้างขั้นส่วนของงานฐานรากด้วยเครื่องมือ 4 มิติ จากการพัฒนาและการประเมินผลวิธีการดำเนินงานด้วยเครื่องมือ 4 มิติ โดยการจัดการพื้นที่ทำงานและเครื่องมือ ให้สามารถแก้ไขปัญหาแบบองค์รวมเพื่อหาวิธีการจัดการพื้นที่ทำงาน จากการสร้างแบบจำลองการจัดสรรพื้นที่ทำงาน การตรวจสอบความขัดแย้งและความละเอียดเชิงพื้นที่ ภายในสภาพแวดล้อม 4 มิติ ในลักษณะ real-time แบบโต้ตอบได้ จากการเชื่อมต่อข้อมูลและการวิเคราะห์ฐานข้อมูลส่วนกลาง ซึ่งมีกระบวนการสร้างแบบจำลอง 4 มิติ โดยการเชื่อมโยงตารางของกิจกรรมที่นำเข้าโดยใช้ Microsoft Office 2007 ร่วมกับกับโปรแกรม Multidimensional Project Control 5D

2.1.3.2 4D CAD กับโครงการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค

Liapi (2003)ในโครงการก่อสร้างทางหลวงมีการนำ 4D CAD มาใช้งานในการสร้างภาพเสมือนจริงที่แปรผันตามตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการก่อสร้างทางต่างระดับในออสเตเลีย ในช่วงที่กำลังทำการดำเนินการโครงการก่อสร้างทางหลวงเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานร่วมกันของทีมงาน และใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติงาน การจัดตารางเวลา และการวางแผนการจราจร โดยใช้ข้อมูลการแสดงผลในส่วนของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ดำเนินงานในโครงการมาสร้างความเข้าใจของทีมงานในขั้นตอนของการออกแบบให้มีความเข้าใจที่ตรงกัน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการจัดผังโครงสร้างกิจกรรมและตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการ และใช้การแสดงผลในส่วนของการจำลองภาพเคลื่อนไหวของการจราจรที่เดินทางผ่านโครงการระหว่างที่มีการดำเนินโครงการ มาใช้ในการประชาสัมพันธ์สร้างความเข้าใจที่ตรงกันในมาตรการความปลอดภัยและลักษณะการจัดการจราจรให้กับประชาชนทั่วไป

Trebbe, Hartmann and Dorée (2015) การใช้ 4D CAD เพื่อสนับสนุนการประสานงานในกิจกรรมการก่อสร้างระหว่างผู้รับเหมา ในโครงการปรับปรุงสถานีรถไฟในประเทศเนเธอร์แลนด์ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับผู้โดยสาร 40,000 คนต่อวันและขณะที่ดำเนินโครงการ สถานีจะต้องสามารถเปิดให้บริการตามปกติ ซึ่งมีผู้รับเหมาหลักที่รับผิดชอบประสานงานกับผู้รับเหมาภายนอกอีก 4 บริษัท ให้เข้ามารับเหมาก่อสร้างทั้งการติดตั้งและการรื้อถอนในส่วนของงานโครงสร้างเหล็ก งานกระจกและการติดตั้งผ้าม่าน ผนัง ไฟฟ้าและเครื่องกล จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนกิจกรรมการก่อสร้างจำนวนมาก ที่จะต้องมีความสอดคล้องกับตารางเวลาเดินรถไฟและเงื่อนไขต่าง ๆ ในสถานที่ดำเนินโครงการ รวมถึงข้อจำกัดของสถานที่ สำหรับพื้นที่วางเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้ โดยสร้างแบบจำลอง 4 มิติ ด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ในสถานที่ที่จะต้องดำเนินโครงการ ข้อมูลการออกแบบรูปแบบ 2 มิติ จากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ แล้วแปลงข้อมูลเหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบ 3 มิติโดยใช้ AutoCAD 2010 จากนั้นรวบรวมแผนตารางเวลาการก่อสร้างที่แตกต่างกัน จากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ เพื่อรวมแผนตารางเวลาการก่อสร้างเหล่านี้เข้าด้วยกัน โดยการใช้แบบจำลอง 3 มิติของ Autodesk Navisworks Manage 2010 ใช้ฟังก์ชั่นการจัดเวลาของซอฟต์แวร์ Navisworks

Zanen, Hartmann, Jibouri and Heijmans (2013) การใช้ 4D CAD เพื่อจะแสดงผลกระทบจากการก่อสร้างทางหลวงที่ส่งผลต่อพื้นที่และประชาชนโดยรอบโครงการขยายทางหลวงดัตช์ โดยพัฒนาวิธีการสร้าง 4D CAD ให้สามารถแสดงผลกระทบต่อบริบทของโครงการ พบว่าการแสดงพื้นที่โครงการก่อสร้างแปรผันตามระยะเวลาในการดำเนินโครงการ การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างวิธีการแบบ 2 มิติ กับแบบจำลอง 4 มิติ ซึ่งแบบจำลอง 4 มิติสามารถแสดงผลของพื้นที่ขอบเขตของผลกระทบที่แตกต่างกันของงานก่อสร้าง โดยแสดงผลการใช้พื้นที่ให้เห็นภาพขอบเขตของผลกระทบจากเสียง ในบริเวณพื้นที่โดยรอบ แสดงผลของอาคารที่ได้รับผลกระทบในพื้นที่ แสดงผลบางส่วนของโครงข่ายที่ได้รับผลกระทบต่อการจราจร จากนั้นวิเคราะห์แบบจำลองว่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการตามตารางเวลาทำงานนั้นจะเกิดในลักษณะใดบ้าง และมีความรุนแรงเท่าใด แล้วหาวิธีการป้องกันหรือแก้ไขที่มีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งเป็นการนำ 4D CAD ไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการให้ข้อมูลเพื่อคาดการณ์ผลกระทบสำหรับการเสนอราคา และสร้างความเข้าใจที่ตรงกันกับบุคคลทั่วไปในการทำประชาพิจารณา

Zhou, Ding and Chen (2013) และการนำ 4D CAD มาประยุกต์ใช้ในเป็นเทคโนโลยีการแสดงภาพ 4 มิติสำหรับการจัดการความปลอดภัยในการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน Wuhan Mingdu ในประเทศจีน โดยเสนอแนวทางในการบริหารจัดการความปลอดภัย ด้วยการใช้เทคโนโลยีการสร้างภาพ 4 มิติ จากการบูรณาการมาตรการความปลอดภัยกับ

การจัดการการก่อสร้างตลอดการดำเนินโครงการ จากการสร้าง 4D CAD ของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยโปรแกรม AutoDesk Revit® และ Navisworks® และขั้นตอนสุดท้ายพัฒนาการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง 4D CAD และข้อมูลความเสี่ยงของโครงการสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน Wuhan Mingdu ในการก่อสร้างจริง

Hassanein and Moselhi (2004) ได้วางแผนและการจัดตารางการก่อสร้างทางหลวง โดยวางแผนตารางเวลาปฏิบัติงานจากผังโครงสร้างกิจกรรมของโครงการก่อสร้างและฟื้นฟูทางหลวงในประเทศแคนาดา ในลักษณะ Work Breakdown Structure (WBS) โดยคำนึกถึงอุปสรรคจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ รวมถึงศักยภาพและทรัพยากรในการดำเนินงานของผู้รับเหมาด้วย โดยจัดตารางการปฏิบัติงานโดยอาศัยอัลกอริทึม ให้สามารถใช้ทรัพยากรทุกอย่างได้อย่างเต็มประสิทธิภาพที่สุดและสอดคล้องกับข้อจำกัดหรืออุปสรรคต่าง ๆ ด้วย

Rayes and Kandil (2005) วิเคราะห์การแลกเปลี่ยน เวลา ต้นทุน คุณภาพ สำหรับการก่อสร้างทางหลวง ทำการวิเคราะห์หาจุดร่วมที่สามารถทำให้ใช้เวลากับต้นทุนในการก่อสร้างน้อยที่สุดแต่ได้ผลงานที่มีคุณภาพมากที่สุด ด้วยรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ที่ได้รับการพัฒนา โดยเปลี่ยนการวิเคราะห์การออกแบบ 2 มิติ ระหว่างเวลากับค่าใช้จ่าย เป็นการวิเคราะห์การออกแบบ 3 มิติ ระหว่างเวลา ค่าใช้จ่ายและคุณภาพ รูปแบบที่ถูกออกแบบนี้นำมาใช้เพื่อค้นหาแผนการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมที่ลดเวลาในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายขณะที่มีการเพิ่มคุณภาพ โดยรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการพัฒนาในสามขั้นตอนหลัก 1. ขั้นตอนการกำหนดรูปแบบที่รวมเอาทุกตัวแปรการตัดสินใจที่สำคัญและวัตถุประสงค์ของการเพิ่มประสิทธิภาพเข้ามาใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดรูปแบบ 2. ขั้นตอนที่กำหนดฟังก์ชั่นใหม่ที่จะช่วยให้การพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพการก่อสร้างและ 3. ขั้นตอนการดำเนินรูปแบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับการก่อสร้างทางหลวงเพื่อใช้งานการเพิ่มประสิทธิภาพ ระหว่างเวลาในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายและคุณภาพของผลงาน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงการใช้งานรูปแบบและแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพิจารณาคุณภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพ และในการพัฒนาที่ดีที่สุด ระหว่างเวลาในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายและคุณภาพ ความสามารถเหล่านี้มีประโยชน์ที่จะมีช่วยตัดสินใจในการวางแผนก่อสร้างทางหลวงและการฟื้นฟูทางหลวง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำสัญญาที่ต้องการประสิทธิภาพการทำงานที่มีคุณภาพสูง

Platt (2007) ศึกษาการใช้ 4D CAD สำหรับโครงการก่อสร้างทางหลวง ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในการก่อสร้างถนนที่มีต่อการนำ 4D CAD ที่จำลองรูปแบบ 3 มิติโดยใช้ Autodesk Civil 3D และทำการจำลองการก่อสร้าง 4D โดยใช้

Navisworks โดยการเชื่อมโยงรูปแบบ 3 มิติเข้ากับตารางเวลาปฏิบัติงาน แล้วนำมาใช้เป็นเครื่องมือในโครงการก่อสร้างถนน โดยสำรวจความคิดเห็นด้วยแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ โดยใช้โครงการก่อสร้างทางต่างระดับในรัฐเวอร์จิเนียประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นกรณีศึกษา

Kang, Pyeon, Moon, Kim and Kang (2013) การพัฒนาปรับปรุงระบบ 4D CAD สำหรับการทำงานในแนวนอนโครงการวิศวกรรมโยธา โดยทำการสร้าง 4D CAD การที่เชื่อมโยงระหว่างตารางเวลาปฏิบัติงานและแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม V-CPM และใช้ความสามารถของ 4D CAD ในการแสดงภาพเสมือนจริงของพื้นที่และกิจกรรมการดำเนินงานต่าง ๆ ของโครงการ ที่สัมพันธ์กับตารางเวลาปฏิบัติงาน เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณดินตัดดินถมสำหรับการปรับพื้นที่ภูมิประเทศของโครงการก่อสร้างทางหลวง รวมถึงใช้ข้อมูลที่ได้จาก 4D CAD ในการวางแผนกำหนดผังโครงสร้างกิจกรรมของโครงการ และจัดตารางเวลาปฏิบัติงานให้ไม่เกิดการปฏิบัติงานทับซ้อนกันของทีมงานต่าง ๆ ในสถานที่และช่วงเวลาเดียวกัน ในส่วนของการก่อสร้างสะพาน

Mawlana, Vahdatikhaki, Doriani and Hammad (2015) ได้บูรณาการการสร้างแบบจำลอง 4 มิติและการจำลองเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่องสำหรับการวางขั้นตอนการประเมินผลของโครงการซ่อมบำรุงทางยกระดับในเมือง โดยทำการสร้าง 4D CAD จากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่โครงการ รวมกับข้อจำกัดในการบริหารจัดการการจราจร ข้อจำกัดของขั้นตอนการรื้นถอนหรือก่อสร้างทาง และข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมโดยรอบโครงการ และคำนวณหาความน่าจะเป็นของการเกิดการทำงานทับซ้อนกันของทีมงานในสถานที่เดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อกำหนดตารางปฏิบัติงานที่ไม่มีการทำงานทับซ้อนกันในพื้นที่นั้น ๆ จากนั้นสร้างตารางเวลาดำเนินงานจากการคำนวณทรัพยากรของทีมงานด้วยโปรแกรม Microsoft Project® และเชื่อมโยงแบบจำลอง 3 มิติของลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อมของโครงการเข้ากับตารางเวลาด้วย Navisworks® โดยใช้ 4D CAD นี้กับการวางแผนงานโครงการฟื้นฟูทางยกระดับในเมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา

2.2 การจัดการความปลอดภัย (Safety Management) ในการก่อสร้าง

การจัดการความปลอดภัย (Safety Management) ในการก่อสร้าง คือการกำหนดมาตรการที่จะกำจัดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุระหว่างปฏิบัติงาน โดยมีสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ รวมถึงสิ่งที่ส่งผลให้ความถี่และความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุในงานก่อสร้างเพิ่มขึ้นคือการนำเอาเทคโนโลยี อุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักร อันทันสมัยมาใช้เพื่อทุ่นแรง และประหยัดเวลาไม่เพียงแต่ความปลอดภัยในการก่อสร้างไม่ได้วิวัฒนาการตามเทคโนโลยีที่ทันสมัยแล้ว ความปลอดภัยพื้นฐานในงานก่อสร้างยังถูกละเลย ขาดความสนใจ และเอาใจใส่จากผู้เกี่ยวข้อง อย่างจริงจัง

นอกจากนี้ คนงานยังขาดความรู้ ความเข้าใจ และจิตสำนึกความปลอดภัยในการปฏิบัติอย่างถูกต้องเหมาะสม อุบัติเหตุจึงยังคงเกิดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบของความปลอดภัยในงานก่อสร้างมี 3 ส่วน คือ ความปลอดภัยในสถานที่ ความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือเครื่องจักร และความปลอดภัยส่วนบุคคล ที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ต้นทุนในการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัย (Jazayeri and Dadi, 2017; Carbonari, Giretti, and Naticchia, 2011; Behm., 2005)

2.2.1 การตรวจสอบความปลอดภัยทางถนนระหว่างการก่อสร้าง

สำหรับการจัดการความปลอดภัยทางถนนระหว่างการก่อสร้าง มีการตรวจสอบพื้นที่ก่อสร้าง ดังนี้

2.2.1.1 การตรวจสอบลักษณะทั่วไปในเขตพื้นที่ก่อสร้าง

- บริเวณก่อนเข้าพื้นที่ก่อสร้าง ต้องมีการเตือนให้ลดความเร็วและใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

- ภายในพื้นที่ก่อสร้าง ต้องมีการกำหนดเขตพื้นที่ชัดเจน มีความเหมาะสมและปลอดภัย พร้อมด้วยอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัย สำหรับผู้ใช้ทางและผู้อาศัยอยู่ในบริเวณโดยรอบ รวมทั้งมีการป้องกันอันตรายจากเศษวัสดุหรืออุปกรณ์ร่วงหล่น

- บริเวณก่อนออกจากพื้นที่ก่อสร้าง ต้องมีการเตือนถึงจุดสิ้นสุดการก่อสร้างอย่างชัดเจน

2.2.1.2 การควบคุมและจัดการจราจร

- การควบคุมการจราจร ต้องมีการจำกัดความเร็ว การจอดรถ และการเดินข้ามที่ปลอดภัย

- การจัดการการจราจร ต้องมีการประสานกับเจ้าหน้าที่ตำรวจ ท้องถิ่น ในการใช้ทางเบี่ยงและทางเลี่ยงบริเวณก่อสร้าง

- ระยะการมองเห็น ต้องมีการป้องกันหรือเตือน ในกรณีที่ระยะการมองเห็นไม่เพียงพอ

2.2.1.3 อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยชั่วคราว

- เส้นจราจร ต้องมีการตีเส้นกำหนดแนวทางการสัญจรของการจราจรที่ชัดเจนและเหมาะสม

- ป้ายจราจร ต้องมีการติดตั้งป้ายเตือน ป้ายบังคับ ป้ายแนะนำอย่างชัดเจน มีความเหมาะสมและเพียงพอ

- อุปกรณ์อื่น ๆ ต้องมีการติดตั้งหรือจัดทำอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยเพิ่มเติมในบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ

2.2.1.4 ทางเชื่อมเดิมและประชาชนบริเวณโดยรอบ

- ทางเชื่อมเข้าหรือออก ต้องมีการปรับปรุงรัศมีการเลี้ยวและการผายความกว้าง (Tapers) ถูกต้องตามความเหมาะสมกับการจราจร

- ทางเดินเท้าและจักรยาน ต้องมีการจัดทำพื้นที่การสัญจรของคนและจักรยานเพียงพอกับบริเวณชุมชมโดยรอบ

- สภาพแวดล้อม ต้องมีการป้องกันมลภาวะต่าง ๆ ให้กับประชาชนโดยรอบ

2.2.1.5 ความปลอดภัยในเวลากลางคืน

- ไฟฟ้าแสงสว่างหรือไฟสัญญาณ ต้องมีการติดตั้งเสริม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยอย่างเพียงพอและเหมาะสม

- การสะท้อนแสงของอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัย ต้องมีการใช้วัสดุสะท้อนแสง เช่น สีหรือเทป ติดบนชิ้นส่วนของอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัย เพื่อให้มองเห็นได้อย่างชัดเจน

ซึ่งหากมีการเตรียมความพร้อมในการจัดการความปลอดภัยได้อย่างถูกต้องมีความเหมาะสมและเพียงพอ จะทำให้สามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3. ค่าพารามิเตอร์การจราจร การสำรวจและวิธีการสำรวจปริมาณจราจร

2.3.1 ค่าพารามิเตอร์การจราจร

2.3.1.1 ความล่าช้า (Delay Time)

ความล่าช้า คือ ระยะเวลาในการเดินทางที่ไม่เกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นค่าความล่าช้าจึงสามารถ บรรยายถึงสภาพที่เป็นจริงอยู่ได้ดี ซึ่งการศึกษาถึงความล่าช้าจากความต้องการในการหยุดรถ (Stopped Delay) จะช่วยให้ผู้ทำการวิเคราะห์จราจรทราบถึงความหนาแน่นของของถนนและ บริเวณของทางแยก

2.3.1.2 ความเร็ว (Speed)

ความเร็ว (Speed) คือ อัตราการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในหน่วยระยะทางต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง การเก็บข้อมูลในลักษณะนี้เป็นวิธีการที่ศึกษาถึงความเร็วของยานพาหนะที่แล่นผ่านจุดหรือระยะทาง ที่กำหนดไว้ โดยอาจจะเป็นความเร็วอิสระ (Free Flow Speed) หรือความเร็วตามกระแสจราจร โดยมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมงทำการคำนวนค่าความเร็วที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ ควบคุม และสร้างความปลอดภัยของถนน

2.3.1.3 ระยะเวลาเดินทาง (Travel Time)

ระยะเวลาเดินทาง (Travel Time) คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง หรือระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปสู่จุดหมายปลายทาง รวมถึงเวลาหยุด แวะและติดขัดระหว่างทาง มีหน่วยเป็น นาที หรือ ชั่วโมง การเก็บข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดต้นทางถึงจุดปลายทาง ซึ่งเวลาที่เกิดขึ้นจากการ เคลื่อนตัวของยานพาหนะ เรียกว่า เวลาในการเดินทาง (Travel Time) โดยในการสำรวจเวลาการเดินทางจะมีการสำรวจความล่าช้าในการเดินทางซึ่งเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเดินทางด้วย ซึ่งข้อมูล ระยะเวลาการเดินทางที่ได้จะสะท้อนถึงความแออัดของถนน รวมถึงการระบุตำแหน่งและสาเหตุของ ความล่าช้า

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาในการเดินทาง (Speed and Travel time) โดยนิยามแล้ว ความเร็ว คือ อัตราการเคลื่อนที่ในหนวยระยะทางต่อเวลา หรือคือสวนกลับของเวลาที่ยวดยานใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะทางที่กาหนด คูณด้วยระยะทางนั้น โดยสามารถเขียน เป็นสมการได้ดังนี้

$$s = d / t \tag{2.1}$$

โดยที่

s = ความเร็ว หน่วย ไมล์ต่อชั่วโมง (mph) กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) หรือฟุต ต่อวินาที (fps)

d = ระยะทางที่เดินทางได้ หน่วย ไมล์ (mi) กิโลเมตร (km) หรือ ฟุต (f)

t = เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หน่วย ชั่วโมง (h) หรือ วินาที (s)

ในกระแสจราจร ยวดยานแต่ละคันจะวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน การอธิบายคุณสมบัติความเร็วของกระแสจราจรจึงใช้ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วของยวดยานในกระแสจราจร ในการอธิบายคุณสมบัติดังกล่าว และจำเป็นต้องใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นตัวแทนความเร็วของยวดยานทั้งหมดในกระแสจราจร สำหรับอธิบายลักษณะของกระแสจราจร นั้น

2.3.2 การสำรวจปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจร (Traffic Volume) หมายถึง จำนวนยานพาหนะที่แล่นผ่านจุด ๆ หนึ่ง หรือช่วงหนึ่งของถนนในหนึ่งหน่วยเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจจะเป็นชั่วโมงหรือวันก็ได้ ปริมาณการจราจรเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมจราจร เช่น ใช้ในการวางแผนระบบควบคุมการจราจร การออกแบบไฟสัญญาณการจราจรและใช้ในการคาดคะเนปริมาณการจราจรอนาคต

2.3.2.1 วัตถุประสงค์

การสำรวจปริมาณการจราจร มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณการจราจรแต่ละประเภทในแต่ละช่วงเวลา

2. เพื่อที่จะนำไปเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาสภาพการจราจรอื่น ๆ เช่น จำนวนการเดินทาง (Trips) ประเภทการเดินทาง (Mode of Travel) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนจัดระบบการจราจรและระบบไฟสัญญาณไฟจราจรและการออกแบบถนน

3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาแนวโน้มการเจริญเติบโตของปริมาณการจราจร ในอนาคต

2.3.2.2 ประโยชน์ของข้อมูลปริมาณจราจร

ข้อมูลประมาณจราจร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานทางดังต่อไปนี้

1. เพื่อการเลือกความกว้างของผิวจราจร ไหล่ทาง รวมทั้งความกว้างของสะพาน
2. เพื่อการออกแบบชั้นหนาของผิวทาง
3. เพื่อการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐกิจของโครงการก่อสร้างและบูรณะทางหลวง
4. เพื่อการติดตั้งเครื่องหมายควบคุมการจราจรและอำนวยความปลอดภัยในการจราจร
5. เพื่อพิจารณากำหนดความสำคัญก่อนหลังโครงการก่อสร้างและบูรณะทางหลวง
6. เพื่อศึกษาแนวโน้มการเจริญเติบโตของปริมาณจราจร
7. เพื่อการออกแบบทางแยก
8. เพื่อคำนวณอัตราการเกิดอุบัติเหตุ
9. เพื่อการวางแผนโครงการข่ายระบบทางหลวง

2.3.2.3 ชนิดของปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจรอาจจะแสดงอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น

1) **Average Annual Daily Traffic** (AADT) หมายถึง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันที่ได้จากข้อมูลการสำรวจปริมาณการจราจรตลอดทั้งปี มีหน่วยเป็นคัน/วัน

2) **Average Daily Traffic** (ADT) หมายถึง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันที่ได้จากข้อมูลการสำรวจปริมาณการจราจรในระยะเวลาที่มากกว่า 1 วัน แต่น้อยกว่า 1 ปี มีหน่วยเป็น คัน/วัน

3) **Hourly Volume** (HV) หมายถึง ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อชั่วโมงซึ่งหาได้จากการสำรวจปริมาณการจราจรในแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น อาจจะทำการศึกษาในช่วงชั่งโมงเร่งด่วนในตอนเช้าและตอนเย็น มีหน่วยเป็นคัน/ชั่วโมง

4) **Maximum Annual Hourly Volume** หมายถึง ปริมาณการจราจรในชั่วโมงหนึ่งที่มีค่าสูงสุด หาได้โดยการสำรวจปริมาณการจราจรในหนึ่งชั่วโมงตลอดทั้งปี (365 x 24 = 8,760 ชั่วโมง) แล้วทำการเรียงลำดับปริมาณการจราจรจากชั่วโมงที่มีค่ามากที่สุดลงไปจนครบ 8,760 ข้อมูล มีหน่วยเป็นคัน/ชั่วโมง

5) **Design Hourly Volume** หมายถึง ปริมาณการจราจรที่ใช้ในการออกแบบซึ่งตามปกติแล้วจะไม่ได้ใช้ค่า Maximum Annual Hourly Volume มาทำการออกแบบเพราะจะไม่ประหยัด

6) **Short Term Volume Count** หมายถึง ปริมาณการจราจรในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ที่ไม่ถึง 1 ชั่วโมง เช่น 1 5 6 10 หรือ 15 นาที มีหน่วยเป็นคัน/ช่วงเวลา ค่า Short Term Volume ที่หาได้โดยการสำรวจปริมาณการจราจรในช่วงเวลาสั้น ๆ เพียง 5 10 หรือ 15 นาที ก็จะได้ค่าที่ใกล้เคียง

2.3.2.4 คุณลักษณะของปริมาณการจราจร

เมื่อได้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากการสำรวจแล้ว จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมานำเสนอและวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) **Traffic Variations** ปริมาณการจราจรของแต่ละท้องที่ พบว่าจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน ดังนั้นจึงสามารถคาดคะเนปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (ADT) ได้โดยการสำรวจปริมาณการจราจรในช่วงสั้น ๆ แล้วคูณด้วยค่าตัวคูณขยาย (Expansion Factor) ซึ่งหาได้จากข้อมูลเก่าที่เคยมีการศึกษาปริมาณการจราจรตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง ของถนนเส้นนั้น หรือถนนอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันตัวอย่างเช่น ถ้าทำการสำรวจปริมาณการจราจรในช่วงเร่งด่วนตอนเช้า 3 ชั่วโมงและตอนเย็นอีก 3 ชั่วโมง รวมเป็น 6 ชั่วโมง ก็จะสามารถประมาณค่า ADT ได้โดยที่

ADT = Total Volume x 6 – Hr. Expansion Factor (2.2)

เมื่อ ADT คือ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน

Expansion Factor คือ ค่าตัวคูณขยาย หาได้จากข้อมูลเก่า ที่เคยมีการศึกษาปริมาณการจราจรตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง ของถนนเส้นนั้น หรือถนนอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

2) **Directional Distribution** (D - Value) เป็นค่าแสดงการกระจายปริมาณการจราจรแต่ละทิศทางในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน

3) **Lane Distribution** เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนการใช้ถนนในแต่ละช่องทางของถนนที่มีขนาดตั้งแต่ 2 ช่องทางต่อทิศทางขึ้นไปโดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาอัตราส่วนของปริมาณการจราจรในช่องทางซ้ายสุด (ติดกับไหล่ทาง) กับช่องทางที่เหลือในทิศทางเดียวกันว่าจะมีอัตราส่วนมากน้อยเพียงไร โดยเฉพาะจะศึกษาถึงปริมาณรถบรรทุกหนักในช่องทางซ้ายสุดนี้ค่า Lane Distribution นี้จะใช้ในการออกแบบถนน

4) **Peak Hour Factor** (PHF) เป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายของปริมาณการจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน หาค่าได้โดยการหารค่า Peak Hourly Volume (PHV) ด้วยปริมาณการจราจรรายชั่วโมงเทียบเท่าที่คำนวณจาก Short Term Volume Count

$$PHF = \frac{V}{4X\nu} \qquad (2.3)$$

PHF ของถนนในเมืองจะมีค่าประมาณ 0.80 ถึง 0.98 ถ้าค่า PHF ต่ำแสดงว่ามีความแปรปรวนมาก ถ้า PHF มีค่าเกินกว่า 0.95 แสดงว่า ปริมาณการจราจรกระจายสม่ำเสมอตลอดช่วงชั่วโมงเร่งด่วน

5) **Traffic Composition** การแยกประเภทของยวดยาน ที่ใช้อยู่ในท้องถนนสำหรับงานสำรวจปริมาณการจราจร มักจะนิยมแยกตามประเภทการใช้งาน เช่น รถส่วนบุคคลซึ่งจะแยกได้เป็น รถเก๋ง (รวมถึง รถปิ๊กอัพส่วนตัว รถตู้ รถแวนด้วย) รถมอเตอร์ไซด์ รถสาธารณะ เช่น รถแท็กซี่ รถสองแถวรับจ้าง รถสามล้อเครื่องรับจ้าง รถสามล้อถีบ รถประจำทาง รถที่ใช้ในการทางธุรกิจ ได้แก่ รถบรรทุกเล็กและรถบรรทุกใหญ่

6) **Passenger Car Unit** (PCU) เป็นค่าสภาพความคล่องตัวของรถแต่ละประเภทเทียบกับรถเก๋ง ซึ่งค่า PCU นี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามสภาพถนนและสภาพภูมิประเทศ บางครั้งการแสดงค่าปริมาณการจราจร โดยที่ไม่ได้คำนึงถึงสภาพความคล่องตัวของรถ อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในการสรุปผลอาจจะปรับแก้จำนวนรถทุกอย่างด้วยค่า PCU ก็จะได้ปริมาณการจราจรทั้งหมดออกมาในรูปของรถเก๋ง ถ้าในบริเวณที่ไม่ได้หาค่า PCU มาก่อนอาจจะใช้ค่า PCU ตามที่ The Ministry of Transport (Circular No. 727) แนะนำไว้ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.1 ค่า Passenger Car Unit (PCU)

ประเภทของรถ	ค่า PCU			
	ถนนในเมือง	ถนนนอกเมือง	วงเวียน	ทางแยกสัญญาณไฟ
รถยนต์ 4 ล้อ	1.00	1.00	1.00	1.00
รถมอเตอร์ไซด์	0.75	1.00	0.75	0.33
รถบรรทุกขนาดกลางถึงใหญ่	2.00	3.00	2.80	1.75
รถประจำทาง	3.00	3.00	2.80	2.25

(ที่มา: Hobbs, F.D., Traffic Planning and Engineering)

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์เปรียบเทียบรถยนต์นั่ง (Passenger Car Equivalent)

ประเภท	อักษรย่อ	สัมประสิทธิ์
จักรยานยนต์	MC	0.25
รถยนต์ส่วนบุคคล	PC	1.00
รถประจำทางขนาดเล็ก	LB	1.50
รถประจำทางขนาดใหญ่	HB	2.10
รถบรรทุกขนาดเล็ก	LT	1.75
รถบรรทุกขนาดกลาง	MT	2.00
รถบรรทุกขนาดใหญ่	HT	2.50

(ที่มา: กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม)

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์เปรียบเทียบรถยนต์นั่งในตารางที่ 2.4 เนื่องจากบนถนนธนะรัชต์มีพาหนะประเภทรถจักรยานยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้ความเร็วสูงและครอบครองพื้นที่เต็มช่องจราจร รวมทั้งรถบรรทุกซึ่งวิ่งอยู่ช่วงถนนที่มีความลาดชันด้วยความเร็วต่ำ

2.3.2.5 การสำรวจหาค่าปริมาณการจราจร

การสำรวจหาค่าปริมาณการจราจรในบริเวณที่ต้องการทราบค่าจะแยกได้ออกเป็นการสำรวจที่ บริเวณช่วงกลางถนน (Mid-Block Volume Counts) และบริเวณทางแยก (Intersection Volume Count)

การสำรวจข้อมูลที่ช่วงกลางถนน (Mid-Block Volume Count) เป็นการสำรวจข้อมูลปริมาณการจราจรบนช่วงหนึ่งของถนน โดยทั่วไปจะเลือกตำแหน่งจุดนับอยู่กึ่งกลางระหว่างทางแยก เพราะเป็นจุดที่ยวดยานสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอไม่ถูกรบกวนด้วยยวดยานที่เลี้ยวเข้า–ออก การสำรวจยวดยานบริเวณกลางช่วงถนนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทราบปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทางในช่วงระยะเวลาใด ๆ และประเภทของยวดยานบนถนนช่วงนั้น ข้อมูลที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ความจุของถนน การจัดเตรียมที่จอดรถและการวางแผนทางด้านการจราจรอื่น ๆ

การสำรวจข้อมูลบริเวณทางแยก (Intersection Volume Counts) เป็นการสำรวจข้อมูลปริมาณการจราจรที่บริเวณทางแยก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะต้องการทราบถึงปริมาณการจราจรที่เข้ามายังทางแยกนั้น ทิศทางที่ยวดยานจะเคลื่อนที่ไปและปริมาณการจราจรที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกนั้นไปได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบทางแยก การวิเคราะห์ความจุของทางแยก การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

วิธีการสำรวจข้อมูลที่บริเวณทางแยกนี้จะทำการสำรวจในช่วงเวลารีบด่วนโดยการใช้คนนับ (Manual Counts) เพราะจะสามารถแยกประเภทยวดยานแต่ละอย่างได้และสามารถสำรวจทิศทางการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคันได้ช่วงเวลา (Interval) ที่จดบันทึกข้อมูลจะเป็นช่วงระยะสั้น ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ช่วงเวลา 5 นาที แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลจะใช้แบบฟอร์มเดียวกับที่ใช้ในการสำรวจที่บริเวณกลางช่วงถนน จำนวนผู้สำรวจจะต้องใช้อย่างน้อย 12 คน สำหรับสี่แยกที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ 12 ทิศทาง และมีปริมาณการจราจรไม่หนาแน่นมาก ส่วนทางแยกที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นมากและต้องการประเภทของยวดยานด้วย จะต้องใช้ผู้สำรวจอย่างน้อย 24 คน (2 คน ต่อ 1 ทิศทางการเคลื่อนที่ของยวดยาน) รูปแบบการนำเสนอจะแสดงในรูปของตารางและรูปแบบการจราจรที่ทางแยก (Intersection Flow Diagram) ค่าปริมาณการจราจรที่แสดงทั่วไปจะแสดงอยู่ในรูปของ PCU (Passenger Car Unit)

2.3.3 วิธีการสำรวจปริมาณจราจร

การสำรวจปริมาณการจราจรทั่วไปจะทำได้โดยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1) การสำรวจโดยใช้คนนับ (Manual Counts)

2) การสำรวจโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical Counts)

3) การสำรวจโดยใช้ภาพถ่าย (Photographic Techniques)

4) การสำรวจโดยวิธีการเคลื่อนที่ของรถ (Moving Vehicles Method)

2.3.3.1 สำรวจโดยใช้คนนับ (Manual Counts)

การสำรวจโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายได้ข้อมูลที่ถูกต้องและละเอียดที่สุด ผู้สำรวจเพียงแต่นับจำนวนรถที่แล่นผ่าน แล้วทำการบันทึกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนด การบันทึกข้อมูลอาจจะแยกประเภทและทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ ด้วยการแยกประเภทอาจจะแยกตามการแบ่งประเภทของยวดยานตามกรมทางหลวง ซึ่งแยกออกเป็น 10 ประเภท คือ รถจักรยาน รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่ง รถโดยสารขนาดเล็ก รถบรรทุกขนาดเล็ก รถโดยสารขนาดใหญ่ รถบรรทุกขนาดกลาง รถบรรทุกขนาดใหญ่ รถแทรกเตอร์และเกวียน

การสำรวจโดยใช้คนนับ มักจะกำหนดช่วงระยะเวลาในช่วงชั่วโมงที่มีปริมาณการจราจรแน่น เช่น ในช่วงเช้าและช่วงเย็น การสำรวจโดยวิธีนี้บางครั้งอาจไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ หรือในเวลากลางคืน ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งคือจะเสียค่าใช้จ่ายมากในกรณีที่ต้องการจำนวนข้อมูลหลายจุดและเป็นระยะเวลานาน อย่างไรก็ตามการสำรวจโดยใช้คนนับจะมีข้อดีคือจะสามารถสำรวจข้อมูลอย่างอื่นไปพร้อม ๆ กันด้วย เช่น สำรวจปริมาณปริมาณรถเลี้ยว การแยกประเภทรถตามที่ต้องการ จำนวนผู้โดยสารในรถและปริมาณคนเดินถนน

2.3.3.2 การสำรวจโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical Counts)

ในกรณีที่ต้องการข้อมูลปริมาณการจราจรในช่วงระยะเวลายาว ๆ เพื่อที่จะหาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจร (Traffic Variation) การสำรวจโดยใช้คนนับจะไม่เหมาะสมการสำรวจโดยใช้เครื่องมือจะเหมาะสมกว่า เครื่องนับจะประกอบด้วยตัวจับคลื่น (Detector) และเครื่องนับ (Counter) เมื่อมีรถแล่นผ่านตัวจับคลื่นจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องนับตัวจับคลื่นมีอยู่หลายชนิด เช่น ชนิดความดัน (Pneumatic Detector) ชนิดโลหะกระทบ (Positive Contact Detector) ชนิดใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Detector) และชนิดใช้ลำแสง (Ultrasonic Beams)

ตัวจับคลื่นที่นิยมใช้ทั่วไป คือ ประเภทใช้ความดัน (Pneumatic Tube) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสายยางวางพาดอยู่บนผิวถนน เมื่อมีรถแล่นทับสายยางจะเกิดความดันส่งคลื่นไปยังเครื่องนับเพื่อทำการบันทึกข้อมูล ปัจจุบันเครื่องมือได้รับการพัฒนาขึ้นมามาก สามารถแยกประเภทยานพาหนะ วัดความเร็วและวัดช่วงต่อของยานพาหนะ (Headway) ได้

2.3.3.3 การสำรวจโดยใช้ภาพถ่าย (Photographic Techniques)

การหาค่าปริมาณการจราจร สามารถหาได้โดยการใช้ภาพถ่ายซึ่งอาจจะเป็นภาพนิ่งหรือภาพยนตร์ การถ่ายภาพจะถ่ายจากที่สูงซึ่งสามารถมองเห็นได้ทั่วบริเวณ แล้วจึงนับจำนวนรถจากภาพที่ปรากฏในแต่ละช่วงเวลา วิธีการนี้ได้ข้อมูลที่ละเอียดแน่นอนแต่จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

2.3.3.4 การสำรวจโดยวิธีการเคลื่อนที่ของรถ (Moving Vehicles Method)

การสำรวจโดยวิธีนี้ ผู้สำรวจจะมีการเคลื่อนที่ตามสภาพการจราจรทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของถนนทั้งสายได้ แตกต่างจากข้อมูลที่ได้โดยวิธีใช้คนนับและวิธีใช้เครื่องนับซึ่งจะได้ข้อมูลเฉพาะจุดที่ทำการสำรวจเท่านั้น หลักการของวิธีนี้คือผู้สำรวจจะนั่งไปในรถที่เคลื่อนที่ไปตามสภาพการจราจรในทิศทางที่ต้องการวัดค่า แล้วขับย้อนกลับมาอีกครั้ง ไปกลับประมาณ 6 ถึง 16 เที่ยว ในขณะที่เคลื่อนที่ตามทิศทางการจราจรที่ต้องการวัด ผู้สำรวจจะต้องบันทึกจำนวนรถที่ผู้สำรวจแซง จำนวนรถที่แซงผู้สำรวจและเวลาที่ใช้จากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลายทาง ในเที่ยวกลับที่ขับสวนทิศทางการจราจร ผู้สำรวจจะต้องนับจำนวนรถที่ผ่านในทิศทางที่ต้องการวัดและบันทึกเวลาที่ใช้จากจุดปลายทางถึงจุดเริ่มต้น

วิธีรถทดสอบ (Test-car runs) ประกอบด้วยเทคนิคในการสำรวจข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่

1. เทคนิครถลอยตัว (Floating car) วิธีนี้คนขับรถทดสอบจะถูกกำหนดให้ขับแซงรถคันอื่นในกระแสจราจรให้พอ ๆ กับจำนวนรถที่ขับแซงรถทดสอบ ด้วยวิธีการนี้คนขับจะสามารถประมาณค่า Space mean speed ของกระแสจราจรได้หรืออาจนำระยะทางแต่ละช่วงหารด้วยเวลาที่ใช้เดินทางในแต่ละช่วง ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถหาค่า Space mean speed ได้

2. เทคนิครถเฉลี่ย (Average car) วิธีการนี้คนขับจะถูกกำหนดให้ใช้ความเร็วในการเดินทางที่ใกล้เคียงกับความเร็วโดยรวม หรือความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจร

3. เทคนิครถมากที่สุด (Maximum car) วิธีการนี้จะกำหนดให้คนขับใช้ความเร็วในการเดินทางได้สูงสุดไม่เกินที่กำหนดไว้บนป้ายควบคุมความเร็ว

ปริมาณการจราจรและระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ย สามารถหาได้จาก

$$V_n = \frac{60(M_S + O_n - P_n)}{T_n + T_s} \tag{2.4}$$

$$\overline{T_n} = T_n - \frac{60(O_n - P_n)}{V_n} \tag{2.5}$$

เมื่อ V_n คือ ปริมาณรถใน 1 ชั่วโมง (เมื่อรถทดสอบเดินทางมุ่งทิศเหนือ)

M_s คือ จำนวนรถที่แล่นสวนทางขณะเดินสู่ทิศใต้ (รถที่เดินทางสู่ทิศใต้)

O_n คือ จำนวนรถที่แซงรถผู้สำรวจ (เมื่อรถทดสอบเดินทางมุ่งทิศเหนือ)

P_n คือ จำนวนรถที่ถูกรถผู้สำรวจแซง (เมื่อรถทดสอบเดินทางมุ่งทิศเหนือ)

$\overline{T_n}$ คือ ระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ยของปริมาณการจราจรทั้งหมด จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงจุดปลายทาง (เมื่อรถทดสอบเดินทางมุ่งทิศเหนือ)

T_n คือ ระยะเวลาการเดินทางจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงจุดปลายทาง (เมื่อรถทดสอบเดินทางมุ่งทิศเหนือ)

สำหรับ Vs และ Ts การคำนวณเช่นเดียวกับ V_n และ T_n แต่จะเปลี่ยนทิศทางเหนือเป็นใต้แทน

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการสร้างและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 4 มิติ หรือ 4D CAD ตามที่กล่าวมา แสดงให้เห็นถึงความสามารถและประโยชน์ของ 4D CAD ที่ช่วยในการบริหารจัดการโครงการก่อสร้าง ได้แก่ การแสดงให้เห็นภาพรวมทั้งหมดตลอดการดำเนินโครงการก่อสร้างก่อนที่จะลงมือก่อสร้างจริง ทั้งในขั้นตอนการวางแผนและออกแบบ ที่ช่วยขจัดปัญหาการสื่อสารที่อาจจะมีความเข้าใจไม่ตรงกันในขั้นตอนการออกแบบ สามารถแสดงรูปแบบโครงการเมื่อเสร็จสมบูรณ์ช่วยสร้างความเข้าใจที่ตรงกันเพื่อแสดงต่อบุคคลทั่วไป เพื่อประโยชน์ในการประชาสัมพันธ์โครงการ เป็นการเพิ่มมูลค่าทางการตลาด หรือช่วยในการประมาณการค่าใช้จ่ายตลอดโครงการสำหรับการยื่นประมูลงาน และยังสามารถแสดงรายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ ในการก่อสร้างโดยสอดคล้องกับแผนตารางเวลาการดำเนินโครงการ จึงมองเห็นความเสี่ยงในขั้นตอนต่าง ๆ และสามารถหาแนวทางแก้ไขหรือป้องกันไว้ล่วงหน้าได้ นอกจากการใช้ 4D CAD กับโครงการก่อสร้างอาคารแล้ว ยังสามารถนำ 4D CAD ไปประยุกต์ใช้กับการบริหารโครงการก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงระบบโครงข่ายการคมนาคมขนส่งบางโครงการ แต่ยังไม่พบการใช้แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ในการศึกษาครั้งนี้จึงจะนำแบบจำลอง 4D CAD มาใช้สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจรในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ โดยทำการสร้าง 4D CAD จากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในโปรแกรม Auto CAD® ร่วมกับโปรแกรม SketchUp® จากข้อมูลเชิงพื้นที่ทางวิศวกรรมของทางแยกต่างระดับ และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบพื้นที่ โดยในแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นกำหนดให้รูปทรงทางเรขาคณิตแทนสิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภคพื้นฐาน ต่าง ๆ ในพื้นที่ และแทนเครื่องจักร เช่น เครน รถปูน รถบรรทุก ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยรูปทรงเหล่านี้จะแสดงให้เห็นภาพพื้นที่ที่เครื่องจักรเหล่านั้นจำเป็นต้องใช้ในขณะปฏิบัติงานทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง จากนั้นผนวกแบบจำลอง 3 มิติ ดังกล่าวเข้ากับแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้โปรแกรม Navisworks® เพื่อสร้าง 4D CAD โดยนำเข้าแบบจำลอง 3 มิติ ของทางแยกต่างระดับที่สร้างขึ้น ด้วยคำสั่ง Append ซึ่งสามารถ

เปิดไฟล์ได้หลากหลายนามสกุล จากนั้นใช้คำสั่ง Time Liner ในการกำหนดพื้นที่ในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่จะต้องดำเนินงานตามกิจกรรมต่าง ๆ ของแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นใช้คำสั่ง Add Task โดยในขั้นตอนนี้สามารถกำหนดวันเริ่มดำเนินงานและวันเสร็จสิ้นของแต่ละกิจกรรมที่จะต้องทำตามปฏิทินของแผนการซ่อมบำรุงได้ โปรแกรมดังกล่าวจะสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่พื้นที่ก่อสร้างตามแผนการซ่อมบำรุง ที่ทำการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุดจากการนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรที่เก็บด้วยวิธีใช้คนนับ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของกระแสจราจรในสภาวะปกติเทียบกับกรณีที่มีการปิดช่องจราจรบางส่วนในบริเวณทางแยกต่างระดับในชั่วโมงที่มีปริมาณจราจรสูงที่สุดของวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ตามแผนการซ่อมบำรุงที่มีหลากหลายแผนงานทางเลือกในโปรแกรม Aimsun ® จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ไปใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบแผนงานต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้สามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ระเบียบการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาแบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยในงานก่อสร้างและลดผลกระทบการจราจรในโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ อันประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 การคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด และส่วนที่ 2 การสร้าง 4D CAD โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

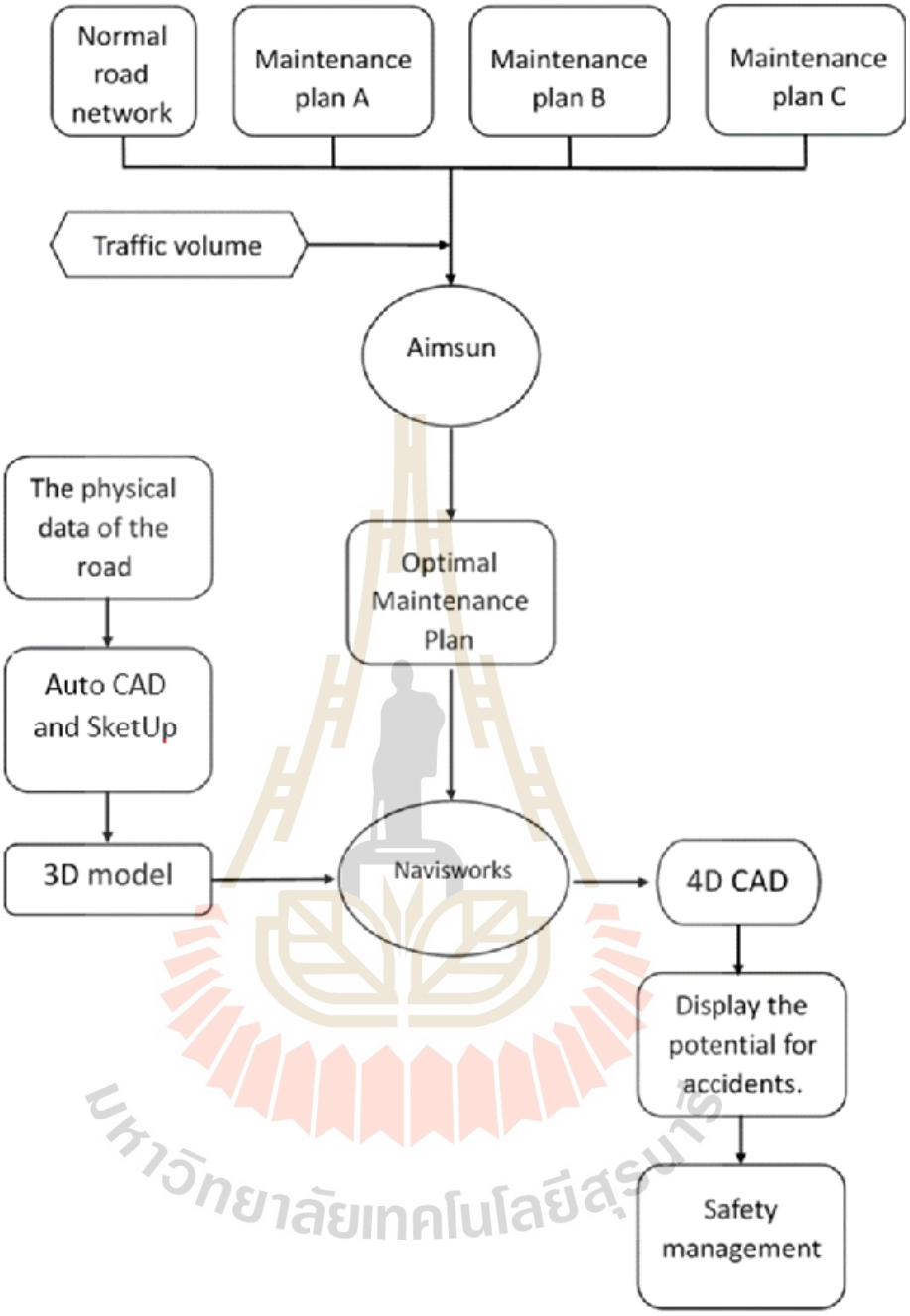
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.7 การสรุปผลทางการศึกษาและข้อเสนอแนะ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างแบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยในงานก่อสร้างและลดผลกระทบการจราจรในโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในกรอบแนวคิดต่อไปนี้ ซึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิด

3.1.1 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ 1) 4D CAD กับการบริหารจัดการโครงการก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงถนน 2) วิธีการสร้าง 4D CAD จากข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินข้างถนน และตารางเวลาดำเนินงานโครงการซ่อมบำรุงถนน 3) การศึกษาการเก็บข้อมูลจราจร วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจราจร แล้วคำนวณหาปริมาณจราจร

3.1.2 ส่วนที่ 1 การคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด

3.1.2.1 สำรวจ คัดเลือกทางแยกต่างระดับที่ต้องการศึกษาวิจัย และเก็บข้อมูลปริมาณจราจร ในช่วงเวลาปกติในวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และการจราจรติดขัดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ ซึ่งมีสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

3.1.2.2 กำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่คาดว่าจะดำเนินงานในลักษณะต่าง ๆ จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุง ให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือก เพื่อนำมาวิเคราะห์หาแผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ จะทำการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงที่คาดว่าจะดำเนินงานในลักษณะต่าง ๆ จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุงและระยะเวลาสำหรับการทำกิจกรรมเหล่านั้นให้แล้วเสร็จจากข้อมูลในคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง กรมทางหลวง (2549) ให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือก เพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจรที่ได้รับผลกระทบจากการดำเนินงานตามแผนงานเหล่านั้น แล้วนำผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังกล่าวมาเปรียบเทียบหาแผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับนี้มีระยะทางที่จะซ่อมบำรุง 1,135 เมตร ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 125 วัน เวลาปฏิบัติงานช่วงเช้า 08.30 – 12.30 น. และช่วงบ่าย 13.30 – 17.30 น. โดยปฏิบัติงานสัปดาห์ละ 6 วัน คือในวันจันทร์ถึงวันเสาร์ มีแผนการปฏิบัติงานที่มีความเป็นไปได้ 3 แผน ได้แก่ แผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยแผนงาน A และ B ถูกสร้างขึ้นตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวงซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว แผนงาน A ถูกจัดให้เริ่มต้นสถานีจากฝั่งตะวันตกของเส้นทางและย้ายไปทางทิศเหนือในขณะที่แผนงาน B ถูกจัดเรียงในทิศทางตรงกันข้ามหรือเริ่มจากทางเหนือสุดไปยังฝั่งตะวันตก สำหรับแผนงาน C กระบวนการทำงานถูกจัดในรูปแบบใหม่คือ กิจกรรมบางอย่างถูกกำหนดในทิศทางจากทิศตะวันตกไปทางทิศเหนือในช่วงเช้าและบางกิจกรรมถูกกำหนดไว้ในทิศทางตรงกันข้ามจากทางทิศเหนือไปทางทิศตะวันตกในตอนบ่าย ซึ่งมีสมมติฐานว่าการดำเนินงานที่ไม่ต่อเนื่องจะสามารถลดผลกระทบต่อการจราจรที่สัญจรผ่านบริเวณโครงการซ่อมบำรุงได้ดียิ่งขึ้น ในการกำหนดแผนงานได้แบ่งกิจกรรมในโครงการซ่อมบำรุงออกเป็น 9 กิจกรรม ซึ่งแต่ละกิจกรรมที่แสดงในแผนงานทั้ง 3 แผนงานนี้ ได้คำนวณหาปริมาณงานที่สามารถปฏิบัติงานได้โดยใช้หน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง โดยคำนวณจากข้อมูลทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ในกิจกรรม ของปริมาณงานที่จะซ่อมบำรุงได้ในหน่วยเมตรต่อวัน ตามที่ระบุไว้ในคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง กรมทางหลวง (2549) ซึ่งมีรายละเอียดของกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

(1) การปิดกั้นช่องจราจร

กิจกรรมการปิดกั้นช่องจราจรนี้จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 23.646 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 1 และเสร็จสิ้นในวันที่ 6

(2) การกำหนดพื้นที่เสียหาย

กิจกรรมการกำหนดพื้นที่เสียหายจะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 20.268 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 1 และเสร็จสิ้นในวันที่ 8

(3) การเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก

กิจกรรมเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก กิจกรรมนี้จะทำการแบ่งทางต่างระดับออกเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะของโครงสร้างทางต่างระดับคือ Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างฐานรากที่มีส่วนประกอบเป็นดินอัดแน่นและมีกำแพงกันดินเป็นกิจกรรมที่ 3 ในแผนงาน และ Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135 ที่มีโครงสร้างเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยกลอยเป็นกิจกรรมที่ 4 ในแผนงาน โดยกิจกรรมนี้จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ในแผนงาน A และแผนงาน B แต่สำหรับแผนงาน C กระบวนการทำงานถูกจัดในรูปแบบใหม่คือ กิจกรรมนี้จะถูกกำหนดในทิศทางจากทิศตะวันตกไปทางทิศเหนือในช่วงเช้า และถูกกำหนดไว้ในทิศทางตรงกันข้ามจากทางทิศเหนือไปทางทิศตะวันตกในตอนบ่าย โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 6.169 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 9 และเสร็จสิ้นในวันที่ 36

(4) การปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง

กิจกรรมการปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง กิจกรรมนี้จะทำการแบ่งทางต่างระดับออกเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะของโครงสร้างทางต่างระดับคือ Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างฐานรากที่มีส่วนประกอบเป็นดินอัดแน่นและมีกำแพงกันดินเป็นกิจกรรมที่ 5 ในแผนงาน และ Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135 ที่มีโครงสร้างเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยกลอย เป็นกิจกรรมที่ 6 ในแผนงาน โดยกิจกรรมนี้จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ในแผนงาน A และแผนงาน B แต่สำหรับแผนงาน C กระบวนการทำงานถูกจัดในรูปแบบใหม่คือ กิจกรรมนี้จะถูกกำหนดในทิศทางจากทิศตะวันตกไปทางทิศเหนือในช่วงเช้า และถูก

กำหนดไว้ในทิศทางตรงกันข้ามจากทางทิศเหนือไปทางทิศตะวันตกในตอนบ่าย โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 4.173 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 16 และเสร็จสิ้นในวันที่ 55

(5) การก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่

กิจกรรมการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่ จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 1.819 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 22 และเสร็จสิ้นในวันที่ 113

(6) งานรอยต่อถนน

กิจกรรมงานรอยต่อถนน จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 1.796 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 23 และเสร็จสิ้นในวันที่ 115

(7) งานสีตีเส้น

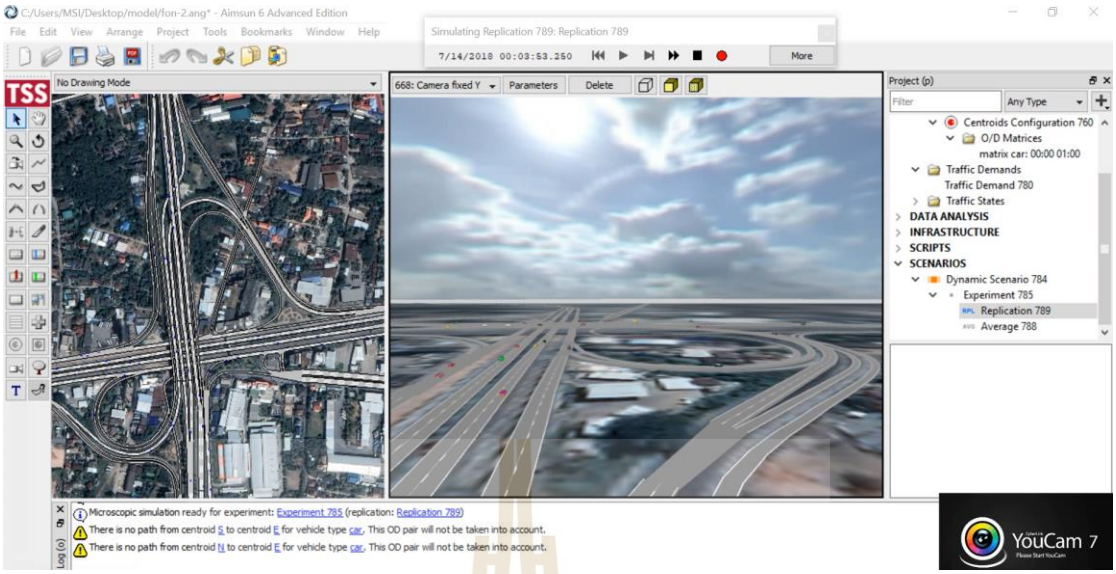
กิจกรรมงานสีตีเส้น จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 8.346 เมตรต่อชั่วโมง กิจกรรมนี้จะเริ่มต้นในวันที่ 106 และเสร็จสิ้นในวันที่ 125

ในการวิจัยครั้งนี้ จะสร้างตารางเวลาปฏิบัติงานก่อสร้างด้วยโปรแกรม Microsoft Project จากข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุงที่กล่าวมา โดยการสร้าง New Project ขึ้นมา จากนั้น ทำการตั้งค่า Schedule from โดยการกำหนดวันเริ่มต้นของกิจกรรม (Project Start Date) และวันสิ้นสุดของกิจกรรม (Project Finish Date) จากนั้นกำหนดข้อมูลของกิจกรรมนั้น ๆ จากนั้นกำหนดค่า Priority และตั้งค่า Duration ว่ากิจกรรมเหล่านั้นใช้ระยะเวลาเท่าไรในการปฏิบัติงาน เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยระบบจะทำการคำนวณวันเสร็จสิ้นโครงการ (Finish Date) เมื่อตั้งค่าวันที่เสร็จเรียบร้อยจะต้องทำการกำหนดระดับของงาน โดยที่ระดับของงานจะแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ 1. งานปกติ (Task) 2. งานที่ใหญ่ที่สุด (Summary Task) 3. งานที่ย่อยที่เป็นส่วนประกอบของงานใหญ่ (Sub Task) 4. งานที่ใช้สังเกตบอกความก้าวหน้าของงาน (Milestone) จากนั้นกำหนดความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ว่าเป็นรูปแบบใดใน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1. Finish to start (FS) 2. Start to start (SS) 3. Finish to finish (FF) และ 4. Start to finish (SF) เพื่อสร้างเป็นตารางเวลาปฏิบัติงาน

3.1.2.3 ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งใช้วิธีการสำรวจโดยการใช้คนนับ (Manual Counts) ในลักษณะทราบจำนวนในแต่ละทิศทางของการจราจร ในการเก็บข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณจราจรในแต่ละช่วงของถนนที่ทำการศึกษาในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่ วันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์

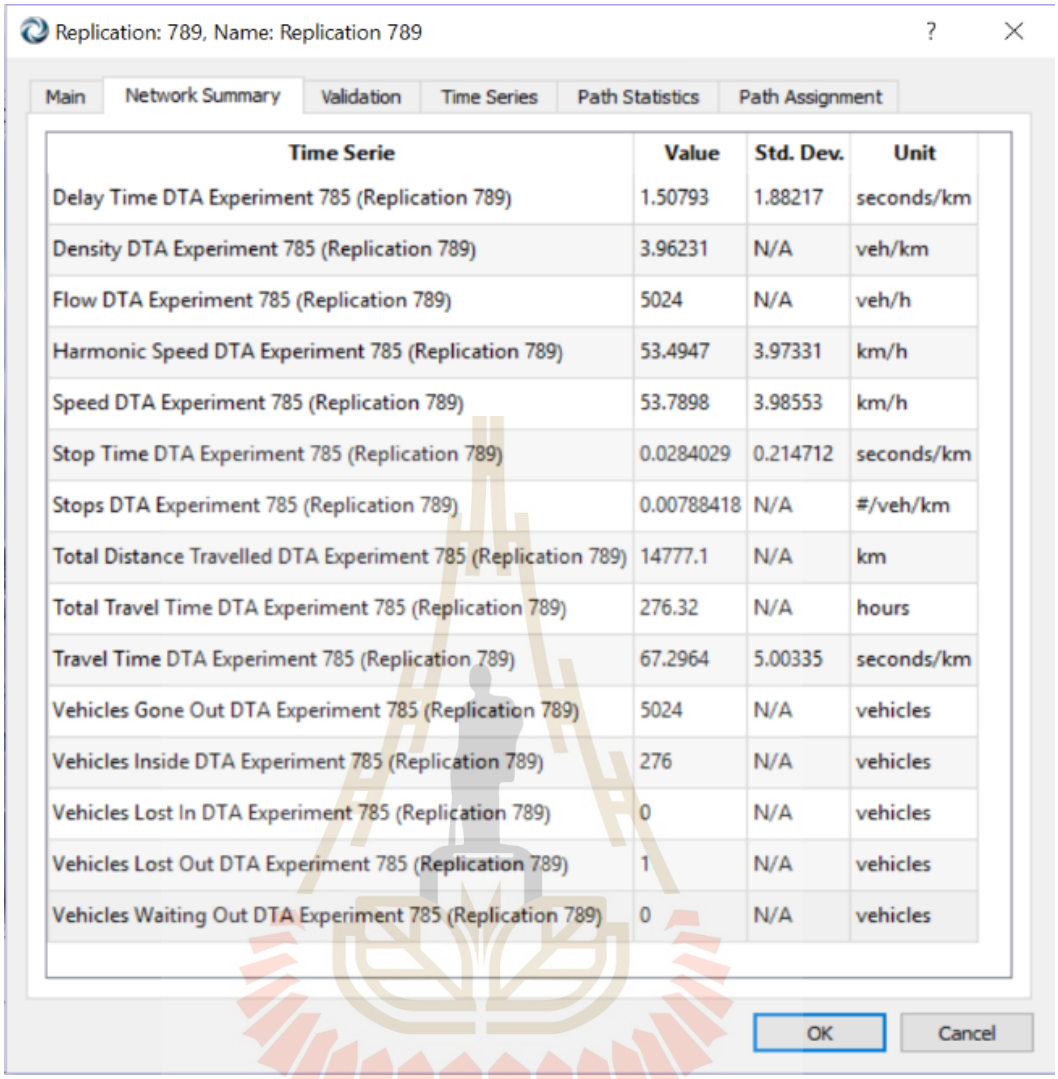
3.1.2.4 นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจร เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของกระแสจราจรในสภาวะปกติ เทียบกับกรณีที่มีการปิดช่องจราจรบางส่วนในบริเวณทางแยกต่างระดับในชั่วโมงที่มีปริมาณจราจรสูงที่สุดของวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ตามแผนการซ่อมบำรุงที่มีหลากหลายแผนงานทางเลือกในโปรแกรม Aimsun® โดยทำการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่บริเวณทางแยกต่างระดับนครราชสีมา จากนั้นวาดถนนโดยใช้คำสั่ง Creates a Section และ Creates a New Vertex จากนั้นทำการยกถนนที่สร้างขึ้นในโปรแกรมให้มีค่าระดับตามสภาพถนนจริง และใส่ข้อมูลจราจรแบบรู้ทิศทางการเดินทาง ในการวิเคราะห์ข้อมูลจราจรจะต้องกำหนดลักษณะการปิดกั้นถนนในแบบจำลองโครงข่ายถนนที่สร้างขึ้นตามลักษณะการปิดกั้นถนนขณะที่จะดำเนินโครงการจริงตามแผนการซ่อมบำรุงที่มีหลากหลายแผนงานทางเลือก จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ไปใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบแผนงานต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยโปรแกรมจะมีลักษณะการแสดงผลในการรันและค่าพารามิเตอร์ของการจราจรดังแสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 ลักษณะการแสดงผลของโปรแกรม Aimsun®

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time DTA Experiment 785 (Replication 789)	1.50793	1.88217	seconds/km
Density DTA Experiment 785 (Replication 789)	3.96231	N/A	veh/km
Flow DTA Experiment 785 (Replication 789)	5024	N/A	veh/h
Harmonic Speed DTA Experiment 785 (Replication 789)	53.4947	3.97331	km/h
Speed DTA Experiment 785 (Replication 789)	53.7898	3.98553	km/h
Stop Time DTA Experiment 785 (Replication 789)	0.0284029	0.214712	seconds/km
Stops DTA Experiment 785 (Replication 789)	0.00788418	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled DTA Experiment 785 (Replication 789)	14777.1	N/A	km
Total Travel Time DTA Experiment 785 (Replication 789)	276.32	N/A	hours
Travel Time DTA Experiment 785 (Replication 789)	67.2964	5.00335	seconds/km
Vehicles Gone Out DTA Experiment 785 (Replication 789)	5024	N/A	vehicles
Vehicles Inside DTA Experiment 785 (Replication 789)	276	N/A	vehicles
Vehicles Lost In DTA Experiment 785 (Replication 789)	0	N/A	vehicles
Vehicles Lost Out DTA Experiment 785 (Replication 789)	1	N/A	vehicles
Vehicles Waiting Out DTA Experiment 785 (Replication 789)	0	N/A	vehicles

รูปที่ 3.3 การแสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจรในโปรแกรม Aimsun®

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.3 ส่วนที่ 2 การสร้าง 4D CAD

3.1.3.1 สร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในโปรแกรม Auto CAD® ร่วมกับโปรแกรม SketchUp® จากข้อมูลเชิงพื้นที่ทางวิศวกรรมของทางแยกต่างระดับ และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบพื้นที่ โดยในแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นกำหนดให้รูปทรงทางเรขาคณิตแทนสิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภคพื้นฐานต่าง ๆ พื้นที่

3.1.3.2 ผนวกแบบจำลอง 3 มิติ ดังกล่าวเข้ากับแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยใช้โปรแกรม Navisworks® เพื่อสร้าง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง ทำให้สามารถ

เห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา โดยนำเข้าแบบจำลอง 3 มิติ ของทางแยกต่างระดับที่สร้างขึ้น ด้วยคำสั่ง Append ซึ่งสามารถเปิดไฟล์ได้หลากหลากนามสกุล จากนั้นใช้คำสั่ง Time Liner ในการกำหนดพื้นที่ในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่จะต้องดำเนินงานตามกิจกรรมต่าง ๆ ของแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุดที่สร้างด้วย โปรแกรม Microsoft Project ดังที่กล่างข้างต้น ด้วยคำสั่ง Add Task โดยในขั้นตอนนี้สามารถกำหนดวันเริ่มดำเนินงานและวันเสร็จสิ้นของแต่ละกิจกรรมที่จะต้องทำตามปฏิทินของแผนการซ่อมบำรุงได้ โปรแกรมดังกล่าวจะสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานตามแผนการซ่อมบำรุง ซึ่งทำให้สามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้

3.1.4 พิจารณาและวิเคราะห์จุดเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุง ตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง จากการแสดงภาพของ 4D CAD ที่สร้างขึ้น

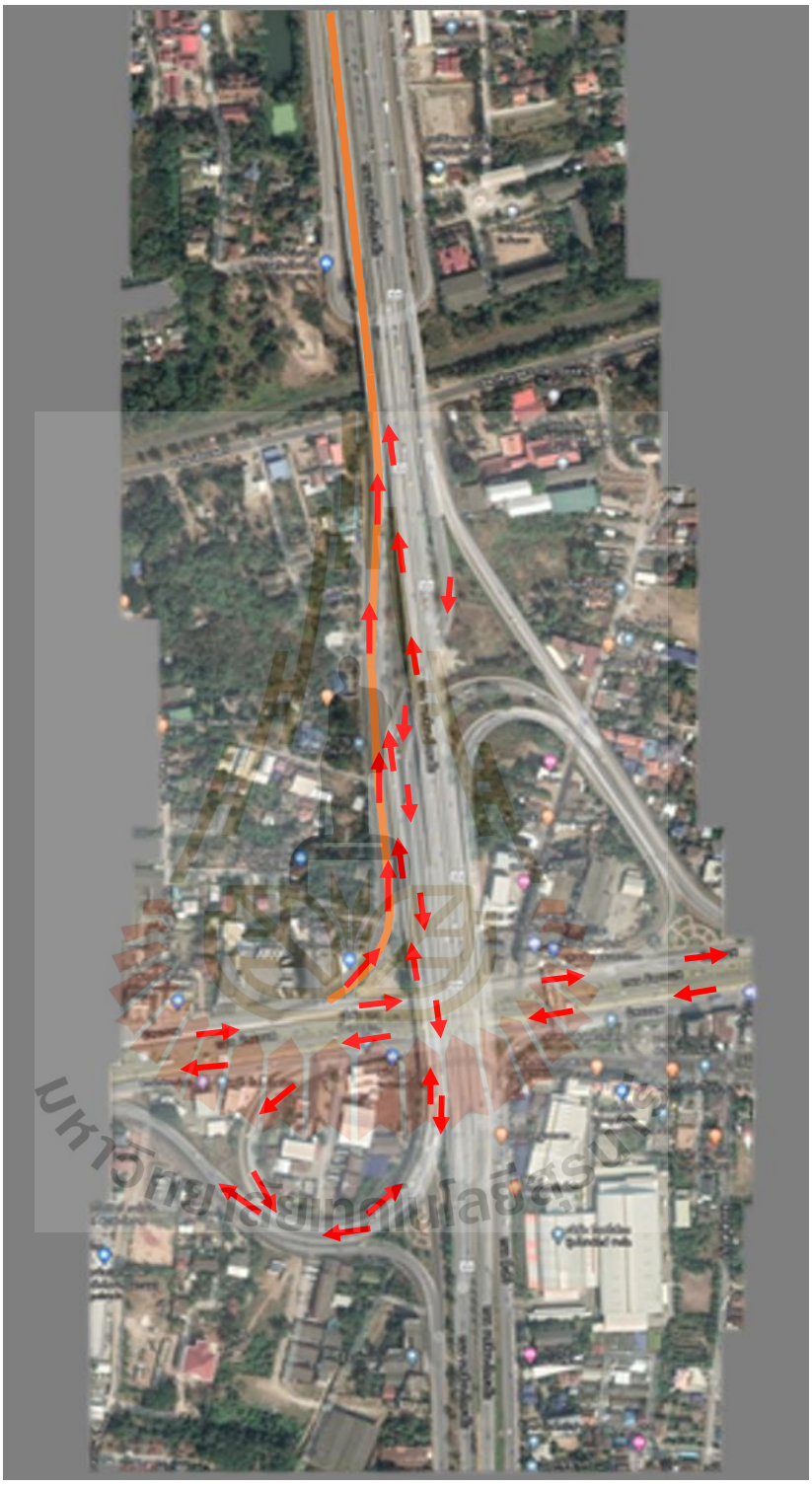
3.1.5 พิจารณาปรับแผนในการดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จากข้อจำกัดและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่ 4D CAD ที่สร้างขึ้นแสดงภาพ

3.1.6 นำเสนอมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ที่สัมพันธ์กับปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งาน

3.1.7 สรุปผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ พร้อมทั้งนำเสนอมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ และแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด

3.2 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ทำการศึกษาโดยเลือกทางแยกต่างระดับนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย เป็นกรณีศึกษา ซึ่งเป็นทางแยกต่างระดับที่มีผิวทางเดิมเป็นผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับรองรับปริมาณจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาปกติในวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และการจราจรติดขัดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ และมีสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน รวมถึงมีลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบทางแยกต่างระดับที่หลากหลาย และบริเวณที่ทำการซ่อมบำรุงที่แสดงด้วยสีน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบและทิศทางการจราจรของทางแยกต่างระดับนครราชสีมาที่ได้รับผลกระทบ

3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัย เรื่องแบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจร ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ กรณีศึกษาทางแยกต่างระดับนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลประเภทปฐมภูมิ (Primary Data) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการศึกษาสำรวจจากสถานที่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยจริง โดยใช้วิธีการคนสำรวจในการเก็บข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินข้างถนน และใช้วิธีการเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนามจากการใช้วิธีการสำรวจโดยสำรวจโดยใช้คนนับ (Manual Counts) ในการเก็บข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณจราจรในแต่ละช่วงของถนนที่ทำการศึกษา โดยจำแนกประเภทของยานพาหนะที่ทำการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่	1	คือ	รถจักรยานยนต์
ประเภทที่	2	คือ	รถยนต์นั่ง 4 ล้อ รถโฟว์วิล รถปิคอัพ รถบรรทุก 4 ล้อ รถสองแถว 4 ล้อ ซูบารุและรถตู้
ประเภทที่	3	คือ	รถบรรทุกตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป รถนำเที่ยว รถโดยสาร รถที่ใช้ในการเกษตร

และใช้ข้อมูลประเภททุติยภูมิ (Secondary source) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการสอบถามข้อมูลจากกรมทางหลวง เช่น ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนนเพื่อใช้ในการสร้าง 4D CAD เพื่อใช้ในการบริหารจัดการโครงการซ่อมบำรุงถนนในพื้นที่ศึกษา

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย มีดังต่อไปนี้

1)	เครื่องคอมพิวเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
2)	เครื่องพิมพ์คอมพิวเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
3)	เครื่อง Scanner	จำนวน 1 เครื่อง
4)	กล้องวีดีโอสำหรับเก็บข้อมูลโดยวิธี Manual Counts	จำนวน 1 ชุด
5)	ซอฟแวร์โปรแกรมระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows	จำนวน 1 ชุด
6)	ซอฟแวร์โปรแกรม Microsoft Office	จำนวน 1 ชุด
7)	ซอฟแวร์โปรแกรม Autodesk® AutoCAD® Civil 3D®	จำนวน 1 ชุด
8)	ซอฟแวร์โปรแกรม Navisworks Manage®	จำนวน 1 ชุด
9)	นาฬิกาจับเวลา	จำนวน 1 เรือน

3.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการศึกษาการพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจร ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ กรณีศึกษาทางแยกต่างระดับนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลดังนี้

3.5.1 ใช้คนนับ (Manual Counts) ในลักษณะทราบจำนวนในแต่ละทิศทางของการจราจรในการเก็บข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ได้คือปริมาณจราจรที่เดินทางผ่านทางแยกต่างระดับที่ทำการศึกษา โดยเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลในวันธรรมดา 3 วันวันหยุดสุดสัปดาห์ 3 วัน และวันหยุดนักขัตฤกษ์ 3 วัน จากนั้น จะนำข้อมูลที่เก็บได้มาหาค่าเฉลี่ยโดยแยกเป็นชุดข้อมูลในวันธรรมดา ชุดข้อมูลในวันหยุดสุดสัปดาห์ และชุดข้อมูลในวันหยุดนักขัตฤกษ์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

3.5.2 ใช้วิธีการสำรวจโดยใช้คนลงพื้นที่ ในสำรวจและเก็บข้อมูลลักษณะการให้ประโยชน์ที่ดินข้างทางในบริเวณของพื้นที่ศึกษา โดยจัดเก็บข้อมูลแบ่งเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่าง ๆ เช่น บริเวณที่พักอาศัยและการพาณิชย์ต่าง ๆ สถานที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ บริเวณบ้านพักอาศัยและพื้นที่การเกษตร พื้นที่ป่าไม้และแหล่งน้ำ เป็นต้น

3.5.3 ใช้วิธีการสอบถามข้อมูลจากกรมทางหลวง เช่น ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนนเพื่อใช้ในการสร้าง 4D CAD เพื่อใช้ในการบริหารจัดการโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับในพื้นที่ศึกษา

3.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

เมื่อทำการสำรวจเก็บข้อมูลจากภาคสนามบนทางแยกต่างระดับที่ทำการศึกษา รวมถึงสอบถามข้อมูลจาก กรมทางหลวงและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทำการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินข้างทางและตารางเวลาการดำเนินงานโครงการซ่อมบำรุงถนน มาสร้างแบบจำลอง 4D CAD โดยสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® Sketch Up® เพื่อแสดงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศของทางแยกต่างระดับในบริเวณที่ต้องการจะดำเนินโครงการ และกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่คาดว่าจะดำเนินงานในลักษณะต่าง ๆ จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุง ให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือกเพื่อนำมาวิเคราะห์หาแผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทาง

แยกต่างระดับให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือก จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุง จากนั้นนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจร เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของกระแสจราจรในสภาวะปกติ เทียบกับกรณีที่มีการปิดช่องจราจรบางส่วนในบริเวณทางแยกต่างระดับในชั่วโมงที่มีปริมาณจราจรสูงสุดในวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ตามแผนการซ่อมบำรุงที่มีหลากหลายแผนงานทางเลือกในโปรแกรม Aimsun® แล้วนำค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ที่ได้ ไปใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบแผนงานทั้ง 3 เพื่อคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นใช้โปรแกรม Navisworks Manage® ในการนำเข้าข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้น และนำเข้าข้อมูลตารางเวลาการดำเนินงานโครงการที่เหมาะสมที่สุดที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Project เพื่อสร้างเป็น 4D CAD และนำ 4D CAD แสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง พิจารณาและวิเคราะห์จุดเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุง ตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง จากการแสดงภาพของ 4D CAD ที่สร้างขึ้น จากนั้นพิจารณาปรับแผนในการดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จากข้อจำกัดและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่ 4D CAD ที่สร้างขึ้นแสดงภาพ และนำเสนอมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ที่สัมพันธ์กับปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งาน

3.7 การสรุปผลทางการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบนทางแยกต่างระดับนครราชสีมาที่ทำการศึกษา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการศึกษาตามที่ได้กำหนดขั้นตอนไว้สามารถนำมาสรุปในขั้นตอนสุดท้าย ดังนี้

1. ทราบแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด
2. ได้ 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และสามารถเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ทราบมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ที่สัมพันธ์กับปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งาน

เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น สามารถทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ในการป้องกันได้อย่างเพียงพอและเหมาะสม รวมถึงจัดเตรียมอุปกรณ์ปิดกั้นเส้นทางที่เหมาะสมและเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ในจุดเสี่ยงที่เกิดจากการปิดกั้นพื้นที่ที่เครื่องจักรต้องใช้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งทำให้สามารถประมาณการงบประมาณในการดำเนินโครงการได้อย่างใกล้เคียงความเป็นจริง และป้องกันการเกิดความสูญเสียต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งเป็นการจัดการความปลอดภัยของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจร ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 การคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด และส่วนที่ 2 การสร้าง 4D CAD โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

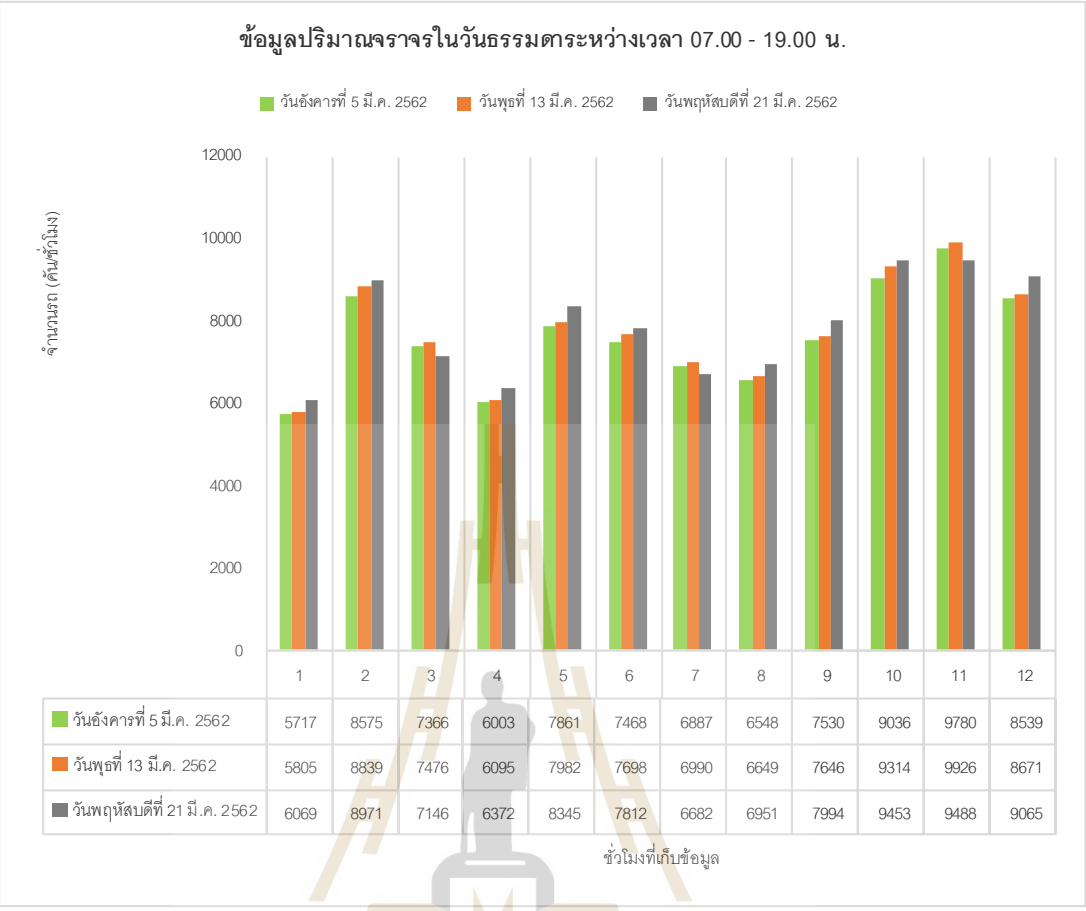
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณหาอัตราการไหล (Flow)

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยวิธีการสำรวจโดยการใช้คนนับ (Manual Counts) ในลักษณะทราบจำนวนในแต่ละทิศทางของการจราจร ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลในวันธรรมดา 3 วัน วันหยุดสุดสัปดาห์ 3 วัน และวันหยุดนักขัตฤกษ์ 3 วัน จากนั้นจะนำข้อมูลที่เก็บได้มาหาค่าเฉลี่ยโดยแยกเป็นชุดข้อมูลในวันธรรมดา ชุดข้อมูลในวันหยุดสุดสัปดาห์ และชุดข้อมูลในวันหยุดนักขัตฤกษ์ จะได้ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้ คือ

1. ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันธรรมดา
2. ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันหยุดสุดสัปดาห์
3. ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันหยุดนักขัตฤกษ์

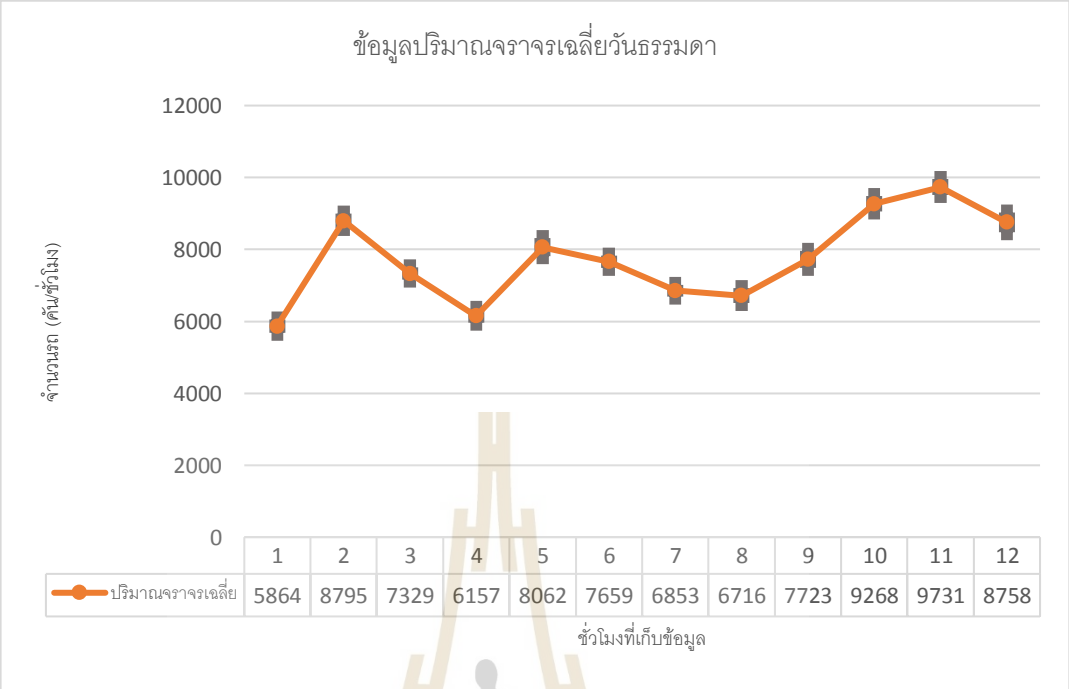
แล้วนำข้อมูลที่เก็บได้จากภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้



รูปที่ 4.1 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันธรรมดา

ตารางที่ 4.1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันธรรมดา

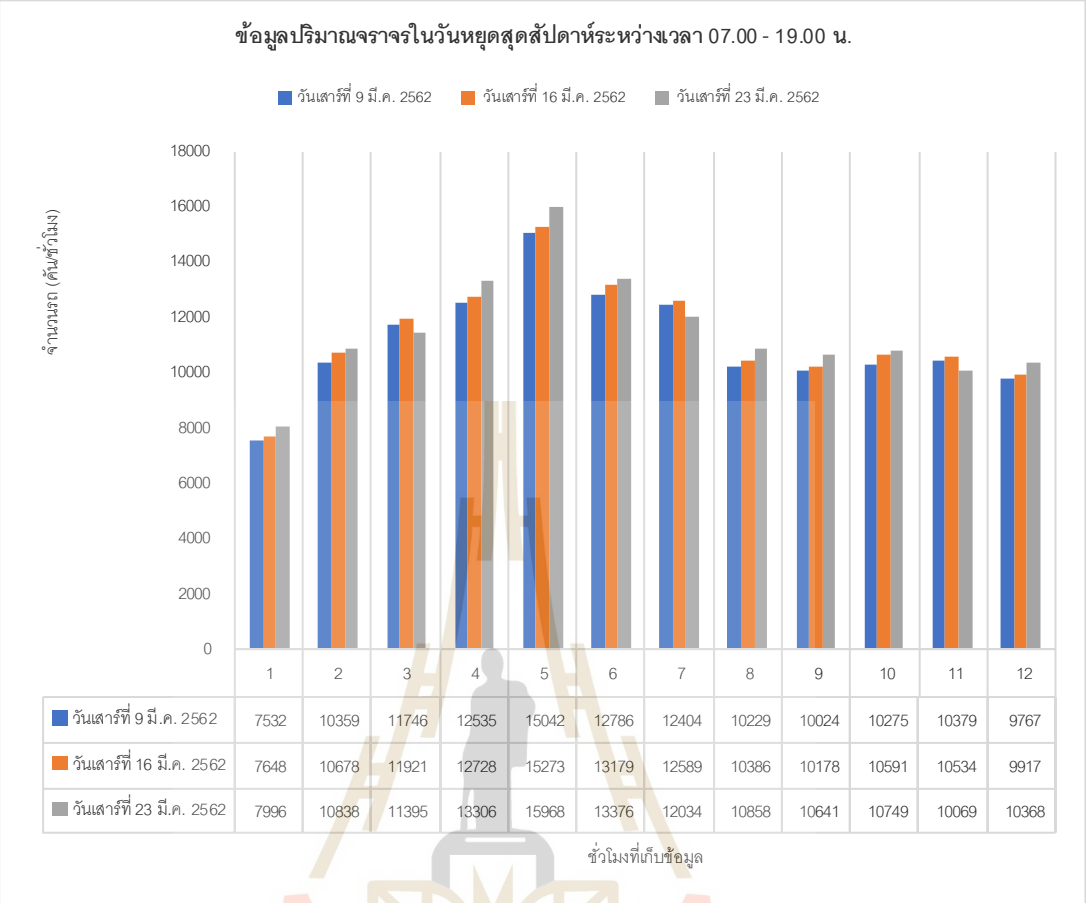
ชั่วโมงที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ค่า S.D.	183	202	168	192	252	176	157	210	241	212	223	273



รูปที่ 4.2 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันธรรมดา

จากปริมาณจราจรเฉลี่ยวันธรรมดาที่แสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันธรรมดาสูงสุดคือ 9,731 คัน ในชั่วโมงที่ 11 ช่วงเวลา 17.00 – 18.00 น. จึงใช้ข้อมูลในช่วงเวลานี้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อไป

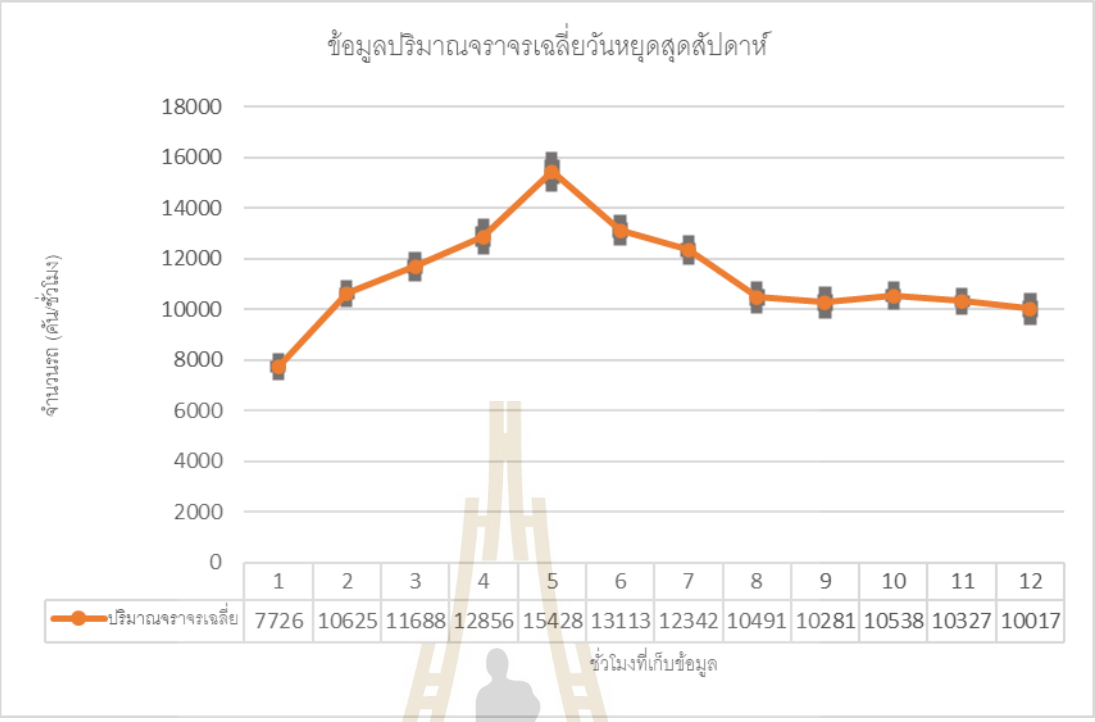
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.3 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันหยุดสุดสัปดาห์

ตารางที่ 4.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันหยุดสุดสัปดาห์

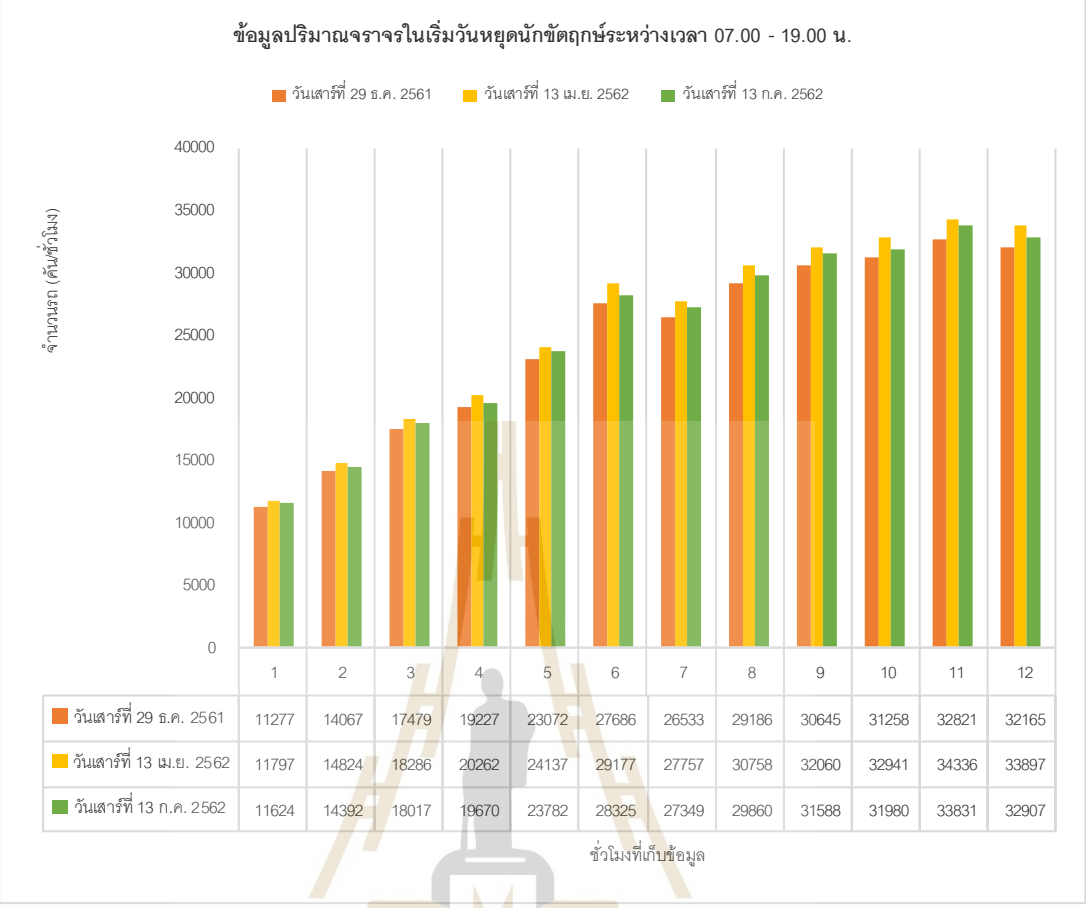
ชั่วโมงที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ค่า S.D.	241	243	268	401	482	300	283	328	321	241	237	313



รูปที่ 4.4 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันหยุดสุดสัปดาห์

จากปริมาณจราจรเฉลี่ยวันหยุดสุดสัปดาห์ที่แสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันหยุดสุดสัปดาห์สูงสุดคือ 15,428 คัน ในชั่วโมงที่ 5 ช่วงเวลา 11.00-12.00 น. จึงใช้ข้อมูลในช่วงเวลานี้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อไป

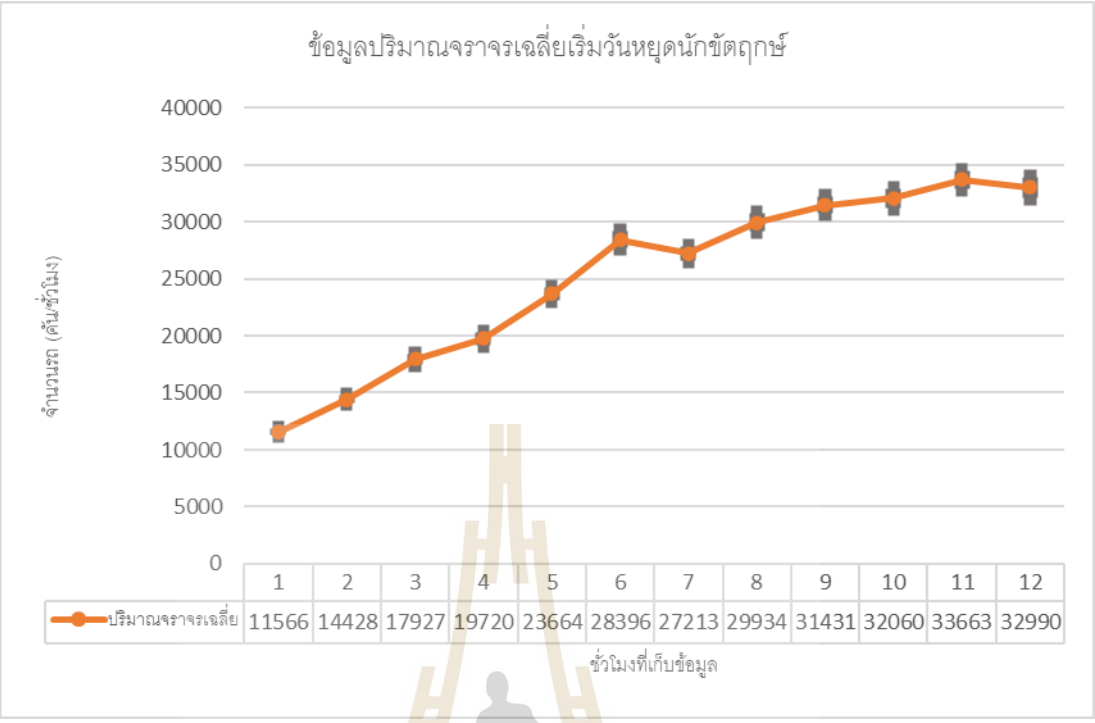
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันเริ่มวันหยุดนักขัตฤกษ์

ตารางที่ 4.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันเริ่มวันหยุดนักขัตฤกษ์

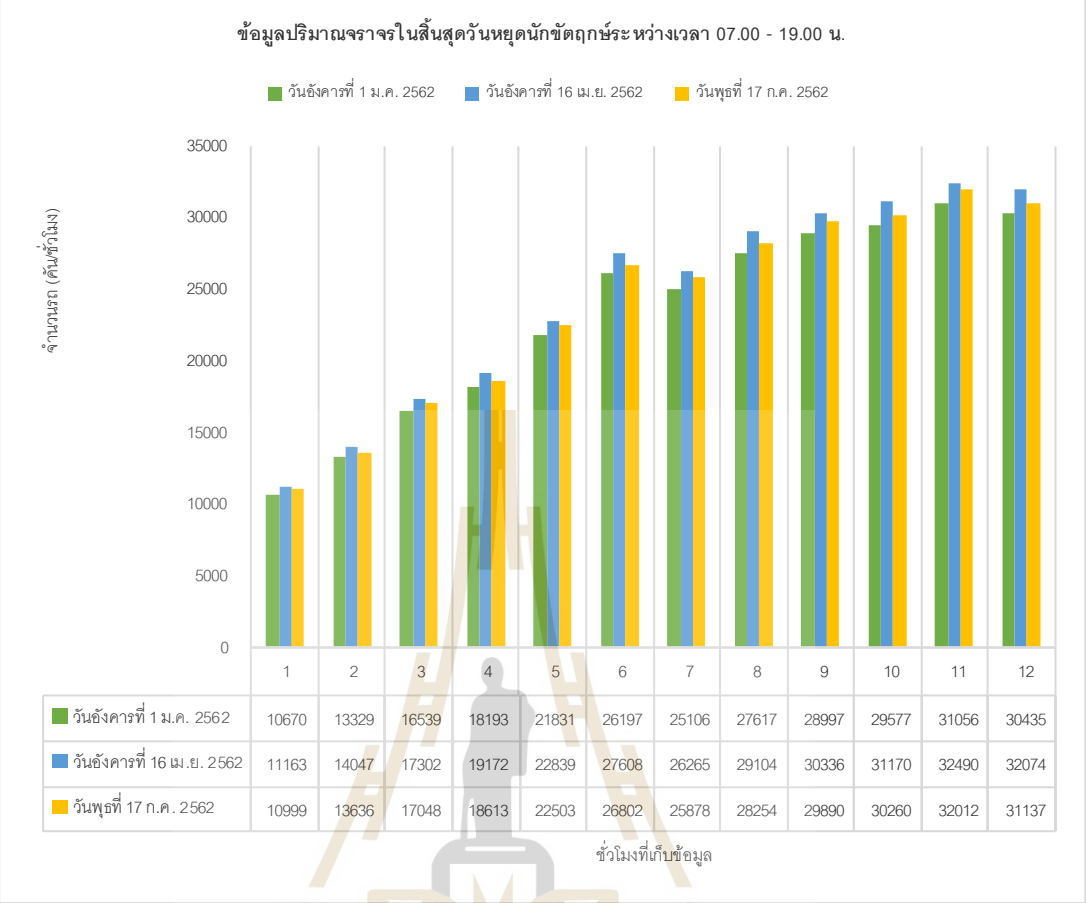
ชั่วโมงที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ค่า S.D.	265	380	411	519	542	748	624	788	720	844	771	869



รูปที่ 4.6 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันเริ่มวันหยุดนักขัตฤกษ์

จากปริมาณจราจรเฉลี่ยวันแรกของวันหยุดนักขัตฤกษ์ที่แสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันแรกของวันหยุดนักขัตฤกษ์สูงสุดคือ 33,663 คัน ในชั่วโมงที่ 11 ช่วงเวลา 17.00-18.00 น. จึงใช้ข้อมูลในช่วงเวลานี้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อไป

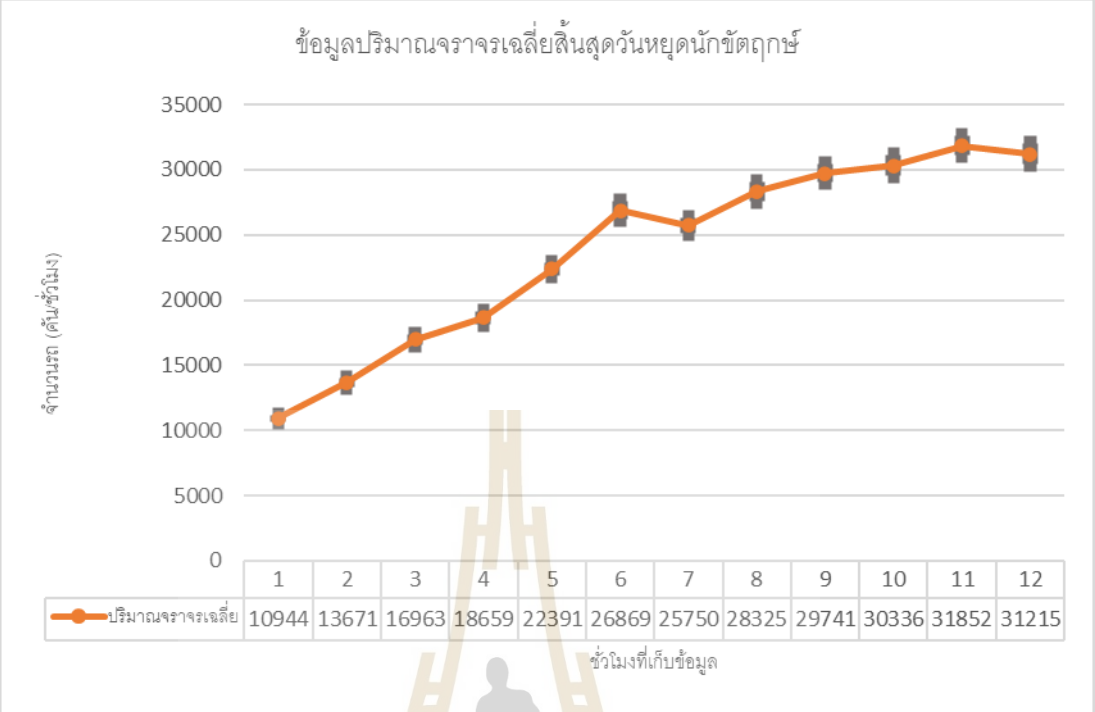
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.7 ปริมาณจราจรในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ในวันสิ้นสุดวันหยุดนักขัตฤกษ์

ตารางที่ 4.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจราจรเฉลี่ยวันสิ้นสุดวันหยุดนักขัตฤกษ์

ชั่วโมงที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ค่า S.D.	251	360	389	491	513	708	590	746	681	799	730	822



รูปที่ 4.8 ปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันสิ้นสุดวันหยุดนักขัตฤกษ์

จากปริมาณจราจรเฉลี่ยวันสิ้นสุดของวันหยุดนักขัตฤกษ์ที่แสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าปริมาณจราจรเฉลี่ยในวันสิ้นสุดของวันหยุดนักขัตฤกษ์สูงสุดคือ 31,852 คัน ในชั่วโมงที่ 11 ช่วงเวลา 17.00-18.00 น. จึงใช้ข้อมูลในช่วงเวลานี้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อไป

4.1.2 การกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ

การกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ จะทำการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงที่คาดว่าจะดำเนินงานในลักษณะต่าง ๆ จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุงและระยะเวลาสำหรับการทำกิจกรรมเหล่านั้นให้แล้วเสร็จจากข้อมูลในคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง กรมทางหลวง (2549) ให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือก เพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจรที่ได้รับผลกระทบจากการดำเนินงานตามแผนงานเหล่านั้น แล้วนำผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังกล่าวมาเปรียบเทียบหาแผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับนี้มีระยะทางที่จะซ่อมบำรุง 1,135 เมตร ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 125 วัน เวลาปฏิบัติงานช่วงเช้า 08.30 – 12.30 น. และช่วงบ่าย 13.30 – 17.30 น. โดยปฏิบัติงานสัปดาห์ละ 6 วัน คือในวันจันทร์ถึงวันเสาร์ มีแผนการปฏิบัติงานที่มีความเป็นไปได้

3 แผน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ได้แก่ แผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยแผนงาน A และ B ถูกสร้างขึ้นตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวงซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว แผนงาน A ถูกจัดให้เริ่มต้นสถานีจากฝั่งตะวันตกของเส้นทางและย้ายไปทางทิศเหนือในขณะที่แผนงาน B ถูกจัดเรียงในทิศทางตรงกันข้ามหรือเริ่มจากทางเหนือสุดไปยังฝั่งตะวันตก สำหรับแผนงาน C กระบวนการทำงานถูกจัดในรูปแบบใหม่คือ กิจกรรมบางอย่างถูกกำหนดในทิศทางจากทิศตะวันตกไปทางทิศเหนือในช่วงเช้าและบางกิจกรรมถูกกำหนดไว้ในทิศทางตรงกันข้ามจากทางทิศเหนือไปทางทิศตะวันตกในตอนบ่าย ซึ่งมีสมมติฐานว่าการดำเนินงานที่ไม่ต่อเนื่องจะสามารถลดผลกระทบต่อการจราจรที่สัญจรผ่านบริเวณโครงการซ่อมบำรุงได้ดียิ่งขึ้น

ในการกำหนดแผนงานได้แบ่งกิจกรรมในโครงการซ่อมบำรุงออกเป็น 9 กิจกรรม ซึ่งแต่ละกิจกรรมที่แสดงในแผนงานทั้ง 3 แผนงานนี้ ได้คำนวณหาปริมาณงานที่สามารถปฏิบัติงานได้โดยใช้หน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง โดยคำนวณจากข้อมูลทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ในกิจกรรม ของปริมาณงานที่จะซ่อมบำรุงได้ในหน่วยเมตรต่อวัน ตามที่ระบุไว้ในคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง กรมทางหลวง (2549) ซึ่งมีรายละเอียดของกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

4.1.2.1 การปิดกั้นช่องจราจร

กิจกรรมการปิดกั้นช่องจราจรนี้จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 23.646 เมตรต่อชั่วโมง

4.1.2.2 การกำหนดพื้นที่เสียหาย

กิจกรรมการกำหนดพื้นที่เสียหายจะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 20.268 เมตรต่อชั่วโมง

4.1.2.3 การเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก

กิจกรรมเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก กิจกรรมนี้จะทำการแบ่งทางต่างระดับออกเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะของโครงสร้างทางต่างระดับคือ Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างฐานรากที่มีส่วนประกอบเป็นดินอัดแน่นและมีกำแพงกันดินดังแสดงในรูปที่ 4.5 เป็นกิจกรรมที่ 3 ในแผนงาน และ Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135 ที่มีโครงสร้างเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยกลอยดังแสดงในรูปที่ 4.6 เป็นกิจกรรมที่ 4 ในแผนงาน โดยกิจกรรมนี้จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ในแผนงาน A และแผนงาน B แต่สำหรับแผนงาน C กระบวนการทำงานถูกจัดในรูปแบบใหม่คือ กิจกรรมนี้จะถูกกำหนดในทิศทางจากทิศตะวันตกไป

ทางทิศเหนือในช่วงเช้า และถูกกำหนดไว้ในทิศทางตรงกันข้ามจากทางทิศเหนือไปทางทิศตะวันตกในตอนบ่าย โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 6.169 เมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.9 โครงสร้างฐานรากที่มีส่วนประกอบเป็นดินอัดแน่นและมีกำแพงกันดิน

รูปที่ 4.10 โครงสร้างเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยกลอย

4.1.2.4 การปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง

กิจกรรมการปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง กิจกรรมนี้จะทำการแบ่งทางต่างระดับออกเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะของโครงสร้างทางต่างระดับคือ Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างฐานรากที่มีส่วนประกอบเป็นดินอัดแน่นและมีกำแพงกันดินเป็นกิจกรรมที่ 5 ในแผนงาน และ Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135 ที่มีโครงสร้างเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยกลอย เป็นกิจกรรมที่ 6 ในแผนงาน โดยกิจกรรมนี้จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ในแผนงาน A และแผนงาน B แต่สำหรับแผนงาน C กระบวนการทำงานถูกจัดในรูปแบบใหม่คือ กิจกรรมนี้จะถูกกำหนดในทิศทางจากทิศตะวันตกไปทางทิศเหนือในช่วงเช้า และถูกกำหนดไว้ในทิศทางตรงกันข้ามจากทางทิศเหนือไปทางทิศตะวันตกในตอนบ่าย โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 4.173 เมตรต่อชั่วโมง

4.1.2.5 การก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่

กิจกรรมการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่ จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 1.819 เมตรต่อชั่วโมง

4.1.2.6 งานรอยต่อถนน

กิจกรรมงานรอยต่อถนน จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 1.796 เมตรต่อชั่วโมง

4.1.2.7 งานสีตีเส้น

กิจกรรมงานสีตีเส้น จะกำหนดแผนงานตามการบำรุงรักษาทั่วไปของทางหลวง ซึ่งการก่อสร้างเริ่มจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในทิศทางเดียว ทั้งในแผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C โดยในกิจกรรมนี้มีปริมาณงาน 8.346 เมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 แผนงาน A เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ

วันที่ดำเนินกิจกรรม / กิจกรรมที่ต้องดำเนินงาน	1-6	8-13	15-20	22-27	29-34	36-41	43-48	50-55	57-62	64-69	71-76	78-83	85-90	92-97	99-104	106-111	113-118	120-125
1. ปิดกั้นช่องจราจร																		
2. กำหนดพื้นที่เสียหาย																		
3. เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510																		
4. เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135																		
5. ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510																		
6. ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135																		
7. ก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่																		
8. งานรอยต่อถนน																		
9. งานสีตีเส้น																		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 แผนงาน B เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก

วันที่ดำเนินกิจกรรม / กิจกรรมที่ต้องดำเนินงาน	1-6	8-13	15-20	22-27	29-34	36-41	43-48	50-55	57-62	64-69	71-76	78-83	85-90	92-97	99-104	106-111	113-118	120-125
1. ปิดกั้นช่องจราจร																		
2. กำหนดพื้นที่เสียหาย																		
3. เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510																		
4. เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135																		
5. ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510																		
6. ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135																		
7. ก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่																		
8. งานรอยต่อถนน																		
9. งานสีตีเส้น																		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 แผนงาน C ช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ

วันที่ดำเนินกิจกรรม / กิจกรรมที่ต้องดำเนินงาน	1-6	8-13	15-20	22-27	29-34	36-41	43-48	50-55	57-62	64-69	71-76	78-83	85-90	92-97	99-104	106-111	113-118	120-125
1. ปิดกั้นช่องจราจร																		
2. กำหนดพื้นที่เสียหาย																		
3. เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510																		
4. เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135																		
5. ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510																		
6. ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135																		
7. ก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่																		
8. งานรอยต่อถนน																		
9. งานสีตีเส้น																		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจร

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจรสามารถวิเคราะห์ได้จากการนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจร เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของกระแสจราจรในสภาวะปกติที่ไม่มีการปิดถนน เทียบกับกรณีที่มีการปิดช่องจราจรบางส่วนในบริเวณทางแยกต่างระดับในแต่ละชั่วโมง ตามแผนการปฏิบัติงานที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 3 แผนงาน ได้แก่ แผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C ในโปรแกรม Aimsun® แล้วนำค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ที่ได้ ไปใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบแผนงานทั้ง 3 เพื่อคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.8 โดยพิจารณาในช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วนของวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นที่สุด ในสภาพโครงข่ายถนนปกติที่ไม่มีการปิดกั้นช่องจราจร กับผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจร ฯ ในขณะมีการปิดกั้นช่องทางจราจรตามแผนซ่อมบำรุง A B และ C

ชั่วเวลา **พารามิเตอร์**	**17.00–18.00 น.** **วันธรรมดา**	**11.00–12.00 น.** **วันหยุดสุดสัปดาห์**	**17.00–18.00 น.** **วันแรกของวันหยุดนักขัตฤกษ์**	**17.00–18.00 น.** **วันสิ้นสุดของวันหยุดนักขัตฤกษ์**
กรณีโครงข่ายถนนสภาพปกติ				
Delay Time (sec/km)	24.84	90.48	101.92	111.63
Speed (km/hr)	44.00	30.46	21.47	28.65
Travel Time (sec/km)	90.63	156.18	167.70	177.43
กรณีปิดกั้นถนนตามแผนซ่อมบำรุง A				
Delay Time (sec/km)	53.92	115.78	132.28	127.89
Speed (km/hr)	35.77	25.22	25.12	23.69
Travel Time (sec/km)	119.75	181.76	198.26	193.79
กรณีปิดกั้นถนนตามแผนซ่อมบำรุง B				
Delay Time (sec/km)	62.11	111.89	141.58	141.34
Speed (km/hr)	34.72	25.56	22.69	22.19
Travel Time (sec/km)	127.95	177.92	207.39	207.26
กรณีปิดกั้นถนนตามแผนซ่อมบำรุง C				
Delay Time (sec/km)	49.87	107.08	121.69	117.66
Speed (km/hr)	37.24	26.23	26.13	24.64
Travel Time (sec/km)	108.61	165.40	180.42	176.35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.4 ผลคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด

ผลคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด จากการเปรียบเทียบแผนซ่อมบำรุงทั้ง 3 แผนงาน กับโครงข่ายถนนสภาพปกติ ซึ่งพิจารณาในวันธรรมดาและวันหยุดสุดสัปดาห์เท่านั้น เนื่องจากแผนการซ่อมบำรุงมีการกำหนดให้ปฏิบัติงานวันจันทร์ – วันเสาร์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ของกระแสจราจรของแผนซ่อมบำรุง C ช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ มีค่าความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 49.87 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 107.08 sec/km มีค่าน้อยกว่าแผนการซ่อมบำรุง A ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 53.92 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 115.78 sec/km และแผนซ่อมบำรุง B ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 62.11 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 111.89 sec/km

มีค่าความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับเร็วกว่าแผนการซ่อมบำรุง A และ B โดยแผนซ่อมบำรุง C ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 37.24 km/hr ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 26.23 km/hr แผนการซ่อมบำรุง A ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 35.77 km/hr ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 25.22 km/hr และแผนซ่อมบำรุง B ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 34.72 km/hr ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 25.56 km/hr

และมีค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับน้อยกว่าแผนการซ่อมบำรุง A และ B โดยแผนซ่อมบำรุง C ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 108.61 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 165.40 sec/km แผนการซ่อมบำรุง A ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 119.75 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 181.76 sec/km และแผนซ่อมบำรุง B ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 127.95 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 177.92 sec/km

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ของแผนการปฏิบัติงานที่มีความเป็นไปได้ 3 แผนงาน ได้แก่ แผน A แผน B และแผน C พบว่าแผน

ซ่อมบำรุง C คือช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือเป็นแผนงานที่มีความเหมาะสมที่สุด

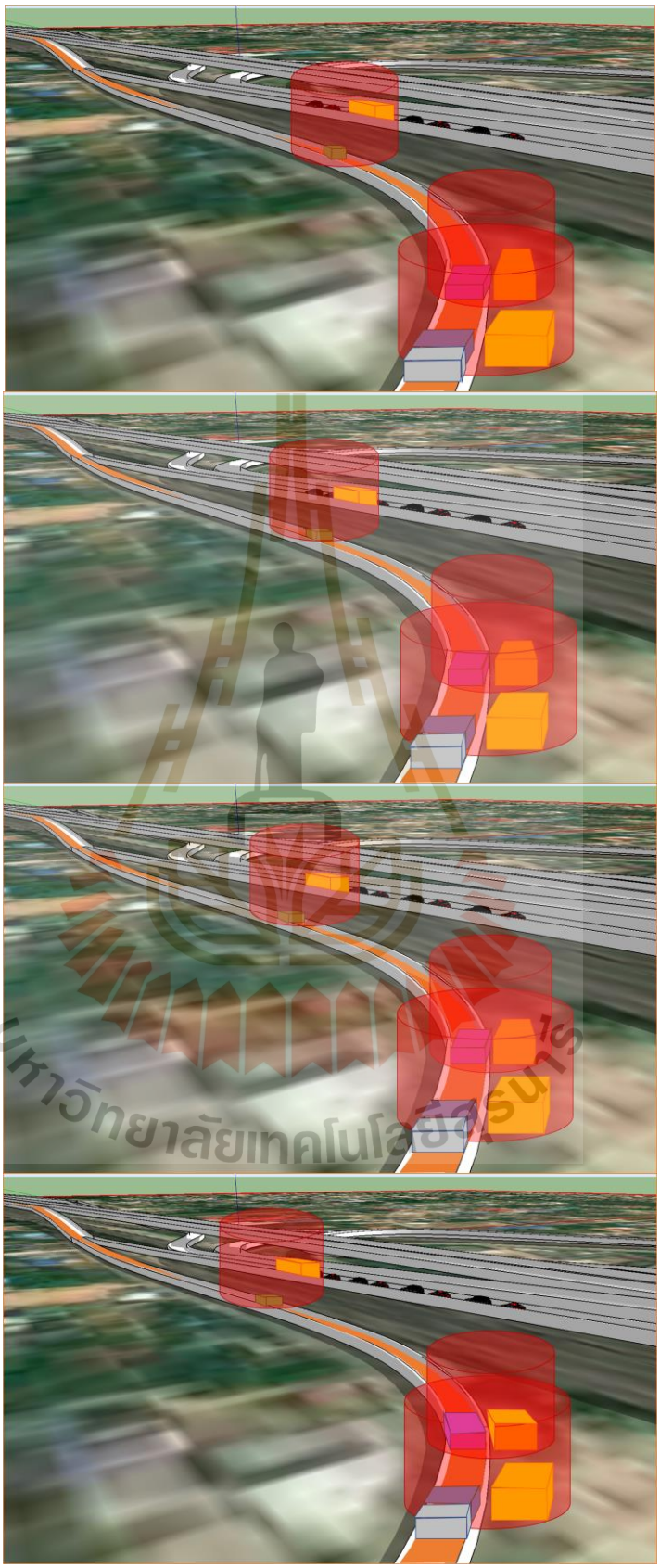
4.2 การสร้าง 4D CAD

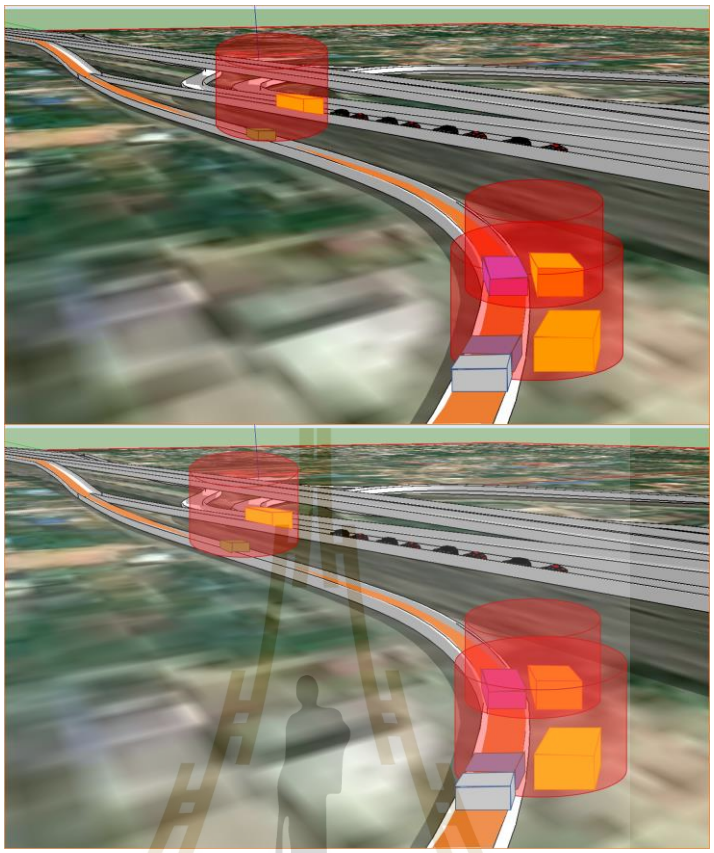
4.2.1 การแสดงผลของ 4D CAD

สำหรับการแสดงผลของ 4D CAD ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุงได้ ทำให้สามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการตามแผนซ่อมบำรุง C คือช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ ซึ่งเป็นแผนงานที่มีความเหมาะสมที่สุด ได้ก่อนที่จะเริ่มดำเนินโครงการซ่อมบำรุงจริง โดยมีการแสดงให้เห็นขอบเขตการใช้พื้นที่ของไซต์งาน บริเวณที่เกิดการทับซ้อนกันของพื้นที่ระหว่างรถยนต์ที่สัญจรผ่านช่องทางที่ได้รับผลกระทบจากการที่ช่องทางนั้น ๆ ทับซ้อนกับพื้นที่ปฏิบัติงานของเครื่องจักร และยังแสดงภาพความต่างระดับของพื้นที่ไซต์งานได้ โดยมีการแสดงผลตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ 125 วัน ซึ่งพบว่าในช่วงวันที่ 23 ถึงวันที่ 34 ของการดำเนินโครงการเป็นช่วงเวลาที่เกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและส่งผลกระทบต่อการจราจรมากที่สุดดังนี้

ช่วงเช้า วันที่ 23 ถึงวันที่ 34 ซึ่งเป็นวันธรรมดารวมถึงวันหยุดสุดสัปดาห์ตามแผนการซ่อมบำรุง มีกิจกรรมที่ต้องดำเนินงานดังนี้ 1) เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+296.088 ถึง Sta. 0+567.502 บริเวณพื้นที่บล็อกสีเขียว 2) ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+100.146 ถึง Sta. 0+283.747 บริเวณพื้นที่บล็อกสีชมพู 3) ก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่เริ่มที่ Sta. 0+014.552 ถึง Sta. 0+167.348 บริเวณพื้นที่บล็อกสีม่วง และ 4) งานรอยต่อถนนเริ่มที่ Sta. 0+000.000 ถึง Sta. 0+150.864 บริเวณพื้นที่บล็อกสีเทา โดยทั้ง 3 กิจกรรมแรกจำเป็นต้องใช้เครนในการขนย้ายวัสดุจากช่องทางที่ซ่อมบำรุงมาใส่รถบรรทุกในพื้นที่ข้างเคียงและมีการขนย้ายวัสดุสำหรับใช้ในการซ่อมแซมพื้นทางจากรถบรรทุก รวมถึงคอนกรีตสำหรับเทผิวทางใหม่จากรถปูนไปยังพื้นที่ไซต์งาน ซึ่งแสดงด้วยบล็อกสีเหลือง รวมทั้งจะเห็นพื้นที่ทับซ้อนในการทำงานของเครื่องจักรกับพื้นที่ไซต์งาน ช่องทางคู่ขนานที่เข้าสู่ชุมชนและพื้นที่ข้างเคียง รวมถึงสาธารณูปโภคอย่างเสาไฟฟ้าในพื้นที่ กับช่องจราจรที่ใช้เดินทางในทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือในพื้นที่ทรงกระบอกสีแดง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ส่งผลกระทบต่อการจราจรที่ต้องการเดินทางจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ คือต้องเปลี่ยนไปใช้ช่องทางอื่น ๆ ในการเดินทาง ผลกระทบต่อการจราจรในช่องทางที่เดินทางจากทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือเพราะจำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางในช่วงเวลาปฏิบัติงาน ส่งผลกระทบต่อการจราจรในช่องทางที่เดินทางจากทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก และ

การจราจรในทิศใต้มุ่งทิศเหนือจากการเข้าออกของรถบรรทุก รวมถึงเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจาก 3 กรณี คือ 1. ในการขนย้ายเศษวัสดุที่เจาะสกัดออกจากไซต์งาน อาจมีวัสดุตกจากที่สูงลงมายังพื้นที่ไซต์งานในขณะที่รถเครน รถบรรทุกและรถปูนปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ รวมถึงอาจมีวัสดุตกลงมายังช่องทางคู่ขนานที่จะแยกเข้าชุมชนทางด้านข้างของไซต์งานและบริเวณช่องจราจรข้างเคียงกับที่รถบรรทุกและรถปูนเข้าปฏิบัติงาน 2. อาจเกิดอุบัติเหตุต่อรถที่สัญจรผ่านช่องจราจรที่ติดกับพื้นที่ที่รถเครน รถบรรทุกและรถปูนใช้ปฏิบัติงาน จากการหนุมของเครนและการเข้าออกพื้นที่ของรถบรรทุกและรถปูนในบริเวณช่องทางเข้าสู่ชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียง พร้อมทั้งช่องทางคู่ขนานของถนนมิตรภาพในทิศมุ่งเข้าจังหวัดนครราชสีมา รวมถึงการเกิดสภาวะคอขวดในช่องจราจรข้างเคียงกับที่รถบรรทุกและรถปูนเข้าปฏิบัติงาน และ 3. อาจเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานของเครนต่อเสาไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียง



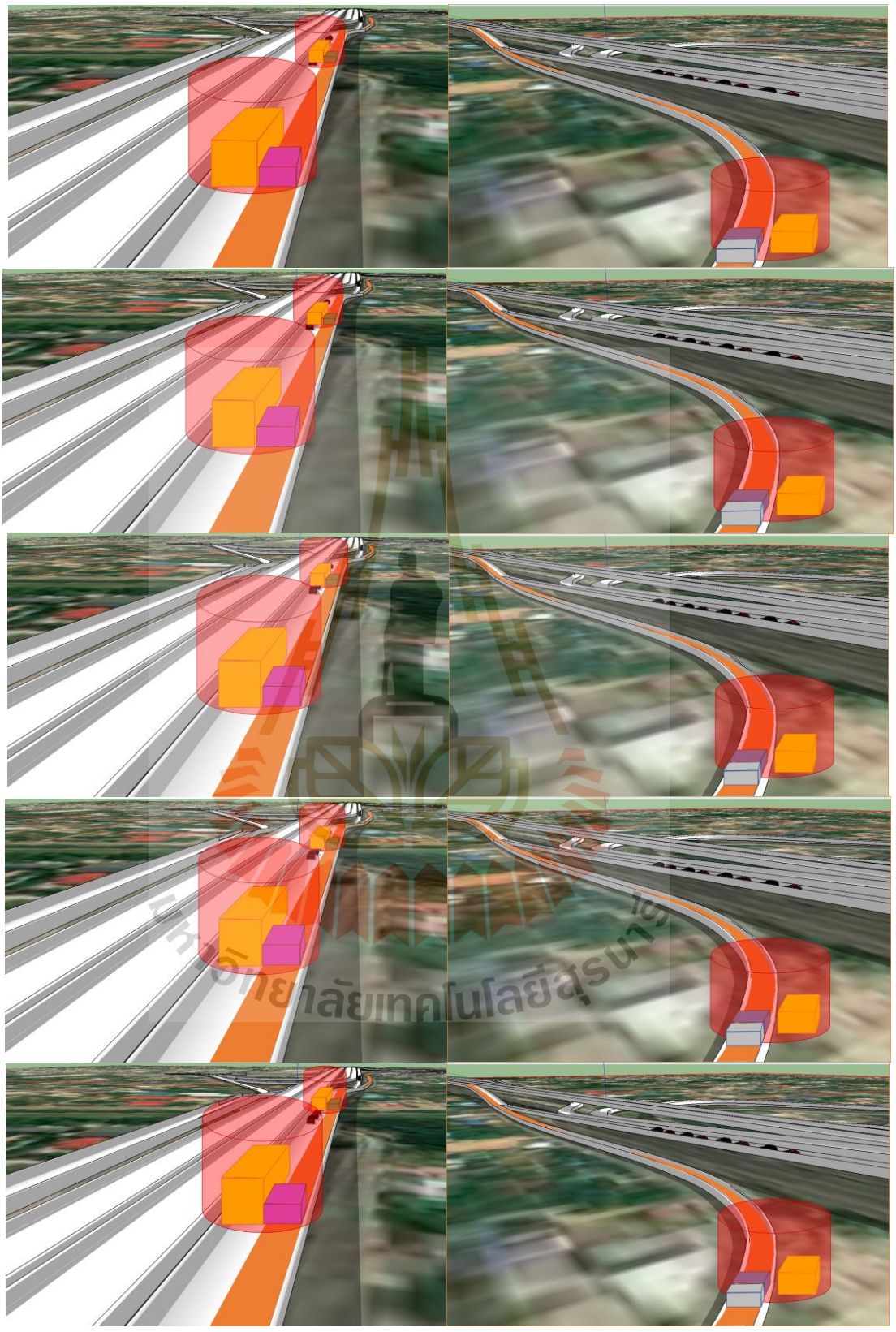


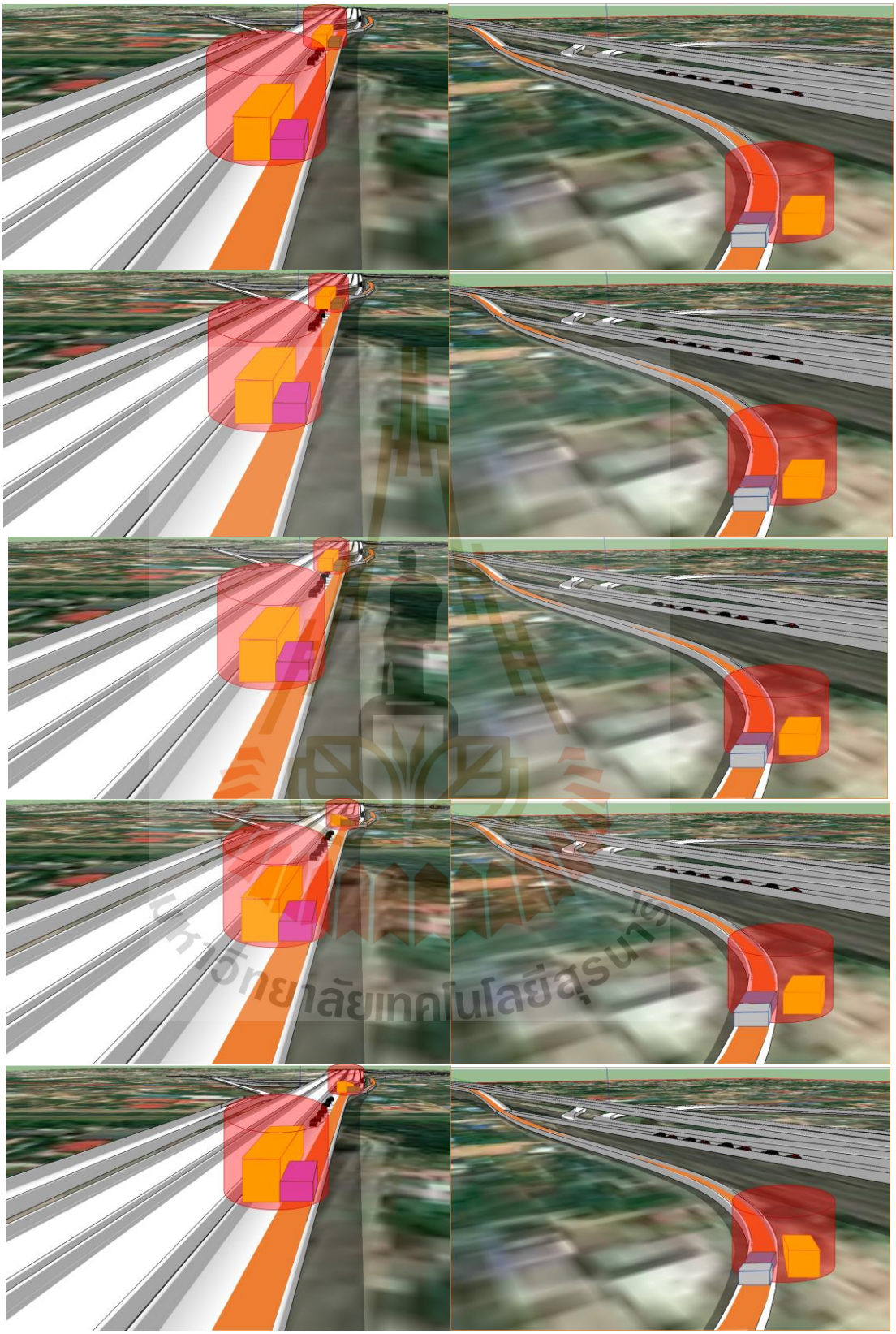
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.11 การแสดงผลของ 4D CAD โครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับช่วงเช้าวันที่ 23 ถึงวันที่ 34

ช่วงบ่าย วันที่ 23 ถึงวันที่ 34 ซึ่งเป็นวันธรรมดารวมถึงวันหยุดสุดสัปดาห์ตามแผนการซ่อมบำรุง มีกิจกรรมที่ต้องดำเนินงานดังนี้ 1) เจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+567.502 ถึง Sta. 0+838.912 บริเวณพื้นที่บล็อกสีเขียว 2) ปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+851.253 ถึง Sta. 1+034.854 บริเวณพื้นที่บล็อกสีชมพู 3) ก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่ Sta. 0+021.828 ถึง Sta. 0+174.624 บริเวณพื้นที่บล็อกสีม่วง และ 4) งานรอยต่อถนน Sta.

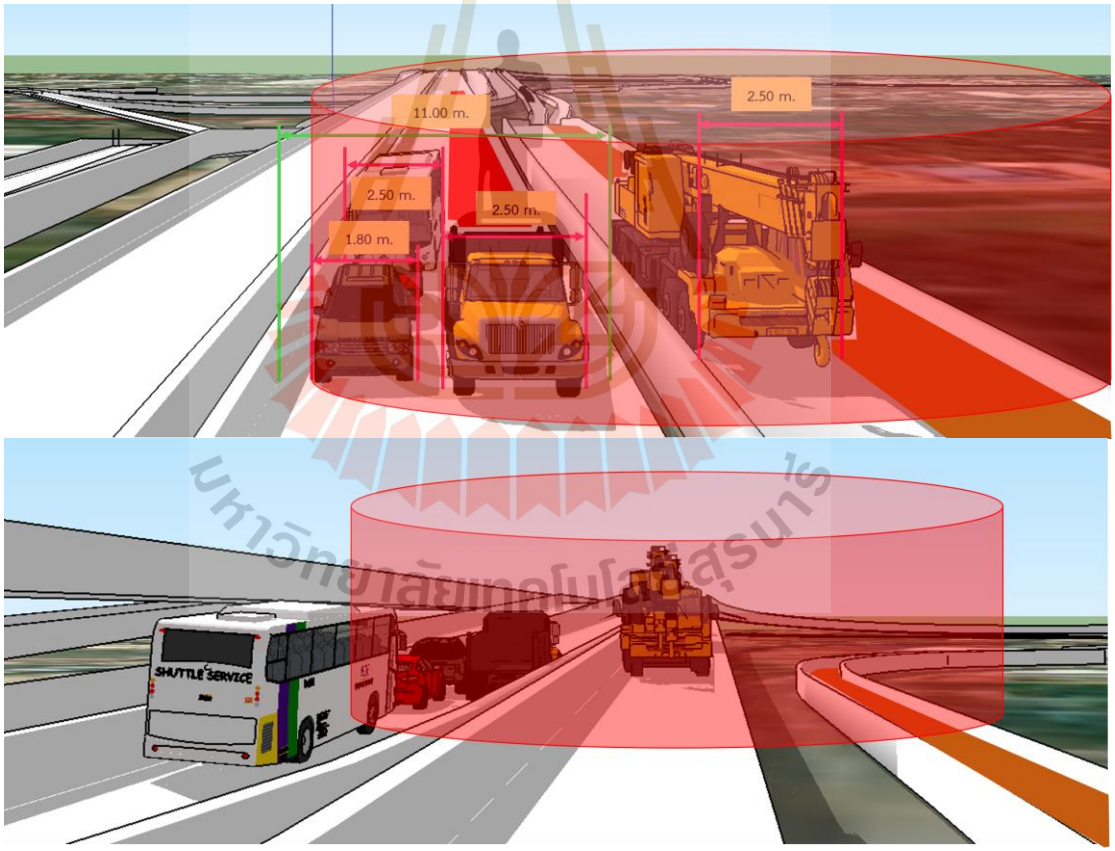
0+007.184 ถึง Sta. 0+158.048 บริเวณพื้นที่บล็อกสีเทา โดยทั้ง 3 กิจกรรมแรกจำเป็นต้องใช้เครนในการขนย้ายวัสดุจากช่องทางที่ซ่อมบำรุงมาใส่รถบรรทุกในพื้นที่ข้างเคียงและมีการขนย้ายวัสดุสำหรับใช้ในการซ่อมแซมพื้นทางจากรถบรรทุก รวมถึงคอนกรีตสำหรับเทผิวทางใหม่จากรถปูนไปยังพื้นที่ไซต์งาน กับพื้นที่สำหรับการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งแสดงด้วยบล็อกสีเหลือง อีกทั้งจะเห็นพื้นที่ทับซ้อนในการทำงานของเครื่องจักรกับพื้นที่ไซต์งานและพื้นที่ข้างเคียงในพื้นที่ทรงกระบอกสีแดง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ส่งผลกระทบต่อการจราจรที่ต้องการเดินทางจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ คือต้องเปลี่ยนไปใช้ช่องทางอื่น ๆ และผลกระทบต่อการจราจรในช่องทางที่เดินทางจากทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือที่เข้ามาสัญจรผ่านพื้นที่ไซต์งาน เพราะจำเป็นต้องทำการปิดช่องทางดังกล่าวในช่วงเวลาปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อช่องทางที่มีการจราจรสัญจรผ่านในทิศใต้มุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดช่องทางบางส่วนสำหรับให้รถบรรทุกและรถปูนจอดสำหรับขนวัสดุ และช่องทางคู่ขนานที่จะแยกเข้าชุมชนจากรัศมีการทำงานของรถเครน รวมถึงเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจาก 3 กรณี คือ 1. ในการขนย้ายเศษวัสดุที่เจาะสกัดออกจากไซต์งาน อาจมีวัสดุตกจากที่สูงลงมายังพื้นที่ไซต์งานในขณะที่รถเครนและรถบรรทุกปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ รวมถึงอาจมีวัสดุตกลงมายังรางรถไฟ ช่องทางสำหรับกลับรถ และช่องทางคู่ขนานที่จะแยกเข้าชุมชนทางด้านล่างของไซต์งาน 2. อาจเกิดอุบัติเหตุต่อรถที่สัญจรผ่านช่องจราจรที่ติดกับพื้นที่ที่รถเครนและรถบรรทุกใช้ปฏิบัติงาน จากการหนุนของเครนและการเกิดสภาวะคอขวดจากการเข้าออกพื้นที่ของรถบรรทุกในบริเวณช่องทางร่วมในทิศใต้มุ่งทิศเหนือ พร้อมทั้งช่องทางคู่ขนานของถนนมิตรภาพในทิศมุ่งเข้าจังหวัดนครราชสีมา และ 3. อาจเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานของเครนต่อเสาไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียง





รูปที่ 4.12 การแสดงผลของ 4D CAD โครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับช่วงบ่าย วันที่ 23 ถึงวันที่ 34

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อการจราจรในช่องจราจรข้างเคียงพื้นที่ดำเนินโครงการซ่อมบำรุง คือ ช่องจราจรในทิศใต้มุ่งทิศเหนือ ช่องจราจรในทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก และช่องจราจรในทิศตะออกมุ่งทิศเหนือ ตามเกณฑ์ข้อกำหนดระยะห่างปลอดภัยของกรมทางหลวงและมาตรฐานขนาดสัดส่วนของยานพาหนะ พบว่าระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างรถในข้างทางติดกันคือไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ซึ่งจากการแสดงภาพผลกระทบของ 4D CAD จะเห็นว่าไม่เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในกรณีระยะห่างปลอดภัยน้อยที่สุดไม่เพียงพอ แต่เกิดความเสี่ยงในกรณีเกิดสภาวะคอขวดบริเวณที่รถบรรทุกหรือรถปูนต้องจอดเพื่อขนถ่ายวัสดุ ซึ่งส่งผลให้เกิดการชะลอตัวของการจราจรจนทำให้เกิดแถวคอยจนทำให้การจราจรติดขัด รวมถึงเกิดความเสี่ยงในกรณีที่รัศมีการทำงานน้อยที่สุดของเครนกินพื้นที่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ระยะอย่างน้อย 11.50 เมตร ซึ่งทำให้เกิดพื้นที่ซ้อนทับกับช่องจราจรข้างเคียงดังแสดงด้วยพื้นที่ทรงกระบอกสีแดงดังในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การแสดงผลของ 4D CAD ให้เห็นผลกระทบต่อการจราจรในช่องจราจรข้างเคียง

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการศึกษาในบทนี้จะบรรยายสรุปแยกตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังนี้ 1. สรุปการพัฒนาวิธีคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AIMSUN® 2. สรุปการพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AutoDesk Navisworks® 3. สรุปการเสนอมาตรการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ที่สัมพันธ์กับปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของไซต์งาน และสอดคล้องกับแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่เหมาะสมที่สุด เพื่อกำจัดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่ 4D CAD แสดงให้เห็นก่อเริ่มดำเนินงานจริง และสุดท้ายจะเป็นข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

5.1 การพัฒนาวิธีคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AIMSUN®

จากผลการการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณจราจรที่เก็บจากภาคสนามโดยวิธีการสำรวจโดยการใช้คนนับ (Manual Counts) ในลักษณะทราบจำนวนในแต่ละทิศทางของการจราจร ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในวันธรรมดา 3 วันวันหยุดสุดสัปดาห์ 3 วัน และวันหยุดนักขัตฤกษ์ 3 วัน จากนั้นจะนำข้อมูลที่เก็บได้มาหาค่าเฉลี่ยโดยแยกเป็นชุดข้อมูลในวันธรรมดา ชุดข้อมูลในวันหยุดสุดสัปดาห์ และชุดข้อมูลในวันหยุดนักขัตฤกษ์ จากนั้นใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรเฉลี่ยสูงสุดในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการจราจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยในวันธรรมดามีปริมาณจราจรเฉลี่ยสูงสุดคือ 9,731 คัน ในชั่วโมงที่ 11 ช่วงเวลา 17.00 – 18.00 น. ในวันหยุดสุดสัปดาห์ปริมาณจราจรเฉลี่ยสูงสุดคือ 15,428 คัน ในชั่วโมงที่ 5 ช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ในวันแรกของวันหยุดนักขัตฤกษ์ปริมาณจราจรเฉลี่ยสูงสุดคือ 33,663 คัน ในชั่วโมงที่ 11 ช่วงเวลา 17.00-18.00 น. และในวันสิ้นสุดของวันหยุดนักขัตฤกษ์ปริมาณจราจรเฉลี่ยสูงสุดคือ 31,852 คัน ในชั่วโมงที่ 11 ช่วงเวลา 17.00-18.00 น. จะเห็นได้ว่าในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาเร่งด่วนต่างกัน ซึ่งหากสามารถรับมือกับผลกระทบ

ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับในช่วงเวลาเร่งด่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ย่อมสามารถรับมือกับผลกระทบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดแน่นอน ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการจราจรโดยการนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของกระแสจราจรที่เดินทางผ่านทางแยกต่างระดับในสภาวะปกติที่ไม่มีการปิดถนน เทียบกับกรณีที่มีการปิดช่องจราจรบางส่วนในบริเวณทางแยกต่างระดับ ตามแผนการปฏิบัติงานที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 3 แผนงาน ได้แก่ แผนงาน A แผนงาน B และแผนงาน C ในโปรแกรม Aimsun® จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ซึ่งผลการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้น คือ แผนการซ่อมบำรุง C โดยช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากพื้นที่ทางทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ ซึ่งคัดเลือกจากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระแสจราจรทั้ง 3 ตัว คือมีความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับน้อยกว่าแผน A และ B มีความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับเร็วกว่าแผน A และ B รวมถึงมีค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับน้อยกว่าแผน A และ B และหากพิจารณาจากความคล่องตัวสูงสุดของกระแสจราจรที่เดินทางผ่านทางแยกต่างระดับของแผนการซ่อมบำรุง C เปรียบเทียบกับแผน A และ B สามารถสรุปได้ว่าแผนซ่อมบำรุง C ที่เป็นแผนการปฏิบัติงานที่มีความเหมาะสมที่สุด แผน C ยังเป็นแผนที่ความปลอดภัยที่สุดด้วย เพราะแผนปฏิบัติงานที่ทำให้กระแสจราจรคล่องตัวสูงสุดคือแผนที่เกิดการกีดขวางการจราจรน้อยที่สุด นั่นหมายถึงมีจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุน้อยที่สุดด้วยเช่นกัน ดังนั้นจากผลการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AIMSUN® จะเห็นว่าวิธีการดังกล่าวเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

5.2 การพัฒนาแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ

จากการแสดงผลของแบบจำลอง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับตามแผนปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละช่วงเวลา พร้อมทั้งแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง จากการประยุกต์ใช้โปรแกรม AutoDesk Navisworks® ในการแสดงผลตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ 125 วัน ซึ่งพบว่าในช่วงวันที่ 23 ถึงวันที่ 34

ของการดำเนินโครงการเป็นช่วงเวลาที่เกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและส่งผลกระทบต่อการจราจรมากที่สุด โดยมีจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทั่วไป	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	เสาไฟฟ้า	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	ทางเข้าออกของรถบรรทุก	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
23	/		0+296.088	0+320.762	/	/		/		/	/		/		/			/		/	/		/		/			/		
			0+100.146	0+116.837	/	/				/	/							/		/					/					/
			0+014.552	0+021.828	/	/				/	/							/		/					/					/
			0+000.000	0+007.184	/	/																								
		/	0+814.238	0+838.912	/	/	/			/	/	/	/	/				/	/	/	/	/							/		
			1+018.163	1+034.854	/	/	/			/	/		/	/				/		/	/	/							/		
			0+021.828	0+029.104	/	/				/	/							/		/					/					/
			0+007.184	0+014.368	/	/																								

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางขึ้น	ทางลงทางแยกต่างระดับ	ทางลงทางแยกต่างระดับ	ทางขึ้นทางแยกต่างระดับ				ทางลง	ทางขึ้นทางแยกต่างระดับ	ทางลงทางแยกต่างระดับ	ทางขึ้นทางแยกต่างระดับ				ทางขึ้นทางแยกต่างระดับ	ทางลงทางแยกต่างระดับ	ทางขึ้นทางแยกต่างระดับ			
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
24	/		0+320.762	0+345.436	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		
			0+116.837	0+133.528	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+029.104	0+036.380	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+014.368	0+021.552	/	/																							
		/	0+789.564	0+814.238	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/							/	
			1+001.472	1+018.163	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/							/	
			0+036.380	0+043.656	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+021.552	0+028.736	/	/																							
25	/		0+345.436	0+370.110	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทั้งหมด	ทางขึ้นลงของคนงาน	ทางขึ้นลงของวัสดุ	ทางขึ้นลงของเครื่องจักร	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางขึ้นลงของคนงาน	ทางขึ้นลงของวัสดุ	เครื่องจักร	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางขึ้นลงของคนงาน	ทางขึ้นลงของวัสดุ	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+133.528	0+150.219	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+043.656	0+050.932	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+028.736	0+035.920	/	/																							
		/	0+764.890	0+789.564	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
		/	0+984.781	1+001.472	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
		/	0+050.932	0+058.208	/	/				/	/						/		/					/					/
		/	0+035.920	0+043.104	/	/																							
26	/		0+370.110	0+394.784	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		
			0+150.219	0+166.910	/	/				/	/						/		/					/					/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มีงาน	งานที่ไม่เกี่ยวข้องกับถนน	งานที่เกี่ยวข้องกับถนน	งานที่ไม่เกี่ยวข้องกับถนน	งานที่เกี่ยวข้องกับถนน			งานที่ไม่เกี่ยวข้องกับถนน	งานที่เกี่ยวข้องกับถนน	เดินเครื่อง	งานที่ไม่เกี่ยวข้องกับถนน	งานที่เกี่ยวข้องกับถนน				งานที่ไม่เกี่ยวข้องกับถนน	งานที่เกี่ยวข้องกับถนน				
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+058.208	0+065.484	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+043.104	0+050.288	/	/																							
		/	0+740.216	0+764.890	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+968.090	0+984.781	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+065.484	0+072.760	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+050.288	0+057.472	/	/																							
27	/		0+394.784	0+419.458	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		
			0+166.910	0+183.601	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+072.760	0+080.036	/	/				/	/						/		/					/					/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มีผลกระทบ	ผลกระทบเล็กน้อย	ผลกระทบปานกลาง	ผลกระทบรุนแรง	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มีผลกระทบ	ผลกระทบเล็กน้อย	เต็มพื้นที่	ผลกระทบรุนแรง	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มีผลกระทบ	ผลกระทบเล็กน้อย	ผลกระทบรุนแรง	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+057.472	0+064.656	/	/																									
		/	0+715.542	0+740.216	/	/	/			/	/			/	/			/		/	/	/								/		
			0+951.399	0+968.090	/	/	/			/	/			/	/			/		/	/	/								/		
			0+080.036	0+087.312	/	/				/	/							/		/						/						/
			0+064.656	0+071.840	/	/																									
28	วันหยุดปฏิบัติงาน				/	/																									
29	/		0+419.458	0+444.132	/	/		/		/	/			/		/		/		/	/		/			/			/			
			0+183.601	0+200.292	/	/				/	/							/		/						/						/
			0+087.312	0+094.588	/	/				/	/							/		/						/						/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มี	หน่วยงานที่ปฏิบัติงานอยู่	หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง	หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง					หน่วยงานที่ปฏิบัติงานอยู่	หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง	เสาไฟฟ้า	หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง					หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง	หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง	หน่วยงานที่อยู่ใกล้เคียง			
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+071.840	0+079.024	/	/																							
		/	0+690.868	0+715.542	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/								
			0+934.708	0+951.399	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+094.588	0+101.864	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+079.024	0+086.208	/	/																							
30	/		0+444.132	0+468.806	/	/	/			/	/		/		/		/		/	/		/			/				
			0+200.292	0+216.983	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+101.864	0+109.140	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+086.208	0+093.392	/	/																							
		/	0+666.194	0+690.868	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางขึ้น	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 1	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 2	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 3				ทางขึ้นทางด่วนขั้นที่ 1	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 2	เสาไฟฟ้า	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 3				ทางขึ้นทางด่วนขั้นที่ 1	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 2	ทางลงทางด่วนขั้นที่ 3			
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+918.017	0+934.708	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+109.140	0+116.416	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+093.392	0+100.576	/	/																							
31	/		0+468.806	0+493.480	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/			/			/		
			0+216.983	0+233.674	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+116.416	0+123.692	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+100.576	0+107.760	/	/																							
		/	0+641.520	0+666.194	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+901.326	0+918.017	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																					
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก							
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทั่วไป	ความสัมพันธ์ของการทำงาน	ความสัมพันธ์ของการจราจร	การทำงาน					ความสัมพันธ์ของการทำงาน	ความสัมพันธ์ของการจราจร	เดินทั่วไป	การทำงาน				ความสัมพันธ์ของการทำงาน	ความสัมพันธ์ของการจราจร	การทำงาน				
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E					E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	
			0+123.692	0+130.968	/	/				/	/						/		/					/						/
			0+107.760	0+114.944	/	/																									
32	/		0+493.480	0+518.154	/	/		/		/	/		/		/			/		/	/		/		/			/			
			0+233.674	0+250.365	/	/				/	/							/		/					/						/
			0+130.968	0+138.244	/	/				/	/							/		/					/						/
			0+114.944	0+122.128	/	/																									
		/	0+616.846	0+641.520	/	/	/			/	/		/	/				/		/	/	/						/			
			0+884.635	0+901.326	/	/	/			/	/	/	/	/				/	/	/	/	/						/			
			0+138.244	0+145.520	/	/				/	/							/		/					/						/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทั่วไป	ความสัมพันธ์ของการทำงาน	ความสัมพันธ์ของการจราจร	ความเสี่ยงสูง					ความสัมพันธ์ของการทำงาน	ความสัมพันธ์ของการจราจร	เดินทั่วไป	ความเสี่ยงสูง				ความสัมพันธ์ของการทำงาน	ความสัมพันธ์ของการจราจร	ความเสี่ยงสูง			
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+122.128	0+129.312	/	/																							
33	/		0+518.154	0+542.828	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/			/			/		
			0+250.365	0+267.056	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+145.520	0+152.796	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+129.312	0+136.496	/	/																							
		/	0+592.172	0+616.846	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+867.944	0+884.635	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		
			0+152.796	0+160.072	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+136.496	0+143.680	/	/																							

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		ช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบ					ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										วัสดุตกจากที่สูง							รัศมีการทำงานของเครน							การเข้าออกของรถบรรทุก					
										ทางขึ้นลงไม่เหมาะสม	ทางเข้าออกไม่เหมาะสม	ทางเข้าออกอยู่ใกล้ทางร่วม	ทางแยกอยู่ใกล้ทางร่วม				ทางขึ้นลงไม่เหมาะสม	ทางเข้าออกไม่เหมาะสม	เดินไม่ได้	ทางแยกอยู่ใกล้ทางร่วม					ทางเข้าออกไม่เหมาะสม	ทางเข้าออกอยู่ใกล้ทางร่วม	ทางแยกอยู่ใกล้ทางร่วม			
					W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
34	/		0+542.828	0+567.502	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/			/			/		
			0+267.056	0+283.747	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+160.072	0+167.348	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+143.680	0+150.864	/	/																							
		/	0+567.502	0+592.172	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/							/	
			0+851.253	0+867.944	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/							/	
			0+167.348	0+174.624	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+150.864	0+158.048	/	/																							

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 5.1 ผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ซึ่งสรุปการแสดงผลของแบบจำลอง 4D CAD พบว่าช่วงเวลาที่เกิดผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุดในระหว่างวันปฏิบัติงานที่ 23 ถึงวันที่ 34 โดยมีการดำเนินกิจกรรมในช่วงเวลาปฏิบัติงานพร้อมกัน 4 กิจกรรม ทำให้มีช่องจราจรที่ได้รับผลกระทบในวันนั้น ๆ ทั้งหมด 4 ช่องทาง ได้แก่ 1. ช่องทางทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ 2. ช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางในช่วงเวลาปฏิบัติงานเพื่อให้รถเครนจอดระหว่างปฏิบัติงาน 3. ช่องทางทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตกที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางบางส่วนในช่วงเวลาปฏิบัติงานในช่วงเช้าเพื่อให้รถบรรทุกจอดในการขนย้ายวัสดุ และ 4. ช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางบางส่วนในช่วงเวลาปฏิบัติงานในช่วงบ่ายเพื่อให้รถบรรทุกจอดในการขนย้ายวัสดุ รวมถึงมีจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ 3 ลักษณะดังนี้ 1. ความเสี่ยงจากวัสดุตกจากที่สูงจากการปฏิบัติงานของเครนอาจตกลงมายังไซต์งาน ช่องทางคู่ขนานเข้าชุมชน ช่องทางกลับรถและทางรถไฟ รวมถึงช่องทางข้างเคียงโดยในช่วงเช้าเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก และในช่วงบ่ายเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือ 2. ความเสี่ยงจากรัศมีการทำงานของเครน ได้แก่ ช่องทางคู่ขนานเข้าชุมชน เสาไฟฟ้า ช่องทางกลับรถและทางรถไฟ รวมถึงช่องทางข้างเคียงโดยในช่วงเช้าเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก และในช่วงบ่ายเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือ และ 3. ความเสี่ยงจากการเข้าออกของรถบรรทุกคือช่องทางคู่ขนานเข้าชุมชน โดยมีช่องทางข้างเคียงในช่วงเช้าเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศตะวันตกมุ่งทิศตะวันออก และในช่วงบ่ายเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศตะวันตกมุ่งทิศตะวันออก

5.3 การเสนอมาตรการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมของโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ

จากผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ที่แสดงในตารางที่ 5.1 สามารถกำหนดมาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																	
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มี	ติดตั้งตาข่ายป้องกัน	ติดตั้งตาข่ายและแผ่นเหล็ก	ติดตั้งแผ่นเหล็ก	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ติดตั้งตาข่ายป้องกัน	ติดตั้งแผ่นเหล็ก	เต็มพื้นที่	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มี	ติดตั้งแผ่นเหล็ก	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
23	/		0+296.088	0+320.762	/	/		/		/	/		/			/		/	/		/		/		/			/		
			0+100.146	0+116.837	/	/				/	/							/		/					/					/
			0+014.552	0+021.828	/	/				/	/							/		/					/					/
			0+000.000	0+007.184	/	/																								
		/	0+814.238	0+838.912	/	/	/			/	/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		
			1+018.163	1+034.854	/	/	/			/	/		/	/				/		/	/	/						/		
			0+021.828	0+029.104	/	/				/	/							/		/					/					/
			0+007.184	0+014.368	/	/																								

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																		
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
										ราวกันอันตราย	ตาข่ายนิรภัย	ราวกันอันตรายและตาข่ายนิรภัย	ทางเบี่ยง				ราวกันอันตราย	ตาข่ายนิรภัย	เสาไฟจราจร	ทางเบี่ยง				ราวกันอันตรายและตาข่ายนิรภัย	ตาข่ายนิรภัย	ทางเบี่ยง			
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
24	/		0+320.762	0+345.436	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		
			0+116.837	0+133.528	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+029.104	0+036.380	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+014.368	0+021.552	/	/																							
		/	0+789.564	0+814.238	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		
			1+001.472	1+018.163	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+036.380	0+043.656	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+021.552	0+028.736	/	/																							
25	/		0+345.436	0+370.110	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																		
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว				ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	เสาไฟฟ้า	ทางเดินเท้าชั่วคราว				ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว			
										ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว		E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าชั่วคราว	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+133.528	0+150.219	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+043.656	0+050.932	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+028.736	0+035.920	/	/																							
		/	0+764.890	0+789.564	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+984.781	1+001.472	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+050.932	0+058.208	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+035.920	0+043.104	/	/																							
26	/		0+370.110	0+394.784	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		
			0+150.219	0+166.910	/	/				/	/						/		/					/					/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มี	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูง	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	ฉากกั้น	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูง	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	เสาไฟฟ้า	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+058.208	0+065.484	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+043.104	0+050.288	/	/																								
		/	0+740.216	0+764.890	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/			
			0+968.090	0+984.781	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/			
			0+065.484	0+072.760	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+050.288	0+057.472	/	/																								
27	/		0+394.784	0+419.458	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/					/			
			0+166.910	0+183.601	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+072.760	0+080.036	/	/				/	/						/		/					/					/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																	
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
										ทั่วไป	ช่วงที่มีการจราจรลอดใต้สะพาน	ช่วงที่ไม่มีการจราจรลอดใต้สะพาน	ช่วงที่มีการจราจรลอดใต้สะพาน				ช่วงที่ไม่มีการจราจรลอดใต้สะพาน	ช่วงที่มีการจราจรลอดใต้สะพาน	เสาไฟฟ้า	ช่วงที่มีการจราจรลอดใต้สะพาน				ช่วงที่ไม่มีการจราจรลอดใต้สะพาน	ช่วงที่มีการจราจรลอดใต้สะพาน	ช่วงที่มีการจราจรลอดใต้สะพาน			
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+057.472	0+064.656	/	/																							
		/	0+715.542	0+740.216	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+951.399	0+968.090	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+080.036	0+087.312	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+064.656	0+071.840	/	/																							
28	วันหยุดปฏิบัติงาน				/	/																							
29	/		0+419.458	0+444.132	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/			/		/		
			0+183.601	0+200.292	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+087.312	0+094.588	/	/				/	/						/		/					/					/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																		
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มี	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูง	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	ฉากกั้น	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูง	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	เสาไฟจราจร	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ฉากกั้นป้องกันวัสดุตกจากที่สูง	ตาข่ายกันวัสดุตกจากที่สูงและฉากกั้น	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+071.840	0+079.024	/	/																								
		/	0+690.868	0+715.542	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/							/		
			0+934.708	0+951.399	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/							/		
			0+094.588	0+101.864	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+079.024	0+086.208	/	/																								
30	/		0+444.132	0+468.806	/	/	/			/	/		/		/		/		/	/		/			/			/		
			0+200.292	0+216.983	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+101.864	0+109.140	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+086.208	0+093.392	/	/																								
		/	0+666.194	0+690.868	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/							/		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางเท้า	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางแยก					ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	เสา	ทางแยก				ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางแยก			
										ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	ทางข้ามคนเดินและจักรยาน	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+918.017	0+934.708	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/			
			0+109.140	0+116.416	/	/				/	/						/		/					/						/
			0+093.392	0+100.576	/	/																								
31	/		0+468.806	0+493.480	/	/		/		/	/		/		/		/			/	/			/			/			
			0+216.983	0+233.674	/	/				/	/						/		/					/						/
			0+116.416	0+123.692	/	/				/	/						/		/					/						/
			0+100.576	0+107.760	/	/																								
		/	0+641.520	0+666.194	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/			
			0+901.326	0+918.017	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																		
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
										ทางเบี่ยง	ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าถาวร	ทางเบี่ยง				ทางเดินเท้าชั่วคราว	ทางเดินเท้าถาวร	เตือนไฟฟ้า	ทางเบี่ยง				ทางเบี่ยง	ทางเดินเท้าถาวร	ทางเบี่ยง			
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+123.692	0+130.968	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+107.760	0+114.944	/	/																							
32	/		0+493.480	0+518.154	/	/		/		/	/		/		/		/		/	/		/		/			/		
			0+233.674	0+250.365	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+130.968	0+138.244	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+114.944	0+122.128	/	/																							
		/	0+616.846	0+641.520	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+884.635	0+901.326	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		
			0+138.244	0+145.520	/	/				/	/						/		/					/					/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																			
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก					
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ทั่วไป	ตลอดแนวเขตก่อสร้าง	ตลอดแนวเขตก่อสร้าง	ช่วงทางลาด					ตลอดแนวเขตก่อสร้าง	ตลอดแนวเขตก่อสร้าง	เดินเท้า					ทางเข้าออกโครงการ	ตลอดแนวเขตก่อสร้าง	ช่วงทางลาด			
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
			0+122.128	0+129.312	/	/																							
33	/		0+518.154	0+542.828	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/			/			/		
			0+250.365	0+267.056	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+145.520	0+152.796	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+129.312	0+136.496	/	/																							
		/	0+592.172	0+616.846	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+867.944	0+884.635	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		
			0+152.796	0+160.072	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+136.496	0+143.680	/	/																							

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ (ต่อ)

วันที่ดำเนินงาน	ช่วงเวลา		Station		อุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจร					มาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ																					
										ป้องกันวัสดุตกจากที่สูง							ระวังรัศมีการทำงานของเครน							ระวังการเข้าออกของรถบรรทุก						
	เช้า	บ่าย	เริ่มต้น	สิ้นสุด	W ↓ N	E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E	ไม่มีการป้องกัน	ป้องกันด้วยแผงกั้นชั่วคราว	ป้องกันด้วยแผงกั้นถาวร	ป้องกันด้วยแผงกั้น				ป้องกันด้วยแผงกั้นชั่วคราว	ป้องกันด้วยแผงกั้นถาวร	เตือนด้วยป้าย	ป้องกันด้วยแผงกั้น				ไม่มีการป้องกัน	ป้องกันด้วยแผงกั้นถาวร	ป้องกันด้วยแผงกั้น				
													E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E				E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E			E ↓ N	S ↓ N	N ↓ W	W ↓ E
34	/		0+542.828	0+567.502	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/			/			/		
			0+267.056	0+283.747	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+160.072	0+167.348	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+143.680	0+150.864	/	/																								
		/	0+567.502	0+592.172	/	/	/			/	/		/	/			/		/	/	/						/		
			0+851.253	0+867.944	/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/						/		
			0+167.348	0+174.624	/	/				/	/						/		/					/					/
			0+150.864	0+158.048	/	/																								

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 5.2 มาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ของระยะเวลาดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ ซึ่งสรุปมาตรการสำหรับป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจากการแสดงผลของแบบจำลอง 4D CAD สำหรับช่วงเวลาที่เกิดผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุดคือในระหว่างวันปฏิบัติงานที่ 23 ถึงวันที่ 34 โดยจำเป็นต้องเตรียมงบประมาณสำหรับการจัดหาอุปกรณ์และดำเนินการป้องกันให้เพียงพอต่อช่วงเวลาที่เกิดผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด โดยจำเป็นต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ปิดกั้นช่องจราจรดังนี้ 1. อุปกรณ์ปิดกั้นช่องทางทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ 2. อุปกรณ์ปิดกั้นช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางในช่วงเวลาปฏิบัติงานเพื่อให้รถเครนจอดระหว่างปฏิบัติงาน 3. อุปกรณ์ปิดกั้นช่องทางทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตกที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางบางส่วนในช่วงเวลาปฏิบัติงานในช่วงเช้าเพื่อให้รถบรรทุกจอดในการขนย้ายวัสดุ และ 4. อุปกรณ์ปิดกั้นช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือที่จำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางบางส่วนในช่วงเวลาปฏิบัติงานในช่วงบ่ายเพื่อให้รถบรรทุกจอดในการขนย้ายวัสดุ รวมถึงมีมาตรการป้องกันจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ 3 ลักษณะดังนี้ 1. จัดเตรียมเครื่องป้องกันวัสดุที่อาจตกจากที่สูง คืออุปกรณ์ป้องกันศีรษะ (Head Protection Devices) หรือหมวกเซฟตี้สำหรับป้องกันศีรษะที่อาจเกิดการกระแทรก หรือสิ่งของล่วงหล่นใส่ขณะปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันความเสี่ยงจากวัสดุตกจากที่สูงจากการปฏิบัติงานของเครนอาจตกลงมายังไซต์งาน นอกจากนี้ยังควรจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันหู (Ear Protection) สำหรับป้องกันหูจากการทำงานในพื้นที่ ที่มีเสียงดังมากกว่าปกติ (40 – 120 เดซิเบล) เป็นระยะเวลานาน แว่นนิรภัย (Eye protection) สำหรับป้องกันดวงตา จากเศษฝุ่น ที่อาจโดนดวงตาจากการปฏิบัติงาน ถุงมือนิรภัย (Hand Protection) รองเท้านิรภัย (Foot Protection) เพื่อใช้ป้องกันการกระแทก หรือสิ่งของที่มีน้ำหนักมากตกใส่เท้า พื้นรองเท้ามีแผ่นเหล็กด้วย เพื่อป้องกันของมีคมที่อาจแทงทะลุผ่านพื้นรองเท้า หน้ากากกรองฝุ่นละอองเพื่อป้องกันฝุ่นละออง ในพื้นที่การทำงานที่มีฝุ่นละอองมากกว่าปกติ และเสื้อสะท้อนแสงสำหรับผู้ปฏิบัติงานด้วย พร้อมทั้งจำเป็นต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันวัสดุตกลงมาบริเวณช่องจราจรด้านล่าง คือตาข่ายเซฟตี้กันตก (Safety Net) ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ จะมีความเหนียว ทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย สำหรับใช้กันสิ่งของตกหล่นจากเครนด้านบนลงมายังช่องทางคู่ขนานเข้าชุมชน ช่องทางกลับรถและทางรถไฟ รวมถึงช่องทางข้างเคียง โดยในช่วงเช้าเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก และในช่วงบ่ายเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือ โดยออกแบบโครงสร้างการติดตั้งตาข่ายเซฟตี้ให้มีความเหมาะสมกับไซต์งานและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งตาม

Station ต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต้องใช้งานตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ไซต์งานที่สัมพันธ์กับแผนการปฏิบัติงาน 2. จัดเตรียมผู้ปฏิบัติงาน อุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์สื่อสารให้เพียงพอต่อการให้สัญญาณในการกะระยะห่างในการปฏิบัติงานของเครนกับสิ่งต่าง ๆ ต่อผู้ควบคุมเครน และให้สัญญาณในการหยุดการจราจรที่เดินทางผ่านพื้นที่ข้างเคียงไซต์งานไม่ให้เข้ามาในรัศมีการทำงานของเครนในระหว่างที่เครนหนุม และให้สัญญาณในการปล่อยให้การจราจรสามารถเดินทางผ่านได้ในช่วงที่เครนหมุนผ่านบริเวณดังกล่าวไปแล้ว เพื่อกำจัดความเสี่ยงจากรัศมีการทำงานของเครนต่อช่องทางคู่ขนานเข้าชุมชน เสาไฟฟ้า ช่องทางกลับรถและทางรถไฟ รวมถึงช่องทางข้างเคียงโดยในช่วงเช้าเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก และในช่วงบ่ายเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือ และ 3. จัดเตรียมผู้ปฏิบัติงาน อุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์สื่อสาร พร้อมทั้งป้ายเตือนให้เพียงพอต่อการให้สัญญาณในการเข้าออกของรถบรรทุก เพื่อกำจัดความเสี่ยงจากการเข้าออกของรถบรรทุกคือช่องทางคู่ขนานเข้าชุมชน โดยมีช่องทางข้างเคียงในช่วงเช้าเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศตะวันตกมุ่งทิศตะวันออก และในช่วงบ่ายเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่องทางทิศใต้มุ่งทิศเหนือกับช่องทางทิศตะวันตกมุ่งทิศตะวันออก

ซึ่งหากสามารถคาดการณ์ปริมาณทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้สำหรับเตรียมความพร้อมในการรับมือกับผลกระทบต่อการจราจรและจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาที่สิ่งเหล่านั้นเกิดขึ้นมากที่สุดได้อย่างเหมาะสม ทั้งในด้านอุปกรณ์และแรงงานได้ก่อนที่จะมีการเริ่มดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับ จะทำให้ผู้บริหารโครงการสามารถวางแผนในการจัดสรรงบประมาณในการบริหารจัดการความปลอดภัยของโครงการได้ใกล้เคียงกับงบประมาณที่จำเป็นต้องใช้ในช่วงเวลาปฏิบัติงานจริง ช่วยให้ลดความเสี่ยงในการดำเนินโครงการทั้งในด้านการจัดการความปลอดภัยและการบริหารจัดการทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงานได้ ซึ่งทำให้สามารถบริหารจัดการโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหากเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกำหนดแผนการดำเนินโครงซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับในรูปแบบเดิม ที่กำหนดแผนปฏิบัติงานจากแบบแปลน 2 มิติ หรือ 3 มิติ กับการกำหนดแผนปฏิบัติงานจากข้อมูลที่ 4D CAD แสดงภาพให้เห็นนั้นจะเห็นว่าการกำหนดแผนปฏิบัติงานจากข้อมูลที่ได้จาก 4D CAD นั้นสามารถกำหนดมาตรการสำหรับป้องกันหรือลดผลกระทบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการกำหนดแผนปฏิบัติงานแบบเดิม เพราะสามารถรู้จุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างดำเนินงานได้เสมือนการดำเนินโครงการจริงตั้งแต่ก่อนเริ่มดำเนินโครงการ ในขณะที่การกำหนดแผนปฏิบัติงานแบบเดิมไม่สามารถทราบถึงข้อมูลดังกล่าวได้จึงทำให้เตรียมการป้องกันได้ไม่มีประสิทธิภาพ

เท่าที่ควร 4D CAD จึงสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่แสดงให้เห็นภาพผลกระทบและจุดเสี่ยงดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับคาดการณ์ทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการศึกษาขอเสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ ดังนี้

5.4.1 เนื่องการวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดคือการนำมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่ได้ไปทดลองใช้กับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวยังเป็นเพียงแผนที่คาดการณ์ว่าจะดำเนินการในอนาคต ซึ่งในอนาคตอาจลองนำมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติงานจริง

5.4.2 ในการครั้งต่อไปควรศึกษาผลกระทบด้านอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีต่อผู้ใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรวบเพิ่มเติมด้วย เช่น ผลกระทบจากเสียงและฝุ่นละออง เพื่อสามารถเตรียมมาตรการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.4.3 จากค่าพารามิเตอร์ของการจราจรในวันหยุดสุดสัปดาห์ จะเห็นว่าการจราจรมีการชะลอตัวมากกว่าวันดำเนินโครงการในวันธรรมดา จึงอาจสามารถปรับปรุงแผนการปฏิบัติงานในวันหยุดสุดสัปดาห์ให้มีการชะลอตัวของจราจรลดลงได้

5.4.4 ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการวิเคราะห์ข้อมูลจราจรโดยดูตลอดระยะเวลาดำเนินการซ่อมบำรุงของทุกแผนงานทางเลือก และพัฒนาให้สามารถปรับแผนได้แบบอัตโนมัติในอนาคต

5.4.5 อาจทำการพิจารณาทำการขยายระยะเวลาของแผนงานออกไปเพื่อช่วยลดผลกระทบต่อการจราจรที่จะเกิดขึ้น โดยที่ไม่กระทบกับสัญญาการก่อสร้าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กรมทางหลวง. (2550). คู่มือการตรวจสอบความปลอดภัยทางถนนระหว่างการก่อสร้าง. กระทรวงคมนาคม

กรมทางหลวง. (2554). คู่มือการใช้อุปกรณ์ควบคุมการจราจรบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง. กระทรวงคมนาคม

กรมทางหลวง. คู่มือการซ่อมบำรุงสะพาน. กระทรวงคมนาคม

กรมทางหลวงชนบท (2555). คู่มือบำรุงปกติ. กระทรวงคมนาคม

ถิรยุทธ ลิมานนท์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมจราจร. สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิสุทธิ์ กิจชัยนุกูล (2552). การไหลสูงสุดของการจราจรที่ความจุของถนนขึ้นอยู่กับขนาดของการไหล. สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมจราจร. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. http://www.surames.com

A. Carbonari, A. Giretti, B. Naticchia. (2011). **A proactive system for real-time safety management in construction sites.** Automation in Construction 20. (pp. 686-698)

A. Hassanein, O. Moselhi. (2004). **Planning and Scheduling Highway Construction.** Journal of Construction Engineering and Management 130 (5).

A. Russell, S. Staub-French, N. Tran, W. Wong. (2009). **Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4 D CAD.** Automation in Construction 18. (pp. 219–236)

A. Mahalingam, R. Kashyap, C. Mahajan. (2010). **An evaluation of the applicability of 4 D CAD on construction projects.** Automation in Construction 19. (pp. 148–159)

A. Platt. (2007). **4D CAD for highway construction projects.** Building and Environment 25 (2). (pp. 133-142)

A. Shinkafi Bature, P. Georgakis. (2016). **Evaluation of the effect of VMS in reducing congestion using aimsun tool: A case study of arterial road networks within the CBDof Kaduna.** International Journal for Traffic and Transport Engineering 6 (2). (pp. 222-230)

C. Kim, B. Kim, H. Kim. (2013). **4 D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring.** Automation in Construction 35. (pp. 44–52)

D. Heesom, L. Mahdjoubi. (2004). **Trends of 4d cad applications for construction planning.** Construction Management and Economics 22. (pp. 171–182)

E. Jazayeri, Gabriel B. Dadi. (2017). **Construction safety management systems and methods of safety performance measurement: A review.** Journal of Safety Engineering 6(2). (pp. 15-28)

F. Clara Fang, L. Elefteriadou. (2005). **Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis.** Journal of Transportation Engineering © ASCE. (pp. 535-543)

J. Wang, Y. Kong, T. Fu, J. Stipancic. (2017). **The impact of vehicle moving violations and freeway traffic flow on crash risk: An application of plugin development for microsimulation.** PLOS ONE. September 8. (pp. 1-22)

K. A. Liapi. (2003). **4 D visualization of highway construction projects.** Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization

K. Chau,M. Anson, J. Zhang. (2004). **Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization.** Journal of Construction Engineering and Management 130. (pp. 598–606)

K. El. Rayes, A. Kandil. (2005). **Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction.** Journal of Construction Engineering and Management 131 (4).

Ľ. Černický, A. Kalašová, J. Kapusta. (2016). **Signal controlled junctions calculations in traffic capacity assessment - aimsun, omnitrans, webster and tp 10/2010 results comparison.** Transport Problems 11. (pp. 121-130)

L. Ding, Y. Zhou, H. Luo, X. Wu. (2012). **Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction.** Automation in Construction 21. (pp. 64–73)

L. Kang, J. Pyeon, H. Moon, C. Kim, M. Kang. (2013). **Development of Improved 4D CAD System for Horizontal Works in Civil Engineering Projects.** Journal of Computing in Civil Engineering. Volume 27. (pp. 212-230)

M. Behm. (2005). **Linking construction fatalities to the design for construction safety concept.** Safety Science.Volume 43. Issue 8. October. (pp. 589-611)

M. Kassem, N. Dawood, R. Chavada. (2015). **Construction workspace management within an Industry Foundation Class-Compliant 4 D tool.** Automation in Construction 5 2 . (pp. 42–58)

M. Mawlana, F. Vahdatikhaki, A. Doriani, A. Hammad. (2015). **Integrating 4D modeling and discrete event simulation for phasing evaluation of elevated urban highway reconstruction projects.** Automation in construction 60. (pp. 25-38)

M. Trebbe, T. Hartmann, A. Dorée. (2015). **4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors.** Automation in Construction 49. (pp. 83–91)

P.P.A. Zanen, T. Hartmann, S.H.S. Al-Jibouri, H.W.N. Heijmans. (2013). **Using 4 D CAD to visualize the impacts of highway construction on the public.** Automation in Construction 32. (pp. 136–144)

R. Jongeling, T. Olofsson. (2007). **A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD.** Automation in Construction 16. (pp. 189–198)

R. Webb, T. Haupt. (2003). **The potential of 4d cad as a tool for construction management**. Journal of Construction Research 5. (pp. 43–60)

S. Moridpour, E. Mazloumi1 and M. Mesbah. (2015). **Impact of heavy vehicles on surrounding traffic characteristics.** Journal of Advanced Transportation 49. (pp. 535–552)

T. Hartmann, J. Gao, M. Fischer. (2008). **Areas of application for 3 d and 4 d models on construction projects.** Journal of Construction Engineering and Management 1 3 4 . (pp. 776–785)

T. Hartmann, M. Fischer. (2007). **Supporting the constructability review with 3d/4d models.** Building Research and Information 35. (pp. 70–80)

V. Popov, V. Juocevicius, D. Migilinskas, L. Ustinovichius, S. Mikalauskas. (2010). **The useof a virtual building design and construction model for developing an effectiveproject concept in 5d environment.** Automation in Construction 19. (pp. 357–367)

V. Benjaoran, S. Bhokha. (2009). **Enhancing visualization of 4d cad model compared to conventional methods.** Eng. Constr. Archit. Manag. 16 (4). (pp. 392–408)

V. Benjaoran, S. Bhokha. (2010). **An integrated safety management with construction management using 4D CAD model.** Safety Science 48. (pp. 395–403)

W. Zhou, J. Whyte, R. Sacks. (2012). **Construction safety and digital design: a review.** Automation in Construction 22. (pp. 102–111)

Y. Zhou, L.Y. Ding, L.J. Chen. (2013). **Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction.** Automation in Construction 34. (pp. 25–36)

Y. Zhou, L. Ding, X. Wang, M. Truijens, H. Luo. (2015). **Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction.** Automation in Construction 50. (pp. 50–63)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาววิชยา ริงคะนานนท์ เกิดวันที่ 11 พฤศจิกายน 2528 ที่ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เข้ารับการศึกษาระดับเตรียมอนุบาลที่โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ระดับอนุบาลและระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนสุรนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมขนส่ง) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2551 ขณะศึกษาได้ปฏิบัติงานในตำแหน่งผู้ช่วยวิจัยที่หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาและบริการด้านวิศวกรรมโยธา (CRU) มหาวิทยาลัยสุรนารี ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมขนส่ง) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2553 ขณะศึกษาได้ปฏิบัติงานผู้ช่วยสอนผู้ช่วยวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระหว่างศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ได้มีการนำเสนอผลงานทางวิชาการ จำนวน 1 เรื่อง คือ เรื่อง การศึกษาการเลือกรูปแบบการเดินทางจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ไปห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา และได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 8 เมื่อวันที่ 15 – 16 มีนาคม 2555 ณ โรงแรม เดอะไทด์ รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี มีผลงานวิจัยจำนวน 1 เรื่อง คือ เรื่องการประเมินความจุของทางหลวงจากรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว และอัตราการไหล : กรณีศึกษาถนนธนะรัชต์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2557 และในปี 2556 ถึงปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา