การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงผลิตภาพ : กรณีศึกษา กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน

นาย พงศธร ชินบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงผลิตภาพ : กรณีศึกษา กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน

นายพงศธร ชินบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงผลิตภาพ : กรณีศึกษา กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน

โดย นาย พงศธร ชินบุตร

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

_____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ จันทร์วิพัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

_____

(รองศาสตราจารย์ ดร.นคร กกแก้ว)

กรรมการ

_____

(รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ)

กรรมการ

_____

(ศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิทย์ แต้มทอง)

ชื่อ : พงศธร ชินบุตร
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงผลิตภาพ : กรณีศึกษา กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน
สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

การศึกษานี้สรุปขั้นตอนและระยะเวลาของกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนและกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตจากโครงการกรณีศึกษา เพื่อทำการจำลองกระบวนการทั้งสองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมจำลองวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) จากข้อมูลรายงานประจำวันของกรณีศึกษาพบว่าสามารถปูผิวทางแบบเลื่อนได้เฉลี่ย 901 ตร.ม.ต่อวันหรือ 57 คันรถ สูงสุดที่ 2,198 ตร.ม.ต่อวันหรือ 138 คันรถ และสามารถเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางต่อวันเฉลี่ย 215 ตร.ม. หรือ 22 คันรถ สูงสุดที่ 970 ตร.ม.ต่อวันหรือ 97 คันรถ เมื่อนำข้อมูลกิจกรรมของกระบวนการทั้งสองมาสร้างแบบจำลองพบว่าวิธีการจำลอง RSM และ ACD นอกจากให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลการดำเนินการจริงทั้งสองกระบวนการแล้ว ยังสามารถบ่งชี้กิจกรรมที่เป็นคอขวดและการใช้ทรัพยากรที่ไม่เต็มประสิทธิภาพภายในกระบวนการปูผิวทางแบบเลื่อนและกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตได้ โดยเมื่อทดลองปรับเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบและลดจำนวนรถบรรทุกของกระบวนการปูผิวทางแบบเลื่อนในแบบจำลอง RSM และ ACD พบว่าสามารถปูผิวทางเพิ่มขึ้นได้เกือบ 2.5 เท่าและลดต้นทุนต่อหน่วยลงกว่าครึ่ง เช่นเดียวกันกับการปรับเพิ่มทีมงานเทคอนกรีตและลดจำนวนรถขนส่งของกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตที่ให้ผลลัพธ์ดีขึ้นเช่นกัน โดยสรุปแล้ววิธีการจำลอง RSM และ ACD สามารถใช้จำลองกระบวนการจริง เพื่อการปรับปรุงผลิตภาพได้อย่างดี โดยสามารถใช้โปรแกรมตารางคำนวณทั่วไปในการสร้างแบบจำลองกระบวนการเป็นกราฟแผนงาน RSM แต่ต้องใช้โปรแกรมเฉพาะหากจำลองด้วยวิธี ACD ทั้งนี้สามารถอ่านแผนงาน RSM เพื่อการควบคุมงานได้ง่ายกว่า ACD แต่จะต้องจัดทำแผนงาน RSM ใหม่หากมีการปรับทรัพยากร ต่างจากวิธี ACD ที่สามารถปรับค่าในแบบจำลองที่พัฒนาไว้ได้ง่าย

คำสำคัญ : การจำลองกระบวนการก่อสร้าง, กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน, ผลิตภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

_____

Name : PONGSATON CHINBUT

Thesis Title : CONSTRUCTION OPERATION SIMULATION FOR PRODUCTIVITY IMPROVEMENT : A CASE STUDY OF SLIP-FORM CONCRETE PAVEMENT OPERATION

Major Field : Civil Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Associate ProfessorKAMOLWAN LUEPRASERT, , Ph.D.

Academic Year : 2024

Abstract

This study summarized the processes and activity durations of slip-form concrete pavement operation and fixed-form concrete pavement operation from an actual project. Repetitive Scheduling Method (RSM) and Activity Cycle Diagram (ACD) were used to model both operations. The daily reports from the case study project were analyzed. It was found that the average slip-form paving production was 901 sq.m. or 57 concrete truckloads with a highest production of 2,198 sq.m. or 138 truckloads per day. For the fixed-form pavement operation, the average production was 215 sq.m. or 22 mixer truckloads, with a highest production of 970 sq.m. or 97 mixer truckloads per day. The RSM and ACD models of both operations produced corresponding results to the actual operations. The models successfully identified the bottleneck activities and inefficient resource utilization within both the slip-form and fixed-form paving operations. By increasing the number of pavement finishing teams and reducing the number of trucks in the RSM and ACD models for both slip-form and fixed form operations, the paving production were increased by nearly 2.5 times, thus, reducing the costs by more than half. In conclusion, both RSM and ACD were effective for modeling construction operations and analyzing productivity. General spreadsheet programs can be used to model construction operation as RSM graphs, but specialized software is required to model ACD. The result of the RSM model can also be used for project control. However, RSM model needs to be reconstructed for any adjustments. On the contrary, the developed ACD model can easily be revised.

Keyword : Construction Operation Simulation, Slip-Form Concrete Pavement Operation, Productivity

Advisor

_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. กมลวัลย์ ลือประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่เมตตาให้ความรู้ ชี้แนะแนวทาง ให้คำแนะนำตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยมาโดยตลอด รวมไปถึงการตรวจแก้ไขข้อบกพร้องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาของศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิทย์ แต้มทอง รวมถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ในด้านการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตจึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้อนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการศึกษาต่อระดับปริญญาโท รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่สำหรับการศึกษาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณมงคล สุวคันธ์ รองประธานบริหารสายงานธุรกิจก่อสร้างสนามบิน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำคัญเพื่อการศึกษากระบวนการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตสนามบิน และขอขอบคุณวิศวกรโครงการและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้สละเวลาเพื่อให้ความรู้ ข้อมูลและให้คำแนะนำต่างๆ กับผู้วิจัยในด้านกระบวนการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตสนามบิน

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและส่งเสริมในการศึกษานี้ในทุกๆ ด้าน ซึ่งล้วนเป็นแรงผลักดันส่วนสำคัญในการศึกษาเล่าเรียนจนประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

พงศธร ชินบุตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ผลิตภาพในงานก่อสร้าง 4

2.2 การวางแผนงานก่อสร้าง 7

2.3 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง 13

2.4 กระบวนการปูผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตโดยใช้ Slip-Form Paver 24

2.5 การวิเคราะห์ความไว 31

2.6 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง 32

2.7 สรุปการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

บทที่ 3 ระเบียบการวิจัย 37

3.1 ออกแบบงานวิจัย 37

3.2 การศึกษากระบวนการก่อสร้างโครงการกรณีศึกษา 37

3.3 การเก็บข้อมูล 51

3.4 การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง 59

3.5 การวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียจากการใช้งานวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง 69
3.6 การวิเคราะห์ผลิตภาพจากการใช้วิธีจำลองกระบวนการก่อสร้าง 69
บทที่ 4 การศึกษากระบวนการก่อสร้าง 71
4.1 วิเคราะห์กระบวนการก่อสร้าง 71
4.2 ขอบเขตกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง 83
4.3 ทรัพยากรและระยะเวลากิจกรรม 87
4.4 สรุปการศึกษากระบวนการการก่อสร้าง 106
บทที่ 5 การจำลองกระบวนการก่อสร้าง 110
5.1 การจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) 110
5.2 การจำลองด้วยโปรแกรมแบบจำลองวิธี ACD 130
5.3 วิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง 154
5.4 วิเคราะห์แนวทางปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างจากแบบจำลอง 158
5.5 สรุปผลการจำลองกระบวนการก่อสร้าง 183
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 184
6.1 สรุปผลการศึกษา 184
6.2 ข้อเสนอแนะ 188
บรรณานุกรม 192
ภาคผนวก ก ผลการรวบรวมปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริง 196
ภาคผนวก ข ผลการจำลองแบบจำลอง ACD 207
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM 220
ประวัติผู้เขียน 227

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 องค์ประกอบของเครือข่ายระบบการจำลองโปรแกรม STROBOSCOPE 19

2-2 องค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองโปรแกรม EZStrobe (Martínez, 2001) 22

2-3 สรุปการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35

3-1 ปริมาณพื้นที่ก่อสร้าง แผนระยะเวลาก่อสร้างและระยะเวลาก่อสร้างจริงของแต่ละพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต 39

3-2 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์พื้นที่งานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form 40

3-3 ผลิตภาพของงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต 54

3-4 แหล่งที่มาของข้อมูลแต่ละชนิด 56

4-1 ทรัพยากรกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver 1 ทีมงาน 89

4-2 ทรัพยากรกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form 1 ทีมงาน 90

4-3 ทรัพยากรกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ 1 ทีมงาน 91

4-4 วิธีระบุระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย 92

4-5 ระยะเวลากิจกรรมขนส่งคอนกรีต 98

4-6 สรุปการคำนวณค่าระยะเวลากิจกรรม ค่าความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver 101

4-7 สรุปการคำนวณค่าระยะเวลาและความล่าช้ากิจกรรม ค่าความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการปูผิวทางวิธีการ Fixed-Form 105

4-8 สรุปข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 108

4-9 สรุปข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form 109

5-1 ระยะเวลาคาดหวังของกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver 111

5-2 ผลการจำลองด้วยวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A) และกรณีดีที่สุด (RSM-S-B) 117

5-3 ระยะเวลาคาดหวังของกิจกรรมและความล่าช้าในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form 121

5-4 ผลการจำลองด้วยวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A) และกรณีดีที่สุด (RSM-F-B) 126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5-5 องค์ประกอบแผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver 134

5-6 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) 139

5-7 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-A) 140

5-8 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของแต่ละทรัพยากรในแถวคอยของแบบจำลองกรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) รอบที่ 67 และแบบจำลองกรณีดีที่สุด (ACD-S-B) 143

5-9 องค์ประกอบแผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางวิธีการ Fixed-Form 146

5-10 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) 150

5-11 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B) 151

5-12 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของแต่ละทรัพยากรในแถวคอยของแบบจำลองกรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) รอบที่ 6 และแบบจำลองกรณีดีที่สุด (ACD-F-B) 153

5-13 ผลลัพธ์ระยะเวลาทำงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน (11 ชั่วโมง, 660 นาที) จากการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form โดยการจำลองวิธี RSM และ ACD 154

5-14 ผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน (11 ชั่วโมง, 660 นาที) จากการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form โดยการจำลองวิธี RSM และ ACD 156

5-15 จัดอันดับกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่มีระยะเวลาต่อหน่วยสูงที่สุด 159

5-16 จัดอันดับแถวคอยของทรัพยากรหลักในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่มีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยสูงที่สุด 160

5-17 ปริมาณงานซ้ำจากการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในแต่ละสถานการณ์ 164

5-18 ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี RSM 168

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5-19	ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี ACD	169
5-20	ผลลัพธ์ผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนปัจจัยที่สถานการณ์ต่างๆ	170
5-21	จัดอันดับกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่มีระยะเวลาต่อหน่วยสูงที่สุด	171
5-22	จัดอันดับแถวคอยของทรัพยากรหลักในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่มีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยสูงที่สุด	172
5-23	ปริมาณงานซ้ำจากการจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละสถานการณ์	176
5-24	ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี RSM	180
5-25	ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี ACD	181
5-26	ผลลัพธ์ผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนปัจจัยที่สถานการณ์ต่างๆ	182
6-1	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการจำลอง RSM และ ACD	186
6-2	รายการเตรียมการสำหรับการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างวิธี RSM และ ACD	189
ข-1	ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (Average Case) 100 รอบ	208
ข-2	ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (Average Case) 100 รอบ	214

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ตัวอย่างการใช้ CPM วางแผนงานก่อสร้างซ้ำหลายหน่วย (Harris และ Ioannou, 1998) 8

2-2 ตัวอย่างการวางแผนงานก่อสร้างวิธี Line of Balance (Arditi และคณะ, 2002) 9

2-3 ตัวอย่างการปรับปรุงการวางแผนระยะเวลาก่อสร้างด้วย RSM (Harris และ Ioannou, 1998) 10

2-4 แนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างต่อเนื่อง (Tomar และ Bansal, 2019) 11

2-5 เส้นอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม (Production Curve) (Lutz และ Halpin, 1992) 12

2-6 ตัวอย่างความไม่แน่นอนของระยะเวลาการทำงานของวิธี PERT (Malcolm และคณะ, 1959) 13

2-7 ตัวแปรสถานะของระบบแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง (Banks และคณะ, 2005) 14

2-8 สถานะแถวคอย (Queue) และกิจกรรม (Activity) (Paul, 1993) 16

2-9 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม UM-CYCLONE ผ่านDOSBox บนระบบปฏิบัติการต่างๆ เช่น Windows x64, Apple OS/X, Linux, Unix, Solaris เป็นต้น (Ioannou, 1990) 17

2-10 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม GroupSim (Filho และคณะ, 2004) 18

2-11 ตัวอย่างแบบจำลองเครือข่ายกระบวนการขนย้ายดิน (Martinez, 1996) 19

2-12 วงรอบการทำงานของโปรแกรม STROBOSCOPE (Martinez, 1996) 21

2-13 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม EZStrobe ผ่านระบบกราฟฟิกของโปรแกรม Microsoft Visio บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows (Ioannou, 2022) 24

2-14 โครงสร้างของ Rigid Pavement โดยทั่วไป (U.S. Army Corps of Engineers, 2001) 25

2-15 Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) (PCC Pavement, 2023) 26

2-16 Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP) (PCC Pavement, 2023) 26

2-17 Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) (PCC Pavement, 2023) 27

2-18 ตัวอย่างรายละเอียดรอยต่อแต่ละประเภทของผิวทาง Rigid Pavement (FAA, 2009) 28

2-19 เครื่องปูคอนกรีต (Slip-Form Paver) (Stevenson, 2021) 29

2-20 ขั้นตอนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีตโดยทั่วไป (Stevenson, 2021) 30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-21	พื้นที่สำหรับล้อตีนตะขาบของเครื่องปูคอนกรีต (Stevenson, 2021)	31
3-1	การแบ่งพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต	38
3-2	ลักษณะงานก่อสร้างผิวทางของโครงการโดยทั่วไป	38
3-3	ตัวอย่างลักษณะพื้นที่งานก่อสร้างของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	41
3-4	ทีมงานกลุ่มงานเตรียมพื้นที่กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	43
3-5	ทีมงานกลุ่มงานปูผิวทางคอนกรีตกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	44
3-6	Slip-Form Paver เข้าตำแหน่ง และยกแผง Transverse Joint ออกมาด้านข้าง (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)	45
3-7	การปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)	45
3-8	งานแต่งผิวหน้าคอนกรีตด้วย Auto Float และทีมแต่งผิวหน้าเรียบ (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)	45
3-9	สร้างลายผิวหน้าและฉีดพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตด้วย Texture and Curing Machine (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)	46
3-10	งานคลุมผิวหน้าคอนกรีต (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)	46
3-11	แต่งผิวหน้าด้วยคานสั่นปาดหน้าคอนกรีต	47
3-12	ติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อผิวทางคอนกรีต	48
3-13	กระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ ภายหลังก่อสร้างผิวทางคอนกรีต	48
3-14	ช่วงการเก็บงานด้วยกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form พื้นที่ 2.1	50
3-15	ตัวอย่างบันทึกการก่อสร้างรายวันของผู้รับเหมาก่อสร้าง	52
3-16	แผนภาพการแจกแจงของปริมาณงานกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	55
3-17	แผนภาพการแจกแจงของปริมาณงานกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	55
3-18	ตัวอย่างการสรุปข้อมูลจากการศึกษากระบวนการก่อสร้างสำหรับแบบจำลอง	58
3-19	การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะวิธีการจำลอง : กระบวนการก่อสร้าง : ลักษณะการทำงาน	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-20	ลำดับการสร้างแบบจำลองวิธี RSM สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองกระบวนการก่อสร้าง	64
3-21	การกำหนดระยะเวลาจำลอง 660 นาที บนโปรแกรม EZStrobe	67
3-22	ลำดับการสร้างแบบจำลองวิธี ACD สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองกระบวนการก่อสร้าง	68
3-23	ขั้นตอนการการวิเคราะห์ผลิตภาพจากการใช้วิธีจำลองกระบวนการก่อสร้าง	70
4-1	ขั้นตอนกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver	72
4-2	แผนภาพขั้นตอนการทำงานเตรียมพื้นที่ของกระบวนการ ปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	73
4-3	แผนภาพขั้นตอนการทำงานปูผิวทางคอนกรีตของกระบวนการ ปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	73
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างงานเตรียมพื้นที่และงานปูผิวทางคอนกรีต กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	74
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver	77
4-6	ขั้นตอนกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	80
4-7	แผนภาพขั้นตอนการทำงานเตรียมพื้นที่ของกระบวนการ ปูผิวทางคอนกรีตวิธี Fixed Form	81
4-8	แผนภาพขั้นตอนการทำงานเทคอนกรีตผิวทางของกระบวนการ ปูผิวทางคอนกรีตวิธี Fixed Form	81
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตวิธี Fixed Form	82
4-10	แผนภาพขั้นตอนกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ	83
4-11	แผนภาพสรุปขอบเขตการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	84
4-12	แผนภาพสรุปขอบเขตการจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	85
4-13	ขอบเขตกิจกรรมก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่จะจำลองกระบวนการก่อสร้าง	86
4-14	เครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver	88
4-15	เครื่อง Texture and Curing Machine	88
4-16	กำหนดตำแหน่งก่อสร้างเพื่อหาระยะทางการขนส่งคอนกรีต	98

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5-1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver โดยไม่คำนึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้าง 113

5-2 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 114

5-3 วงรอบการทำงานของรถบรรทุก 10 ล้อ (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 115

5-4 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ยบนโปรแกรม Spreadsheet 118

5-5 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานปูผิวทางคอนกรีต กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A) (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 119

5-6 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานปูผิวทางคอนกรีต กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 120

5-7 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form โดยไม่คำนึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้าง 123

5-8 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form 124

5-9 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ยบนโปรแกรม Spreadsheet 127

5-10 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานเทคอนกรีตผิวทาง กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A) 128

5-11 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานเทคอนกรีตผิวทาง กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B) 129

5-12 หลักการจำลองลักษณะการทำกิจกรรมซ้ำๆ หลายหน่วยและความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างด้วยวิธี ACD 130

5-13 วงรอบ ACD ทรัพยากรแต่ละชนิดของงานปูผิวทางคอนกรีตกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 133

5-14 แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567) 138

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5-15	แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-B)	141
5-16	เปรียบเทียบลักษณะการแจกแจงปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงกับปริมาณงานแล้วเสร็จจากการจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	142
5-17	ร่างวงรอบ ACD ทรัพยากรแต่ละชนิดของงานเทคอนกรีตผิวทางกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	145
5-18	แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A)	149
5-19	แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)	152
5-20	แผนภาพแนวคิดการเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบสำหรับการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยแบบจำลอง RSM	162
5-21	ตัวอย่างการรับและส่งผ่านปริมาณงานซ้ำของแบบจำลอง RSM ที่กิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบมีทีมงานจำนวน 3 ทีม	163
5-22	แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี RSM	165
5-23	แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี ACD	165
5-24	ตัวอย่างรายการคำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	167
5-25	แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี RSM	168
5-26	แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี ACD	169
5-27	แผนภาพแนวคิดการเพิ่มจำนวนทีมงานเทคอนกรีตสำหรับการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยแบบจำลอง RSM	173
5-28	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีตในกระบวนการและจำนวนรถขนส่งจอดรอเทคอนกรีต	174
5-29	แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี RSM	177

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5-30	แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี ACD	177
5-31	ตัวอย่างรายการคำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	179
5-32	แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี RSM	180
5-33	แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี ACD	181
6-1	ตัวอย่างการกำหนดปริมาณงาน 1 หน่วยสำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้างลักษณะซ้ำนอกเหนือขอบเขตในงานวิจัย	188
ก-1	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 1.1	197
ก-2	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 1.2	198
ก-3	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 2.1	199
ก-4	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 2.2	200
ก-5	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 3.1	201
ก-6	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 3.2	202
ก-7	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 4.1	203
ก-8	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 4.2	204
ก-9	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 5.1	205
ก-10	แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 5.2	206
ข-1	ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) รอบที่ 67	212
ข-2	ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-B)	213
ข-3	ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) รอบที่ 6	218

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข-4	ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)	219
ค-1	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A)	221
ค-2	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) ส่วนที่ 1	222
ค-3	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) ส่วนที่ 2	223
ค-4	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) ส่วนที่ 3	224
ค-5	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A)	224
ค-6	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B) ส่วนที่ 1	225
ค-7	ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B) ส่วนที่ 2	226

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานโยธาที่มีปริมาณงานมากมักมีลักษณะเป็นงานก่อสร้างซ้ำๆ และส่วนมากต้องอาศัยเครื่องจักรในการทำงานเพื่อให้ได้ปริมาณงานก่อสร้างสูงสุดภายในกรอบระยะเวลาโครงการ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในงานดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญ ยกตัวอย่างเช่นเครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-Form Concrete Pavement Operation) สำหรับงานทางหลวงและสนามบิน (Parker, 1975) ข้อได้เปรียบหลักของการก่อสร้างผิวทางด้วย Slip-Form Paver คือให้ผลิตภาพสูงกว่าแต่ใช้จำนวนคนงานน้อยกว่าวิธีการก่อสร้าง Fixed Form ที่เป็นการเข้าแบบเทคอนกรีตแบบเดิม ก่อสร้างได้รวดเร็วและให้งานที่มีคุณภาพสูง แต่มีข้อควรพิจารณาคือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาสูง การวางแผนงานโดยคำนึงถึงผลิตภาพที่ใกล้เคียงความเป็นจริงจะช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถประมาณการและลดระยะเวลาทำงาน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของ Slip-Form Paver และเครื่องมือเครื่องจักรอื่นๆ ของผู้รับเหมาลงได้

ซึ่งงานก่อสร้างโดยปกตินั้นมักมีความไม่แน่นอนในการดำเนินการ และแต่ละโครงการก่อสร้างมีการเลือกใช้วิธีการก่อสร้าง ชนิดและจำนวนทรัพยากรที่แตกต่างกัน การวางแผนงานโดยใช้เพียงปริมาณงานก่อสร้างหรือระยะเวลาการทำงานโดยเฉลี่ยจากข้อมูลโครงการในอดีตอาจไม่เพียงพอสำหรับการจำลองสถานการณ์ความไม่แน่นอนของกระบวนการก่อสร้างสามารถประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ ร่วมกับการกำหนดระยะเวลาทำกิจกรรมโดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนของระยะเวลาการดำเนินงานของแต่ละกิจกรรมด้วยวิธี Program Evaluation and Review Technique (PERT) เพื่อจำลองความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำต่อเนื่องหลายหน่วย วิธีการจำลองกระบวนการอีกวิธีหนึ่งคือการใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วยวิธี Activity Cycle Diagram (ACD) (Paul, 1993) ที่สามารถจำลองลำดับการทำงาน ความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมลักษณะการแจกแจงแบบต่างๆ สามารถวิเคราะห์ความยาวแถวคอยของทรัพยากรต่างๆ ที่กำหนดตามลักษณะการดำเนินงานจริงเพื่อระบุกิจกรรมที่เป็นคอขวดส่งผลต่อผลิตภาพโดยรวมของกระบวนการ และยังสามารถทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณทรัพยากรเพื่อให้ได้ผลิตภาพสูงขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง ระหว่างการจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมการจำลองวิธีวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) เพื่อนำเสนอความเหมาะสมในการใช้งานวิธีการจำลองแต่ละแบบสำหรับเป็นเครื่องมือในการวางแผนงานก่อสร้าง การประเมินผลิตภาพของ

กระบวนการ และการวิเคราะห์ความไวต่อปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภาพของกระบวนการ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนและกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางของโครงการก่อสร้างในอดีต ผลลัพธ์ของงานวิจัยสามารถนำไปเป็นแนวทางในการใช้วิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างในกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนลักษณะเดียวกัน และโครงการก่อสร้างประเภทอื่นๆ ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้าง ระยะเวลากิจกรรม ลักษณะการใช้ทรัพยากรของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนและกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางของโครงการกรณีศึกษา เพื่อศึกษาผลิตภาพจริงของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนและกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางของโครงการกรณีศึกษา

1.2.2 ใช้งานวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง และเปรียบเทียบความถูกต้อง ความสามารถและความเหมาะสมในการใช้งานของแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง ทั้งวิธีการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมการจำลองวิธีวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างและประเมินผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างกรณีศึกษา

1.2.3 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความไวของผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างด้วยวิธีการจำลองจากการระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างกรณีศึกษา เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้างและปรับปรุงผลิตภาพโดยใช้วิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การเก็บข้อมูลและการจำลองกระบวนการก่อสร้างในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่งานก่อสร้างผิวทางอากาศยานแบบแข็ง (Rigid Pavement) ของโครงการก่อสร้างที่แล้วเสร็จในอดีตเท่านั้น ไม่รวมกระบวนการอื่นๆ ในโครงการงานก่อสร้างผิวทางอากาศยาน เช่น งานก่อสร้างชั้นทาง งานรื้อผิวทางอากาศยานเดิม งานระบบระบายน้ำและงานระบบไฟฟ้าสนามบิน เป็นต้น

การสร้างและพัฒนารูปแบบการคำนวณรวมไปถึงการแสดงผลลัพธ์ให้ออกมาเป็นเส้นกราฟแผนงาน Repetitive Scheduling Method (RSM) สำหรับการจำลองวิธีการวางแผนงานก่อสร้าง ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Spreadsheet

โปรแกรมจำลองกระบวนการสำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาและปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาและใช้งานเฉพาะโปรแกรมจำลองกระบวนการก่อสร้างวิธี ACD เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 ทำให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการก่อสร้าง และวิธีประเมินผลิตภาพของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนและกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทาง

1.4.2 นำเสนอข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางลดความเสี่ยงในการประมาณระยะเวลาก่อสร้าง การประมาณการใช้ทรัพยากร และเป็นแนวทางเพิ่มผลิตภาพกระบวนการต่างๆ ในงานก่อสร้างโครงการกรณีศึกษาให้ดีขึ้น

1.4.3 เป็นแนวทางสำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้างในโครงการก่อสร้างผิวทางอากาศยานและโครงการก่อสร้างประเภทอื่นๆ ได้ต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อหลักเรียงตามลำดับ ได้แก่

(1) ผลิตภาพในงานก่อสร้าง
(2) การวางแผนงานก่อสร้าง
(3) แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง
(4) กระบวนการปูผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (PCC) โดยใช้ Slip-Form Paver
(5) การวิเคราะห์ความไว
(6) งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภาพในงานก่อสร้าง

Oglesby และคณะ (1989) กล่าวว่า ผลิตภาพ คือ อัตราส่วนระหว่างผลที่น่าพึงพอใจต่อต้นทุนในการผลิต ซึ่งผลที่น่าพึงพอใจหมายถึงงานที่ทำเสร็จสมบูรณ์ในราคายุติธรรมแก่เจ้าของและมีผลกำไรที่สมเหตุสมผลสำหรับผู้รับเหมา

วรรณวิทย์ (2563) กล่าวว่า ผลิตภาพ (Productivity) ของงานก่อสร้างคือ ผลผลิตที่ได้จากการที่ผู้รับเหมาทำงานโดยใช้ทรัพยากรในการก่อสร้าง หรือ ผลผลิต/ต้นทุนการผลิต (Output / Input)

$$\text{ผลิตภาพ (Productivity)} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \qquad (2\text{-}1)$$

ผลผลิตของงานก่อสร้าง (Construction Output) คืองานที่ได้ เช่น เทคอนกรีตได้ 10 ลบ.ม. หรือปูกระเบื้องได้ 20 ตร.ม. เป็นต้น ส่วนต้นทุนการผลิต (Construction Input) หรือสิ่งที่ใส่เข้าไปในการทำงานก่อสร้างหมายถึงทรัพยากรซึ่งได้แก่ คนงาน เงิน เวลา หรือวัสดุ เช่น ใช้ทรัพยากรคือคนงาน 10 คน หรือใช้เงิน 6,000 บาท เป็นต้น

ในการที่จะเพิ่มผลิตภาพนั้น Output จำเป็นต้องเพิ่มขึ้น ส่วน Input จะคงที่หรือลดลงก็ได้แล้วแต่กรณี แต่การที่ Output เพิ่มขึ้น และ Input ลดลงนั้นเป็นกรณีที่เป็นอุดมคติมาก การที่ Productivity จะมีประสิทธิภาพ (Effectiveness) ต้องมีการบริหารที่ดี, ทักษะของคนงานที่ดี, วัสดุที่มีคุณภาพ, เครื่องมือเครื่องจักรที่รวดเร็วและปลอดภัย

2.1.1 ปัจจัยต่อผลิตภาพในงานก่อสร้าง (Factors Influencing Construction Productivity)

Olomolaiye และคณะ (1998 อ้างถึงใน ชูเกียรติ, 2549) กล่าวว่า สามารถแบ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพในงานก่อสร้างได้ 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายใน

2.1.1.1 ปัจจัยภายนอก (External Factors) หมายถึง ปัจจัยซึ่งอยู่ภายนอกขององค์กรผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่

ก) ความไม่เข้าใจธรรมชาติของอุตสาหกรรมก่อสร้างของเจ้าของงาน ที่งานก่อสร้างโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นโครงการ มีวัตถุประสงค์และมีการกำหนดเวลาก่อสร้างที่ชัดเจน อีกทั้งการต้องดำเนินงานภายใต้ข้อจำกัดทั้งด้านงบประมาณ เวลา และคุณภาพ ซึ่งเจ้าของงานมักไม่เข้าใจวงจรชีวิตของงานก่อสร้างที่จะเริ่มดำเนินการจากการกำหนดโครงการ ศึกษาความเป็นไปได้ ออกแบบรายละเอียด จัดหาจัดจ้างผู้รับเหมา และก่อสร้างจนแล้วเสร็จ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เวลาในการศึกษา และออกแบบโครงการที่สั้นเกินไป จนเกิดความผิดพลาดนำไปสู่ความล้มเหลวของโครงการ

ข) เจ้าของงานมักขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับงานก่อสร้าง และไม่มีการจ้างที่ปรึกษาที่มีความรู้ความสามารถเพียงพอ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาโดยตรงต่อผลิตภาพงานก่อสร้างได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงแบบและรายการประกอบแบบระหว่างการก่อสร้าง เนื่องจากช่วงขั้นตอนการออกแบบยังไม่ชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการใช้งานบางส่วน ทำให้ต้องเสียเวลารอการตัดสินใจจากเจ้าของงาน หรือในบางครั้งอาจต้องมีการทุบรื้อเพื่อทำใหม่ ส่งผลให้ต้นทุนการก่อสร้างบานปลายจนเป็นปัญหาข้อขัดแย้ง ระหว่างผู้รับเหมากับเจ้าของงาน นอกจากนั้นการแทรกแซงโดยเจ้าของงาน เช่น การบอกให้ผู้รับจ้างไปทำงานใดงานหนึ่งที่อยู่นอกเหนือจากแผนงานก่อสร้าง เป็นการกระทำอาจส่งผลต่อผลิตภาพในการทำงาน เนื่องจากผู้รับเหมางานเหล่านั้นที่เจ้าของจัดหามาเป็นมืออาชีพมีประสบการณ์ในการบริหารงานก่อสร้างโดยพยายามควบคุมโครงการในภาพรวมในด้านต้นทุน เวลา และคุณภาพให้ได้ตามวัตถุประสงค์และข้อกำหนดที่วางไว้

ค) สภาพแวดล้อมของงานก่อสร้าง ซึ่งโครงการก่อสร้างแต่ละโครงการจะอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ได้แก่ สภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น พื้นที่ทำงานที่จำกัด ทางเข้าออกที่คับแคบซึ่งส่งผลต่อการขนส่งวัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ก่อสร้าง เป็นต้น สภาพภูมิอากาศ เช่น ปริมาณฝนตก อุณหภูมิ ความร้อน ความชื้น มีผลต่อผลิตภาพของแรงงาน รวมไปถึงสภาพแวดล้อมในการทำงาน ซึ่งเป็นผลจากการจ้างงาน สวัสดิการพนักงาน ความเข้มข้นของการควบคุมคุณภาพการทำงาน ระบบการจัดการความปลอกภัย รวมถึงจริยธรรมและการอยู่ร่วมกันของคนงาน เป็นต้น

ง) ระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ผลิตภาพโดยทั่วไปส่วนมากจะขึ้นอยู่กับระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและความเฟื่องฟู ถ้าเศรษฐกิจเฟื่องฟูในส่วนของกระแสเงินที่จะมาใช้ในการพัฒนาโครงการให้สำเร็จมากขึ้น ผลิตภาพของอุตสาหกรรมก่อสร้างก็จะเพิ่มขึ้น ส่วนความเสียหายของผลิตภาพส่วนมากเกิดขึ้นระหว่างเศรษฐกิจตกต่ำ หรือแนวโน้มที่ต่ำลงทางเศรษฐกิจ ปัจจัยนี้เป็นการผสมกันระหว่างนโยบายที่มั่นคงในการกำหนดขอบเขตที่ใหญ่ในระดับการลงทุน

2.1.1.2 ปัจจัยภายใน (Internal Factors) หมายถึง ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภาพจากภายในโครงการก่อสร้างและองค์กรผู้รับเหมาก่อสร้างเอง ได้แก่

ก) การบริหารจัดการ โครงการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่นั้นต้องการความสามารถในการจัดการที่สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ผลิตภาพที่ต่ำจะส่งผลให้โครงการเสียหาย เกิดต้นทุนและระยะเวลาโครงการที่บานปลาย ผู้บริหารส่วนใหญ่มักมองเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากระดับปฏิบัติงาน โดยไม่สอบสวนและแก้ไขถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดผลิตภาพที่ต่ำก็จะยิ่งทำให้ส่งผลเสียต่อโครงการมากขึ้น เช่น ช่างฝีมือดีลาออก หรือต่อต้านซึ่งไม่ส่งผลดีกับโครงการ ดังนั้นฝ่ายบริหารเองควรย้อนกลับมาดู และปรับปรุงงานในส่วนบริหารให้ดี

ข) เทคโนโลยีการก่อสร้าง งานก่อสร้างมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน การกำหนดวิธีการก่อสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรมีการศึกษาแนวทางการก่อสร้างหลายๆ แนวทาง และเลือกแนวทางที่ดีที่สุด ผู้บริหารที่มีความสามารถในการจัดการและเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับโครงการย่อมทำให้องค์กรได้เปรียบคู่แข่งทางด้านผลิตภาพ และต้นทุนงานก่อสร้าง

ค) คนงาน ความเป็นอยู่ของคนงานเป็นปัจจัยผลกระทบหลักในผลิตภาพงานก่อสร้าง Maloney (1983) แสดงให้เห็นว่าระดับผลิตภาพขึ้นอยู่กับการบังคับ อำนาจการควบคุม พฤติกรรมของคนงานรวมทั้งแรงกระตุ้นที่ได้รับ คุณสมบัติส่วนตัวของคนงานสามารถมีผลต่อผลิตภาพเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ทักษะความเชี่ยวชาญ ประสบการณ์ที่สะสมจากการทำงานและฝึกอบรม ความสามารถเฉพาะตัวในด้านพละกำลังหรือความคิด เป็นต้น การนำความสามารถข้างต้นมาใช้มากน้อยเท่าไรในโครงการก่อสร้างจึงมีผลต่อผลิตภาพ และหากใช้เทคนิคการก่อสร้างแตกต่างไปจากแนวทางก่อสร้างเดิมๆ ที่คนงานเคยทำ ควรต้องจัดให้มีการฝึกอบรมวิธีปฏิบัติ เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเรียนรู้งาน ซึ่งจะทำให้ผลิตภาพสูงขึ้น

ง) สหภาพแรงงาน จะมีบทบาทในการเสนอข้อเรียกร้องต่อนายจ้างไม่ว่าจะเป็นการกำหนดผลิตภาพมาตรฐานเพื่อใช้ประเมินผลการทำงาน การต่อรองเรื่องปริมาณชั่วโมงการทำงานต่อสัปดาห์ให้น้อยลง หรือการเรียกร้องค่าตอบแทนที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น ประเด็นเหล่านี้อาจส่งผลให้ผลิตภาพต่ำลง หากแต่ละฝ่ายมองเพียงประโยชน์ของตนฝ่ายเดียว

2.1.2 แนวทางในการเพิ่มผลิตภาพในงานก่อสร้าง

ผลิตภาพสามารเพิ่มขึ้นได้โดยการสำรวจและปรับปรุงกระบวนการทำงานให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น อาจหมายถึงการใช้ทรัพยากรเท่าเดิม แต่ผลผลิตที่ได้มากขึ้นซึ่งมีแนวทางดังนี้

2.1.2.1 ลดความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งลักษณะความสูญเสียสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ การผลิตมากเกินไป (Over Production) การรอคอย (Waiting) การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Transport) กระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็น (Over Processing) มีวัตถุดิบที่รอการนำไปใช้ อยู่ในระหว่างกระบวนการผลิต และรอการขายมากเกินไป (Excess Inventory) การเคลื่อนไหวของคนงานที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Movement) และสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพ (Defects)

2.1.2.2 พัฒนาศักยภาพของแรงงานที่มี โดยจัดฝึกอบรมแรงงานให้มีความสามารถและความรู้เพียงพอที่จะปฏิบัติงานตามแผนงานที่วางไว้ โดยเฉพาะงานก่อสร้างที่มีรูปแบบการปฏิบัติงานใหม่ๆ รวมถึงวิธีใช้งานวัสดุอุปกรณ์ที่ทันสมัยให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยและถูกวิธีอย่างมีมาตรฐาน

2.1.2.3 ผู้บริหารควรให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีและนวัตกรรม หรือวิธีการทำงานในรูปแบบใหม่ที่จะช่วยให้ประหยัดหรือสะดวกในการทำงานมากกว่า แต่สามารถให้ผลผลิตที่คงเดิม ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มผลิตภาพการก่อสร้างโดยรวม

2.2 การวางแผนงานก่อสร้าง

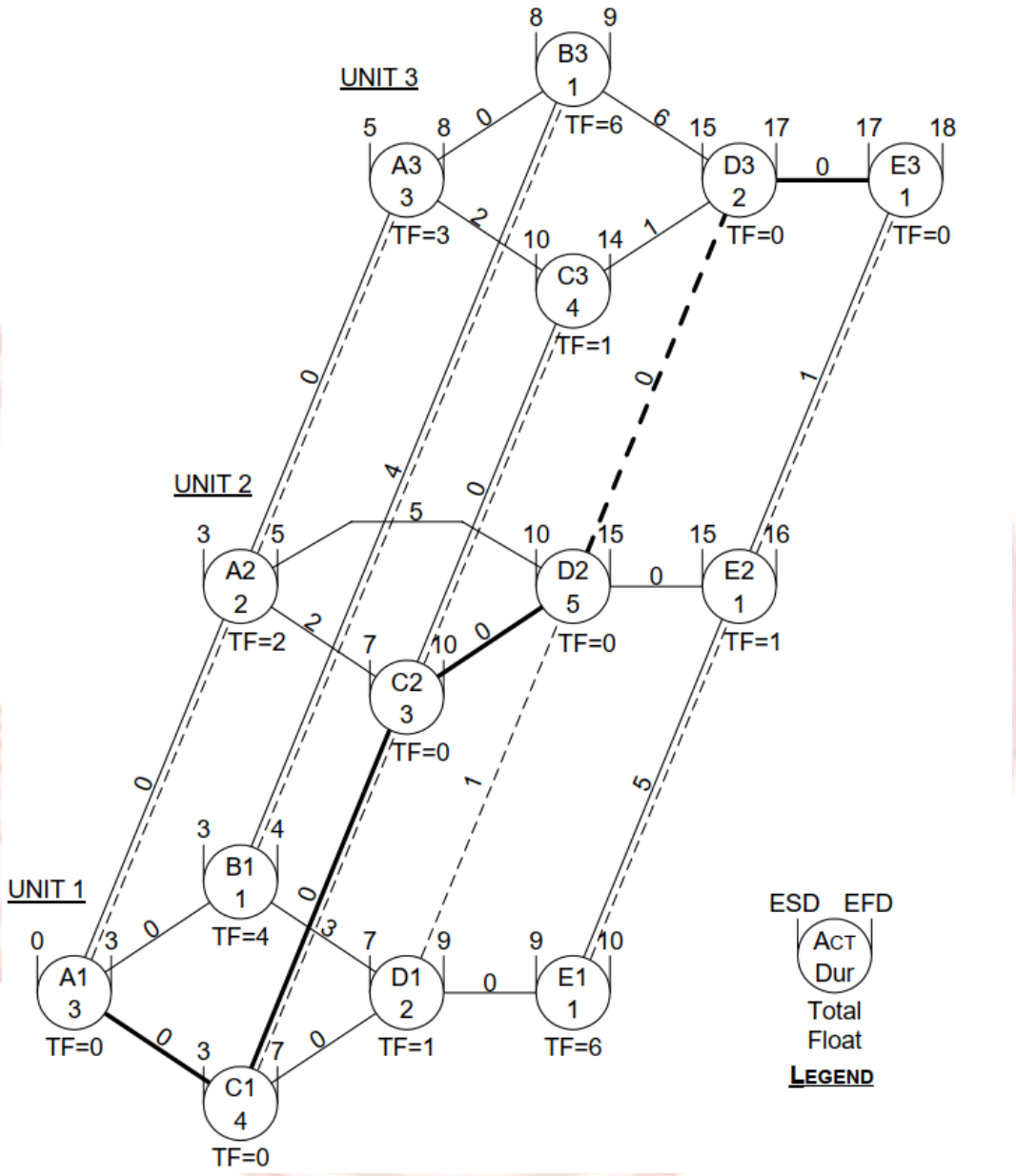
ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการวางแผนและบริหารงานก่อสร้างในลักษณะงานซ้ำๆ แต่ละหน่วยต่อเนื่องกัน และเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนของระยะเวลาการทำกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้างดังนี้

2.2.1 งานซ้ำหลายหน่วย (Multi-Unit) (Harris และ Ioannou, 1998)

ในโครงการก่อสร้างมักพบการทำงานลักษณะที่เหมือนหรือคล้ายคลึงกันซ้ำๆ เช่น โครงการก่อสร้างอาคารหลายชั้น บ้านหลายหลังในโครงการบ้านจัดสรร งานวางท่อระบบสาธารณูปโภค เป็นต้น โครงการเหล่านี้มีลักษณะเฉพาะคือเกิดการทำกิจกรรมซ้ำในหน่วยงานย่อยๆ เช่น งานทาสีผนังอาคารหลายชั้นอาจแบ่งหน่วยการทำงานออกเป็น งานทาสีผนังชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นอื่นๆ จนครบปริมาณหน่วยงานซ้ำทั้งโครงการ

กิจกรรมซ้ำลักษณะนี้มีปัญหาสำคัญในการจัดการการทำงานคือการจัดสรรการใช้งานทรัพยากรอย่างต่อเนื่องจากหน่วยงานหนึ่งไปอีกหน่วยงานหนึ่ง (เช่น ทีมงานทาสี) เนื่องจากการหยุดชะงักของการใช้ทรัพยากรในบางครั้งส่งผลถึงระยะเวลาโครงการโดยรวม ซึ่งการวางแผนจัดการความต่อเนื่องในการใช้ทรัพยากรนั้นไม่สามารถใช้การวางแผนงานวิธีสายทางวิกฤต (Critical Path Method, CPM) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นความต่อเนื่องของการใช้ทรัพยากรจากแผนภาพ CPM ได้โดยตรง ต้องทำการวิเคราะห์เวลาสิ้นสุดของกิจกรรมก่อนหน้ากับเวลาเริ่มต้นของกิจกรรมตามหลังในแต่ละหน่วยงานซ้ำจึงจะสามารถตรวจสอบได้ว่าเกิดความต่อเนื่องของการใช้ทรัพยากรหรือไม่ ซึ่งมีความยุ่งยากและอาจเกิดความผิดพลาดได้

ยกตัวอย่างการวิเคราะห์ความต่อเนื่องในการใช้ทรัพยากรทำกิจกรรม C ในโครงการที่มีงานซ้ำจำนวน 3 หน่วยในภาพที่ 2-1 กิจกรรม C1 เริ่มต้นในวันที่ 3 และสิ้นสุดในวันที่ 7 กิจกรรม C2 เริ่มต้นในวันที่ 7 และสิ้นสุดในวันที่ 10 และกิจกรรม C3 เริ่มต้นในวันที่ 10 และสิ้นสุดในวันที่ 14 ดังนั้นสรุปได้ว่าทรัพยากรของกิจกรรม C จะถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 3 จนถึงวันที่ 14

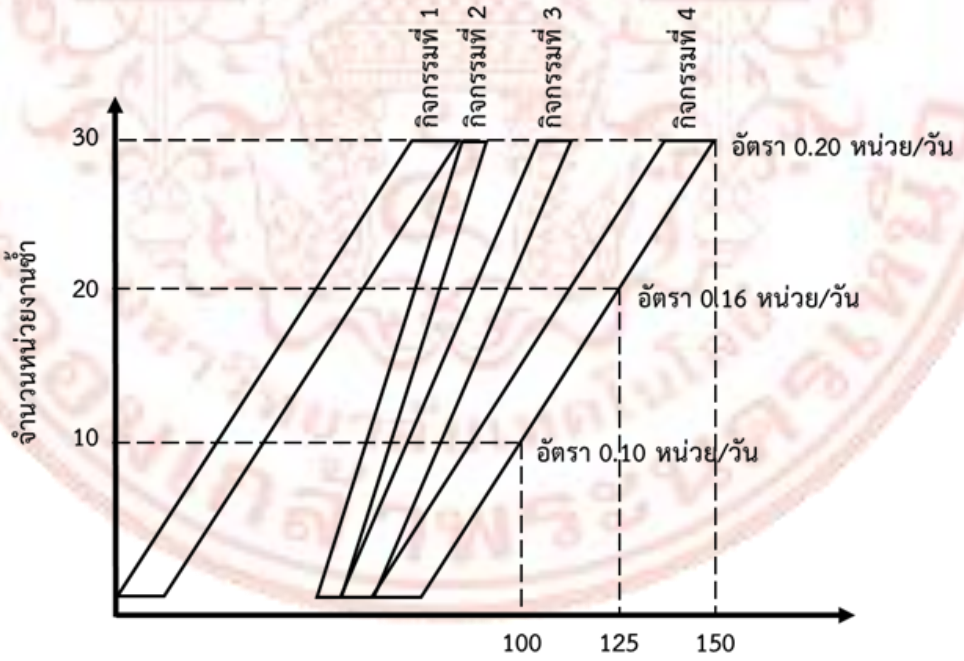


ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างการใช้ CPM วางแผนงานก่อสร้างซ้ำหลายหน่วย (Harris และ Ioannou, 1998)

2.2.2 วิธี Line of Balance (LOB)

เนื่องจากในโครงการก่อสร้างต่างๆ จะมีกิจกรรมก่อสร้างหลายกิจกรรม โดยที่แต่ละกิจกรรมจะมีอัตราการทำงานที่แตกต่างกันในปริมาณงานเดียวกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะการทำงาน ความยากง่าย จำนวนทรัพยากรหรือคนงาน เป็นต้น ยกตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างงานก่ออิฐผนังที่จะมีขั้นตอนการทำงานที่ใช้ระยะเวลามากกว่างานทาสีผนังในปริมาณงานตารางเมตรเท่ากัน แนวคิดในการวางแผนงานก่อสร้างวิธี Line of Balance (LOB) จึงถูกนำมาใช้เนื่องจากเป็นวิธีการวางแผนงานแบบกราฟิกสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิต และจัดสรรการใช้ทรัพยากรตามลำดับความสำคัญ (Halpin และ Riggs, 1992) นำมาใช้สำหรับการวางแผนและควบคุมการทำงานซ้ำๆ กัน ในการวางแผนงานด้วย Line of Balance จะใช้เส้นกราฟแสดงถึงอัตราการทำงานที่สม่ำเสมอในรูปของความชันซึ่งมีหน่วยการทำงานต่อระยะเวลา (เฉลิมพล พรมทอง, 2561) เพื่อให้การใช้ทรัพยากรในแต่ละกิจกรรมเป็นไปอย่างต่อเนื่องที่สุด

ข้อควรระวังของการวางแผนระยะเวลาโครงการด้วยเส้นอัตราการผลิตอย่างเช่นวิธี Line of Balance คือความอ่อนไหวต่อความผิดพลาดในการประมาณอัตราการผลิต แม้เพียงเล็กน้อยแต่จะเกิดความรุนแรงมากขึ้นตามจำนวนงานซ้ำๆ สามารถแก้ไขได้โดยการจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกันในหลายๆ ข้อจำกัด (Arditi และคณะ, 2002)

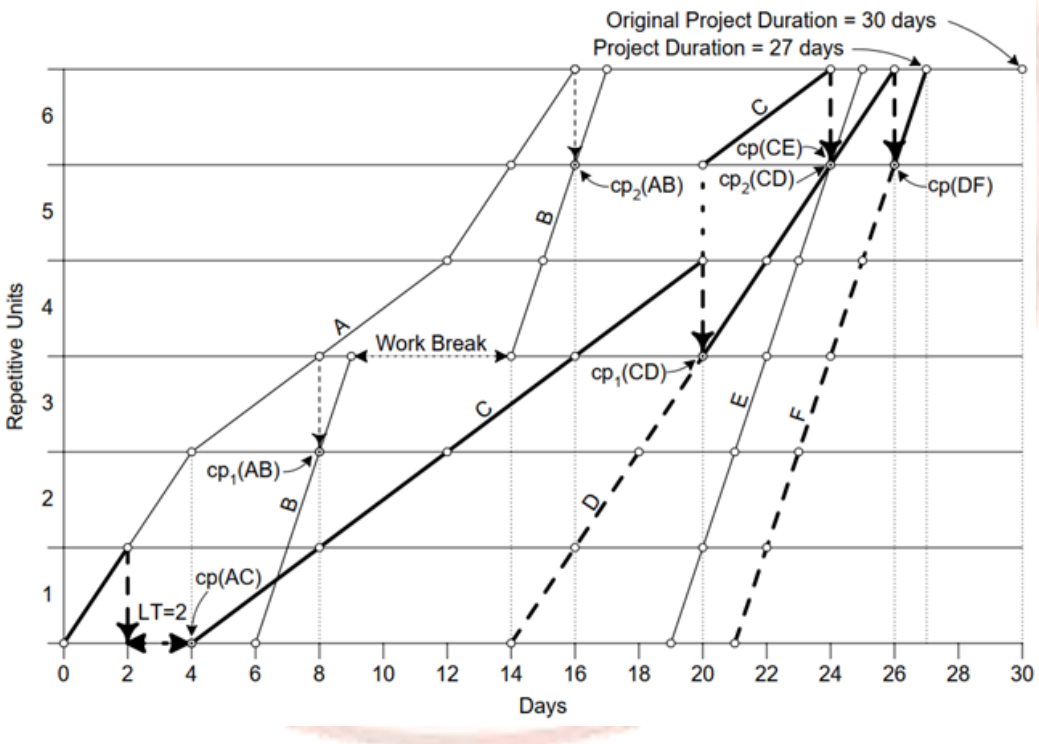


ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างการวางแผนงานก่อสร้างวิธี Line of Balance (Arditi และคณะ, 2002)

2.2.3 วิธี Repetitive Scheduling Method (RSM)

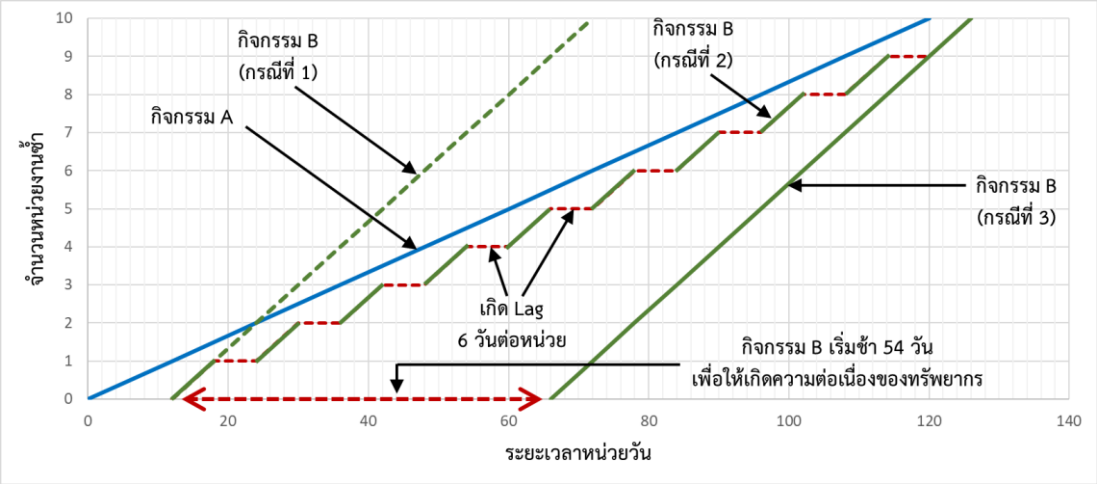
Repetitive Scheduling Method (RSM) เป็นแนวคิดการวางแผนงานสำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะการทำงานซ้ำๆ กัน ลักษณะการวางแผนงานคล้ายวิธี Line of Balance (LOB) แต่เป็นการปรับปรุงความสัมพันธ์ของเส้นกราฟอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรมโดยคำนึงถึงความต่อเนื่องของการใช้ทรัพยากร ระยะเวลาโครงการโดยรวม และสามารถแสดงให้เห็นถึงสายทางวิกฤติของกิจกรรมในภาพรวมของโครงการได้ (Harris และ Ioannou, 1998)

แนวคิดหลักในการปรับปรุงระยะเวลาการทำงานก่อสร้างด้วยวิธี RSM คือ การกำหนดจุดควบคุม (Control Point, CP) และการจัดลำดับควบคุม (Controlling Sequence) โดยมีข้อกำหนดในการควบคุมลำดับของกิจกรรมมี 2 ประการ คือ (1) ข้อกำหนดด้านการจัดลำดับความสำคัญของกิจกรรมต้องเป็นไปตามตรรกะทางเทคนิคที่ระบุใน CPM กระบวนการก่อสร้างจากลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่มีอยู่ 3 ลักษณะ คือ Finish-to-Start (FTS), Start-to-Start (STS) และ Finish-to-Finish (FTF) และ (2) ข้อกำหนดด้านการใช้ทรัพยากร คือ ในแต่ละกิจกรรมของทุกหน่วยงานซ้ำๆ จะต้องใช้ทรัพยากรชุดเดียวกันอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างการปรับปรุงการวางแผนระยะเวลาก่อสร้างด้วย RSM (Harris และ Ioannou, 1998)

Tomar และ Bansal (2019) อธิบายแนวคิดการใช้ทรัพยากรงานก่อสร้างอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างการทำงานก่อสร้างจำนวน 2 กิจกรรม ที่กิจกรรม A มีใช้ระยะเวลาทำกิจกรรมเป็น 2 เท่าของกิจกรรม B ที่ทำงานตามหลังดังภาพที่ 2-4 โดยกรณีที่ 1 นั้นไม่ถูกต้องเนื่องจากไม่เป็นไปตามลำดับการทำงาน กรณีที่ 2 เป็นการปรับปรุงให้กิจกรรม B มีการทำงานที่สัมพันธ์กับกิจกรรม A มากขึ้น แต่การใช้ทรัพยากรของกิจกรรม B เกิดความไม่ต่อเนื่อง เพื่อรักษาความต่อเนื่องของการใช้ทรัพยากรจึงกำหนดให้กิจกรรม B เริ่มงานช้า 54 วันในกรณีที่ 3 ซึ่งส่งผลให้ทรัพยากรของกิจกรรม B ถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องโดยไม่หยุดชะงักซึ่งเป็นแนวคิดในการวางแผนงานก่อสร้างวิธี LOB

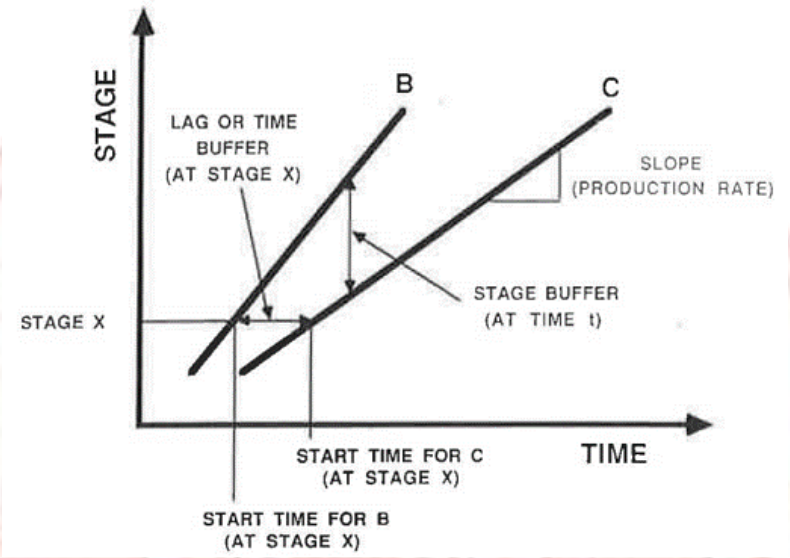


ภาพที่ 2-4 แนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างต่อเนื่อง (Tomar และ Bansal, 2019)

ซึ่งแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยเห็นว่ามีความเหมาะสมสำหรับการวางแผนงานก่อสร้างที่แต่ละกิจกรรมไม่มีความเกี่ยวข้องกันในด้านข้อจำกัดต่างๆ เป็นอย่างดี แต่สำหรับกระบวนการก่อสร้างบางชนิดอาจมีข้อจำกัดที่จำเป็นต้องทำกิจกรรมก่อสร้างให้มีความต่อเนื่องกัน ซึ่งการทิ้งระยะห่างทางด้านระยะเวลาระหว่างกิจกรรมอาจเกี่ยวข้องกับคุณภาพของงานหรือความปลอดภัย เช่น การแต่งผิวหน้าคอนกรีตภายหลังเทก่อนที่ผิวคอนกรีตจะเซ็ตตัว หรือการเสริมความแข็งแรงของผนังอุโมงค์ภายหลังการขุดเจาะเป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการก่อสร้างการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver ที่ลักษณะการทำงานต่อเนื่องแต่ละหน่วยปริมาณงานเป็นขบวนเพื่อควบคุมคุณภาพของผิวทาง ซึ่งบางกิจกรรมไม่สามารถทิ้งช่วงระยะเวลารอได้ แนวคิดที่เหมาะสมจึงเป็นกรณีที่ 2 ที่บางกิจกรรมที่มีผลิตภาพสูงจะขาดความต่อเนื่องในการใช้ทรัพยากรเนื่องจากอัตราการทำงานแต่ละกิจกรรมที่ไม่เท่ากัน โดยในการกำหนดข้อจำกัดต่างๆ ระหว่างกิจกรรมสามารถใช้แนวคิดการกำหนดจุดควบคุม (Control Point, CP) ที่เป็นเครื่องมือของการวางแผนงานวิธี RSM ได้

Lutz และ Halpin (1992) ได้นำเสนอแนวคิดการวิเคราะห์เส้นอัตราการทำงาน (Production Curve) ระยะห่างในแนวแกนนอนระหว่างเส้นอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรมแสดงถึงความล่าช้าหรือการเว้นระยะห่างด้านระยะเวลาระหว่างกิจกรรม (Lag หรือ Time Buffer) ระยะห่างในแนวแกนตั้งระหว่างกิจกรรมแสดงถึงประมาณงานที่รออยู่ในคิว (Stage Buffer) ณ เวลานั้นๆ ดังแสดงในภาพ

ที่ 2-5 โดยสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมได้ง่ายด้วยการอ่านเส้นกราฟ เช่น อัตราการผลิตลดลงเนื่องจากขาดแคลนวัสดุ ปริมาณวัสดุที่มีมากเกินจำเป็น อัตราการทำงานที่เร็วเกินจำเป็นไม่สัมพันธ์กับกิจกรรมอื่นๆ ส่งผลให้สิ้นเปลืองทรัพยากรและต้นทุน เป็นต้น



ภาพที่ 2-5 เส้นอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม (Production Curve) (Lutz และ Halpin, 1992)

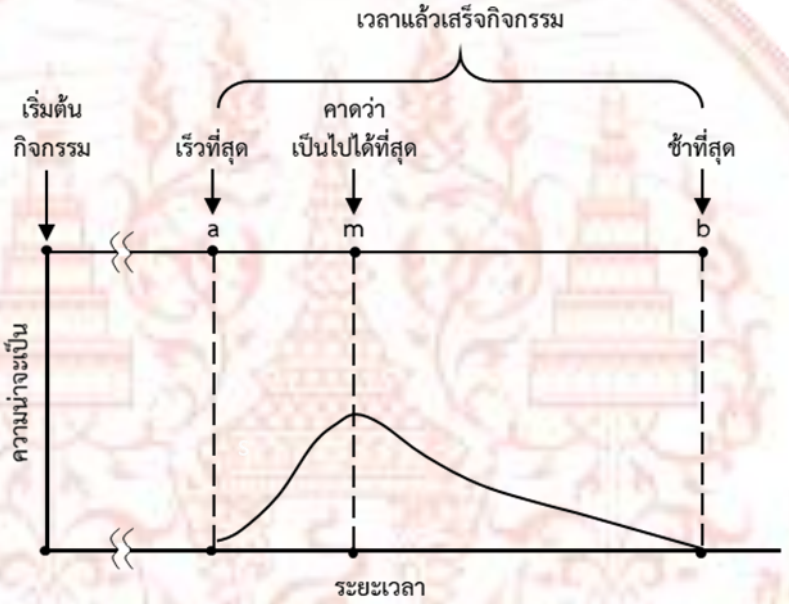
2.2.4 วิธี Program Evaluation and Review Technique (PERT)

PERT ถูกคิดค้นขึ้นโดยกองทัพเรือสหรัฐฯ ในปี 1958 เพื่อเป็นเครื่องมือในการกำหนดระยะเวลาการพัฒนาระบบอาวุธ (Malcolm และคณะ, 1959) PERT ถูกคิดค้นขึ้นมาใช้เนื่องจาก CPM network นั้นเป็น Deterministic model ทำให้ไม่ได้คำนึงถึงความน่าจะเป็นและโอกาสในการเกิดของเหตุการณ์ต่างๆ แตกต่างจาก PERT ซึ่งเป็นวิธีที่ Probabilistic model ที่จะสามารถประมาณเวลาทำงานให้ครอบคลุมถึงโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ได้ (วรรณวิทย์, 2561) จากการระบุระยะเวลาการทำงานของแต่ละกิจกรรมจำนวน 3 ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2-6 คือ เวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) เวลาทำงานแล้วเสร็จช้าที่สุด (Pessimistic, b) และเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้ที่สุด (Most Likely, m) คำนวณหาค่าระยะเวลาคาดหวัง (Expected Time, Te) ของแต่ละกิจกรรม (Cottrell, 1999) ด้วยสมการที่ 2-2 และค่าการกระจายหรือค่าความแปรปรวน (Variance, σ^2) ของระยะเวลาที่ใช้แต่ละกิจกรรมด้วยสมการที่ 2-3 สำหรับระบุเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ) ด้วยสมการที่ 2-4 ได้ต่อไป

$$\text{Expected Time ; } Te = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad (2\text{-}2)$$

$$\text{Variance ; } \sigma^2 = \left[\frac{b - a}{6}\right]^2 \quad (2\text{-}3)$$

$$\text{Standard Deviation ; } \sigma = \left[\frac{b - a}{6}\right] \quad (2\text{-}4)$$



ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างความไม่แน่นอนของระยะเวลาการทำงานของวิธี PERT (Malcolm และคณะ, 1959)

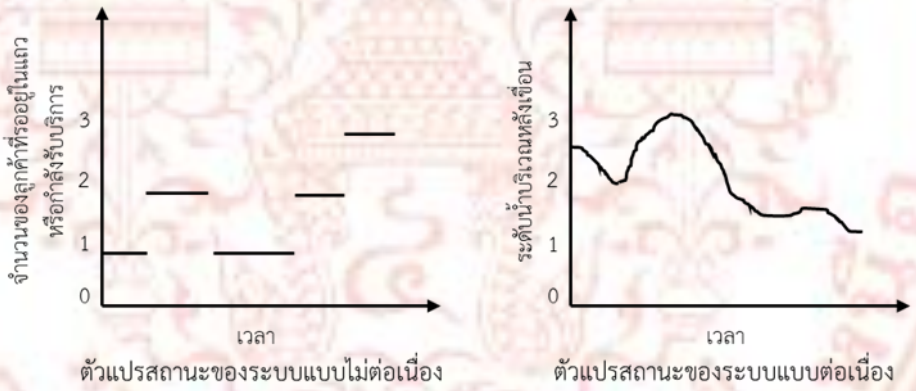
2.3 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง

ในการบริหารโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะงานที่ซับซ้อน การออกแบบกระบวนการ การตัดสินใจเลือกใช้รูปแบบการปฏิบัติงาน และปริมาณทรัพยากรต่างๆ เช่น คนงาน อุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักร ต้นทุน และเวลานั้นต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการด้วย เช่น การคาดหวังผลิตภาพงานก่อสร้างสูงสุด หรือการลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด เป็นต้น

วิธีการในการประเมินผลลัพธ์ของการดำเนินกระบวนการก่อสร้างหลักๆ แบ่งออกเป็น 3 วิธี วิธีที่ 1 คือการทดลองก่อสร้างจริงนั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูง ใช้เวลาทดลองนาน และบางครั้งเป็นไปไม่ได้ที่จะทำ วิธีที่ 2 คือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นให้ความแม่นยำสูง แต่ต้องใช้ความสามารถทางคณิตศาสตร์ของผู้จำลองในระดับสูง จึงกลายเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเกินไปสำหรับงานก่อสร้างส่วนใหญ่ วิธีที่ 3 คือการสร้างแบบจำลองเป็นวิธีที่สะดวกมาก ให้ความสมจริงในขณะที่ค่าใช้จ่ายไม่สูง รวดเร็ว และมีความยืดหยุ่น (Martínez, 1996)

ระบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (1) ระบบแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) คือระบบที่ตัวแปรสถานะ (State Variables) มีการเปลี่ยนแปลงที่จุดๆ หนึ่งของเวลาแบบไม่ต่อเนื่องกัน เช่น จำนวนของลูกค้าเข้ารับบริการในธนาคารจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีลูกค้ามาถึงหรือได้รับบริการเสร็จสิ้น และ (2) ระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous) คือระบบที่ตัวแปรสถานะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณหลังเขื่อนเก็บน้ำ ดังนั้นแบบจำลองระบบเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event System Simulation) จึงหมายถึงการสร้างแบบจำลองของระบบที่มีตัวแปรสถานะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะที่จุดๆ หนึ่งของเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นแบบจำลองวิธีการเชิงตัวเลขมากกว่าเชิงวิเคราะห์ ลักษณะการดำเนินการจำลองจะเป็นการ “รัน (Run)” แบบจำลองระบบเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับวิเคราะห์และประเมินผลระบบจริง จึงมีชุดข้อมูลที่ต้องจัดเก็บและประมวลผลมากมาย ดังนั้นโดยปกติจะใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยจำลอง (Banks และคณะ, 2005)

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมโดยทั่วไปของระบบงานต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้างจะมีลักษณะเป็นระบบแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้แบบจำลองเหตุการแบบไม่ต่อเนื่องในการจำลองกระบวนการก่อสร้างจึงเหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 2-7 ตัวแปรสถานะของระบบแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง (Banks และคณะ, 2005)

2.3.1 ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Simulator และ Simulation Language (Law และ Kelton, 1991 อ้างถึงใน Martínez, 1996) ลักษณะของ Simulator จะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการสร้างแบบจำลองนั้นๆ โดยเฉพาะ ข้อดีคือผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเขียนชุดคำสั่งเพื่อสร้างแบบจำลอง ง่ายต่อการใช้งาน แต่มีข้อจำกัดคือสามารถสร้างแบบจำลองได้ตามที่โปรแกรมกำหนดไว้เท่านั้น ส่วน Simulation Language นั้นเป็นโปรแกรมภาษาที่ใช้สำหรับเขียนชุดคำสั่งให้คอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลอง จึงมี

ความยืดหยุ่นกว่าประเภท Simulator แต่มีข้อจำกัดคือผู้ใช้ต้องทราบไวยากรณ์สำหรับเขียนชุดคำสั่งของ Simulation Language นั้นๆ

วิธีจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มี 3 วิธี ได้แก่ Event Scheduling (ES), Process Interaction (PI) และ Activity Scanning (AS) (Martínez, 1996) ทั้ง Simulator และ Simulation Language สามารถนำเอาวิธีใดวิธีหนึ่งหรือทั้ง 3 วิธีไปประยุกต์ใช้งานร่วมกันได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

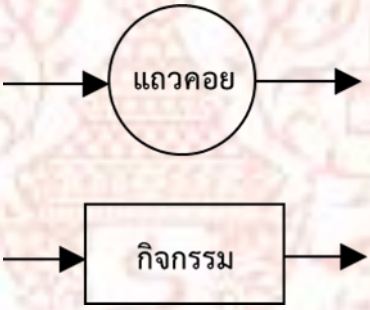
(1) Event Scheduling (ES) เป็นวิธีที่มีข้อจำกัดสำหรับผู้ใช้แต่มีประสิทธิภาพในการจำลองสูง แบบจำลองจะจำลองสถานะของระบบเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามแผนงาน โดยทั่วไปแล้ววิธี Event Scheduling จะใช้งานร่วมกับวิธี Process Interaction หรือ Activity Scanning

(2) Process Interaction (PI) เป็นวิธีที่การจำลองผ่านมุมมองของผู้รับบริการ ติดตามการไหลผ่านระบบการให้บริการ ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการเคลื่อนย้ายโครงเหล็กจากที่กองเก็บไปยังรถบรรทุกด้วยเครน หลักการของ Process Interaction จะพิจารณาที่โครงเหล็กที่เป็นผู้รับบริการไหลผ่านเข้าสู่เครนและรถบรรทุกที่เป็นผู้ให้บริการ โดยกระบวนการจะเริ่มจากการที่โครงเหล็กครอบครองตำแหน่งเครน หลังจากนั้นรอจนรถบรรทุกว่างจึงเข้าครอบครองรถบรรทุกตามลำดับ วิธี Process Interaction เหมาะสำหรับการจำลองกระบวนการที่มีกิจกรรมไม่มาก ผู้ให้บริการอยู่กับที่และทำงานเฉพาะด้าน ผู้รับบริการจะเป็นตัวเคลื่อนที่ไหลผ่านผู้ให้บริการต่างๆ ในระบบเพื่อรับบริการ วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับจำลองกระบวนการก่อสร้างแต่เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตในรูปแบบโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ยกตัวอย่างโปรแกรมที่สร้างแบบจำลองโดยวิธีนี้หรือนำไปใช้ร่วมกับวิธี Event Scheduling ได้แก่ GPSS, SLAM, SIMAN, QGERT และ SIMSCRIPT เป็นต้น

(3) Activity Scanning (AS) เป็นวิธีที่การจำลองผ่านมุมมองของกิจกรรมต่างๆ มุ่งเน้นไปที่การระบุกิจกรรมและกำหนดเงื่อนไขที่กิจกรรมสามารถเกิดขึ้นได้ ในวิธี Activity Scanning ผู้รับบริการและผู้ให้บริการจะเป็นเพียงทรัพยากรชนิดหนึ่งในแบบจำลอง ซึ่งจะแตกต่างจากหลักการของวิธี Process Interaction พิจารณากระบวนการเคลื่อนย้ายโครงเหล็กจากที่กองเก็บไปยังรถบรรทุกด้วยเครน ด้วยวิธี Activity Scanning จะมีกิจกรรมที่ชื่อว่า Load ซึ่งจะเริ่มทำงานเมื่อชนิดและจำนวนของทรัพยากรเพียงพอตามที่กิจกรรมกำหนด นั่นคือกิจกรรม Load จะเริ่มทำงานเมื่อมีโครงเหล็กในที่กองเก็บ รถบรรทุกและเครนมีจำนวนเพียงพอและทั้งหมดจะไหลผ่านเข้าสู่กิจกรรม Load วิธีนี้เหมาะสำหรับจำลองกระบวนการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถรองรับการจำลองกระบวนการที่มีทรัพยากรสำหรับดำเนินกิจกรรมจำนวนมาก ทรัพยากรแต่ละชนิดมีการเคลื่อนที่และมีความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรสูงได้โดยทั่วไปแบบจำลอง Activity Scanning จะถูกนำไปใช้ร่วมกับ Event Scheduling เรียกว่า Three-Phase AS วิธีนี้เป็นการแบ่งแยกระหว่าง Condition Activity (C-Activity หรือ Combi) และ Bound Activity (B-Activity หรือ Normal) และพัฒนาต่อมาเป็น Activity Cycle Diagram (ACD) เพื่อช่วยในการระบุความสำพันธ์ของแต่ละกิจกรรมให้ง่ายขึ้น โดย ACD จะประกอบด้วยโหนดใช้แทนกิจกรรมต่างๆ และแถวคอยในกระบวนการ เชื่อมแต่ละกิจกรรมเข้าด้วยลูกศรที่ใช้ระบุลำดับและความสำคัญระหว่างกิจกรรม

2.3.2 Activity Cycle Diagram (ACD)

Activity Cycle Diagram (ACD) เป็นวิธีหนึ่งในการจำลองการมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างวัตถุในระบบ และมีประโยชน์มากสำหรับระบบที่มีแถวคอย มีพื้นฐานมาจากแนวคิดของ Tocher (1963 อ้างถึงใน Paul, 1993) อธิบายวงจรของวัตถุหรือ Entity ของระบบโดยใช้สัญลักษณ์ Entity คือทรัพยากรที่มีเอกลักษณ์เป็นของตัวเองภายในระบบ ถ้าหาก Entity ไม่ได้ถูกใช้งานจะรออยู่ในแถวคอย (Queue) หรือหากถูกใช้งานจะรวมอยู่ในกิจกรรม (Activity) นั้นๆ ในระบบโดยระยะเวลาในการทำกิจกรรมในแบบจำลองสามารถกำหนดให้เป็นลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นตามพฤติกรรมของกิจกรรมจริง ซึ่งในแต่ละกิจกรรมสามารถกำหนดจำนวน Entity ที่ต้องการได้ เช่น กิจกรรมการขนถ่ายสินค้าจากเรือ Entity อาจประกอบด้วย เรือ ท่าเทียบเรือ และเครนสำหรับยก เป็นต้น สถานะที่ Entity รออยู่ในคิวระยะเวลาในการรอคิวไม่สามารถกำหนดเองได้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กิจกรรมจะแล้วเสร็จ เช่น เมื่อเรือมาถึงต้องรอให้เรือลำก่อนหน้าขนถ่ายสินค้าแล้วเสร็จจึงเข้าเทียบท่าได้ หรือสามารถเข้าขนถ่ายสินค้าได้ทันทีที่มาถึงหากท่าเทียบเรือว่างอยู่ เป็นต้น (Paul, 1993)



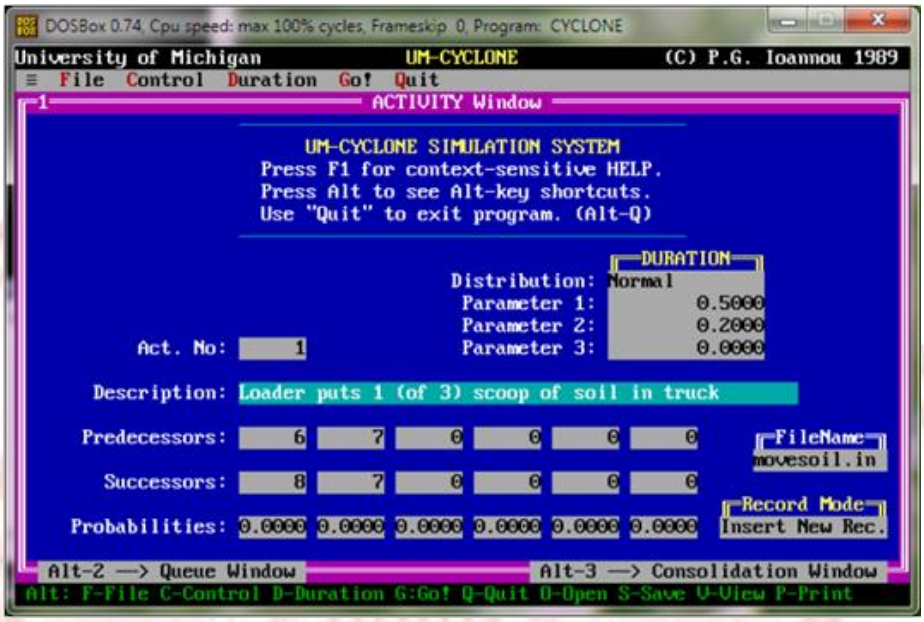
ภาพที่ 2-8 สถานะแถวคอย (Queue) และกิจกรรม (Activity) (Paul, 1993)

2.3.3 ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองกระบวนการวิธี Activity Cycle Diagram (ACD)

มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประยุกต์วิธี Activity Cycle Diagram (ACD) เพื่อใช้ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างมากมาย ยกตัวอย่างเช่น UM-CYCLONE (Ioannou, 1990) COOPS (Liu,1991) CIPROS (Odeh, 1992) STROBOSCOPE (Martinez, 1996) EZStrobe (Martínez, 2001) GroupSim (Filho และคณะ, 2004) เป็นต้น

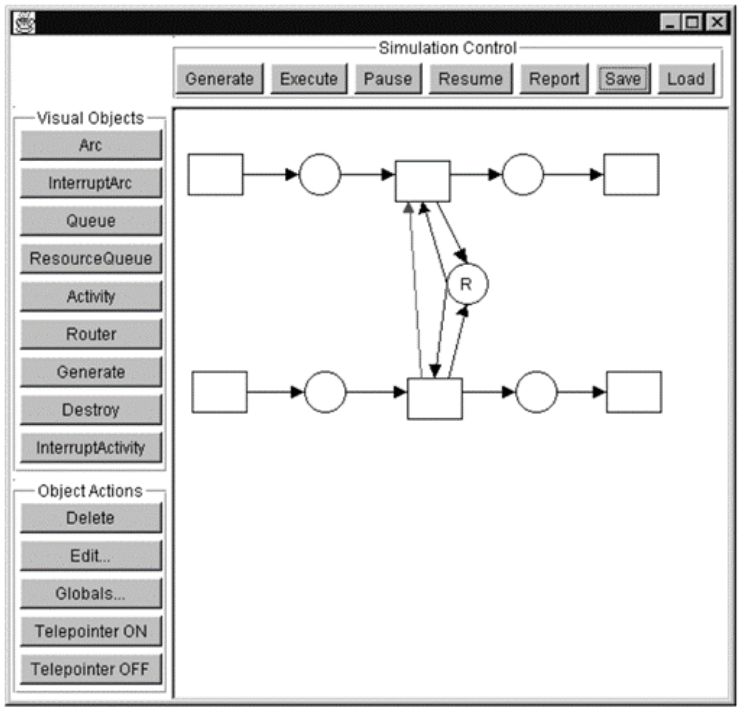
ลักษณะโปรแกรมจำลองวิธี Activity Cycle Diagram ที่เริ่มพัฒนาในอดีตยกตัวอย่าง เช่น UM-CYCLONE (Ioannou, 1990) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพสูงเหมาะสำหรับจำลองกระบวนการต่างๆ เช่น งานก่อสร้าง กระบวนการผลิต ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบการให้บริการ เป็นต้น เครือข่ายของแบบจำลอง UM-CYCLONE ประกอบด้วยโหนดและลิงค์ต่างๆ ซึ่งจำลองกิจกรรมและทิศทางการไหลของทรัพยากร ความสำพันธ์คล้ายเครือข่าย Activity on Node (หรือ Precedence Network), CPM หรือ PERT การใช้งานโปรแกรม UM-CYCLONE ผ่าน DOSBox นั้นไม่มีกราฟฟิกของเครือข่ายแบบจำลองแสดงเพื่ออำนวย

ความสะดวกในการจำลองแก่ผู้ใช้ ผู้ใช้จึงต้องเขียนออกแบบและพัฒนา Activity Cycle Diagram ของกระบวนการที่จะจำลองลงบนกระดาษก่อน



ภาพที่ 2-9 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม UM-CYCLONE ผ่านDOSBox บนระบบปฏิบัติการต่างๆ เช่น Windows x64, Apple OS/X, Linux, Unix, Solaris เป็นต้น (Ioannou, 1990)

ในเวลาถัดมาโปรแกรมจำลองวิธี Activity Cycle Diagram ได้รับการพัฒนาให้อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ยกตัวอย่างแนวทางการพัฒนา เช่น GroupSim (Filho และคณะ, 2004) เป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการวิธี Activity Cycle Diagram ที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้บนเว็บเบราว์เซอร์ที่สามารถเปิดใช้งาน Java ได้ เช่น Netscape, Internet Explorer และ HotJava เป็นต้น และยังสามารถสร้าง ใช้งานและแก้ไขแบบจำลองพร้อมกันโดยผู้ใช้หลายคน แสดงให้เห็นว่าวิธีการจำลองกระบวนการ Activity Cycle Diagram ยังคงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการจำลองสถานการณ์โดยได้รับการพัฒนาในด้านความสะดวกสบายสำหรับผู้ใช้อย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2-10 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม GroupSim (Filho และคณะ, 2004)

2.3.4 โปรแกรม STROBOSCOPE

โปรแกรมจำลองกระบวนการ STROBOSCOPE ซึ่งย่อมาจาก State and Resource Based Simulation of Construction Processes หรือ Stroboscope เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้จำลองกระบวนการทั่วไป และจำลองของกระบวนการที่ซับซ้อน เช่น กระบวนการก่อสร้าง เป็นต้น Stroboscope เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่ายและมีความยืดหยุ่นในการจำลองกระบวนการก่อสร้างตามวิธี Activity Cycle Diagram (ACD) (Martinez, 1996)

2.3.4.1 องค์ประกอบของระบบการจำลองโปรแกรม STROBOSCOPE

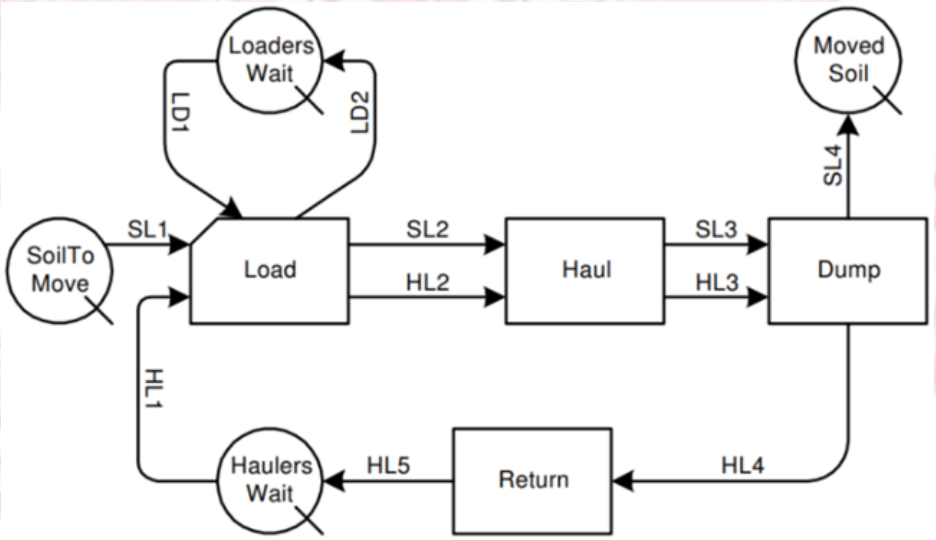
(1) ทรัพยากรกระบวนการก่อสร้าง เช่น พื้นที่ เครื่องจักร วัสดุ แรงงาน หรือสิ่งต่างๆ ที่จำเป็นในการดำเนินงานก่อสร้าง ทรัพยากรบางชนิดสามารถแบ่งปริมาณตามหน่วยได้ชัดเจน เช่น จำนวนเครื่องจักรแต่ละคัน ส่วนทรัพยากรบางประเภทต้องแบ่งหน่วยตามความเหมาะสมหรือภาชนะที่บรรจุ เช่น ทราย 1 คันรถ หรือคอนกรีต 1 ลบ.ม. เป็นต้น

(2) องค์ประกอบของเครือข่ายระบบการจำลองโปรแกรม STROBOSCOPE สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ มี 2 ส่วนหลัก ได้แก่ Link ที่เชื่อมโยงระหว่างโหนดและระบุทิศทางการไหลของทรัพยากร และโหนด (Node) แถวคอยสำหรับจัดเก็บและกิจกรรมต่างๆ ที่ใช้งานทรัพยากร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2-1

(3) เครือข่ายระบบแบบจำลอง คือการสร้างความสัมพันธ์ของการใช้ทรัพยากรระหว่างกิจกรรมต่างๆ ภายในแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 2-11 เป็นตัวอย่างแบบจำลองเครือข่ายกระบวนการขนย้ายดิน

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของเครือข่ายระบบการจำลองโปรแกรม STROBOSCOPE

ชนิด	สัญลักษณ์	รายละเอียด
Links	LinkName →	ลูกศรเชื่อมโยงระหว่างโหนดและระบุทิศทางการไหลของทรัพยากรภายในเครือข่ายแบบจำลอง โดยข้อมูลที่ระบุอยู่ในลูกศรคือชนิดทรัพยากรที่สามารถไหลผ่านได้
Queues	Queue Name	คิวหรือแถวคอยเป็นโหนดสำหรับจัดเก็บทรัพยากรที่ไม่ได้ถูกใช้งาน โดยในแต่ละคิวจะจัดเก็บทรัพยากรเพียงได้ 1 ชนิด
Combi Activities	Combi Name	Combi เป็นโหนดกิจกรรมที่มีเงื่อนไข โดยสามารถเริ่มกิจกรรมได้ก็ต่อเมื่อมีทรัพยากรรออยู่ในโหนดคิวก่อนหน้าเพียงพอตามที่ต้องการ
Normal Activities	Normal Name	Normal เป็นโหนดกิจกรรมที่สามารถเริ่มต้นได้ทันทีหลังจากกิจกรรมอื่นๆ ก่อนหน้าสิ้นสุด และส่งผ่านทรัพยากรมาถึง



ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างแบบจำลองเครือข่ายกระบวนการขนย้ายดิน (Martinez, 1996)

2.3.4.2 ส่วนประกอบของกระบวนการจำลองของโปรแกรม STROBOSCOPE

(1) Simulation Clock เป็นระยะเวลาที่ใช้ภายในแบบจำลอง การระบุหน่วยขึ้นอยู่กับผู้จำลอง เช่น กำหนดให้ 1 หน่วย Simulation Clock เท่ากับ 1 วินาที 1 นาที 20 นาที หรือ 1 วัน เป็นต้น ค่าเริ่มต้นของ Simulation Clock จะเป็น 0 และจะเพิ่มขึ้นเมื่อ STROBOSCOPE เริ่มการจำลอง

(2) Activity Instance Life-span เป็นระยะเวลาในการทำงานของกิจกรรม (Duration) เพื่อใช้อ้างอิงเวลาเริ่มต้น (Start-Time) และเวลาสิ้นสุดการทำงาน (End-Time) ของกิจกรรมต่างๆ ในแบบจำลอง เช่น กิจกรรม Load เริ่มต้น (Start-Time) เมื่อเวลา 10:30 น. มีระยะเวลาในการ Load 10 นาที (Duration) ดังนั้นกิจกรรมนี้จะสิ้นสุด (End-Time) ที่เวลา 10:40 น.

(3) Future Event List (FEL) เป็นรายการที่ใช้สำหรับเก็บค่าเริ่มต้นและสิ้นสุดของกิจกรรมที่กำลังดำเนินการอยู่ระหว่างการจำลอง โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมากตามเวลาสิ้นสุดกิจกรรม กล่าวคือเมื่อกิจกรรมเริ่มต้นข้อมูลจะถูกบันทึกใน FEL และจะถูกลบออกเมื่อเวลาใน Simulation Clock มีค่าเท่ากับเวลาสิ้นสุดของกิจกรรมนั้น

(4) Current Events คือเหตุการณ์ของกิจกรรมที่สิ้นสุดและถูกลบออกจาก FEL ในการจำลองขณะนั้น ตัวอย่างเช่น กิจกรรม Load เริ่มต้นเมื่อเวลา 11.32 และสิ้นสุดที่เวลา 12.37 หมายความว่าเวลา Simulation Clock เดินอยู่ในช่วง 11.32 ถึง 12.37 กิจกรรม Load ยังดำเนินการอยู่ และเมื่อถึงเวลา 12.37 กิจกรรม Load จะถูกยุติ และถูกลบออกจาก FEL ทันที เหตุการณ์ที่เกิด ณ เวลา 12.37 เรียกว่า Current Events

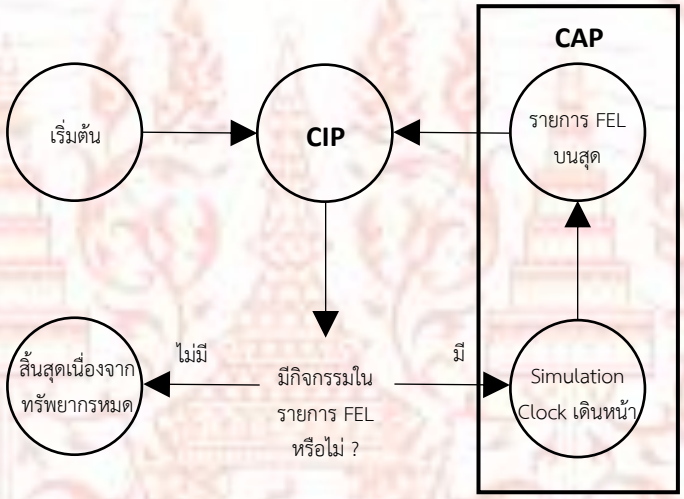
(5) Activity Instance Termination คือเหตุการณ์ที่กิจกรรมใดๆ ในแบบจำลองสิ้นสุดลง ทรัพยากรที่เคยถูกกิจกรรมนั้นถือครองอยู่จะถูกส่งต่อให้กิจกรรมหรือคิวที่ต่อท้ายกิจกรรมนั้น พร้อมทั้งลบข้อมูลใน FEL ของกิจกรรมที่สิ้นสุดไปแล้วทิ้งและเก็บข้อมูลของกิจกรรมต่อท้ายที่เพิ่งเริ่มต้นเข้ามาแทนที่ใน FEL

(6) Combi Instantiation Phase (CIP) เนื่องจาก Combi เป็นกิจกรรมที่ต้องมีทรัพยากรจำนวนที่ต้องการรออยู่ในคิวก่อนหน้าจึงจะเริ่มงานได้ ต่างจาก Normal ที่เมื่อมีทรัพยากรมาถึงสามารถเริ่มงานและบันทึกเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดลงใน FEL ได้ทันที CIP จึงเป็นกระบวนการที่ STROBOSCOPE จะตรวจสอบว่า ณ Simulation Clock นั้นๆ มี Combi ใดสามารถเริ่มการทำงานได้หรือไม่ โดยจะเริ่มตรวจสอบเมื่อไม่มีกิจกรรมใดใน FEL ที่เป็น Current Event และจะหยุด CIP เมื่อไม่พบว่ามี Combi ใดๆ ในแบบจำลองที่สามารถเริ่มงานได้ หรือเกิดการเริ่มต้นใน Combi ที่สามารถเริ่มงานได้ และบันทึกลงใน FEL ครบแล้ว

(7) Clock Advance Phase (CAP) เมื่อกระบวนการ CIP สิ้นสุดลงและพบว่าไม่มี Combi ใดๆ ในแบบจำลองที่จะเริ่มงาน และไม่มีไม่มีเหตุการณ์ Activity Instance Termination ที่จะเกิดด้วย แสดงว่าขณะนั้นจะมีแค่เฉพาะเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอยู่ใน FEL ดังนั้น STROBOSCOPE จะเลื่อนเวลาของ Simulation Clock ไปให้เท่ากับเวลาสิ้นสุดของกิจกรรมที่อยู่บนสุดของรายการ FEL หากขณะเลื่อนเวลาในกระบวนการ CAP ไม่พบข้อมูลของกิจกรรมใดๆ ใน FEL เลยแสดงว่าไม่มีเหตุการณ์ในอนาคตที่รอดำเนินการและจะจบกระบวนการจำลองเนื่องจากทรัพยากรหมด

(8) The Simulation Loop การจำลองของ STROBOSCOPE เป็นสลับการทำงานของกระบวนการ CIP และ CAP นั่นคือเมื่อไม่มีกิจกรรมใดใน FEL ที่เป็น Current Event CIP จะเริ่มการตรวจสอบหา Combi และเมื่อไม่พบ Combi ที่สามารถเริ่มงานได้ หรือเริ่มต้นกิจกรรม Combi ครบแล้ว กระบวนการ CIP จะหยุดและ CAP เริ่มเลื่อนเวลาของ Simulation Clock โดย

ในขณะ CAP อาจเกิด Activity Instance Termination และปล่อยทรัพยากรออกมาให้ Combi บางตัวสามารถเริ่มงานได้ กระบวนการ CAP จะสิ้นสุดลงเมื่อไม่มีกิจกรรมใดใน FEL ที่เป็น Current Event กระบวนการ CIP จะเริ่มอีกครั้ง กระบวนการจำลองของ STROBOSCOPE จะสิ้นสุดเมื่อทรัพยากรภายในแบบจำลองถูกใช้จนหมด และไม่มีกิจกรรมเหลืออยู่ใน FEL ทำให้ไม่สามารถเริ่มกระบวนการ CIP และ CAP ได้หรือเมื่อโปรแกรม Stroboscope ดำเนินการตามเงื่อนไขที่ผู้จำลองกำหนดไว้เสร็จสมบูรณ์ เช่น Simulation Clock ดำเนินมาจนถึงเวลาที่กำหนด หรือทำกิจกรรมนั้นๆ ซ้ำจนครบตามจำนวนที่กำหนด เป็นต้น



ภาพที่ 2-12 วงรอบการทำงานของโปรแกรม STROBOSCOPE (Martinez, 1996)

2.3.5 โปรแกรม EZStrobe

EZStrobe เป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการก่อสร้างแบบระบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) ที่ได้รับการพัฒนาจากวิธีจำลองสถานการณ์แบบ Activity Cycle Diagram (ACD) โดยใช้ Stroboscope เป็นเครื่องมือที่ดำเนินการจำลองโดยใช้ Three-Phase AS และแสดงผลกราฟฟิกต่อผู้จำลองทั้งหมดโดยใช้ ACD

EZStrobe ถูกพัฒนาให้ใช้งานผ่านโปรแกรม Microsoft Visio โดยผู้จำลองสามารถสร้างแบบจำลองด้วยกราฟฟิกของโปรแกรม Microsoft Visio และเมื่อเริ่มการจำลองกระบวนการทั้งหมดจะถูกส่งออกไปจำลองโดยใช้ Stroboscope โดยอัตโนมัติ ดังนั้นการเรียนรู้และใช้งาน EZStrobe จึงไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรม Stroboscope โดยตรง และผลลัพธ์ของการจำลองจะแสดงให้หน้าต่างของโปรแกรม Stroboscope และ Microsoft Visio (Ioannou, 2022) สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่ https://www.ioannou.org/ezstrobe โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพื่อการศึกษา สามารถติดตั้งลงบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows เวอร์ชั่นล่าสุด ทั้งเวอร์ชั่น 32 บิตและ 64 บิต และใช้งานผ่านระบบกราฟฟิกของโปรแกรม Microsoft Visio เวอร์ชั่นล่าสุด

2.3.5.1 ปัจจัยที่เลือกใช้โปรแกรมแบบจำลอง EZStrobe

ปัจจัยที่มีผลให้ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมแบบจำลอง EZStrobe สำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

(1) เป็นโปรแกรมจำลองสถานการณ์เหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event) ที่ใช้วิธีการจำลองแบบ Activity Cycle Diagram (ACD) ซึ่งเหมาะสำหรับจำลองกระบวนการก่อสร้างที่ซับซ้อนโดยเฉพาะ

(2) ไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถการจัดหาและติดตั้งโปรแกรมได้ง่ายโดยดาวน์โหลดโปรแกรม EZStrobe ได้ที่ https://www.ioannou.org/ezstrobe ติดตั้งลงบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows เวอร์ชั่นล่าสุด ทั้งเวอร์ชั่น 32 บิตและ 64 บิต และใช้งานผ่านระบบกราฟฟิกของโปรแกรม Microsoft Visio เวอร์ชั่นล่าสุด

(3) Interface และเครื่องมือช่วยในการจำลองของโปรแกรม Microsoft Visio ทำให้ผู้สร้างแบบจำลองเข้าใจง่าย และใช้งานง่าย

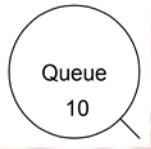
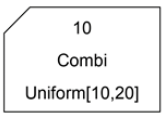
(4) มีเครื่องมือสำหรับจำลองความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมก่อสร้าง

(5) โปรแกรมมีขนาดเล็ก (ประมาณ 8.05 MB) สามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์พกพา (Laptop) ได้ ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อหรือใช้งานบนอินเทอร์เน็ตอย่างเช่นโปรแกรมประเภท Web-Based Application เหมาะสำหรับใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีหรือมีสัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร เป็นต้น

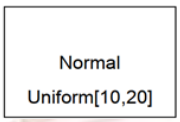
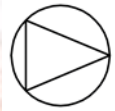
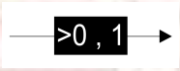
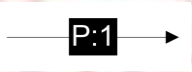
2.3.5.2 องค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม EZStrobe

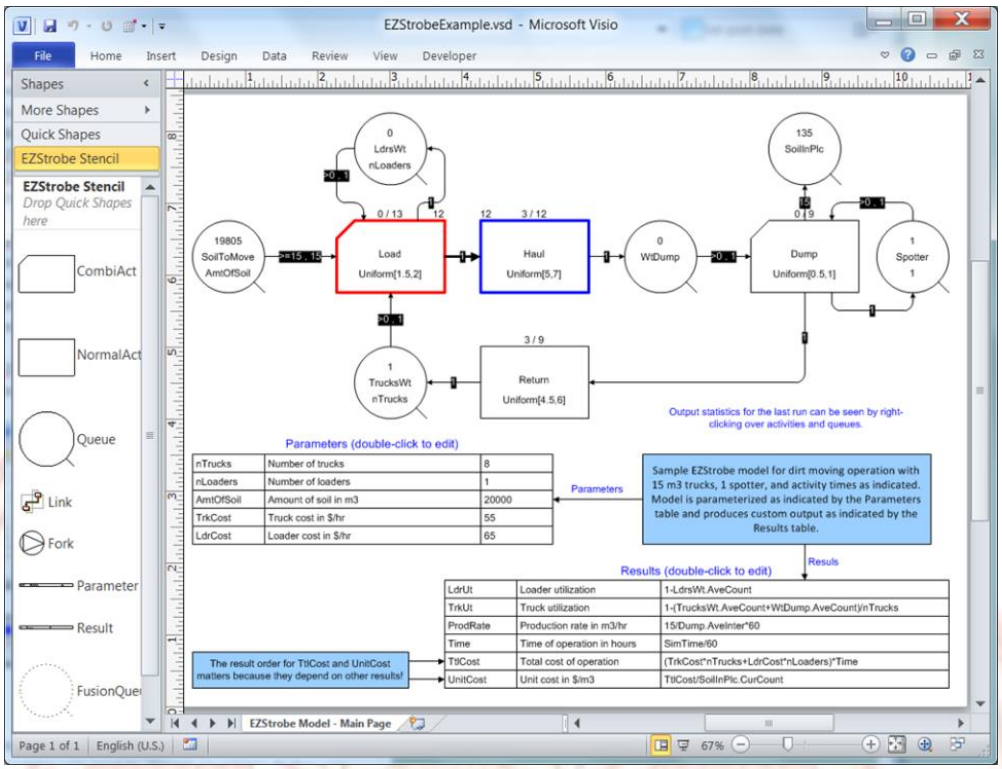
องค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม EZStrobe มีทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Queue, Conditional Activity (Combi), Bound Activity (Normal), Fork, Draw Link, Release Link และ Branch Link (Martínez, 2001) โดยรายละเอียดได้อธิบายในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองโปรแกรม EZStrobe (Martínez, 2001)

ชนิด	สัญลักษณ์	รายละเอียด
Queue		คิวหรือแถวคอย เป็นองค์ประกอบสำหรับเก็บทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานภายในโหนดคิวจะแสดงชื่อและจำนวนทรัพยากรที่ถูกเก็บอยู่ขณะเริ่มต้นแบบจำลอง โหนดคิวสามารถนำหน้าได้เฉพาะ Combi ได้เท่านั้น และสามารถต่อท้ายจากโหนดอื่นๆ ได้ยกเว้นโหนดคิว
Conditional Activity (Combi)		Combi เป็นองค์ประกอบแสดงถึงกิจกรรมที่สามารถเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีทรัพยากรรออยู่ในคิวก่อนหน้าตามจำนวนที่ต้องการภายในโหนด Combi จะแสดงชื่อของโหนดอยู่ตรงกลางด้านบน คือลำดับความสำคัญของกิจกรรม และสามารถกำหนดลักษณะการแจกแจงของระยะเวลาการทำกิจกรรมได้จะระบุด้านล่าง Combi สามารถต่อท้ายได้เฉพาะโหนดคิวเท่านั้น และสามารถนำหน้าโหนดอื่นๆ ได้ยกเว้นโหนด Combi

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ชนิด	สัญลักษณ์	รายละเอียด
Bound Activity (Normal)		Normal เป็นองค์ประกอบแสดงถึงกิจกรรมที่สามารถเริ่มขึ้นได้ทันทีหากกิจกรรมก่อนหน้าสิ้นสุดลง ภายในโหนด Normal จะแสดงชื่อของโหนดอยู่ตรงกลาง และสามารถกำหนดลักษณะการแจกแจงของระยะเวลาการทำกิจกรรมได้จะระบุด้านล่าง Normal สามารถต่อท้ายโหนดอื่นๆ ได้ยกเว้นโหนดคิว และสามารถนำหน้าโหนดอื่นๆ ได้ยกเว้นโหนด Combi
Fork		Fork เป็นองค์ประกอบสำหรับการเลือกเส้นทางการไหลผ่านของทรัพยากรที่ต้องไป
Draw Link		Draw Link เป็นองค์ประกอบสำหรับกำหนดลำดับความสำพันธ์ของกิจกรรมในแบบจำลอง หาก Link เชื่อมต่อระหว่างโหนดคิวกับ Combi จะแสดงข้อมูล 2 ส่วนที่ขั้นด้วยจุลภาค ส่วนแรกคือเงื่อนไข เช่น ">0" ระบุว่าทรัพยากรภายในโหนดคิวด้านหน้าต้องมีมากกว่า 0 โหนด Combi ที่ตามมาจึงจะเริ่มกิจกรรมได้ ส่วนที่ 2 คือการระบุจำนวนทรัพยากรที่โหนด Combi จะรับเข้าจากโหนดคิวด้านหน้าสำหรับการทำกิจกรรม 1 ครั้ง
Release Link		Release Link เป็นองค์ประกอบสำหรับกำหนดลำดับความสำพันธ์ของกิจกรรมในแบบจำลอง เชื่อมต่อทุกโหนดยกเว้น Combi ข้อมูลที่แสดงคือจำนวนของทรัพยากรที่จะไหลผ่าน Link ในแต่ละครั้ง
Branch Link		Branch Link เป็นองค์ประกอบสำหรับกำหนดลำดับความสำพันธ์ของกิจกรรมในแบบจำลอง จะเชื่อมต่อโหนดอื่นๆ กับ Fork ยกเว้นโหนด Combi ข้อมูลที่แสดงคือการระบุความน่าจะเป็นของการไหลผ่านทรัพยากรสู่โหนดที่ตามมา



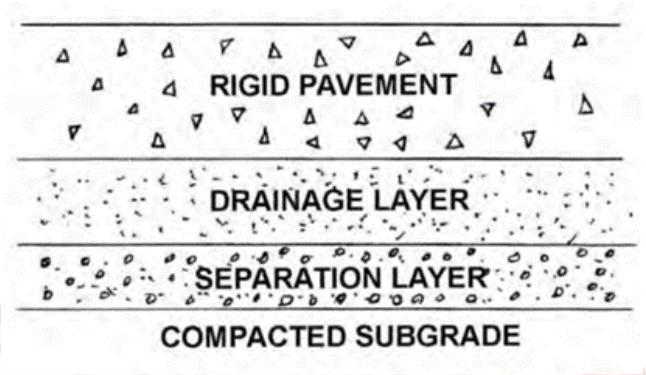
ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม EZStrobe ผ่านระบบกราฟฟิกของโปรแกรม Microsoft Visio บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows (Ioannou, 2022)

2.4 กระบวนการปูผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตโดยใช้ Slip-Form Paver

2.4.1 ผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

ผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (Portland Cement Concrete Pavement) เป็นชื่อเรียกชั้นผิวทาง (Surface Course) ของการก่อสร้างผิวทางประเภท Rigid Pavement เป็นที่นิยมสำหรับการก่อสร้างผิวทางของทางหลวง และสนามบิน

งานผิวทางสนามบิน (Airfield Pavement) นั้นหมายถึงพื้นที่ที่ออกแบบมาสำหรับรับน้ำหนักบรรทุกของอากาศยานไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ภายใน (เช่น โรงเก็บเครื่องบิน) หรือภายนอก รวมถึงโครงสร้างชั้นทางทั้งหมดเหนือระดับชั้นดินเดิมบดอัด (Compacted Subgrade) โดย Rigid Pavement หมายถึง งานผิวทางสนามบินที่ชั้นผิวทางก่อสร้างจากวัสดุปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตถ่ายน้ำหนักบรรทุกไปยัง Subgrade ในรูปแบบแรงดัด (Bending) หรือการรับแรงดึง (Tensile) กับแรงเฉือน (Shear) ในชั้นผิวทาง โครงสร้างของ Rigid Pavement โดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นผิวทาง Rigid Pavement ชั้นระบายน้ำ (Drainage Layer) และชั้นปรับระดับ (Separation Layer) (U.S. Army Corps of Engineers, 2001)



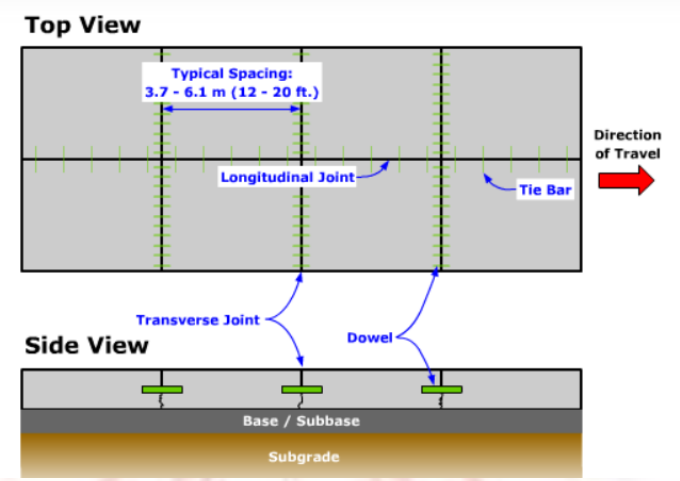
ภาพที่ 2-14 โครงสร้างของ Rigid Pavement โดยทั่วไป
(U.S. Army Corps of Engineers, 2001)

การเลือกใช้ผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตในงานผิวทางสนามบิน นอกจากพิจารณาจากความต้องการคุณสมบัติในการรับน้ำหนักบรรทุกและแรงเสียดทานสูงแล้ว ยังมีข้อดีคือเหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการความทนทานต่อการรั่วไหลของน้ำมันหล่อลื่นไฮดรอลิก น้ำมันเชื้อเพลิงและความร้อน ข้อควรระวังคือต้องออกแบบผิวทางให้ทนทานต่อแรงดันไอพ่น (Jet Blast) ที่ออกมาจากอากาศยานขณะเคลื่อนตัวช้า เพราะเศษผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่เสื่อมสภาพสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อเครื่องยนต์ไอพ่น (Jet Engine) ของอากาศยานได้ (Farooqi, n.d.)

2.4.2 ประเภทของผิวทาง Rigid Pavement

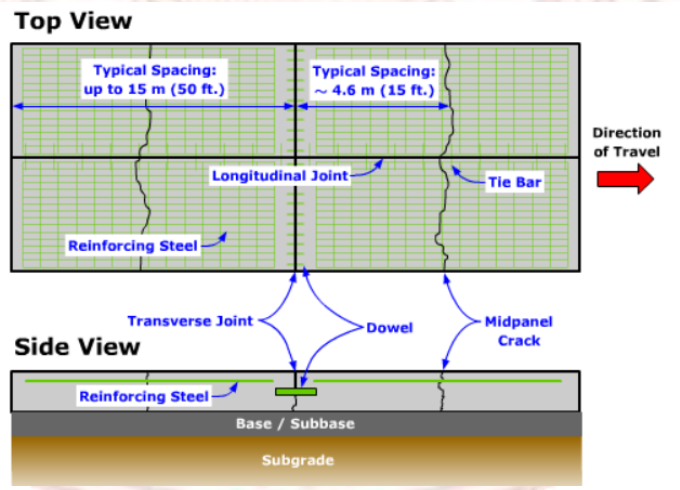
ผิวทางประเภท Rigid Pavement โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามวิธีการควบคุมรอยร้าว 3 ประเภท (PCC Pavement, 2023) ได้แก่

(1) Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) เป็นประเภทที่นิยมที่สุด เป็นการใช้ Contraction Joint ควบคุมรอยร้าวและไม่มีการเสริมเหล็ก ความยาวผิวทางไม่เกิน 6.1 เมตร (20 ฟุต) จะใช้ Dowel Bar ถ่ายน้ำหนักบรรทุกระหว่างผิวทางในแนว Transverse Joint และ Tie Bar ในแนว Longitudinal Joint



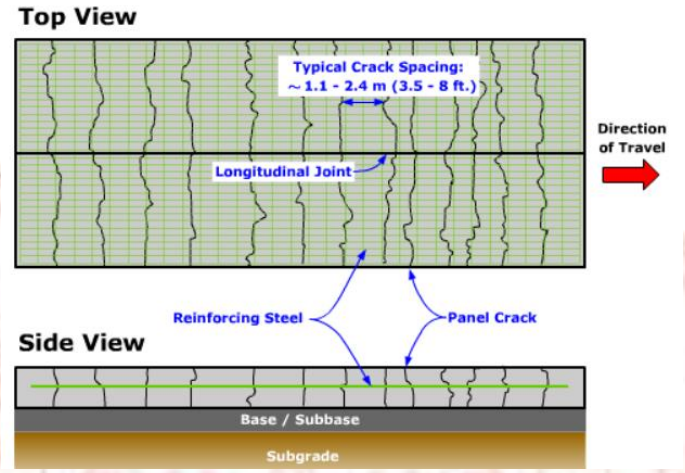
ภาพที่ 2-15 Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)
(PCC Pavement, 2023)

(2) Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP) คล้ายกับประเภท JPCP แต่มีความยาวของผิวทางที่มากกว่า ได้ไม่เกิน 15 เมตร (50 ฟุต) และเสริมเหล็กเพื่อควบคุมการแตกร้าวในผิวทาง



ภาพที่ 2-16 Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP)
(PCC Pavement, 2023)

(3) Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) จะใช้การเสริมเหล็กเพื่อควบคุมการแตกร้าวในผิวทางแทนการใช้ Contraction Joint



ภาพที่ 2-17 Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) (PCC Pavement, 2023)

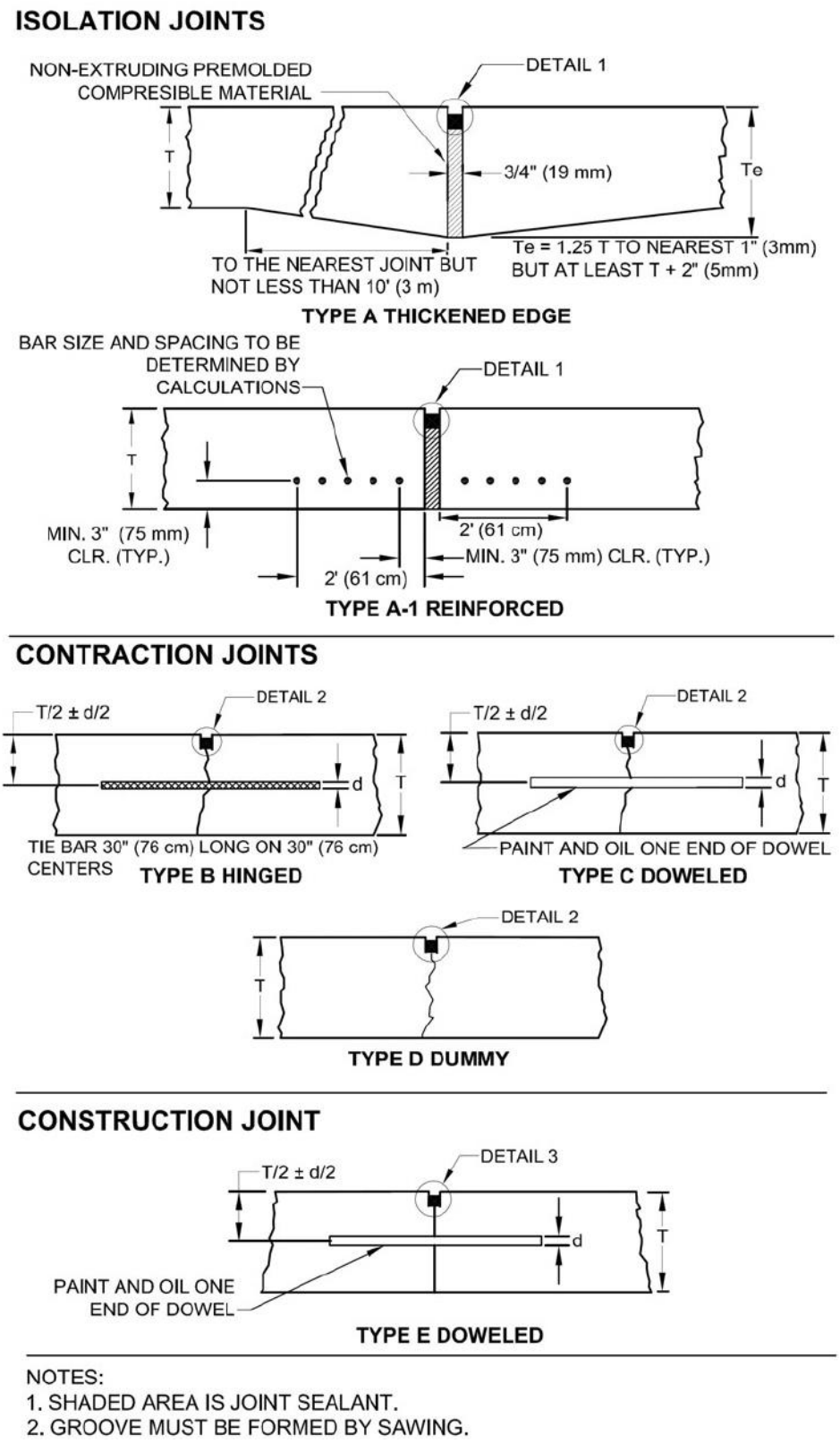
2.4.3 รอยต่อ (Joint)

รอยต่อของผิวทาง Rigid Pavement แบ่งออกเป็น 2 แนวคือ รอยต่อตามแนวขวาง (Transverse Joint) และรอยต่อตามแนวยาว (Longitudinal joint) การออกแบบรอยต่อของงานผิวทางสนามบินขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการก่อสร้างและพฤติกรรมการใช้งานในแต่ละพื้นที่ โดยแต่ละแนวจะมีรอยต่อซึ่งสามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้ (FAA, 2009)

(1) Construction Joint เป็นรอยต่อที่เกิดขึ้นจากการแบ่งพื้นที่ก่อสร้างผิวทางเช่น จุดสิ้นสุดการก่อสร้างในแต่ละวัน หรือการแบ่งเลนในการปูด้วยเครื่องปูคอนกรีต

(2) Contraction Joint มีหน้าที่ควบคุมการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวของผิวทางเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

(3) Isolation Joint หรือ Expansion Joint เป็นรอยต่อที่สามารถให้ผิวทางขยายตัวได้เพื่อลดแรงอัดและความเครียดที่เกิดขึ้นในผิวทาง และมีหน้าที่แบ่งพื้นที่ระหว่างผิวทางให้ขาดออกจากกันโดยสมบูรณ์ ไม่ให้เกิดการถ่ายแรงระหว่างผิวทาง Rigid Pavement ด้วยกัน หรือกับผิวทางชนิดอื่น



ภาพที่ 2-18 ตัวอย่างรายละเอียดรอยต่อแต่ละประเภทของผิวทาง Rigid Pavement (FAA, 2009)

2.4.4 กระบวนการก่อสร้างผิวทางด้วย Slip-Form Paver

วิธีการปูคอนกรีต Slip-Form Paving หมายถึงลักษณะการก่อสร้างผิวทางที่ไม่ได้อยู่กับที่ แต่เครื่องปูคอนกรีตจะเลื่อนตัวและขึ้นรูปปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตชนิดค่ายุบตัวต่ำ (Low-Slump) ไปตามแนวยาวของผิวทาง เครื่องปูคอนกรีตในปัจจุบันสามารถก่อสร้างผิวทางได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการเข้าแบบหล่อด้านข้าง (Parker, 1975)

Stevenson (2021) กล่าวว่ากระบวนการก่อสร้างผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีต (Slip-Form Paver) มีลักษณะเป็นสายพานการผลิตที่เครื่องจักรแต่ละตัวจะเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันเป็นขบวน เครื่องจักรในขั้นตอนแรก คือ Concrete Placing Machine ผู้ผลิตบางรายอาจเรียกว่า Placer หรือ Spreader จะรับคอนกรีตจากรถขนส่งคอนกรีตและปล่อยเกลี่ยด้านหน้าเครื่องปูคอนกรีต (Slip-Form Paver) หรือเครื่องปูคอนกรีตของผู้ผลิตบางรายสามารถรับคอนกรีตจากรถขนส่งคอนกรีตได้โดยตรง ขั้นตอนที่ 2 เครื่องปูคอนกรีตจะกระจายคอนกรีตให้สม่ำเสมอด้วย Auger จี้คอนกรีตให้แน่นด้วยเครื่องสั่น และรีดให้ได้ความกว้างและระดับความสูงตามที่ออกแบบ ขั้นตอนที่ 3 ทำการปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยอุปกรณ์ปาดผิวหน้าที่ติดตั้งบนเครื่องปูคอนกรีตรวมถึงการปาดแต่งผิวหน้าด้วยมือ ขั้นตอนที่ 4 เป็นการกรีดหน้าลายเพื่อสร้างแรงเสียดทานบนผิวทางและฉีดพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตเพื่อควบคุมการระเหยของความชื้นในเนื้อคอนกรีต ขั้นตอนสุดท้ายตัดนำรอยต่อเพื่อบังคับรอยแตกร้าวของผิวทางคอนกรีตเบื้องต้นภาพหลังผิวทางคอนกรีตเซ็ตตัวด้วยเลื่อยตัดคอนกรีต สามารถอธิบายสรุปขั้นตอนได้ดังภาพที่ 2-20

เครื่องปูคอนกรีตจะเคลื่อนที่ด้วยล้อตีนตะขาบ (Track Wheel) พื้นที่ด้านข้างบริเวณที่ทำการปูผิวทางควรมีความกว้างเพียงพอ ระดับที่ใกล้เคียงกัน มีความเรียบและสะอาดปราศจากเศษวัสดุ เช่น เศษคอนกรีต หรือเหล็กเส้น เป็นต้น

ภาพที่ 2-19 เครื่องปูคอนกรีต (Slip-Form Paver) (Stevenson, 2021)

ภาพที่ 2-20 ขั้นตอนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีตโดยทั่วไป (Stevenson, 2021)

ภาพที่ 2-21 พื้นที่สำหรับล้อตีนตะขาบของเครื่องปูคอนกรีต (Stevenson, 2021)

2.4.5 การพิจารณาเลือกใช้ Slip-Form Paver ในการก่อสร้างผิวทาง

ข้อได้เปรียบหลักของการก่อสร้างผิวทางด้วย Slip-Form Paver คือให้ผลิตภาพสูงกว่าแต่ใช้จำนวนคนงานน้อยกว่าวิธีการ Fixed Form ที่เป็นการเข้าแบบเทคอนกรีตแบบเดิม ผิวทางที่ก่อสร้างออกมาเรียบ ก่อสร้างได้รวดเร็ว ลดระยะเวลาการเตรียมงานและกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องอื่นๆ เช่น การเข้าแบบและถอดแบบหล่อ ข้อควรพิจารณาคือมีราคาแพง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาสูง เหมาะกับการทำงานในปริมาณงานที่มาก (Slipform Pavers, 2023)

2.5 การวิเคราะห์ความไว

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) คือวิธีการสำหรับประเมินความทนทานต่อสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรหรือสมมติฐานต่างๆ จะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันหรือไม่ เป็นคำถามในเชิงที่ว่า “จะเกิดอะไรขึ้นหากตัวแปรสำคัญหรือสมมติฐานเปลี่ยนแปลงไป” (Thabane และคณะ, 2013) แนวทางการตัดสินใจเลือกวิธีวิเคราะห์ความไวที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้จากปัจจัยต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ต้นทุนที่ใช้ในการวิเคราะห์ จำนวนของตัวแปรนำเข้า ความซับซ้อนของสมมติฐานที่วิเคราะห์ ระยะเวลาที่จำกัดของผู้วิเคราะห์ และความสำคัญหรือความคุ้มค่าของสถานการณ์ที่ทำการวิเคราะห์ความไว เป็นต้น (Saltellic และคณะ, 2005) สำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างการวิเคราะห์ความไวเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่วยตัดสินใจเลือกแนวทางที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในหลายสถานการณ์การตัดสินใจ ยกตัวอย่างเช่น การตัดสินใจลงทุนก่อสร้าง (พรเทพ และ พิชณ์, 2563) การตัดสินใจเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง (ณัฐฐาอัมพร, 2558) หรือเลือกลักษณะการวางแผนผังงานก่อสร้างชั่วคราว (Jin และคณะ, 2008) เป็นต้น

โดยวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความไวในงานวิจัยนี้เพื่อเป็นการปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างกรณีศึกษาเดิมให้ดีขึ้นโดยใช้วิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้งวิธีการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมการจำลองวิธี ACD ดังนั้นปัจจัยหรือตัวแปรที่จะดำเนินการ

ทดลองเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างจะได้จากการ ระบุจากทั้ง 2 วิธีการจำลอง จากลักษณะของปัจจัยนำเข้าข้างต้นผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ความไวที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือวิธีการวิเคราะห์ความไวแบบสองทาง (Two-way Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไวแบบสองทาง (Two-way Sensitivity Analysis) คือวิธีการประเมินผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรนำเข้าหรือองค์ประกอบในการวิเคราะห์จำนวน 2 ปัจจัยไปพร้อมกัน เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง (กนกพล และ ธีระวัฒน์, 2559)

2.6 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การจำลองระยะเวลาก่อสร้างด้วยวิธีการวางแผนงานก่อสร้าง

Agrama (2011) เสนอแนวทางการใช้โปรแกรม Spreadsheet เพื่อปรับปรุงการคำนวณแผนงานก่อสร้างวิธี Line of Balance (LOB) ให้เป็นการคำนวณแบบอัตโนมัติมากขึ้น ข้อดีของโปรแกรม Spreadsheet คือ เป็นเครื่องมือคำนวณที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพ สามารถแสดงกิจกรรมและหน่วยการก่อสร้างเป็นตาราง และสามารถพัฒนาให้แสดงกราฟิกแผนงาน LOB จากผลลัพธ์การคำนวณได้ สะดวกต่อผู้จำลองที่สามารถออกแบบให้คำนวณผลลัพธ์จากข้อมูลนำเข้าโดยอัตโนมัติและแสดงผลลัพธ์เป็นเส้นกราฟแผนงาน LOB แสดงตัวอย่างด้วยแผนงานก่อสร้าง 12 กิจกรรม ที่มีลักษณะเป็นงานซ้ำจำนวน 5 หน่วย ซึ่งในแต่ละหน่วยนั้นมีระยะเวลาการทำกิจกรรมที่ไม่เท่ากัน ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2003

Mohammed และคณะ (2023) เสนอการใช้งาน PERT ร่วมกับ Line of Balance เพื่อจำลองสถานการณ์ความไม่แน่นอนต่างๆ ที่โครงการก่อสร้างต้องเผชิญ โดยนำเสนอตัวอย่างการจำลองสถานการณ์ระยะเวลาการทำกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้าง 10 กิจกรรม จำนวนหน่วยงานก่อสร้างซ้ำๆ 10 หน่วย โดยทำการจำลอง 6 สถานการณ์ความไม่แน่นอน ได้แก่

(1) Most Optimistic Scenario คือ สถานการณ์ที่ระยะเวลาก่อสร้างของทุกกิจกรรมเสร็จสิ้นเร็วที่สุด (a)

(2) Most Likely Scenario คือ สถานการณ์ที่ระยะเวลาก่อสร้างของทุกกิจกรรมใช้เวลาที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด (m)

(3) Most Pessimistic Scenario คือ สถานการณ์ที่ระยะเวลาก่อสร้างของทุกกิจกรรมเสร็จสิ้นช้าที่สุด (b)

(4) PERT Expected Scenario คือ สถานการณ์ที่ระยะเวลาก่อสร้างของทุกกิจกรรมใช้เวลาที่เป็นระยะเวลาคาดหวัง (Expected Time) จากการคำนวณโดยวิธี PERT

(5) Deterioration Scenario คือ การจำลองสถานการณ์โดยสมมติว่าเริ่มต้นโครงการแต่ละกิจกรรมดำเนินการอย่างสมบูรณ์ แล้วค่อยๆ เจออุปสรรคมากขึ้นจนจบโครงการ โดยแบ่งกิจกรรมในโครงการออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 จะใช้ระยะเวลาเร็วที่สุด (a) ส่วนที่ 2 จะใช้เวลาที่เป็นไปได้มากที่สุด (m) และส่วนที่ 3 จะใช้ระยะเวลาช้าที่สุด (b) และ

(6) Improvement Scenario คือ การจำลองสถานการณ์โดยสมมติว่าเริ่มต้นโครงการแต่ละกิจกรรมดำเนินการโดยมีอุปสรรคสูงสุด แล้วค่อยๆ ปรับปรุงให้ดีขึ้นจนจบโครงการ โดยแบ่งกิจกรรม

ในโครงการออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 จะใช้ระยะเวลาช้าที่สุด (b) ส่วนที่ 2 จะใช้เวลาที่เป็นไปได้มากที่สุด (m) และส่วนที่ 3 จะใช้ระยะเวลาเร็วที่สุด (a)

ผลลัพธ์จากการจำลองระยะเวลาโครงการก่อสร้าง 10 หน่วยพบว่าสถานการณ์เร็วที่สุด (Most Optimistic Scenario) ใช้ระยะเวลาก่อสร้างน้อยที่สุดตามความคาดหมาย สถานการณ์เป็นไปได้มากที่สุด (Most Likely Scenario) และสถานการณ์เสื่อมสภาพ (Deterioration Scenario) ใช้ระยะเวลาก่อสร้างมากที่สุด และนำผลลัพธ์จากการจำลอง 6 สถานการณ์มาพิจารณาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเวลาแบบปกติ (Normal Distribution) เพื่อหาค่าเฉลี่ย (μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)

พงศ์เทพ (2553) นำข้อมูลการประเมินความเสี่ยงที่มีผลต่อระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณหาระยะเวลาการก่อสร้างวิธี PERT เพื่อจำลองหาระยะเวลาแล้วเสร็จโครงการเปรียบเทียบกับระยะเวลาแล้วเสร็จจริงของ 3 โครงการก่อสร้างกรณีศึกษา พบว่าการจำลองสามารถให้ระยะเวลาแล้วเสร็จโครงการที่ใกล้เคียงกับระยะเวลาแล้วเสร็จจริงมากกว่าแผนเดิมที่วางไว้ 2 ใน 3 ของโครงการกรณีศึกษา

วศิน และคณะ (2566) ใช้ PERT และ CPM เพื่อประมาณหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินโครงการก่อสร้างให้แล้วเสร็จตามสัญญาจากข้อมูลจริงของโครงการก่อสร้างที่แตกต่างกัน 5 ลักษณะ ได้แก่ งานอาคารสำนักงาน งานเขื่อน งานอาคารสูง งานถนน และงานทางด่วน พบว่าจากความน่าจะเป็นที่งานจะแล้วเสร็จ 50%, 70% และ 90% ได้ระยะเวลาการก่อสร้างเฉลี่ยที่เหมาะสมจากระยะเวลาที่แล้วเสร็จตามสัญญา คือ 73.99%, 82.19% และ 89.52% ตามลำดับ และแนะนำการนำผลวิจัยไปใช้ในการจำลองระยะเวลาโครงการก่อสร้างลักษณะอื่นหรือลักษณะเดียวกัน สามารถนำระยะเวลาก่อสร้างแล้วเสร็จตามสัญญาคูณด้วยร้อยละระยะเวลาก่อสร้างที่เหมาะสมที่ความน่าจะเป็นต่างๆ เพื่อคาดคะเนระยะเวลาการก่อสร้างที่เหมาะสมได้

2.6.2 การศึกษาผลิตภาพด้วยโปรแกรมแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง

รัฐพงษ์ (2548) ใช้ Stroboscope พัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ก่อสร้างอุโมงค์ประเภท State-Based Simulation Model และประเภท Discrete-Event Simulation Model ได้ให้ความเห็นว่าแบบจำลองทั้ง 2 ประเภทมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน โดยแบบจำลองสถานการณ์ก่อสร้างอุโมงค์ประเภท State-Based Simulation Model เป็นแบบจำลองที่สร้างได้ง่ายแต่สามารถวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของกระบวนการก่อสร้างได้ดีกว่าวิธี Deterministic ทั่วไป แต่มีข้อจำกัดคือต้องสร้างแบบจำลองขึ้นมาหลายแบบเพื่อที่จะอธิบายกระบวนการก่อสร้างหนึ่งๆ เนื่องจากแบบจำลองประเภทดังกล่าวไม่ค่อยยืดหยุ่น สำหรับแบบจำลองประเภท Discrete-Event Simulation Model นั้นเป็นแบบจำลองสถานการณ์ก่อสร้างอุโมงค์ที่มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพสูงกว่าประเภทแรก แต่ก็ทำการพัฒนาได้ยากกว่าเช่นกัน เนื่องจากผู้ใช้ต้องศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมประเภทนี้โดยเฉพาะ

Jiradamkerng (2013) เปรียบเทียบแบบจำลองสถานการณ์งานติดตั้งแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแบบกลวงโดยใช้โปรแกรม EZStrobe กับวิธีการแผนภูมิ Multiple-Activity-Chart (MAC) แบบดั้งเดิม พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 2 วิธีใกล้เคียงกัน แต่การใช้แบบจำลองโปรแกรม EZStrobe

สามารถทำให้ผู้ใช้เข้าใจกระบวนการได้ดีกว่า และปรับปรุงแบบจำลองโปรแกรม EZStrobe จำลองกระบวนการให้มีพฤติกรรมคล้ายการทำงานจริงมากขึ้น ให้รถบรรทุกแผ่นพื้นสามารถเข้าหน้างานได้ครั้งละ 1 คันตามลักษณะพื้นที่ที่จำกัด และเผื่อเวลาในการพักผ่อนและกรณีฉุกเฉินของคนงาน ได้ผลลัพธ์รอบเวลามาตรฐานคือ 4.44 นาที ผลิตภาพของทีมงานคือ 108.20 ชิ้นต่อวัน หรือ 779.02 ตร.ม.ต่อวัน ผลลัพธ์ที่ได้เป็นประโยชน์ในการวางแผนงาน การประมาณราคาและควบคุมต้นทุน ผู้วิจัยได้ให้ความเห็นว่าแบบจำลองโปรแกรม EZStrobe มีความคุ้มค่าที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน และอินเตอร์เฟซ Microsoft Visio ที่ใช้งานง่ายเป็นมิตรกับผู้ใช้ยังช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง

ธนพัฒน์ (2561) จำลองกระบวนการทำงานติดตั้งผนังภายในด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ Stroboscope เพื่อหาจำนวนชุดคนงานที่เหมาะสมในการทำงานติดตั้ง จากผลการจำลองกระบวนการทำงานติดตั้งผนังภายในด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจำนวน 50 แผง แต่ละแผงประกอบด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจำนวน 7 ชิ้น พบว่า อัตราส่วนของชุดคนงานที่เหมาะสม คือ ชุดติดตั้ง 2 ชุด : ชุดอุดรอยต่อ 1 ชุด : ชุดฉาบผิวบาง 3 ชุด จะช่วยให้คนงานมีระยะเวลาคอยงานน้อยที่สุด

สุรพันธ์ และคณะ (2564) หาวิธีการเพิ่มค่าผลิตภาพของการผลิตสะพานรูปกล่องตัวกลางในกิจกรรมเทคอนกรีตด้วยการจำลองสถานการณ์จากโปรแกรม EZStrobe เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีต ระยะเวลาในการผลิต และค่าใช้จ่ายในการผลิต ผลการจำลองสถานการณ์พบว่าเมื่อใช้รถขนส่งคอนกรีตตั้งแต่ 2 คัน ถึง 4 คัน จะมีค่าผลิตภาพเพิ่มขึ้นเป็น 0.61 0.67 และ 0.69 ชิ้นต่อวัน ตามลำดับ และสามารถลดระยะเวลาผลิตลงได้ 164 216 และ 232 วัน ตามลำดับ

Hassan และ Gruber (2008) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ EZStrobe เพื่อศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตทางหลวงระหว่างรัฐ Interstate-74 โดยใช้ Concrete Spreader โดยได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของทรัพยากรสำคัญแต่ละชนิดในการจำลองกระบวนการ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองให้ค่าที่แม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัดภาคสนามจริง และได้จำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ คือ รถบรรทุก 10 คัน รถปูผิวทาง 1 คัน รถเกลี่ย 1 คัน และทีมงานตกแต่งและคลุมพลาสติก 3 คน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2.7 สรุปการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและวิเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ สามารถสรุปองค์ความรู้ที่ได้ คือ กระบวนการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตที่ใช้งานเครื่องปูคอนกรีต (Slip-Form Paver) ในการทำงานเป็นหลักนั้น โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นการทำงานก่อสร้างซ้ำๆ ตามปริมาณผิวทางซึ่งมีกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการตามหลังเป็นขบวนนอกเหนือจากงานปูผิวของเครื่องปูต่อเนื่องกันเป็นจำนวนมาก การจะจำลองกระบวนการก่อสร้างลักษณะดังกล่าวผู้วิจัยได้ศึกษาและนำเสนอวิธีการจำลองจำนวน 2 วิธี วิธีแรกคือการประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ Repetitive Scheduling Method (RSM) เพื่อให้เห็นความต่อเนื่องในการใช้งานทรัพยากรสำหรับงานก่อสร้างที่มีการทำกิจกรรมซ้ำๆ หลายหน่วยผ่านเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมได้ และใช้ Program Evaluation and Review

Technique (PERT) ในการจำลองลักษณะการแจกแจงของระยะเวลาก่อสร้างที่มีความไม่แน่นอนให้สัมพันธ์กับพฤติกรรมงานก่อสร้างจริงได้ เนื่องจากวิธีนี้เป็นแนวคิดการวางแผนงานก่อสร้างโดยใช้การคำนวณเป็นหลัก ดังนั้นจึงสามารถสร้างแบบจำลองได้ด้วยโปรแกรม Spreadsheet ทั่วไป และการจำลองกระบวนการก่อสร้างวิธีที่ 2 คือการใช้โปรแกรม EZStrobe ถูกพัฒนามาเพื่อจำลองกระบวนการที่มีความซับซ้อนและมีลักษณะเป็นการจำลองประเภท Discrete-Event Simulation ให้สามารถใช้งานง่ายมีความยืดหยุ่นสูง และผู้จำลองไม่จำเป็นต้องศึกษาหลักการทำงานของ Stroboscope ในเชิงลึก เพียงมีความรู้ในด้านวิธีจำลองสถานการณ์แบบ Activity Cycle Diagram (ACD) ซึ่งในการจะจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วยทั้ง 2 วิธีนั้นจะต้องคำนึงถึงและให้ความสำคัญทั้งความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้าง และการใช้ทรัพยากรของกิจกรรมก่อสร้างนั้นๆ อย่างต่อเนื่องควบคู่กัน

การปรับปรุงผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างมีแนวทางคือการลดความสูญเสียต่างๆ ในกระบวนการ เช่น การรอคอย วัตถุดิบรอการใช้งานมากเกินไป เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองทั้ง 2 วิธีข้างต้นเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา และตัดสินใจในการปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างเดิมได้ โดยแนวคิดการรอคอยของ RSM สามารถวิเคราะห์ได้จากระยะห่างระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพในแนวแกนตั้ง และแนวแกนนอนได้ในเบื้องต้น ส่วนการจำลองด้วยโปรแกรมวิธี ACD มีองค์ประกอบของแบบจำลองคือแถวคอย (Queue) สำหรับจัดเก็บทรัพยากรที่ไม่ถูกใช้งาน ซึ่งสามารถประยุกต์ให้วิเคราะห์ระยะเวลาการรอคอย การหยุดชะงักของทรัพยากรต่างๆ ในกระบวนการได้ต่อไป นอกจากนี้การเลือกใช้วิธีการทำงานแบบใหม่ หรือนวัตกรรมใหม่ๆ จะมีส่วนช่วยให้ผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างดีขึ้นได้

ตารางที่ 2-3 สรุปการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อ	รายละเอียด	ผู้แต่ง
ผลิตภาพในงานก่อสร้าง	ทฤษฎีผลิตภาพงานก่อสร้าง	Oglesby (1989), วรรณวิทย์ (2563)
	ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภาพในงานก่อสร้าง	Maloney (1983), Olomolaiye และคณะ (1998)
Slip-Form Paver	ผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต	U.S. Army Corps of Engineers (2001), FAA (2009), PCC Pavement (2023)
	กระบวนการก่อสร้างผิวทางด้วย Slip-Form Paver	Parker (1975), Stevenson (2021)

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	ผู้แต่ง
การวางแผนงานก่อสร้าง	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	Malcolm และคณะ (1959), Halpin และ Riggs (1992), Lutz และ Halpin (1992), Harris และ Ioannou (1998), Arditi และคณะ (2002), เฉลิมพล พรมทอง (2561), วรรณวิทย์ (2561), Tomar และ Bansal (2019)
	การสร้างแบบจำลอง	Agrama (2011), Mohammed และคณะ (2023)
	แนวทางการจำลอง	พงศ์เทพ (2553), วศิน และคณะ (2566)
โปแกรมจำลองวิธี ACD	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	Tocher (1963), Law และ Kelton (1991), Paul (1993), Martínez (1996), Banks และคณะ (2005)
	การสร้างแบบจำลอง	Martinez (1996), Ioannou (2022)
	แนวทางการจำลอง	รัฐพงษ์ (2548), Hassan และ Gruber (2008), Jiradamkerng (2013), ธนพัฒน์ (2561), สุรพันธ์ และคณะ (2564)
การวิเคราะห์ความไว	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	Saltellic และคณะ (2005), Thabane และคณะ (2013) และ กนกพล และ ธีระวัฒน์ (2559)

บทที่ 3
ระเบียบการวิจัย

3.1 ออกแบบงานวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตในการศึกษา การเก็บข้อมูลและการใช้แบบจำลองวางแผนงานก่อสร้างมุ่งเน้นไปที่งานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบิน เพื่อให้สามารถดำเนินงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพ และสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงได้กำหนดลำดับวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1) ศึกษาเอกสารด้านทฤษฎี และงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องที่ดำเนินการในบทที่ 2

2) ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการก่อสร้างในงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินโครงการกรณีศึกษา ได้แก่ กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูคอนกรีตผิวทางวิธี Fixed-Form เพื่อทำความเข้าใจวิธีการดำเนินงานก่อสร้างจริงของผู้รับเหมา ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและทรัพยากรต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการ และกำหนดขอบเขตกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้างที่จะจำลองกระบวนการจากการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การทำงานจริงรายวันจากบันทึกงานก่อสร้าง

3) ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะเวลาและจำนวนทรัพยากรแต่ละกิจกรรมจากการศึกษาเอกสารบันทึกการทำงานของโครงการ จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง และจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม วิเคราะห์เพื่อสรุปข้อมูลให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

4) ดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างจากวิธีการจำลองจำนวน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมจำลองวิธี ACD ทำการจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองกระบวนการของแบบจำลองที่สร้างให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานจริง และเปรียบเทียบความสามารถ ความเหมาะสมในการใช้งานวิธีการจำลองทั้งสอง

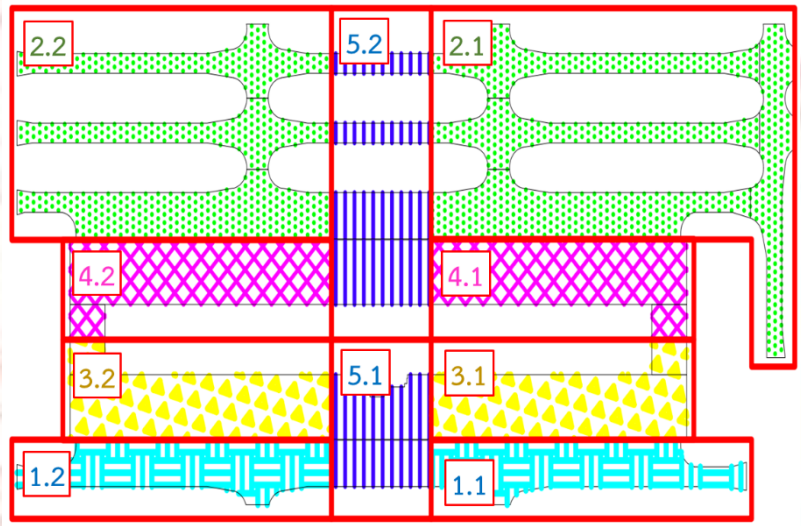
5) วิเคราะห์ความไวของผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างโดยวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างจากการระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างกรณีศึกษา

3.2 การศึกษากระบวนการก่อสร้างโครงการกรณีศึกษา

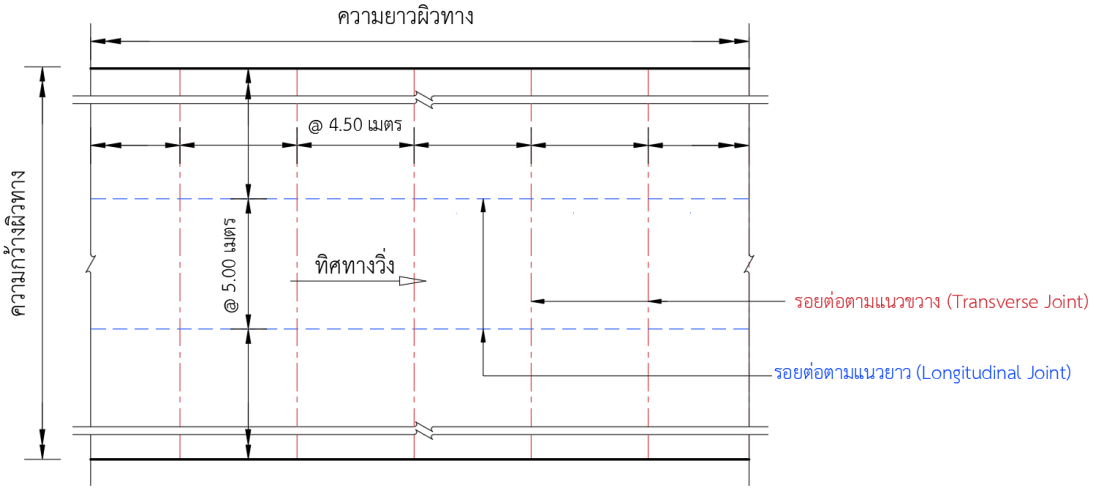
การศึกษากระบวนการก่อสร้างงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลน์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินในงานวิจัยนี้ เลือกดำเนินการศึกษาจากข้อมูลของโครงการก่อสร้างในอดีต มีปริมาณงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตรวม 578,730 ตารางเมตร แบ่งพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางจำนวน 10 พื้นที่ ได้แก่พื้นที่ 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 5.1 และ 5.2 ดังแสดงในภาพที่ 3-1 ตามการวางแผนเพื่อรับมอบพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางจากงานก่อสร้างชั้นทาง หรืองานอื่นๆ ใต้ผิวทางจากทีมงานหรือผู้รับเหมาสัญญางานก่อสร้างรายอื่น

โดยในแต่ละพื้นที่มีปริมาณพื้นที่ก่อสร้างผิวทาง แผนระยะเวลาก่อสร้างและระยะเวลาก่อสร้างจริงดังแสดงในตารางที่ 3-1

ลักษณะงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะเป็นการก่อสร้างผิวทางสนามบินด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตโดยไม่มีการเสริมเหล็กเสริมชนิด Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) ที่ความหนา 500 มม. ขนาดความกว้างของการก่อสร้างผิวทางในระยะรอยต่อตามยาว (Longitudinal Joint) 5.00 ม. และระยะห่างระหว่างรอยต่อตามขวาง (Transverse Joint) 4.50 ม. ดังแสดงในภาพที่ 3-2

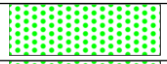
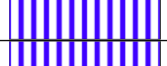


ภาพที่ 3-1 การแบ่งพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

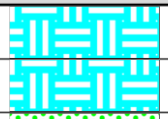
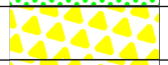


ภาพที่ 3-2 ลักษณะงานก่อสร้างผิวทางของโครงการโดยทั่วไป

ตารางที่ 3-1 ปริมาณพื้นที่ก่อสร้าง แผนระยะเวลาก่อสร้างและระยะเวลาก่อสร้างจริงของแต่ละพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

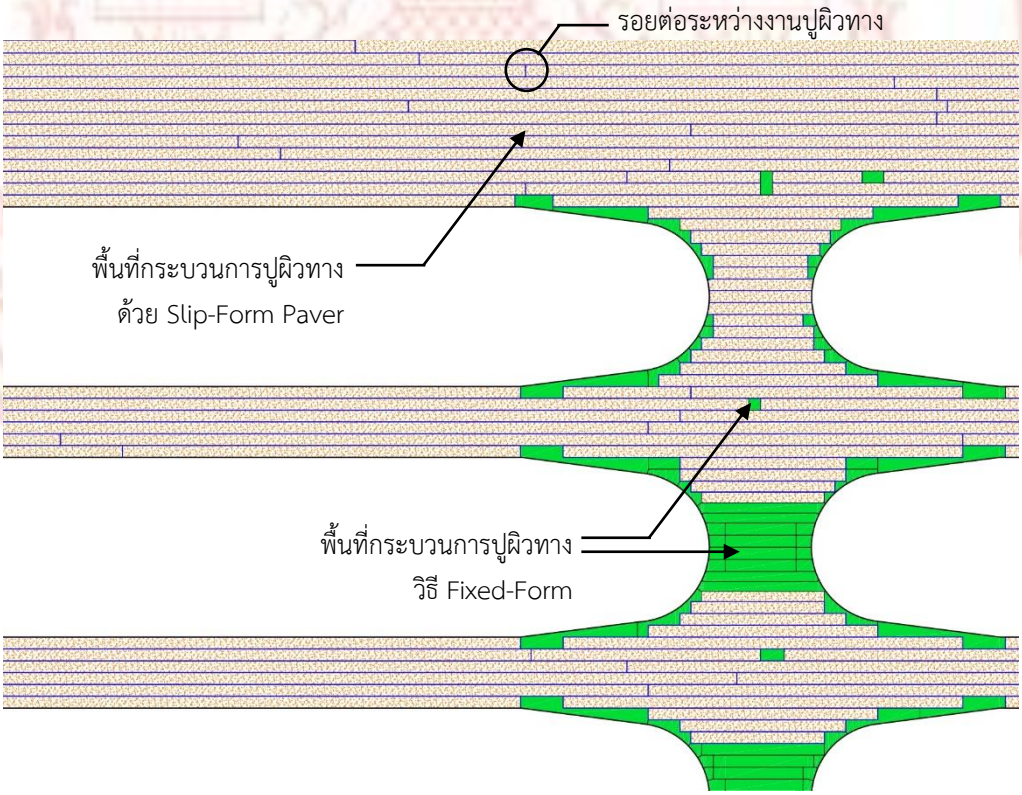
พื้นที่	สัญลักษณ์	พื้นที่ก่อสร้าง (ตร.ม.)	แผนระยะเวลาก่อสร้าง			ระยะเวลาก่อสร้างจริง		
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	ระยะเวลา (วัน)	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ระยะเวลา (วัน)
1.1		43,873.41	4/3/60	24/6/60	113	10/6/60	12/1/61	217
1.2		42,187.69	4/3/60	14/7/60	133	25/3/60	2/12/60	253
2.1		123,383.18	7/9/60	24/3/61	199	8/6/60	2/5/61	329
2.2		89,335.14	14/10/60	16/3/61	154	17/3/60	27/4/61	407
3.1		48,508.31	28/6/60	16/10/60	111	16/6/60	1/2/61	231
3.2		49,989.23	29/6/60	17/10/60	111	2/6/60	8/2/61	252
4.1		42,231.55	14/8/60	12/12/60	121	11/7/60	2/5/61	296
4.2		44,008.00	15/8/60	23/11/60	101	30/6/60	2/5/61	307
5.1		32,596.36	8/1/61	1/2/61	25	14/12/60	25/1/61	43
5.2		62,617.48	16/3/61	20/4/61	36	5/3/61	2/5/61	59
รวมทั้งโครงการ		578,730.34	4/3/60	20/4/61	413	17/3/60	2/5/61	412

ตารางที่ 3-2 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์พื้นที่งานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

พื้นที่	สัญลักษณ์	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver				กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form				
		ทีมที่ 1	ทีมที่ 2	รวม	% พื้นที่	ทีมที่ 1	ทีมที่ 2	ทีมที่ 3	รวม	% พื้นที่
1.1		250.00	37,246.93	37,496.93	85%	6,297.95	78.53	-	6,376.48	15%
1.2		33,398.43	1,344.00	34,742.43	82%	7,445.26	-	-	7,445.26	18%
2.1		2,854.80	104,709.09	107,563.89	87%	12,072.72	3,601.57	145.00	15,819.29	13%
2.2		73,949.72	1,400.00	75,349.72	84%	10,984.81	1,922.55	1,078.06	13,985.42	16%
3.1		11,772.50	30,909.50	42,682.00	88%	5,198.06	385.25	243.00	5,826.31	12%
3.2		40,078.23	1,282.00	41,360.23	83%	8,031.50	597.50	-	8,629.00	17%
4.1		8,481.00	29,039.61	37,520.61	89%	3,456.44	1,115.75	138.75	4,710.94	11%
4.2		37,312.75	540.00	37,852.75	86%	4,846.75	1,308.50	-	6,155.25	14%
5.1		19,843.25	10,296.25	30,139.50	92%	1,819.06	637.80	-	2,456.86	8%
5.2		36,405.70	22,653.25	59,058.95	94%	1,159.50	1,627.78	771.25	3,558.53	6%

กระบวนการก่อสร้างภายในงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินที่ดำเนินการศึกษามีจำนวน 3 กระบวนการ ได้แก่

(1) กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver เป็นกระบวนการหลักในการก่อสร้างผิวทาง เนื่องจากมีปริมาณพื้นที่ก่อสร้างในแต่ละพื้นที่ประมาณ 82 – 94 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในตารางที่ 3-2 ลักษณะเป็นการปูคอนกรีตชนิดค่ายุบตัวต่ำ (Low Slump Concrete) ด้วยเครื่องปูคอนกรีต (Slip-Form Paver) ไปตามแนวยาวของผิวทางซึ่งมีความกว้างในการปูเท่ากับระยะห่างของรอยต่อตามแนวยาว ตามตัวอย่างในภาพที่ 3-3 พื้นที่สีส้มคือพื้นที่ที่ดำเนินการก่อสร้างด้วยกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver มีลักษณะเป็นการก่อสร้างผิวทางที่มีความกว้างโดยทั่วไปที่ 4.50 ม. ตามแนวยาวของผิวทาง มีการกำหนดจุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุด และความยาวในการก่อสร้างแต่ละครั้งที่ไม่เท่ากัน ในการก่อสร้างด้วยกระบวนการนี้ผู้รับเหมางานก่อสร้างใช้ทีมงานก่อสร้างจำนวน 2 ทีม มีลักษณะการแบ่งพื้นที่ทำงานก่อสร้างและปริมาณงานที่ก่อสร้างของแต่ละทีมดังแสดงในตารางที่ 3-2 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ในการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver รวมทั้ง 2 ทีมจะอยู่ที่ 503,767 ตร.ม. ซึ่งแต่ละพื้นที่จะทำงานทั้ง 2 ทีม แต่จะมีทีมงานประจำเป็นหลักของแต่ละพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 และ 5.2 จะมีทีมงานที่ 1 รับผิดชอบหลัก ส่วนพื้นที่ 1.1, 2.1, 3.1 และ 4.1 จะมีทีมงานที่ 2 รับผิดชอบเป็นหลัก

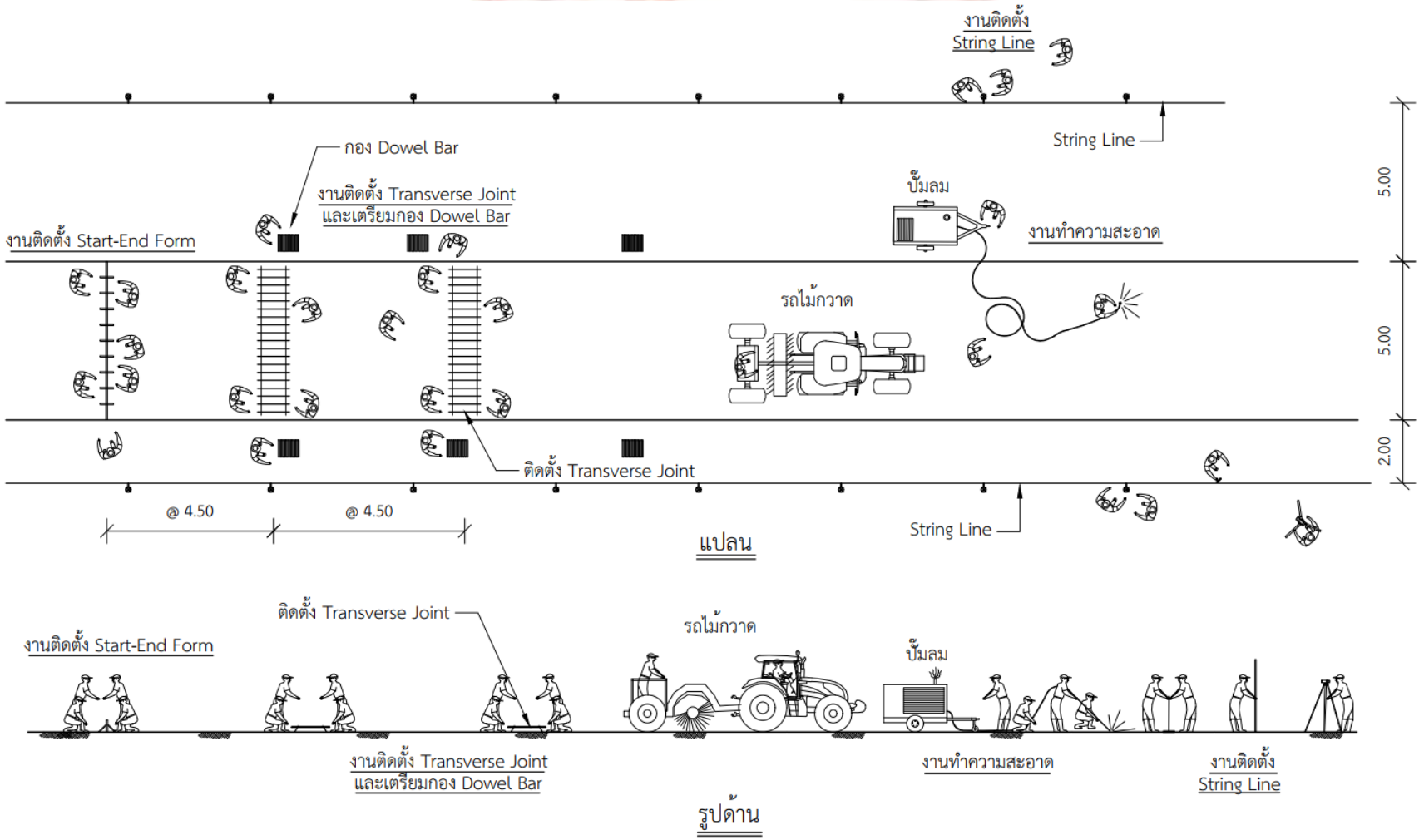


ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างลักษณะพื้นที่งานก่อสร้างของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

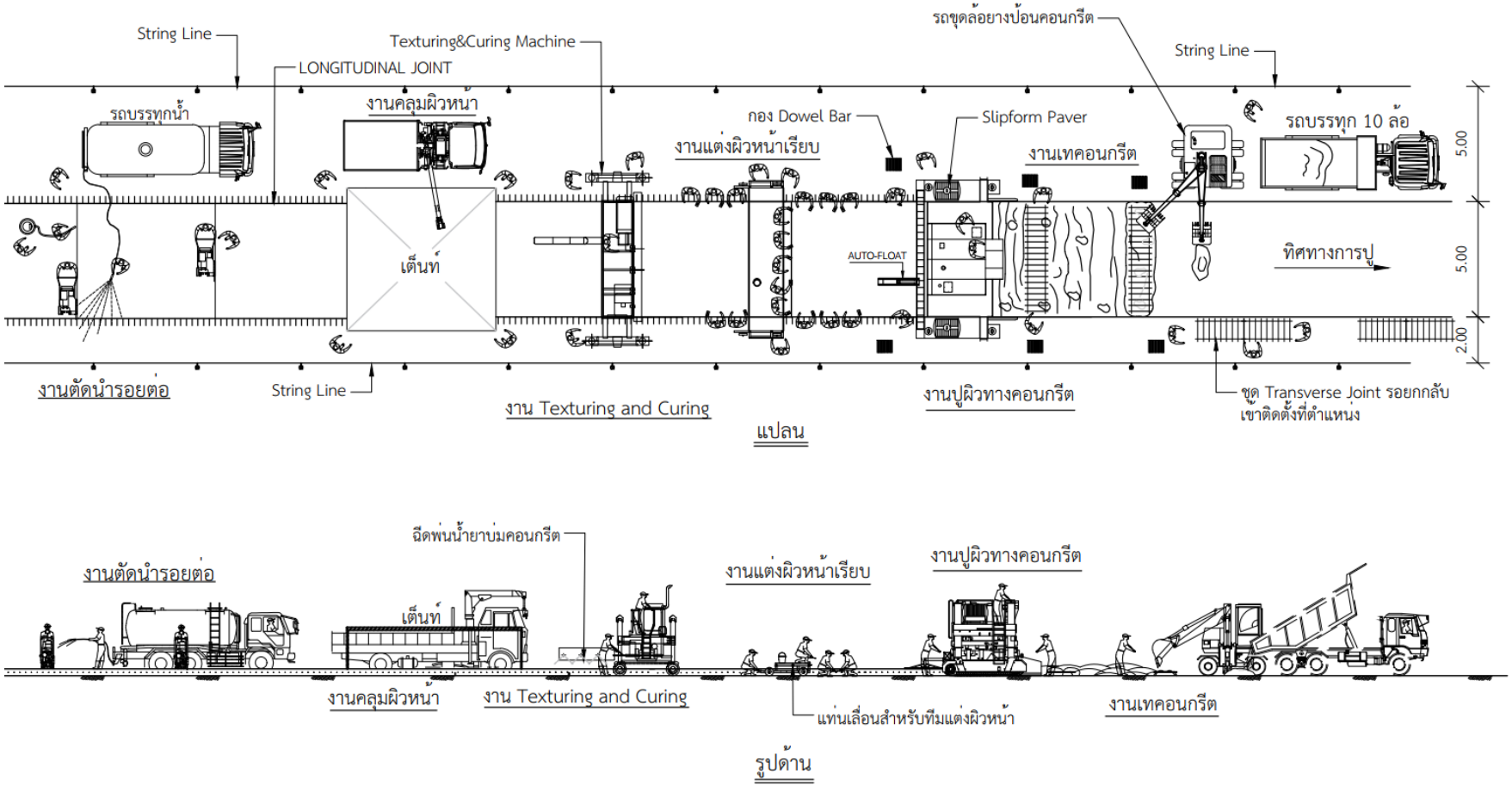
วิธีการก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ของแต่ละทีมงานใน 1 ช่วงความยาวนี้เรียกว่า 1 เลน (Lane) แบ่งงานออกเป็น 2 งานหลัก ได้แก่

- งานเตรียมพื้นที่ สำหรับการทำความสะอาด และเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับงานปูผิวทาง ได้แก่ เหล็กเสริมรอยต่อ (Dowel Bar) ของรอยต่อตามแนวยาวและรอยต่อตามแนวขวาง ติดตั้ง String Line สำหรับเป็นการกำหนดแนวและค่าระดับการปูของเครื่องปูคอนกรีต และติดแบบ Start-End Form เพื่อกำหนดระยะการปูผิวทาง ทีมงานเตรียมพื้นที่จะมีชุดอุปกรณ์จำนวน 3 ชุดสำหรับเตรียมพื้นที่ล่วงหน้างานปูผิวทางได้ 2 เลนเพื่อให้มีระยะเวลาในการตรวจสอบความเรียบร้อยและสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยไม่กระทบต่องานปูผิวทางคอนกรีตโดยในแต่ละเลนจะใช้เวลาเตรียมพื้นที่ 1 วัน

- .งานปูผิวทางคอนกรีต จะทำงานก่อสร้างผิวทางในพื้นที่เลนที่ได้เตรียมพื้นที่ไว้ การดำเนินการจะเริ่มจากการเคลื่อนเครื่องจักรเข้าสู่ตำแหน่ง ปรับตั้งค่าแนวและค่าระดับของเครื่องปูคอนกรีต ยกแผงเหล็กเสริมรอยต่อตามแนวขวางออกมานอกระยะของเครื่องปูคอนกรีตและเตรียมความพร้อมเครื่องจักรอื่นๆ ในกระบวนการ เมื่อการเตรียมความพร้อมแล้วเสร็จ จึงเริ่มงานปูผิวทางคอนกรีตของขบวนเครื่องจักรที่มีลักษณะการส่งผ่านงานแล้วเสร็จแต่ละหน่วยจากกิจกรรมหนึ่งสู่กิจกรรมถัดไปแบบ Finish-to-Start (FTS) เริ่มจากรถบรรทุกขนส่งคอนกรีตจากโรงผลิตมาเทลงที่ด้านหน้าเครื่องปู รถขุดล้อยางจะทำการเกลี่ยป้อนคอนกรีตเข้าสู่หน้าของเครื่องปูและทีมงานยกแผงเหล็กเสริมรอยต่อตามแนวขวางกลับเข้ามาติดตามตำแหน่งเดิมให้แน่น เมื่อมีปริมาณคอนกรีตด้านหน้ามากพอจึงจะเริ่มทำการปูคอนกรีต ขณะที่การปูผิวทางคอนกรีตดำเนินไป เครื่อง Dowel Bar Inserter ทั้ง 2 ข้างของเครื่องปูคอนกรีตจะติดตั้งเหล็กเสริมรอยต่อตามแนวยาวที่ด้านข้างของผิวคอนกรีต งานตามหลังมาคือชุดงานผิวหน้าคอนกรีต ชุดอุปกรณ์ Auto Float ของตัวเครื่องปูคอนกรีตทำการปาดหน้าผิวทางที่ออกจากเครื่องปู และทีมงานแต่งผิวหน้าใช้เกรียงปาดเก็บผิวหน้าบนแท่นเลื่อน และแต่งขอบทั้ง 2 ข้างของผิวทางให้เรียบร้อย เพื่อให้การแต่งผิวหน้าคอนกรีตที่ปูออกมามีคุณภาพความเร็วในการปูของเครื่องปูคอนกรีตและชุดงานแต่งผิวหน้าจึงต้องสัมพันธ์กัน ปริมาณผิวทางที่ปูออกมาแล้วรอการแต่งผิวหน้าไม่ควรเกิน 1 แนวรอยต่อตามขวาง (ประมาณ 22.5 ตร.ม.) ถัดมาจะเป็นงานกรีดผิวหน้าลายเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตโดยใช้ Texturing and Curing Machine ในการสร้างลายผิวหน้าและฉีดพ่นน้ำยาบ่มผิวทางคอนกรีต จากนั้นทีมงานคลุมผิวหน้าจะใช้รถบรรทุกติดตั้งเครนยกเต็นท์มาคลุมผิวทางคอนกรีตที่ปูเสร็จเพื่อช่วยป้องกันความร้อนและการระเหยของน้ำในเนื้อคอนกรีตซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวบนผิวหน้าคอนกรีต ภายหลังงานปูผิวทางเสร็จสิ้น 5 ชั่วโมง ทีมงานตัดรอยต่อจะเข้าตัดนำรอยต่อตามแนวขวางเพื่อบังคับรอยแตกด้วยเลื่อยตัดคอนกรีตก่อนกระบวนการตัดรอยต่อจริงและอุดรอยต่อในภายหลังก่อสร้างผิวทางคอนกรีตแล้วเสร็จทั้งพื้นที่



ภาพที่ 3-4 ทีมงานกลุ่มงานเตรียมพื้นที่กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver



ภาพที่ 3-5 ทีมงานกลุ่มงานปูผิวทางคอนกรีตกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

ภาพที่ 3-6 Slip-Form Paver เข้าตำแหน่ง และยกแผง Transverse Joint ออกมาด้านข้าง (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

ภาพที่ 3-7 การปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

ภาพที่ 3-8 งานแต่งผิวหน้าคอนกรีตด้วย Auto Float และทีมแต่งผิวหน้าเรียบ (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

ภาพที่ 3-9 สร้างลายผิวหน้าและฉีดพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตด้วย Texture and Curing Machine (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

ภาพที่ 3-10 งานคลุมผิวหน้าคอนกรีต (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

(2) กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form มีปริมาณพื้นที่ก่อสร้างในแต่ละพื้นที่เพียง 6 – 18 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในตารางที่ 3-2 เนื่องจากการก่อสร้างเป็นเพียงลักษณะการเข้าแบบหล่อและเทผิวทางคอนกรีตสำหรับผิวทางในบริเวณที่มีรูปร่างไม่เหมาะสมในการปูผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีต เช่น บริเวณที่ผิวทางรูปทรงโค้ง พื้นที่ผิวทางที่มีความกว้างหรือค่าระดับไม่สม่ำเสมอ และเป็นการก่อสร้างพื้นที่รอยต่อระหว่างผิวทางคอนกรีตกับผิวทางที่ก่อสร้างใหม่ หรือพื้นที่ก่อสร้างผิวทางที่เว้นไว้ระหว่างจุดสิ้นสุดและจุดเริ่มต้นในการปูผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีตในแต่ละครั้ง ตามตัวอย่างในภาพที่ 3-3 พื้นที่สีเขียวคือพื้นที่ที่ดำเนินการก่อสร้างด้วยกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ซึ่งส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ผิวทางมีรูปทรงโค้งและไม่สมมาตรไม่เหมาะที่จะก่อสร้างด้วยเครื่องปูคอนกรีต และมีบางส่วนอยู่ระหว่างจุดสิ้นสุดและจุดเริ่มต้นในการปูผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีต ดังนั้นพื้นที่ในการเทคอนกรีตผิวทางแต่ละครั้งจะมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ในการก่อสร้างด้วยกระบวนการนี้ผู้รับเหมางานก่อสร้างใช้ทีมงานก่อสร้างจำนวน 3 ทีม มีลักษณะการแบ่งพื้นที่ทำงานก่อสร้างและปริมาณงานที่

ก่อสร้างของแต่ละทีมดังแสดงในตารางที่ 3-2 จะเห็นได้ว่าทางผู้รับเหมางานก่อสร้างจะใช้ทีมงานก่อสร้างด้วยกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ทีมที่ 1 ดำเนินงานก่อสร้างเป็นหลัก

วิธีการก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ของแต่ละทีมงานสามารถแบ่งงานออกเป็น 2 งานหลัก ได้แก่

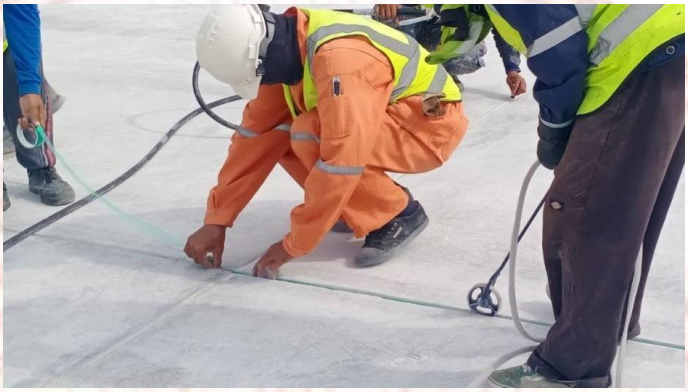
- งานเตรียมพื้นที่ เพื่อทำความสะอาดและจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับงานเทคอนกรีตผิวทาง ได้แก่ เหล็กเสริมรอยต่อตามแนวยาวและแนวขวาง, เหล็กเสริมในผิวทางคอนกรีตสำหรับตำแหน่งพื้นที่ที่ระบุในแบบก่อสร้าง และติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตให้แน่นหนาป้องกันไม่ให้แบบก่อสร้างแตกหรือขยับออกจากตำแหน่งระหว่างการเทคอนกรีต โดยงานเตรียมพื้นที่จะถูกเตรียมล่วงหน้าก่อนจะเริ่มงานเทคอนกรีตผิวทางในวันถัดไป

- งานเทคอนกรีตผิวทาง เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักคอนกรีตที่ใช้จึงมีค่ายุบตัวที่สูงกว่าคอนกรีตสำหรับเครื่องปูคอนกรีต รถโม่ขนส่งคอนกรีตจะรับคอนกรีตและขนส่งมายังพื้นที่ก่อสร้าง ทำการลำเลียงคอนกรีตลงสู่ตำแหน่งก่อสร้างพร้อมทำการจี้คอนกรีตขณะเทด้วยเครื่องจี้คอนกรีตเพื่อไม่ให้เกิดรูโพรงและเนื้อคอนกรีตแน่นสม่ำเสมอไม่แยกตัว แต่งผิวหน้าเบื้องต้นด้วยคานสั่นปาดหน้าคอนกรีต แล้วเก็บแต่งผิวหน้าอีกครั้งให้เรียบร้อยด้วยเกรียงขัดหน้าคอนกรีตด้ามยาว จากนั้นรอระยะเวลาให้ผิวหน้าคอนกรีตเกิดการเซ็ตตัวจึงสามารถทำการกรีดผิวหน้าลายคอนกรีตได้ โดยระยะเวลาในการรอให้ผิวหน้าคอนกรีตเซ็ตตัวนั้นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยยกตัวอย่างเช่น สภาพอากาศ ความร้อน ค่ายุบตัวของคอนกรีตขณะเท เป็นต้น เมื่อผิวหน้าคอนกรีตเซ็ตตัวแล้วจึงทำการกรีดผิวหน้าด้วยคราดกรีดหน้าลายคอนกรีตและฉีดพ่นน้ำยาบ่มแล้วทำการคลุมผิวหน้าเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในเนื้อคอนกรีตและตัดนำรอยต่อภายหลังการเทคอนกรีตประมาณ 5 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการปูคอนกรีตด้วยเครื่องปูคอนกรีต

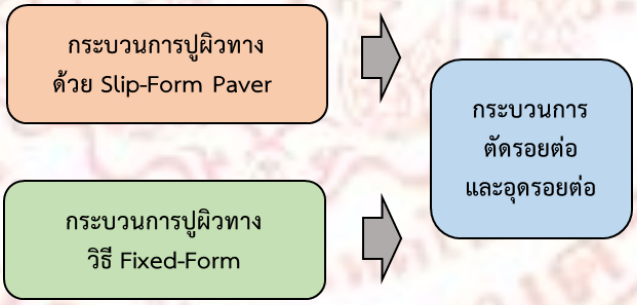
ภาพที่ 3-11 แต่งผิวหน้าด้วยคานสั่นปาดหน้าคอนกรีต

(3) เมื่อดำเนินการก่อสร้างกระบวนการผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละพื้นที่จนมีปริมาณผิวทางแล้วเสร็จทั้งพื้นที่ หรือสะสมจนได้ปริมาณตามแผนงานแล้ว ทางผู้รับเหมาจึงจะเริ่มกระบวนการกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อของผิวทาง

คอนกรีตดังภาพที่ 3-13 ดำเนินการก่อสร้างรอยต่อของผิวทางคอนกรีตตามรูปแบบของรอยต่อที่ออกแบบไว้ เริ่มจากการตัดขนาดรอยต่อจริงโดยใช้ขนาดใบเลื่อยตัดคอนกรีตตามความกว้างและความลึกที่ออกแบบ จากนั้นเป่าลม ฉีดล้างทำความสะอาดรอยตัดให้ปราศจากเศษฝุ่นแล้วจึงติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อตามแบบและมาตรฐาน เช่น Bond Breaking Tape, Backing Rod หรือ Joint Sealing Compound เป็นต้น



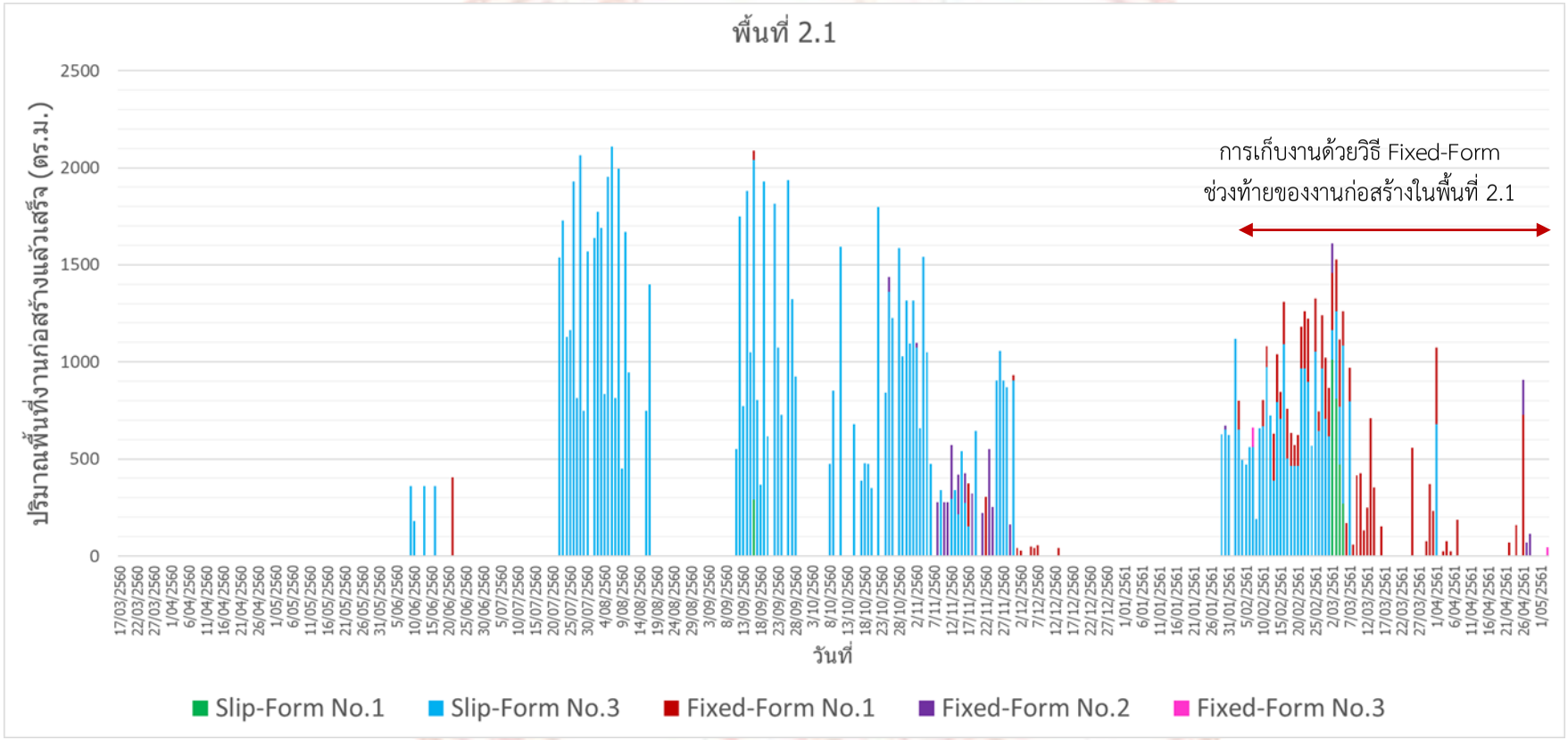
ภาพที่ 3-12 ติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อผิวทางคอนกรีต



ภาพที่ 3-13 กระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ
ภายหลังก่อสร้างผิวทางคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form สามารถพิจารณาได้จากตัวอย่างแผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 2.1 ซึ่งเป็นพื้นที่ก่อสร้างที่มีปริมาณงานก่อสร้างสูงสุด 123,383 ตร.ม. ที่ดำเนินงานตั้งแต่วันที่ 8/6/2560 จนถึงวันที่ 2/5/2561 ดังแสดงในภาพที่ 3-14 จะเห็นว่า

การดำเนินงานก่อสร้างในช่วงแรกของพื้นที่ 2.1 จะดำเนินการด้วยกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver เป็นหลักเพื่อเร่งก่อสร้างผิวทางในช่วงทางตรงที่สามารถก่อสร้างด้วยเครื่องปูคอนกรีตให้ได้มากที่สุด จะมีการดำเนินการด้วยกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form เล็กน้อยในช่วงการก่อสร้างแสดงถึงการเทคอนกรีตผิวทางด้วยมือเพื่อเก็บพื้นที่ที่เว้นไว้ระหว่างการก่อสร้างด้วยเครื่องปูคอนกรีต และจะดำเนินการด้วยกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form มากที่สุดในช่วงท้ายของการก่อสร้างผิวทางในพื้นที่นั้นๆ เพื่อเป็นการเทผิวทางคอนกรีตในส่วนทางแยกของผิวทางวิ่งที่มีลักษณะโค้งและมีการเสริมเหล็กเสริมผิวทางในบางตำแหน่ง



ภาพที่ 3-14 ช่วงการเก็บงานด้วยกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form พื้นที่ 2.1

3.2.1 ขั้นตอนการศึกษากระบวนการก่อสร้าง

เพื่อให้สามารถดำเนินการศึกษาได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงได้แบ่งหัวข้อการศึกษากระบวนการก่อสร้างโครงการกรณีศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและวิเคราะห์รายละเอียดวิธีการดำเนินการก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ของผู้รับเหมางานก่อสร้าง เพื่อทำความเข้าใจวิธีการดำเนินงานก่อสร้างจริงของผู้รับเหมา ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม วงรอบในการทำงานและการส่งผ่านทรัพยากรของกิจกรรมลักษณะงานซ้ำๆ ต่อเนื่องหลายหน่วย

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์การทำงานจริงรายวันจากบันทึกงานก่อสร้าง (Daily Report) เพื่อระบุขอบเขตของกิจกรรมก่อสร้างภายในกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 ที่จะจำลองกระบวนการ

ขั้นตอนที่ 3 ระบุระยะเวลาการทำกิจกรรมและความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) ชนิดและจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการทำกิจกรรม

ขั้นตอนที่ 4 สรุปผลการศึกษากระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 จากโครงการกรณีศึกษาให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับนำไปดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างต่อไป

3.3 การเก็บข้อมูล

3.3.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

การดำเนินการศึกษากระบวนการก่อสร้างตามหัวข้อที่ 3.2.1 ขั้นตอนที่ 1, 3 และการศึกษาผลลัพธ์การทำงานก่อสร้างจริงของผู้รับเหมางานก่อสร้างจำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลจากโครงการกรณีศึกษา โดยงานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษางานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินของโครงการกรณีศึกษาซึ่งได้ดำเนินงานก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว เป็นการศึกษาในมุมมองทางฝั่งผู้รับเหมางานก่อสร้าง ดังนั้นแหล่งที่มาของข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยจะสามารถแบ่งประเภทดังนี้

(1) บันทึกเอกสารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาก่อสร้าง เช่น ขั้นตอนการทำงานก่อสร้าง (Method Statement), รายงานการก่อสร้างประจำวัน (Daily Report) เป็นต้น ชนิดของข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลประเภทนี้ คือ

- แผนงานก่อสร้าง ได้จากเอกสารแผนการทำงาน
- ระยะเวลาก่อสร้างจริง ได้จากเอกสารรายงานการก่อสร้างประจำวัน
- ปริมาณงานแล้วเสร็จแต่ละพื้นที่ ได้จากเอกสารรายงานการก่อสร้างประจำวัน
- ขั้นตอนและกิจกรรมก่อสร้าง ได้จากเอกสารขั้นตอนการทำงานก่อสร้าง
- ระยะเวลาทำงานก่อสร้างรายวัน ได้จากเอกสารรายงานการก่อสร้างประจำวัน
- ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงรายวัน ได้จากเอกสารรายงานการก่อสร้างประจำวัน
- ชนิด จำนวนทรัพยากร ได้จากเอกสารขั้นตอนการทำงานก่อสร้าง
- ระยะเวลากิจกรรม เป็นลักษณะของการหาอัตราการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้งานก่อสร้างจากเอกสารขั้นตอนการทำงาน เพื่อแปลงเป็นระยะเวลากิจกรรม

รายงานประจำวัน

รายงานเลขที่ : 11-08-2560	วันที่ : 10-08-2560	☑ กะกลางวัน	☐ กะกลางคืน
	07.00-12.00, 13.00-18.00 น.	1	
ลักษณะของงาน : ผิวทางคอนกรีต (PQC)			
กำลังคน	วิศวกร 5 คน	หัวหน้างาน 5 คน	2
	ช่างสำรวจ 25 คน	QC 4 คน	
	คนขับเครื่องจักร 10 คน	คนงาน 161 คน	
เครื่องจักรและเครื่องมือ	รถบรรทุก 20 คัน	รถขุด 4 คัน	รถบรรทุกติดตั้งเครน 4 คัน
	เครื่องปั่นไฟ 2 เครื่อง	เครื่องตัด Joint 4 เครื่อง	Slip-Form Paver 2 คัน

รายการงานที่ทำ	ปริมาณงาน	
	หน่วย	ปริมาณ
งานปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver ทีมที่ 1		3
Sta. 0+608.00 ถึง 0+699.50 O/S 10-15 (RT)	ตร.ม.	457.5
Sta. 0+103.15 ถึง 0+179.65 O/S 10-15 (LT)	ตร.ม.	382.5
งานปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver ทีมที่ 2		
Sta. 0+911.00 ถึง 0+634.075 O/S 10-15 (LT)	ตร.ม.	115.38
Sta. 0+952.00 ถึง 1+030.50 O/S 10-15 (LT)	ตร.ม.	392.5
Sta. 1+035.50 ถึง 1+123.15 O/S 10-15 (LT)	ตร.ม.	438.25
งานเทคอนกรีตผิวทาง ทีมที่ 1		4
Sta. 0+585.50 ถึง 0+598.50 O/S 20-25 (RT)	ตร.ม.	65
Sta. 0+581.00 ถึง 0+585.50 O/S 25-30 (RT)	ตร.ม.	22.5
Sta. 0+567.50 ถึง 0+581.00 O/S 20-25 (RT)	ตร.ม.	22.5

ภาพที่ 3-15 ตัวอย่างบันทึกการก่อสร้างรายวันของผู้รับเหมาก่อสร้าง

ตัวอย่างบันทึกการทำงานก่อสร้างรายวัน (Daily Report) ดังแสดงในภาพที่ 3-15 มีการบันทึกข้อมูลแบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 วันที่บันทึกรายงานและระยะเวลางานก่อสร้าง ระบุการใช้ระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน 11 ชั่วโมง (7.00 น. – 18.00 น.)

ส่วนที่ 2 จำนวนคนงาน เครื่องจักรและเครื่องมือหลักที่ใช้

ส่วนที่ 3 การบันทึกปริมาณงานก่อสร้างผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver แล้วเสร็จรายวันส่วนของงานในกะกลางวัน นั้นคือเป็นการบันทึกปริมาณงานแล้วเสร็จเฉพาะส่วนของงานที่เกี่ยวข้องกับการปูผิวทางคอนกรีตด้วยเครื่องปูคอนกรีตตั้งแต่การเตรียมความพร้อมเครื่องมือเครื่องจักรจนถึงการคลุมผิวหน้าคอนกรีตเท่านั้น ซึ่งไม่รวมการเข้าตัดนำรอยต่อ ที่จะดำเนินการในกะกลางคืน ภายหลังงานปูผิวทางแล้วเสร็จเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง และการบันทึกงานก่อสร้างของผู้รับเหมาไม่มีการบันทึกช่วงงานเตรียมพื้นที่ช่วงการทำความสะอาดจนถึงการติดตั้ง String Line สำหรับงานปูผิวทางโดยใช้ Slip-Form Paver ของโครงการนี้จะใช้จำนวนทีมงานก่อสร้างจำนวน 2 ทีม (Slip-Form Paver จำนวน 2 เครื่อง) จะมีการบันทึกปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จของแต่ละทีมแยกกัน จากตารางที่ 3-2 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ในการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

รวมทั้ง 2 ทีมจะอยู่ที่ 503,767 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 3-3 ซึ่งแต่ละพื้นที่จะทำงานทั้ง 2 ทีม แต่จะมีทีมงานประจำเป็นหลักของแต่ละพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 และ 5.2 จะมีทีมงานที่ 1 รับผิดชอบหลัก ส่วนพื้นที่ 1.1, 2.1, 3.1 และ 4.1 จะมีทีมงานที่ 2 รับผิดชอบเป็นหลัก

ส่วนที่ 4 เป็นการบันทึกปริมาณงานก่อสร้างผิวทางคอนกรีตโดยวิธีการเทมือ (Fixed-Form) แล้วเสร็จรายวันส่วนของงานในกะกลางวัน นั้นคือเป็นการบันทึกปริมาณงานแล้วเสร็จเฉพาะส่วนของงานที่เกี่ยวข้องกับการเทคอนกรีตผิวทางการโหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีตจนถึงการคลุมผิวหน้าคอนกรีตที่เทแล้วเสร็จ ซึ่งไม่รวมการตัดนำรอยต่อที่จะดำเนินการในกะกลางคืนภายหลังงานเทคอนกรีตผิวทางแล้วเสร็จเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง และการบันทึกงานก่อสร้างของผู้รับเหมาไม่ได้บันทึกช่วงงานเตรียมพื้นที่ในช่วงการทำความสะอาดจนถึงติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตในวันก่อนหน้า จากตารางที่ 3-3 ปริมาณงานรวม 74,963 ตร.ม. โดยจะใช้ทีมงานเทมือทีมที่ 1 ดำเนินการก่อสร้างเป็นหลัก และมีการเพิ่มจำนวนทีมงานสูงสุดเป็น 3 ทีมดังแสดงในตารางที่ 3-2

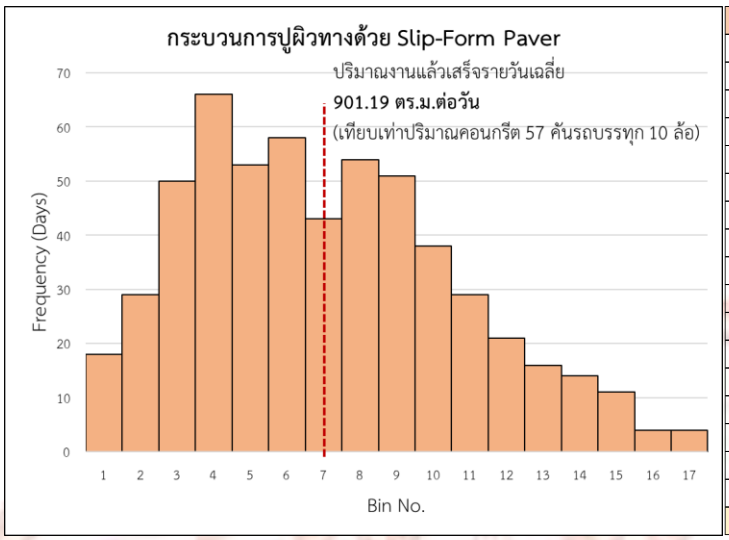
เมื่อรวบรวมปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของทั้ง 2 กระบวนการสะสมทั้งโครงการสามารถวิเคราะห์ผลิตภาพของแต่ละกระบวนการก่อสร้างเป็นปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันเฉลี่ยได้ดังแสดงในตารางที่ 3-3 กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver มีปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันเฉลี่ยที่ทำได้ 901 ตร.ม. ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันสูงสุด 2,198 ตร.ม. และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form มีปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันเฉลี่ยที่ 215 ตร.ม. ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันสูงสุด 970 ตร.ม. สามารถวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันเป็นแผนภาพโดยแบ่งแต่ละอันตรภาคชั้น (Class Interval) ให้มีขนาดความกว้างเท่าๆ กันเพื่อให้เห็นลักษณะเส้นโค้งการแจกแจงดังแสดงในภาพที่ 3-16 และภาพที่ 3-17 จะเห็นว่าปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จในแต่ละวันจากการดำเนินงานก่อสร้างจริงของผู้รับเหมาไม่คงที่ สามารถวิเคราะห์สาเหตุของความไม่แน่นอนแยกเป็น 2 หัวข้อได้ดังนี้

หัวข้อที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวางแผนกำหนดปริมาณพื้นที่ก่อสร้างแต่ละวัน เช่น ตำแหน่ง ขนาดพื้นที่ ช่วงความยาวที่ต้องก่อสร้างถูกกำหนดโดยแบบก่อสร้าง พื้นที่ที่ได้รับการส่งมอบจากงานก่อสร้างชั้นทางหรืองานอื่นๆ ใต้ผิวทางดำเนินงานแล้วเสร็จจึงสามารถปูผิวทางได้ ขนาดพื้นที่ที่เหลืออยู่จากการปูผิวทางครั้งก่อนหน้า ความพร้อมของเครื่องมือ เครื่องจักร และทีมงาน เป็นต้น

หัวข้อที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณพื้นที่งานปูผิวทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จแต่ละวัน เช่น สภาพอากาศ ค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump) ที่ผลิตได้ในวันที่ดำเนินงาน การเกิดอุบัติเหตุ หรือเครื่องจักรเสีย ความพร้อมและความเหนื่อยล้าของคนงาน การเร่งงาน เป็นต้น

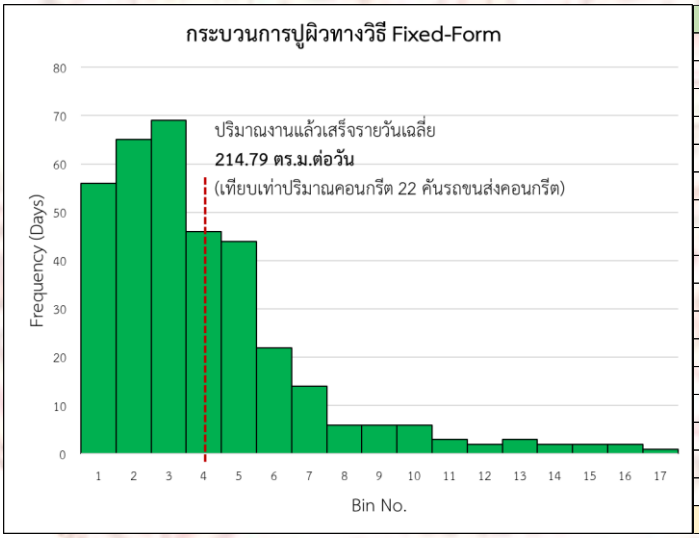
ตารางที่ 3-3 ผลิตภาพของงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

รายการ	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver			กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form			
	ทีมที่ 1	ทีมที่ 2	รวม	ทีมที่ 1	ทีมที่ 2	ทีมที่ 3	รวม
(1) ปริมาณงานแล้วเสร็จรวม (ตร.ม.)	264,346.38	239,420.63	503,767.01	61,312.05	11,275.23	2,376.06	74,963.34
(2) ปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันสูงสุด (ตร.ม.)	1,948.25	2,197.50	**2,197.50**	970.00	549.70	636.25	**970.00**
(3) ปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันต่ำสุด (ตร.ม.)	90.00	120.75	90.00	22.50	22.50	45.00	22.50
(4) จำนวนวันทำงานจริง (วัน)	303	256	559	274	63	12	349
(5) ปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันเฉลี่ย (ตร.ม.ต่อวัน) = (1)/(4)	872.43	935.24	**901.19**	223.77	178.97	198.01	**214.79**



Bin No.	Class Interval	Frequency (Days)
1	90 - 213.98	18
2	213.98 - 337.95	29
3	337.95 - 461.92	50
4	461.92 - 585.89	66
5	585.89 - 709.86	53
6	709.86 - 833.83	58
7	833.83 - 957.8	43
8	957.8 - 1081.77	54
9	1081.77 - 1205.74	51
10	1205.74 - 1329.71	38
11	1329.71 - 1453.68	29
12	1453.68 - 1577.65	21
13	1577.65 - 1701.62	16
14	1701.62 - 1825.59	14
15	1825.59 - 1949.56	11
16	1949.56 - 2073.53	4
17	2073.53 - 2197.5	4
	Total	559

ภาพที่ 3-16 แผนภาพการแจกแจงของปริมาณงานกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver



Bin No.	Class Interval	Frequency (Days)
1	22.5 - 78.24	56
2	78.24 - 133.98	65
3	133.98 - 189.71	69
4	189.71 - 245.45	46
5	245.45 - 301.18	44
6	301.18 - 356.92	22
7	356.92 - 412.65	14
8	412.65 - 468.39	6
9	468.39 - 524.12	6
10	524.12 - 579.86	6
11	579.86 - 635.59	3
12	635.59 - 691.33	2
13	691.33 - 747.06	3
14	747.06 - 802.8	2
15	802.8 - 858.53	2
16	858.53 - 914.27	2
17	914.27 - 970	1
	Total	349

ภาพที่ 3-17 แผนภาพการแจกแจงของปริมาณงานกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

(2) การสัมภาษณ์จากวิศวกรของผู้รับเหมางานก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบิน ชนิดของข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลประเภทนี้ คือ

- ขั้นตอนและกิจกรรมก่อสร้าง เป็นการสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการ (Informal Interview) ลักษณะการพูดคุยสอบถามวิธีการก่อสร้างที่วิศวกรเคยใช้ในการดำเนินการก่อสร้างโครงการกรณีศึกษาในอดีตโดยเนื้อหาในการสัมภาษณ์จะเจาะจงไปที่รายละเอียดในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง เพื่อผนวกเข้ากับข้อมูลจากเอกสารขั้นตอนการทำงานก่อสร้าง

- ระยะเวลากิจกรรม เป็นการสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการเพื่อสอบถามรายละเอียดระยะเวลากิจกรรมที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างเนื่องจากเป็นการศึกษาโครงการที่เสร็จสิ้นไปแล้วไม่สามารถเข้าศึกษาระยะเวลาการทำกิจกรรมจริงได้ โดยเฉพาะกิจกรรมที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักไม่สามารถระบุอัตราการทำงานได้ การสัมภาษณ์จะกำหนดรูปแบบการตอบคำถามเป็น 3 ลักษณะ เพื่อให้สอดคล้องกับการระบุการแจกแจงแบบ PERT ได้แก่ เวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด, เวลาทำงานแล้วเสร็จช้าที่สุด และเวลาการทำงานโดยปกติ

(3) การสืบค้นเอกสารบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมหากไม่สามารถประเมินจากบันทึกการทำงานหรือคำสัมภาษณ์ได้ ชนิดของข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลประเภทนี้ คือ

- ระยะเวลากิจกรรม เนื่องจากเป็นการศึกษาโครงการที่เสร็จสิ้นไปแล้วไม่สามารถเข้าศึกษาระยะเวลาการทำกิจกรรมจริงได้ และบางกิจกรรมไม่สามารถใช้ข้อมูลระยะเวลากิจกรรมจากอัตราการทำงานของเครื่องจักร หรือข้อมูลจากการสัมภาษณ์ได้

รายละเอียดแหล่งที่มาของข้อมูลแต่ละชนิดในงานวิจัยสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 แหล่งที่มาของข้อมูลแต่ละชนิด

หัวข้อ	ชนิดข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล		
		1) บันทึกเอกสาร	2) การสัมภาษณ์	3) สืบค้นเพิ่มเติม
3.2	ข้อมูลทั่วไปและแผนการก่อสร้างของโครงการ			
	แผนงานก่อสร้าง	✓		
	ระยะเวลาก่อสร้างจริง	✓		
	ปริมาณงานแล้วเสร็จแต่ละพื้นที่	✓		
3.2.1	การศึกษากระบวนการก่อสร้าง			
ขั้นตอนที่ 1	รายละเอียดวิธีดำเนินการก่อสร้าง			
	ขั้นตอนและกิจกรรมก่อสร้าง	✓	✓	
ขั้นตอนที่ 2	ผลลัพธ์การดำเนินการก่อสร้างจริง			
	ระยะเวลาทำงานก่อสร้างรายวัน	✓		
	ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงรายวัน	✓		
ขั้นตอนที่ 3	ระยะเวลากิจกรรมและทรัพยากร			
	ชนิด และจำนวนทรัพยากร	✓		
	ระยะเวลากิจกรรม	✓	✓	✓

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากโครงการกรณีศึกษานั้นจะดำเนินการตามหัวข้อที่ 3.2.1 ใน 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 2 และ 4

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์เพื่อระบุขอบเขตกิจกรรมงานก่อสร้างของแต่ละกระบวนการที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ 1 และเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การดำเนินงานก่อสร้างจริงที่ผู้รับเหมางานก่อสร้างที่สามารถรวบรวมได้จากบันทึกการทำงานก่อสร้างรายวัน (Daily Report) หลักการวิเคราะห์คือการดูว่าในขอบเขตระยะเวลาการทำงานก่อสร้างที่ถูกบันทึกไว้ในแต่ละวัน ผู้รับเหมางานก่อสร้างดำเนินกิจกรรมก่อสร้างอะไรบ้าง

การกำหนดขอบเขตกิจกรรมมีจุดประสงค์เพื่อกำหนดกรอบของกระบวนการก่อสร้างที่สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองการทำงานลักษณะซ้ำๆ และสามารถทำนายผลลัพธ์การทำงานจริงได้ โดยที่กิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการก่อสร้างนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อดังนี้

1. กิจกรรมนั้นๆ ในกระบวนการต้องสามารถระบุวิธีการทำงาน ระยะเวลาการทำงานแต่ละวงรอบงานซ้ำ และทรัพยากรที่ใช้ได้ชัดเจน

2. ทุกกิจกรรมจะต้องสามารถระบุการส่งผ่านงานในแต่ละวงรอบงานซ้ำๆ ในปริมาณหน่วยงานเดียวกันได้

3. กิจกรรมนั้นจะต้องมีผลลัพธ์ของการทำงานจริงเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนที่จะสรุปผลลัพธ์จากการศึกษากระบวนการก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษาทั้งหมดให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสามารถนำไปสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองต่อไปได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกับการดำเนินการจริงมากที่สุด

ข้อมูลจากกระบวนการก่อสร้างจริงสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองเลียนแบบการดำเนินการก่อสร้างจริงของผู้รับเหมางานก่อสร้างที่ได้จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลตามวิธีการในขั้นตอนที่ 1 และ 3 โดยจะทำการสรุปให้อยู่ในรูปของตารางสรุปข้อมูลจากการศึกษากระบวนการก่อสร้างดังแสดงในภาพที่ 3-18 เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานในการสร้างแบบจำลองและเป็นการควบคุมข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลองกระบวนการของแบบจำลองวิธีต่างๆ ให้ตรงกับการก่อสร้างจริง ตารางสรุปข้อมูลจากการศึกษากระบวนการประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 หน่วยวัดปริมาณงาน (U) หมายถึงการกำหนดหน่วยปริมาณงานก่อสร้างที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการนับปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วยร่วมกันของทุกกิจกรรมในกระบวนการ ได้จากการดำเนินการในขั้นตอนที่ 1

ส่วนที่ 2 ระยะเวลาการก่อสร้าง (T) หมายถึงระยะเวลาการดำเนินงานก่อสร้างของผู้รับเหมาก่อสร้างในแต่ละวัน เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตระยะเวลาในการจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อให้ได้ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จ 1 ครั้ง เลียนแบบการดำเนินการก่อสร้างจริง 1 วัน ซึ่งปกติแล้วจะถูกกำหนดโดยกฎหมายแรงงานและเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการบริหารงานก่อสร้าง เช่น การให้ทำงานล่วงเวลา ระยะเวลาทำงานตามสัญญา เป็นต้น โดยปกติผู้รับเหมางานก่อสร้างจะบันทึกระยะเวลาทำงานในแต่ละวันลงในรายงานการก่อสร้างประจำวัน (Daily Report) สำหรับใน

งานวิจัยนี้จะอ้างอิงจากระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 11 ชั่วโมง (7.00 น. – 18.00 น.) หรือ 660 นาที

ส่วนที่ 3 การระบุกิจกรรมก่อสร้างต่างๆ ในกระบวนการ รวมถึงการระบุความสัมพันธ์ของกิจกรรมก่อนหน้า (Predecessor) ที่ได้จากการดำเนินการในขั้นตอนที่ 1 โดยตัวอย่างในภาพที่ 3-18 แสดงการระบุกิจกรรมที่ 1 ถึงกิจกรรม i

ส่วนที่ 4 ระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) และระยะเวลาความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) โดยในงานวิจัยนี้กำหนดการศึกษาระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างเป็นรูปแบบการแจกแจงแบบ PERT ที่ระบุระยะเวลาทำกิจกรรม 3 ลักษณะ ได้แก่ เวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) เวลาทำงานแล้วเสร็จช้าที่สุด (Pessimistic, b) และเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้ที่สุด (Most Likely, m) ได้จากการดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 โดยตัวอย่างในภาพที่ 3-18 กิจกรรมที่ 1 มีระยะเวลากิจกรรมคือ a1, m1 และ b1 เนื่องจากโปรแกรม EZstrobe จะสามารถกำหนดระยะเวลากิจกรรมได้ถึงความละเอียดที่ทศนิยม 1 ตำแหน่งเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดระยะเวลากิจกรรมสำหรับทุกแบบจำลองที่ความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่งเช่นเดียวกัน

ส่วนที่ 5 การระบุชนิดและจำนวนของทรัพยากร (R) แต่ละชนิดที่ถูกใช้งานในแต่ละกิจกรรมที่ได้จากการดำเนินการในขั้นตอนที่ 5 ซึ่งใน 1 กิจกรรมอาจต้องการใช้ทรัพยากรเพื่อดำเนินกิจกรรมมากกว่า 1 ชนิด และทรัพยากรบางชนิดอาจถูกใช้งานในหลายๆ กิจกรรม ยกตัวอย่างในภาพที่ 3-18 กิจกรรมที่ 1 มีการใช้ทรัพยากรได้แก่ R_{11}, R_{12} และ R_{1j} โดยใช้ทรัพยากรจำนวน n_{11}, n_{12} และ n_{1j} ตามลำดับ

หน่วยวัดปริมาณงาน (U)			คอนกรีต 1 คันรถ = 8 ลบ.ม. = พื้นที่การปู 16 ตร.ม. (ความหนา 0.50 ม.)							ส่วนที่ 1
ระยะเวลาทำงานก่อสร้าง (T)			11 ชั่วโมงต่อวัน (660 นาที)							ส่วนที่ 2
ลำดับ	กิจกรรม (Activity)	กิจกรรมก่อนหน้า (Predecessor)	ระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			ความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) นาที			ทรัพยากร (R)	
			a	m	b	a	m	b	ชนิด	จำนวน
1	กิจกรรมที่ 1	-	a_1	m_1	b_1	a_1	m_1	b_1	R_{11} R_{12} R_{1j}	n_{11} n_{12} n_{1j}
2	กิจกรรมที่ 2	กิจกรรมที่ 1	a_2	m_2	b_2	a_2	m_2	b_2	R_{21} R_{22} R_{2j}	n_{21} n_{22} n_{2j}
i	กิจกรรมที่ i	กิจกรรมที่ 2	a_i	m_i	b_i	a_i	m_i	b_i	R_{i1} R_{i2} R_{ij}	n_{i1} n_{i2} n_{ij}
			ส่วนที่ 3			ส่วนที่ 4			ส่วนที่ 5	

ภาพที่ 3-18 ตัวอย่างการสรุปข้อมูลจากการศึกษากระบวนการก่อสร้างสำหรับแบบจำลอง

3.4 การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง

การจำลองกระบวนการก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำในงานวิจัยนี้จะจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่มีลักษณะเป็นงานก่อสร้างซ้ำๆ หลายหน่วยจากข้อมูลที่ได้ศึกษาในโครงการกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างจำนวน 2 วิธี ได้แก่ การวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (Repetitive Scheduling Method, RSM) และ โปรแกรมจำลองวิธีวงจรของกิจกรรม (Activity Cycle Diagram, ACD)

ก่อนดำเนินการสร้างแบบจำลองของแต่ละวิธีการจำลองจะต้องสรุปขอบเขตของงานก่อสร้างที่จะดำเนินการจำลองกระบวนการและสรุปข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างแบบจำลองตามวิธีการจากหัวข้อ 3.2.1 ขั้นตอนที่ 4 ดังภาพที่ 3-18 ข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นสำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วยแบบจำลองวิธีต่างๆ ได้แก่

- กำหนดการวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U) ได้จากการวิเคราะห์การส่งผ่านปริมาณงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้างเพื่อหาวิธีการนับปริมาณงานก่อสร้าง 1 หน่วยที่เหมาะสม สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การนับปริมาณคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างผิวทาง 1 คันรถ
- ปริมาณหน่วยงานซ้ำสำหรับการจำลอง 1 รอบ ได้จากการแปลงปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันให้อยู่ในหน่วยเดียวกับการวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย
- กำหนดระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 รอบ (T) อ้างอิงจากเวลาที่ใช้ในการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน
- ระบุจำนวนกิจกรรม (i)
- ระบุชนิดและจำนวนทรัพยากร (R) ที่ต้องใช้ในการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ
- ระบุข้อมูลของแต่ละกิจกรรม (i) ได้แก่
  - ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในกระบวนการ การส่งผ่านทรัพยากรระหว่างกิจกรรม
  - ระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) และระยะเวลาความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) ของแต่ละกิจกรรม

เมื่อสามารถสรุปข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างสำหรับงานวิจัยนี้ตามรายการข้างต้นแล้ว จะดำเนินการสร้างแบบจำลองต้นแบบทั้ง 2 แบบจากปริมาณผลการดำเนินการจริงในแต่ละวันงาน เพื่อหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จจากการจำลองเปรียบเทียบความถูกต้องกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 11 ชั่วโมง (660 นาที) โดยแบ่งแบบจำลองของแต่ละวิธีออกเป็น 2 กรณีตามข้อมูลปริมาณงานแล้วเสร็จรายวันที่ผู้รับเหมางานก่อสร้างทำได้ในภาพที่ 3-16 และภาพที่ 3-17 ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> กรณีเฉลี่ย (Average Case) จำลองลักษณะการดำเนินการก่อสร้างโดยเฉลี่ยของทีมงานก่อสร้าง เป็นการจำลองต้นแบบโดยจะทำการจำลองสถานการณ์ที่แบบจำลองให้ผลปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จเฉลี่ย โดย

- กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver จำลองที่ปริมาณปูผิวทางแล้วเสร็จรายวันเฉลี่ยที่ 901 ตร.ม. หรือ 57 หน่วย ได้จากขนาดรถบรรทุก 10 ล้อของโครงการกรณีศึกษาใช้ที่

มีขนาดบรรทุก 8 ลบ.ม. ต่อคัน สามารถแปลงปริมาณงานเป็นตารางเมตรงานปูผิวทางที่ความหนา 0.50 เมตร ได้เท่ากับ 16 ตร.ม.

- กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form จำลองที่ปริมาณเทผิวทางแล้วเสร็จรายวันเฉลี่ยที่ 215 ตร.ม. หรือ 22 หน่วย ได้จากขนาดรถขนส่งคอนกรีตของโครงการกรณีศึกษาใช้ที่มีขนาดบรรทุก 5 ลบ.ม. ต่อคัน สามารถแปลงปริมาณงานเป็นตารางเมตรงานเทคอนกรีตผิวทางที่ความหนา 0.50 เมตร ได้เท่ากับ 10 ตร.ม.

การจำลองระยะเวลากิจกรรมลักษณะโดยเฉลี่ยจะใช้ระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยจำนวน 3 ค่า ในลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้แก่ เวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) เวลาทำงานแล้วเสร็จช้าที่สุด (Pessimistic, b) และเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้ที่สุด (Most Likely, m)

<u>กรณีที่ 2</u> กรณีดีที่สุด (Best Case) จะทำการปรับแบบจำลองต้นแบบในกรณีที่ 1 เพื่อจำลองในสถานการณ์ที่ผู้รับเหมาสามารถดำเนินการก่อสร้างได้สมบูรณ์แบบที่สุด โดย

- กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver จำลองที่ปริมาณปูผิวทางแล้วเสร็จรายวันสูงสุดใน 1 วัน ที่ 2,198 ตร.ม. หรือ 138 หน่วย

- กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form จำลองที่ปริมาณเทผิวทางแล้วเสร็จรายวันสูงสุดใน 1 วัน ที่ 970 ตร.ม. หรือ 97 หน่วย

โดยใช้ระยะเวลากิจกรรมที่แล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) ในการจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินหาปริมาณงานปูผิวทางที่สามารถทำได้ในเวลา 1 วันงาน

การดำเนินการสร้างแบบจำลองทั้ง 2 วิธี จะเริ่มทำการสร้างต้นแบบจำลองและจำลองกรณีเฉลี่ยเพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองก่อน จากนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนค่าระยะเวลากิจกรรมเพื่อดำเนินการจำลองที่กรณีดีที่สุดต่อไป

ดังแสดงในภาพที่ 3-19 เป็นลักษณะ วิธีการจำลอง : กระบวนการก่อสร้าง : ลักษณะการทำงาน คือ 2 : 2 : 2 ดังนั้นการจำลองเบื้องต้นสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในงานวิจัยนี้มีจำนวน 8 การจำลองได้แก่

(1) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A)
(2) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B)
(3) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A)
(4) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B)
(5) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A)
(6) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-B)
(7) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) และ
(8) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

ภาพที่ 3-19 การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะวิธีการจำลอง : กระบวนการก่อสร้าง : ลักษณะการทำงาน

3.4.1 การจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (Repetitive Scheduling Method, RSM)

การจำลองกระบวนการก่อสร้างจริงด้วยวิธีนี้ จะเป็นการสร้างเส้นกราฟจำลองความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยปริมาณงานกับเวลาหรือกราฟแสดงผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมด้วยวิธี Repetitive Scheduling Method (RSM) ตามลักษณะความสัมพันธ์ที่สามารถระบุได้จากการศึกษากระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form จริง ในส่วนแรกจะเป็นการสร้างแบบจำลองโดยกำหนดให้ทำการจำลองที่จำนวนหน่วยปริมาณงานก่อสร้างในแต่ละกรณีร่วมกับการกำหนดระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างตามลักษณะความไม่แน่นอนที่มีการแจกแจงแบบ PERT เพื่อจำลองหาระยะเวลาทำงานแล้วเสร็จในการทำงาน 1 วันจากเส้นกราฟผลิตภาพเปรียบเทียบความถูกต้องกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้าง 660 นาที

ข้อดีของการใช้วิธี RSM คือเหมาะสมสำหรับการใช้วางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะการทำกิจกรรมซ้ำๆ หลายหน่วย สามารถเห็นความสัมพันธ์ของการใช้ทรัพยากรระหว่างกิจกรรมได้ง่ายจึงทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้างในระหว่างการสร้างแบบจำลองได้ทันที และในการปรับปรุงความชันของเส้นกราฟจากการเปลี่ยนการจำลองจากกรณีเฉลี่ยเป็นกรณีดีที่สุด ที่แต่ละกิจกรรมจะเปลี่ยนจากการใช้ระยะเวลาคาดหวังเป็นระยะเวลาเร็วที่สุดนั้น การกำหนดจุดควบคุม (Control Point) ตามหลักการของ RSM มีประโยชน์อย่างมากในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมให้คงที่

แบบจำลองดังกล่าวจะดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เนื่องจากเป็นเครื่องมือคำนวณทั่วไปที่ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพในการคำนวณแบบตาราง มีขั้นตอนดังนี้

(1) ระบุระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยสำหรับการจำลองลักษณะการดำเนินการก่อสร้างกรณีเฉลี่ยให้คำนวณหาค่าระยะเวลาคาดหวัง (Te) โดยใช้สมการที่ 3-1 และสำหรับการจำลองกรณีดีที่สุดให้ใช้เฉพาะระยะเวลากิจกรรมที่แล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a)

$$Te \quad \frac{a + 4m + b}{6} \qquad (3\text{-}1)$$

(2) จากนั้นนำระยะเวลากิจกรรมของแต่ละหน่วยกิจกรรมมาสร้างเป็นเส้นกราฟผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้าง 1 หน่วย จากการกำหนดจุดควบคุม (Control Point) ในเบื้องต้นโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพแต่ละกิจกรรมที่มีลักษณะ Finish to Start (FTS) แสดงถึงการส่งผ่านปริมาณงานก่อสร้างแต่ละหน่วยไปยังกิจกรรมต่างๆ ลำดับการส่งผ่านตามตรรกะที่ระบุในแผนภาพ Arrow Network Diagram เพื่อวิเคราะห์ว่ากิจกรรมใดที่ทำให้กระบวนการก่อสร้างขาดสมดุล เช่น เป็นกิจกรรมก่อนหน้าที่มีผลิตภาพต่ำกว่ากิจกรรมตามหลัง หรือเป็นกิจกรรมตามหลังที่มีผลิตภาพสูงกว่ากิจกรรมก่อนหน้า เป็นต้น

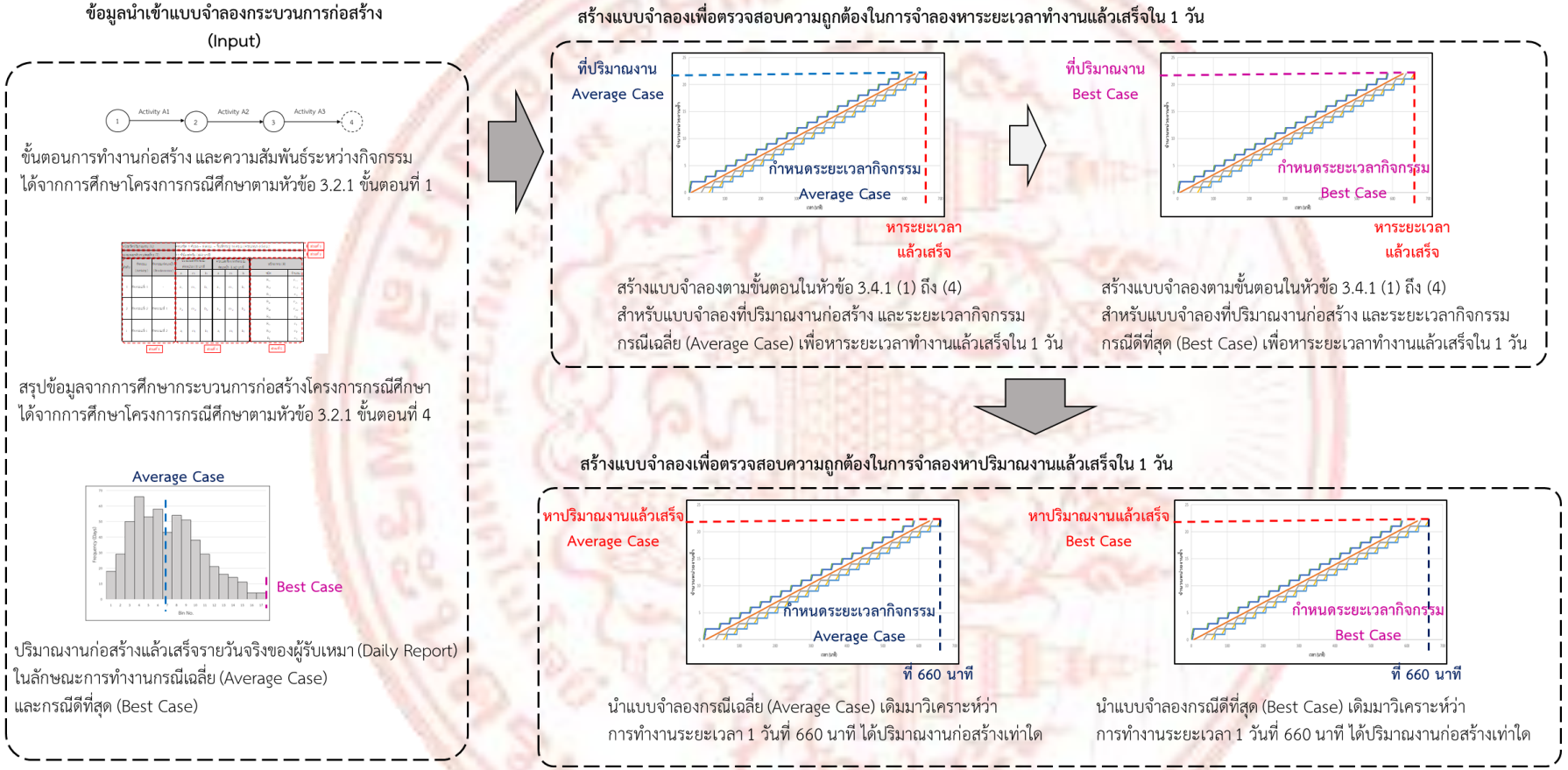
(3) สร้างความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้างต่างๆ จากที่ได้ศึกษาในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งแตกต่างกันตามวิธีการก่อสร้างของกระบวนการนั้นๆ โดยเริ่มจากกิจกรรมที่ใกล้ชิดกับกิจกรรมที่มี

ผลิตภาพต่ำที่สุดก่อน ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมยกตัวอย่างเช่น วงรอบการเดินรถบรรทุก การกำหนดเงื่อนไขปริมาณงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรม เป็นต้น

(4) ดำเนินการสร้างแบบจำลองไปทีละหน่วยงานซ้ำตามความสัมพันธ์ดังกล่าวที่ระบุได้ในแต่ละกระบวนการจนครบปริมาณหน่วยงานก่อสร้างที่กำหนดในแต่ละการจำลอง ได้ระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จจากการจำลองที่ระยะเวลาสิ้นสุดกิจกรรมสุดท้ายในหน่วยงานซ้ำสุดท้าย

เมื่อดำเนินการสร้างแบบจำลองวิธี RSM ในลักษณะการทำงานกรณีเฉลี่ย และกรณีดีที่สุดตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (4) ข้างต้นแล้วเสร็จ จะทำการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยนำผลลัพธ์ระยะเวลาแล้วเสร็จจากการจำลองแต่ละแบบมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างของผู้รับเหมาใน 1 วัน ที่ 660 นาที

จากนั้นนำแบบจำลองวิธี RSM เดิมมาทำการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยมีแนวคิดเป็นการวิเคราะห์ว่าระยะเวลาในการจำลอง ณ เวลา 660 นาทีนั้นแบบจำลองได้ทำการจำลองได้ปริมาณหน่วยงานซ้ำสะสมของกิจกรรมสุดท้ายในกระบวนการก่อสร้างมีจำนวนหน่วยงานซ้ำสะสมเท่าใด แล้วนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับจำนวนหน่วยงานซ้ำของลักษณะการทำงานจริงในแต่ละกรณี โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณงานแล้วเสร็จนี้จะอยู่ในรูปค่าจำนวนเต็มตามจำนวนหน่วยงานซ้ำ เนื่องจากลักษณะของกระบวนการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ที่มีการนับปริมาณงาน 1 หน่วย คือ จำนวนรถบรรทุก 10 ล้อ และรถขนส่งคอนกรีตแต่ละคันมีลักษณะเป็นเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event) สามารถสรุปลำดับการสร้างแบบจำลองที่ใช้วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-20 ลำดับการสร้างแบบจำลองวิธี RSM สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

3.4.2 โปรแกรมจำลองวิธีวงจรของกิจกรรม (Activity Cycle Diagram, ACD)

โปรแกรมจำลองวิธี Activity Cycle Diagram (ACD) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษาและใช้งานโปรแกรม EZStrobe ที่ได้รับการพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Stroboscope เป็นเครื่องมือดำเนินการจำลองกระบวนการ โดยผู้ใช้จะสามารถใช้งานแบบจำลองเพื่อสร้างเครือข่าย ACD และแสดงผลเป็นกราฟฟิกผ่านโปรแกรม Microsoft Visio โดยใช้องค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างเครือข่ายแบบจำลองทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Queue, Combi, Normal, Fork และ Link แบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ข้อได้เปรียบหลักของโปรแกรม EZStrobe ที่ทำให้ผู้วิจัยเลือกนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างในงานวิจัยนี้คือการสร้างแบบจำลองเป็นแผนภาพ ACD ที่สามารถมองเห็นและเข้าใจพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้างได้ง่าย และสามารถกำหนดค่าความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมเป็นลักษณะการแจกแจงต่างๆ ได้หลากหลายแบบผ่านการกำหนดที่โหนดกิจกรรม Combi และ Normal ได้โดยตรง ซึ่งเหมาะกับการจำลองความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมที่กำหนดให้มีการแจกแจงแบบ PERT ในงานวิจัยนี้โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณเป็นระยะเวลาคาดหวัง

ในส่วนแรกเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยมีขั้นตอนการสร้างและใช้งานโปรแกรมจำลองวิธี ACD ดังนี้

(1) วิเคราะห์และร่างวงรอบการใช้ทรัพยากรชนิดต่างๆ ในรูปแผนผัง ACD ตามความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรม (i) โดยใช้องค์ประกอบต่างๆ ของโปรแกรม EZStrobe ให้ตรงตามพฤติกรรมของแต่ละกิจกรรม

(2) นำข้อมูลจำนวนทรัพยากร (R) แต่ละชนิดจากการวิเคราะห์และรวบรวมได้ มาใส่ยังตำแหน่ง Queue จุดเก็บทรัพยากรแต่ละชนิดในช่วงเริ่มต้นกระบวนการ

(3) นำข้อมูลระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) และระยะเวลาความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) ของแต่ละกิจกรรมมาใส่ยังกิจกรรมต่างๆ โดยการจำลองลักษณะการดำเนินงานก่อสร้าง กรณีเฉลี่ยจะใส่ค่าระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยจำนวน 3 ค่า ในลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้แก่ เวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) เวลาทำงานแล้วเสร็จช้าที่สุด (Pessimistic, b) และเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้ที่สุด (Most Likely, m) ลงไปยังแต่ละโหนดกิจกรรม ส่วนกรณีดีที่สุดจะใส่ค่าระยะเวลาเฉพาะเวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a)

(4) นำแผนผัง ACD ย่อยของทรัพยากรแต่ละชนิดมาเขียนรวมกันในโปรแกรม EZStrobe และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมให้เป็นไปตามลักษณะการก่อสร้างจริง ลำดับความสัมพันธ์ตามตรรกะที่ระบุในแผนภาพ Arrow Network Diagram และตามเงื่อนไขจากการศึกษาในขั้นตอนที่ 1 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมยกตัวอย่างเช่น วงรอบการเดินรถบรรทุก การกำหนดเงื่อนไขปริมาณงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรม เป็นต้น

(5) กำหนดปริมาณหน่วยงานซ้ำทั้งหมดในการจำลอง 1 รอบสำหรับแต่ละแบบจำลอง จากนั้นทำการจำลองในเบื้องต้นเพื่อตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง เช่น ลำดับของการทำกิจกรรม ความสัมพันธ์ในการใช้ทรัพยากร เป็นต้น สำหรับโปรแกรม EZStrobe ดูลำดับขั้นตอนของกิจกรรม

การไหลของทรัพยากรขณะทำการ Simulation โดยพิจารณาที่ Trace Output for Debugging และเลือกให้โปรแกรมแสดง Animation ขณะทำการจำลองโดยกำหนดใน Model Option

(6) เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว เริ่มดำเนินการจำลองกระบวนการก่อสร้างโดยดำเนินการจำลองและบันทึกผลระยะเวลาการจำลองซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลผลการจำลองได้จากหน้าต่างโปรแกรม Stroboscope ที่เปิดขึ้นภายหลังการสิ้นสุดการจำลองในแต่ละรอบ

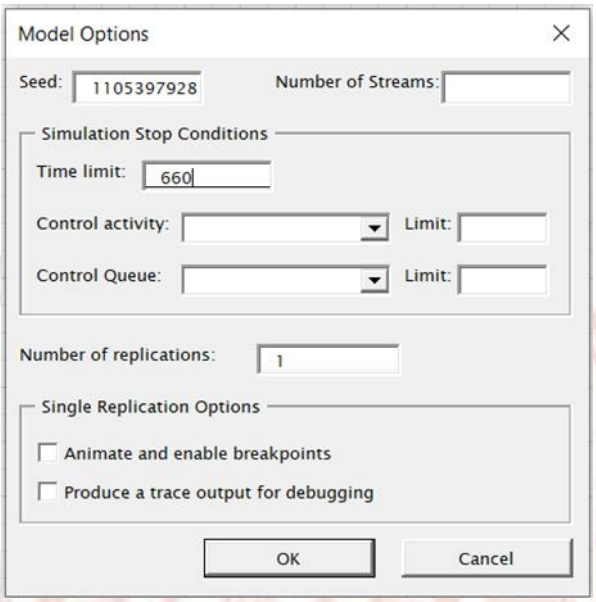
สำหรับการจำลองลักษณะการดำเนินการก่อสร้างกรณเฉลี่ย (Average Case) ที่ใช้ระยะเวลากิจกรรมที่มีการแจกแจงแบบ PERT จะทำการจำลองเป็นจำนวน 100 รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย (μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของระยะเวลาการจำลองที่ไม่มีความไม่แน่นอนโดยใช้สมการที่ 3-2 และสมการที่ 3-3 ตามลำดับ ส่วนการจำลองในกรณีดีที่สุด (Best Case) ไม่มีการแจกแจงของระยะเวลากิจกรรมสามารถได้ผลลัพธ์ระยะเวลาการจำลองจากการจำลองเพียง 1 รอบ

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{N} \qquad (3\text{-}2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}{N}} \qquad (3\text{-}3)$$

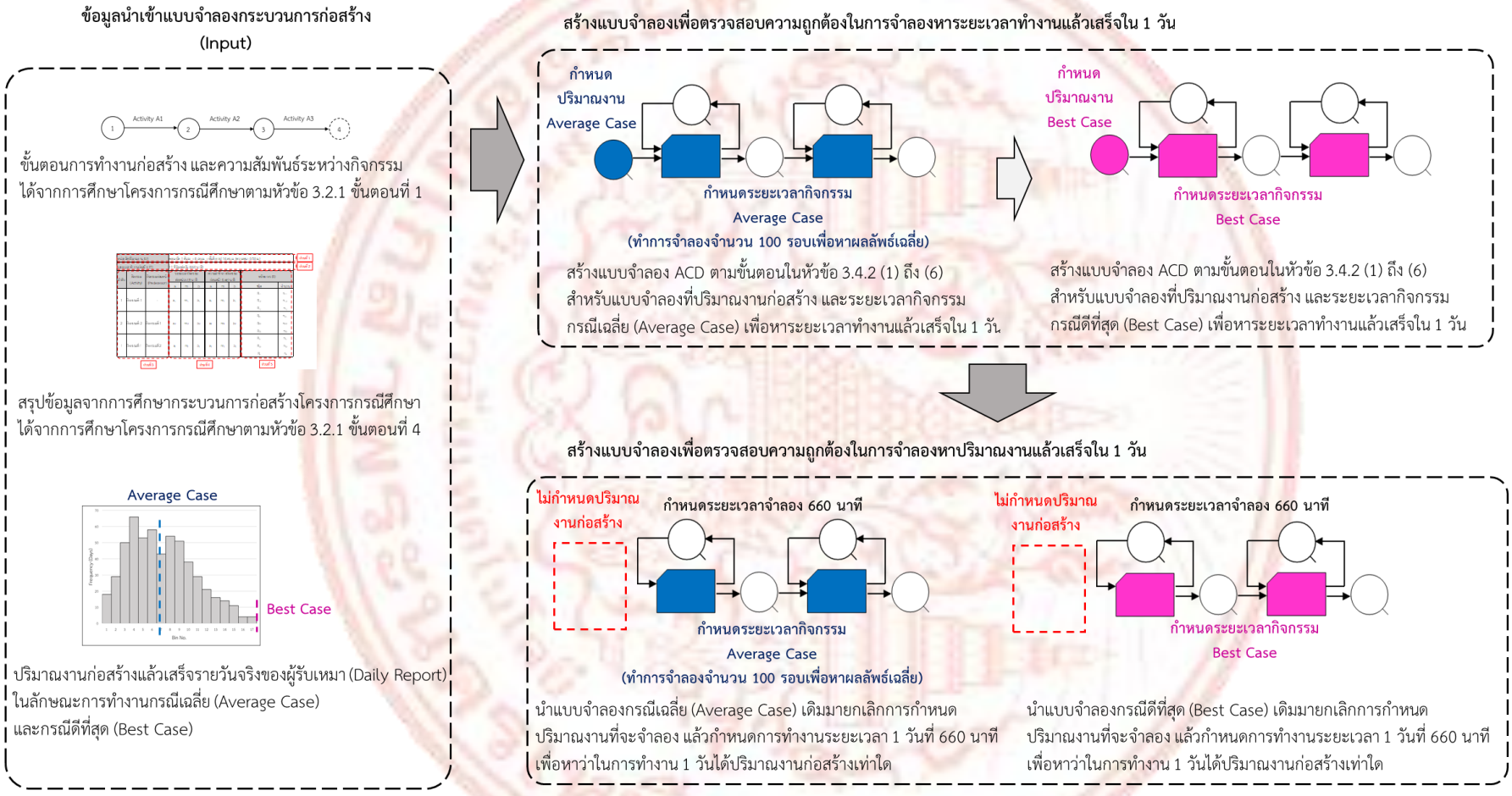
เมื่อดำเนินการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมจำลองวิธี ACD ในลักษณะการทำงานกรณีเฉลี่ยและกรณีดีที่สุดตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (6) ข้างต้นแล้วเสร็จ ได้ผลลัพธ์ระยะเวลาการทำงานจากการจำลอง (ที่กรณีเฉลี่ยเป็นผลลัพธ์เฉลี่ยจากการจำลองจำนวน 100 รอบ) ทำการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยนำผลลัพธ์ระยะเวลาแล้วเสร็จจากการจำลองแต่ละแบบมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างของผู้รับเหมาใน 1 วัน ที่ 660 นาที

จากนั้นส่วนถัดมาเป็นการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันของโปรแกรมวิธีการจำลอง ACD โดยนำเครือข่ายแผนภาพ ACD ลักษณะการทำงานกรณีเฉลี่ยและกรณีดีที่สุดเดิมที่ได้จากการจำลองในส่วนแรกมาทำการปรับแก้ โดยยกเลิกโหนดแถวคอยสำหรับกำหนดปริมาณหน่วยงานซ้ำสำหรับการจำลองใน 1 รอบในขั้นตอนที่ (5) เพื่อเป็นการไม่จำกัดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลอง แล้วทำการกำหนดระยะเวลาในการจำลองของแบบจำลองบนโปรแกรม EZStrobe ให้ใช้ระยะเวลาจำลอง 660 นาทีดังภาพที่ 3-21 แล้วดำเนินการจำลองเพื่อหาผลลัพธ์ปริมาณหน่วยงานซ้ำแล้วเสร็จที่โหนดแถวคอยสำหรับจัดเก็บปริมาณงานแล้วเสร็จ ณ เวลาสิ้นสุดการจำลองเพื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับจำนวนหน่วยงานซ้ำของลักษณะการทำงานจริงในแต่ละกรณี



ภาพที่ 3-21 การกำหนดระยะเวลาจำลอง 660 นาที บนโปรแกรม EZStrobe

โดยผลลัพธ์ปริมาณหน่วยงานซ้ำแล้วเสร็จจากการจำลองในแต่ละรอบจะอยู่ในรูปค่าจำนวนเต็มเช่นเดียวกับการจำลองด้วยวิธี RSM แต่เนื่องจากการจำลองด้วยโปรแกรมจำลองวิธี ACD ในกรณีเฉลี่ย (Average Case) ในการจำลองแต่ละครั้งจะได้ปริมาณหน่วยงานซ้ำแล้วเสร็จที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงดำเนินการจำลองจำนวน 100 รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย (μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของผลลัพธ์ปริมาณหน่วยงานซ้ำแล้วเสร็จโดยใช้สมการที่ 3-2 และสมการที่ 3-3 ตามลำดับ สามารถสรุปลำดับการสร้างแบบจำลองที่ใช้โปรแกรมจำลองวิธี ACD และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-22 ลำดับการสร้างแบบจำลองวิธี ACD สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

3.5 การวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียจากการใช้งานวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

วิเคราะห์และอธิบายเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วย RSM และโปรแกรมจำลองวิธี ACD จากประสบการณ์ที่ได้ใช้งานวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 ตั้งแต่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง จนถึงสามารถจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form เพื่อตรวจสอบได้ผลลัพธ์กับกระบวนการก่อสร้างจริง ตัวอย่างเช่น หลักแนวคิดในการสร้างแบบจำลองที่ผู้สร้างแบบจำลองต้องเข้าใจ ลักษณะการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม การจำลองความไม่แน่นอนของระยะเวลาทำงาน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลบ่งชี้แนวทางการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างจากผลลัพธ์วิธีการจำลองแต่ละวิธี เป็นต้น

3.6 การวิเคราะห์ผลิตภาพจากการใช้วิธีจำลองกระบวนการก่อสร้าง

ดำเนินการแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความไวของผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างโดยการใช้งานการจำลองกระบวนการก่อสร้างวิธี RSM และโปรแกรมจำลองวิธี ACD เนื่องจากวิธีการจำลองทั้ง 2 วิธีมีลักษณะในการจำลองที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างจากวิธีการจำลองทั้ง 2 วิธีที่แตกต่างกัน

ในการระบุปัจจัยจากการจำลองวิธี RSM ที่เป็นลักษณะการจำลองโดยการสร้างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมสามารถวิเคราะห์ได้ว่ากิจกรรมใดในกระบวนการมีค่าความชันของเส้นกราฟต่ำ มีระยะเวลาการทำกิจกรรมต่อหน่วยที่สูงที่สุด แสดงถึงการเป็นคอขวดของกระบวนการก่อสร้างนั้น ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการก่อสร้างจากการระบุด้วย RSM คือ ทรัพยากรหลักที่เป็นผู้ให้บริการดำเนินการกิจกรรมที่มีระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยสูงที่สุด มีแนวทางในการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยในการวิเคราะห์ความไวคือการเพิ่มจำนวนทีมงานหรือทรัพยากรของกิจกรรมนั้น โดยจะต้องเป็นการเพิ่มจำนวนเส้นกราฟผลิตภาพของกิจกรรมนั้นตามจำนวนทรัพยากรของกิจกรรมที่เพิ่มขึ้น ไม่ใช่การปรับแก้ระยะเวลาการทำกิจกรรมต่อหน่วย

ส่วนแนวทางในการระบุปัจจัยจากการจำลองด้วยโปรแกรมวิธี ACD ที่ใช้งานโปรแกรม EZStrobe ที่มีความสามารถในการแสดงผลระยะเวลาในแถวคอยของทรัพยากรต่างๆ ได้ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าแถวคอยใดที่มีทรัพยากรรอคอยอยู่ในแถวคอยรอการทำงานสูง ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างจากการระบุด้วยโปรแกรมวิธี ACD คือ ทรัพยากรหลักที่มีระยะเวลารอคอยในแถวคอยสูงที่สุด มีแนวทางในการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยเพื่อวิเคราะห์ความไวคือการปรับลดจำนวนทรัพยากรดังกล่าวในแถวคอยที่มีระยะเวลารอคอยในแถวคอยสูง

จากการที่สามารถระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการก่อสร้างได้จำนวน 2 ปัจจัยจาก 2 วิธีการจำลอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกดำเนินการวิเคราะห์ความไวแบบสองทาง (Two-way Sensitivity Analysis) เพื่อให้สามารถประเมินผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยไปพร้อมกัน มีแนวทางในการดำเนินการวิเคราะห์ความไวของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ตามขั้นตอนที่อธิบายในภาพที่ 3-23 ดังนี้

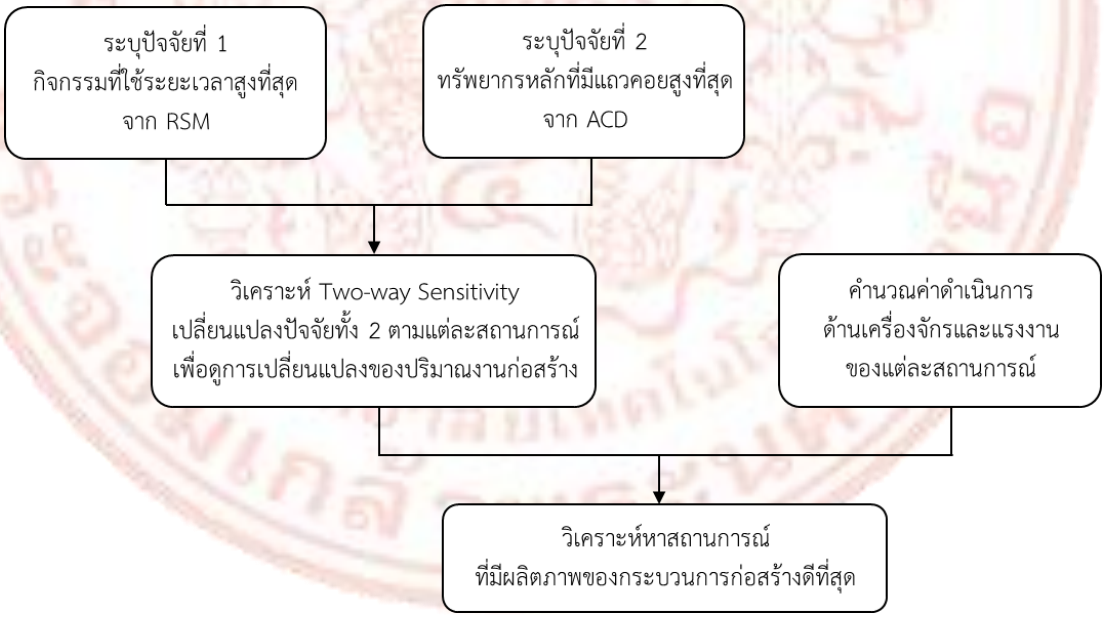
(1) ระบุปัจจัยคือทรัพยากรหลักของกิจกรรมที่มีระยะเวลาการทำกิจกรรมต่อหน่วยสูงที่สุดจากการจำลองวิธี RSM

(2) ระบุปัจจัยคือทรัพยากรที่มีระยะเวลารอคอยในแถวคอยสูงที่สุดจากการจำลองวิธี ACD

(3) ดำเนินการวิเคราะห์ความไวแบบสองทาง (Two-way Sensitivity Analysis) จากการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยทั้ง 2 เพื่อจำลองหาประมาณหน่วยงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที) ที่เปลี่ยนไปของลักษณะการทำงานในกรณีเฉลี่ย (Average Case) ด้วยการจำลองวิธี RSM และ ACD โดยจะนำผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจากการจำลองมาเปรียบเทียบความแตกต่างจากแบบจำลองตั้งต้นที่เป็นแบบจำลองที่มีการใช้จำนวนปัจจัยตามลักษณะการทำงานก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา

(4) คำนวณหาค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานรวมของแต่ละลักษณะการใช้ทรัพยากรของกระบวนการก่อสร้างลักษณะซ้ำในการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยลักษณะต่างๆ เพื่อทำการระบุว่าในลักษณะการทำงานที่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยแบบต่างๆ นั้นมีค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานแตกต่างจากลักษณะการทำงานตามแบบจำลองตั้งต้นอย่างไร

(5) วิเคราะห์หาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ให้ผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างดีที่สุด



ภาพที่ 3-23 ขั้นตอนการการวิเคราะห์ผลิตภาพจากการใช้วิธีจำลองกระบวนการก่อสร้าง

บทที่ 4
การศึกษากระบวนการก่อสร้าง

4.1 วิเคราะห์กระบวนการก่อสร้าง

จากการศึกษากระบวนการก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษาเบื้องต้นในหัวข้อ 3.2 สามารถระบุกระบวนการก่อสร้างในงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินออกเป็น 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

(1) กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

(2) กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form และ

(3) กระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ

ซึ่งรายละเอียดวิธีการทำงานก่อสร้างของผู้รับเหมารวมถึงลำดับความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการก่อสร้างทั้ง 3 ได้ถูกอธิบายแล้วในหัวข้อ 3.2 ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถจำลองกระบวนการก่อสร้างให้ตรงกับพฤติกรรมการดำเนินงานก่อสร้างจริงได้ จึงต้องแบ่งการทำงานออกเป็นแต่ละกิจกรรมให้ชัดเจน แล้ววิเคราะห์วงรอบการทำงาน ลำดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมงานก่อสร้างและการใช้ทรัพยากรต่างๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลผลลัพธ์การดำเนินการก่อสร้างจริงที่ผู้รับเหมางานก่อสร้างได้บันทึกไว้เพื่อระบุขอบเขตการทำงานก่อสร้างในแต่ละกระบวนการก่อสร้างที่สามารถทำการจำลองได้

ในหัวข้อนี้จะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์รายละเอียดวิธีการดำเนินการก่อสร้างของผู้รับเหมางานก่อสร้างตามหัวข้อที่ 3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 โดยจะทำการแจกแจงขั้นตอนการก่อสร้างของกระบวนการต่างๆ ออกเป็นกิจกรรมที่มีลักษณะการทำงานซ้ำๆ หลายหน่วยให้ออกเป็นกิจกรรมย่อย ระบุลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม การใช้งานและการส่งผ่านทรัพยากรไปยังกิจกรรมก่อสร้างต่างๆ ตามพฤติกรรมการก่อสร้างจริง

4.1.1 วิเคราะห์กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

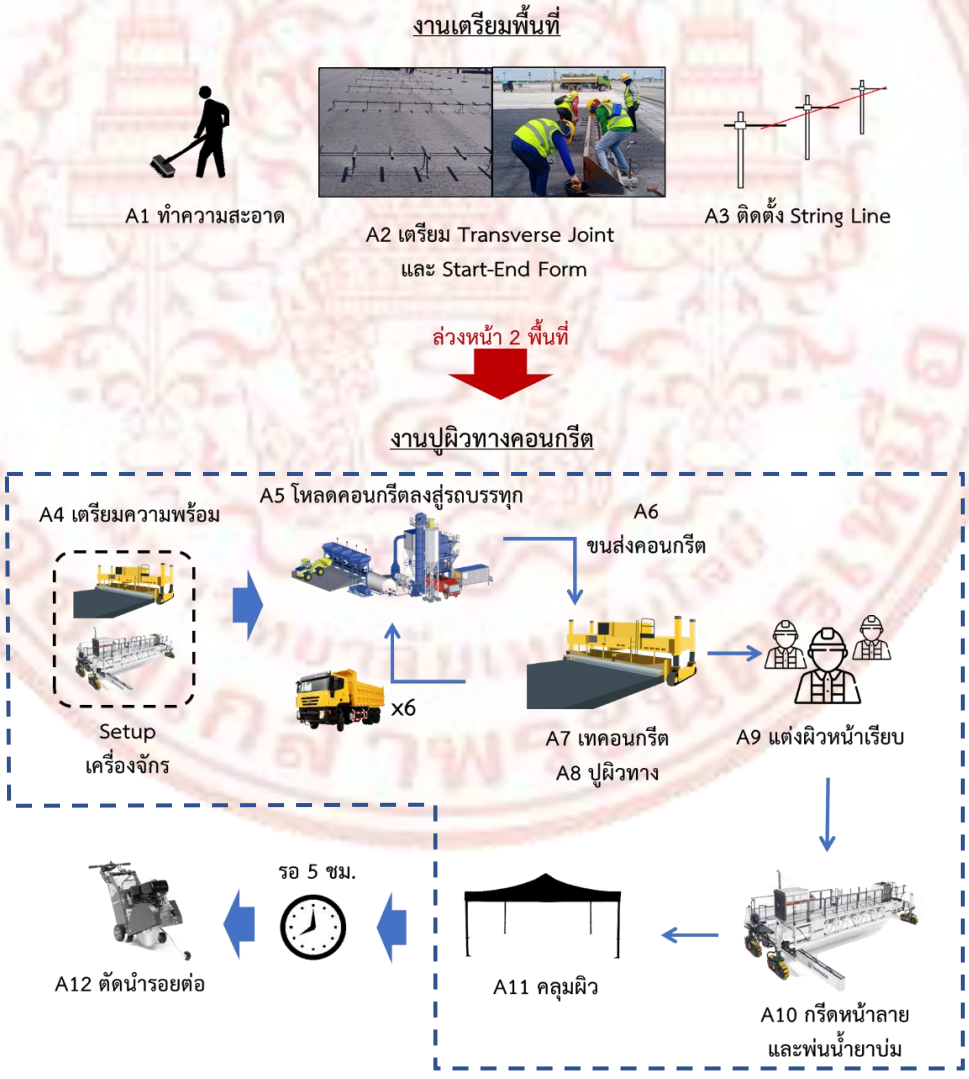
กิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ของผู้รับเหมา 1 ทีมอธิบายได้ดังแสดงในภาพที่ 4-1 กลุ่มกิจกรรมแรกคืองานเตรียมพื้นที่ สามารถแบ่งกิจกรรมในกลุ่มนี้ได้เป็น 3 กิจกรรมคือ

- A1 ทำความสะอาด
- A2 เตรียม Transverse Join และ Start-End Form และ
- A3 ติดตั้ง String Line

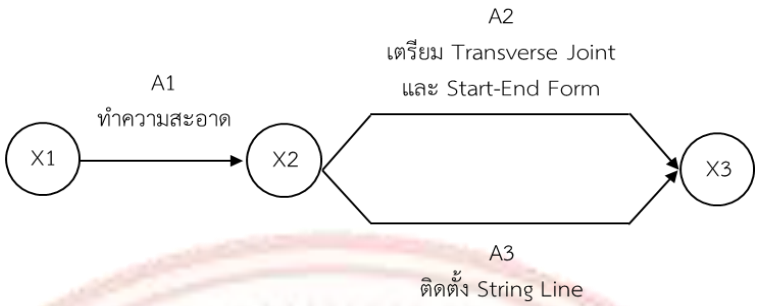
การดำเนินงานเตรียมพื้นที่นั้นจะเริ่มที่กิจกรรม A1 งานทำความสะอาด เพื่อกำจัดเศษวัสดุก่อสร้างต่างๆ ให้สะอาดพร้อมสำหรับการก่อสร้าง จากนั้นจะดำเนินกิจกรรม A2 เตรียม Transverse Join และ Start-End Form และกิจกรรม A3 ติดตั้ง String Line ไปคู่กันแสดงเป็นแผนภาพ Arrow

Network Diagram ดังภาพที่ 4-2 หลังจากเตรียมพื้นที่แล้วเสร็จจะเข้าสู่งานปูผิวทางคอนกรีตโดยสามารถแบ่งกิจกรรมในกลุ่มงานนี้ได้จำนวน 9 กิจกรรมคือ

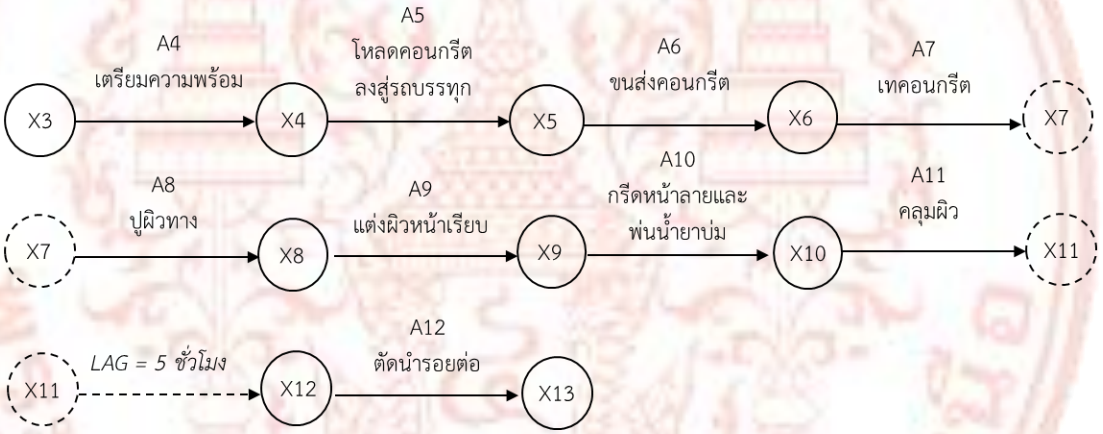
- A4 เตรียมความพร้อม
- A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก
- A6 ขนส่งคอนกรีต
- A7 เทคอนกรีต
- A8 ปูผิวทาง
- A9 แต่งผิวหน้าเรียบ
- A10 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม
- A11 คลุมผิว และ
- A12 ตัดนำรอยต่อ



ภาพที่ 4-1 ขั้นตอนกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver



ภาพที่ 4-2 แผนภาพขั้นตอนการทำงานเตรียมพื้นที่ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

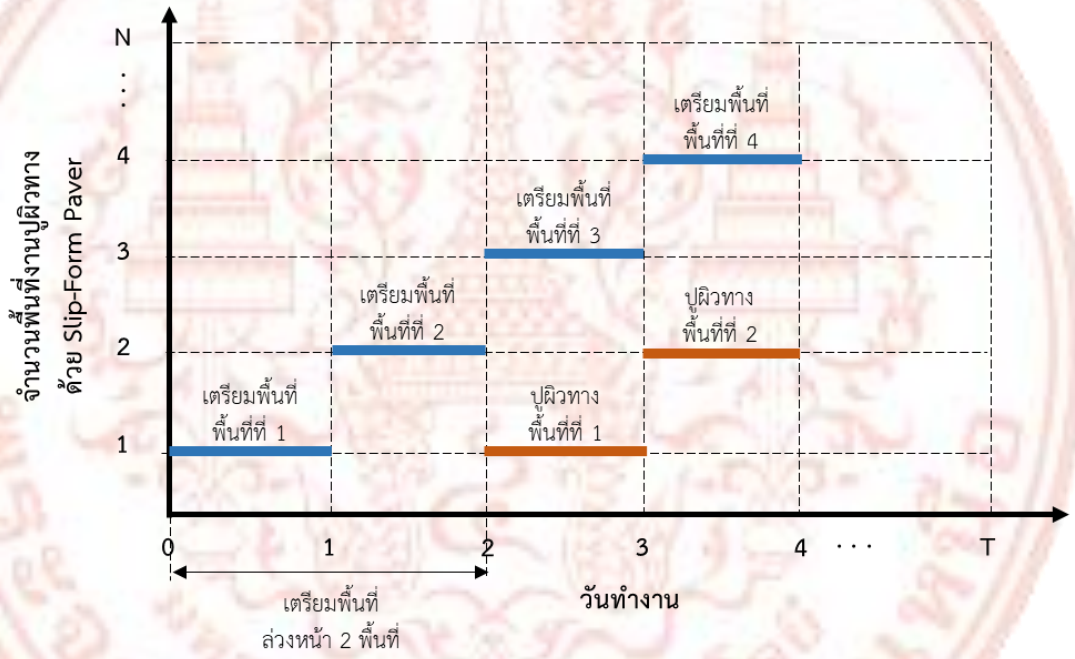


ภาพที่ 4-3 แผนภาพขั้นตอนการทำงานปูผิวทางคอนกรีตของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver เป็นกระบวนการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตที่ใช้เครื่องจักรในการก่อสร้างเป็นหลักเพื่อให้สามารถก่อสร้างปริมาณงานมากๆ ในคราวเดียว ดังนั้นก่อนเริ่มงานก่อสร้างจึงต้องใช้ระยะเวลามากในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ และเตรียมความพร้อมต่างๆ สำหรับการเตรียมการ การตรวจสอบและแก้ไขปัญหาโดยทันที ยกตัวอย่างเช่นงานติดตั้ง String Line สำหรับกำหนดแนวและค่าระดับในการปูของเครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver เพื่อป้องกันความผิดพลาดในขณะที่เริ่มงานก่อสร้างไปแล้วซึ่งจะแก้ไขได้ยากกว่าการทำงานแบบใช้แรงงานคนเป็นหลักที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า รวมถึงค่าดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรต่างๆ ในการทำงานก่อสร้างแต่ละครั้ง เช่น ค่าเช่าเครื่องจักร ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น ดังนั้นแผนงานก่อสร้างของผู้รับเหมาจะแบ่งทีมงานย่อยออกเป็น 2 กลุ่ม โดยทีมงานกลุ่มแรกจะทำงานเตรียมพื้นที่สะสมล่วงหน้างานปูผิวทางคอนกรีตไป 2 พื้นที่ ข้อดีของการทำงานเตรียมพื้นที่ล่วงหน้าจำนวน 2 พื้นที่

นอกจากจะสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ล่วงหน้าแล้ว ยังทำให้การทำงานของทีมปูผิวทางคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทีมงานสามารถวางแผนการเคลื่อนย้ายเครื่องจักรได้ล่วงหน้า และหากเกิดความผิดพลาดทำให้ไม่สามารถเข้าปูผิวทางในพื้นที่ที่วางแผนไว้ยังสามารถย้ายไปทำงานยังพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้อีกตำแหน่งได้

จากลักษณะการแบ่งทีมงานกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ออกเป็น 2 ทีมเพื่อแยกการทำงานระหว่างส่วนเตรียมพื้นที่และส่วนปูผิวทางเพื่อดำเนินการเตรียมพื้นที่สะสมล่วงหน้า 2 พื้นที่ก่อนการปูผิวทางสามารถอธิบายเป็นตัวอย่างเส้นกราฟอัตราการผลิต Line of Balance ได้ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างงานเตรียมพื้นที่และงานปูผิวทางคอนกรีต กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

ความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อมจนถึงกิจกรรม A12 ตัดนำรอยต่อในงานปูผิวทางคอนกรีตดังภาพที่ 4-3 มีลักษณะเป็น Finish-to-Start (FTS) ที่กิจกรรมนั้นๆ จะเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้า (Predecessor) แล้วเสร็จในแต่ละหน่วยการทำงาน ยกเว้นกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ซึ่งเป็นการ Setup เครื่องจักรทั้งหมดในกระบวนการให้เข้าที่ก่อนการเริ่มงานปูผิวทางคอนกรีต ลักษณะการส่งผ่านแต่ละหน่วยการทำงานในแต่ละกิจกรรมเริ่มจากคอนกรีตที่ได้จากกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก จะถูกขนส่งไปทำกิจกรรม A7 เทคอนกรีตผ่านกิจกรรม A6 ขนส่งคอนกรีต จากนั้นเมื่อเครื่องปูคอนกรีตได้รับคอนกรีต จะเริ่มทำกิจกรรม A8 ปูผิวทาง กิจกรรม

A9 แต่งผิวหน้าเรียบจะเริ่มแต่งผิวหน้าได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรม A8 ปูผิวทาง ที่เครื่องปูคอนกรีตทำการปูผิวทางออกมาแล้วเสร็จ และกิจกรรม A12 ตัดนำรอยต่อจะสามารถเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรม A11 คลุมผิวแล้วเสร็จโดยมีการกำหนดความล่าช้าจากกิจกรรม A11 (Lag) เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อให้ผิวทางเซ็ตตัวและสามารถตัดนำรอยต่อได้ โดยจากการวิเคราะห์ของผู้วิจัยการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างเพื่อนับเป็นปริมาณงาน 1 หน่วยสำหรับหน่วยงานซ้ำๆ ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการนี้คือการกำหนดจากปริมาณคอนกรีต 1 คันรถบรรทุก ที่จะถูกส่งผ่านจากกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก และดำเนินตามขั้นตอนต่างๆ จนสิ้นสุดกิจกรรมสุดท้ายที่กิจกรรม A11 คลุมผิว ซึ่งโครงการกรณีศึกษาใช้รถบรรทุก 10 ล้อที่มีขนาดบรรทุก 8 ลบ.ม. ต่อคัน สามารถแปลงปริมาณงานเป็นตารางเมตรงานปูผิวทางที่ความหนา 0.50 เมตร ได้เท่ากับ 16 ตร.ม.

นอกจากเงื่อนไขการส่งผ่านปริมาณหน่วยงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรมลักษณะ Finish-to-Start (FTS) แล้ว ยังต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในการใช้ทรัพยากรร่วมกันตามลักษณะการทำงานจริงในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่

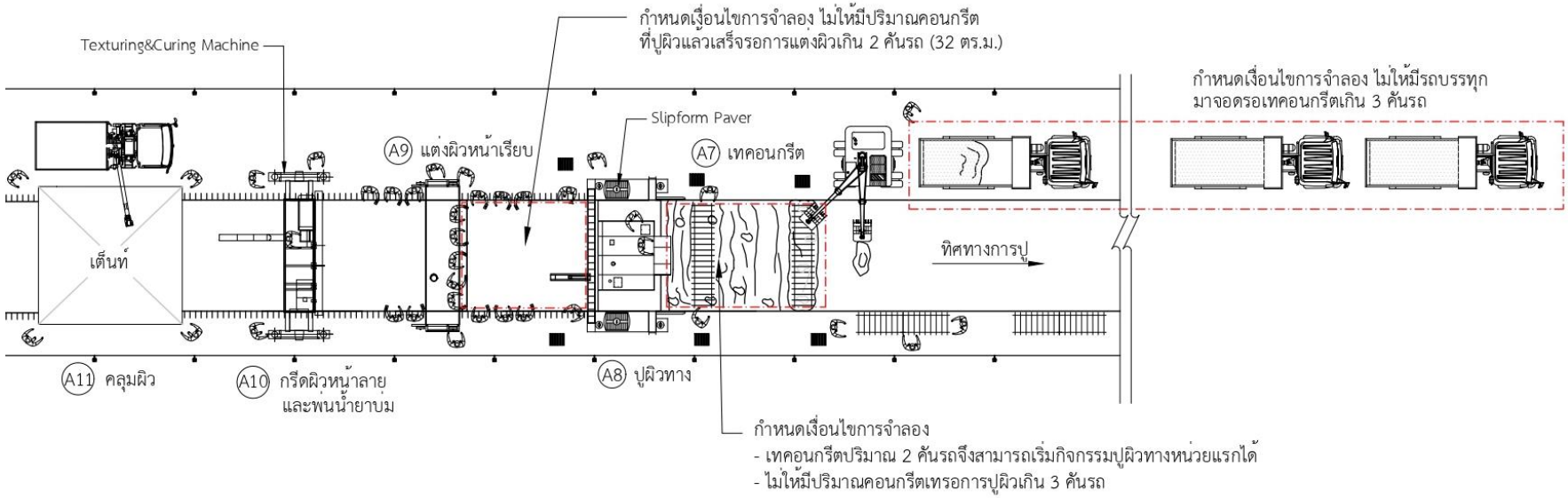
- ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่างๆ ในวงรอบของรถบรรทุก 10 ล้อ เนื่องจากพฤติกรรมของรถบรรทุกในการทำงานในกระบวนการจะเริ่มที่กิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก กิจกรรม A6 ขนส่งคอนกรีต และสิ้นสุดที่กิจกรรม A7 เทคอนกรีต แต่ความเป็นจริงรถบรรทุกแต่ละคันเมื่อเทคอนกรีตแล้วเสร็จจะต้องเดินทางกลับมาเพื่อรอโหลดคอนกรีตอีกครั้งเป็นวงรอบการทำงานเช่นนี้ซ้ำๆ จนกว่าจะขนส่งคอนกรีตได้ปริมาณครบถ้วนสำหรับการปูผิวทางในวันนั้น

- จากพฤติกรรมการทำงานของวงรอบรถบรรทุก พิจารณาได้ว่าหากไม่มีการควบคุมการทำงานของรถบรรทุกทั้ง 6 คันก็จะทำงานเป็นวงรอบเร่งโหลดคอนกรีตขนส่งเพื่อไปรอเทที่หน้างานซึ่งขัดกับการดำเนินงานจริงที่ความยาวของแถวคอยของรถบรรทุกเพื่อรอเทคอนกรีตที่พื้นที่ก่อสร้างมีประมาณ 3 คัน ซึ่งหากแถวคอยมีความยาวมากเกินไปทำให้รถบรรทุกต้องจอดรอเทคอนกรีตเป็นเวลานาน ซึ่งจะส่งผลต่ออายุของคอนกรีตที่จะหมดอายุก่อนเทคอนกรีต ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก จนถึงกิจกรรม A7 เทคอนกรีต ต้องมีเงื่อนไขในการจำลองกระบวนการไม่ให้มีจำนวนรถบรรทุกจอดรอเทคอนกรีตมากเกิน 3 คัน

- พฤติกรรมของเครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver จะสามารถเริ่มการปูผิวทางได้ก็ต่อเมื่อได้รับคอนกรีตจากรถบรรทุกประมาณ 2 คันรถหรือปริมาณมากพอที่ใบปั่น (Auger) ของเครื่องปูจะสามารถกระจายคอนกรีตให้ทั่วความกว้างการปูผิวทางได้ เมื่อการปูผิวทางคอนกรีตดำเนินไปรถบรรทุกจะเข้าเทคอนกรีตเพื่อให้รถตักล้อยางเกลี่ยให้กระจายทั่วความกว้างเครื่องปูและทีมงานจะเข้าติดตั้งแผง Transverse Joint ที่ถูกยกออกมาด้านข้างให้กลับเข้าที่ โดยปริมาณคอนกรีตที่รถบรรทุกเทนั้นจะไม่เทล่วงหน้าเครื่องปูมากเกินไป จากพฤติกรรมการทำงานจริงปริมาณคอนกรีตที่ถูกเทด้านหน้าเครื่องปูจะอยู่ที่ประมาณ 3 คันรถบรรทุกเพื่อให้สัมพันธ์กับความเร็วของเครื่องปู ดังนั้นก่อนจะเริ่มกิจกรรม A8 ปูผิวทางได้จะต้องมีปริมาณคอนกรีตสะสมจำนวน 2 คันรถ และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม A7 เทคอนกรีต และกิจกรรม A8 ปูผิวทางต้องมีเงื่อนไขในการจำลองกระบวนการไม่ให้มีปริมาณคอนกรีตที่เทจากรถบรรทุกที่ด้านหน้าเครื่องปูมากเกิน 3 คัน

- พฤติกรรมการแต่งผิวหน้าเรียบของผิวทางคอนกรีตที่ถูกปูออกจากเครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver แล้วนั้นจะต้องถูกแต่งผิวหน้าโดยทันทีโดยการใช้ทีมงานแต่งผิวหน้าซึ่งมีจำนวนคนงาน

ในทีมสูงสุดที่ 24 คนและมีโฟร์แมนควบคุมดูแล 2 คน จะทำการแต่งผิวหน้าในพื้นที่ประมาณ 1 ช่วงรอยต่อตามขวาง 22.5 ตร.ม. คิดเป็นปริมาณคอนกรีตจากรถบรรทุกประมาณ 2 คันรถ (32 ตร.ม.) เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการจำลองไม่ให้เครื่องปูคอนกรีตทำการปูผิวทางออกมาปริมาณมากเกินกว่าที่ทีมแต่งผิวหน้าจะสามารถทำงานได้ทันจึงต้องกำหนดความสัมพันธ์ของปริมาณงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรม A8 ปูผิวทาง และกิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบไม่เกิน 2 คันรถดังแสดงในภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

4.1.2 วิเคราะห์กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form เป็นลักษณะการเข้าแบบหล่อและเทผิวทางคอนกรีตด้วยแรงงานคน สำหรับผิวทางในบริเวณที่มีรูปร่างไม่เหมาะสมในการปูผิวทางด้วยเครื่องปูคอนกรีต เช่น บริเวณที่ผิวทางรูปทรงโค้งซึ่งอาจมีการออกแบบการเสริมเหล็กเสริมในผิวทางคอนกรีตในบางตำแหน่ง พื้นที่ผิวทางที่มีความกว้างหรือค่าระดับไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากตัวเครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver นั้นจะมีความกว้างในการปูที่ถูกกำหนดด้วยขนาดของชุดแบบหล่อ (Mold) ที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้เล็กน้อยโดยการถอดเปลี่ยนชุดแบบหล่อก่อนเริ่มการปูเท่านั้น ไม่สามารถปูผิวทางที่มีความกว้างไม่คงที่มากๆ ได้ และบางจุดที่ค่าระดับของผิวทางมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่เช่น บริเวณทางแยกที่การปรับความสูงของเครื่องปูให้เป็นไปตามเส้นชั้นความสูง (Contour) ของผิวทางเป็นไปได้ยาก การเข้าแบบและเทคอนกรีตด้วยแรงงานคนจึงจำเป็นในการก่อสร้างลักษณะดังกล่าว ดังนั้นปริมาณงานก่อสร้างในแต่ละครั้งจะไม่สูงเท่าการทำงานโดยใช้เครื่องจักรอย่างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

แผนงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ของผู้รับเหมา 1 ทีมงานได้ดังแสดงในภาพที่ 4-6 ที่แบ่งกลุ่มกิจกรรมออกเป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกับกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่ทำงานเตรียมพื้นที่ล่วงหน้างานเทคอนกรีตผิวทางไป 1 พื้นที่ โดยความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมในงานเตรียมพื้นที่และงานเทคอนกรีตผิวทางมีลักษณะเป็น Finish-to-Start (FTS) ที่กิจกรรมนั้นๆ จะเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้า (Predecessor) แล้วเสร็จ กิจกรรมในกลุ่มงานเตรียมพื้นที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 กิจกรรมได้แก่

- B1 ทำความสะอาด
- B2 เตรียม Transverse Joint และเหล็กเสริมผิวทาง และ
- B3 ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต

งานเตรียมพื้นที่จะเริ่มจากกิจกรรม B1 ทำความสะอาด แล้วจึงทำกิจกรรม B2 เตรียม Transverse Joint และเหล็กเสริมผิวทาง และกิจกรรม B3 ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตเป็นอันสิ้นสุดดังภาพที่ 4-7 จากนั้นเมื่อทำการตรวจสอบความเรียบร้อยจึงสามารถเริ่มงานเทคอนกรีตผิวทางในวันถัดไปได้ โดยกิจกรรมในงานเทผิวทางคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 7 กิจกรรมได้แก่

- B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต
- B5 ขนส่งคอนกรีต
- B6 เทคอนกรีต
- B7 แต่งผิวหน้าเรียบ
- B8 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม
- B9 คลุมผิว และ
- B10 ตัดนำรอยต่อ

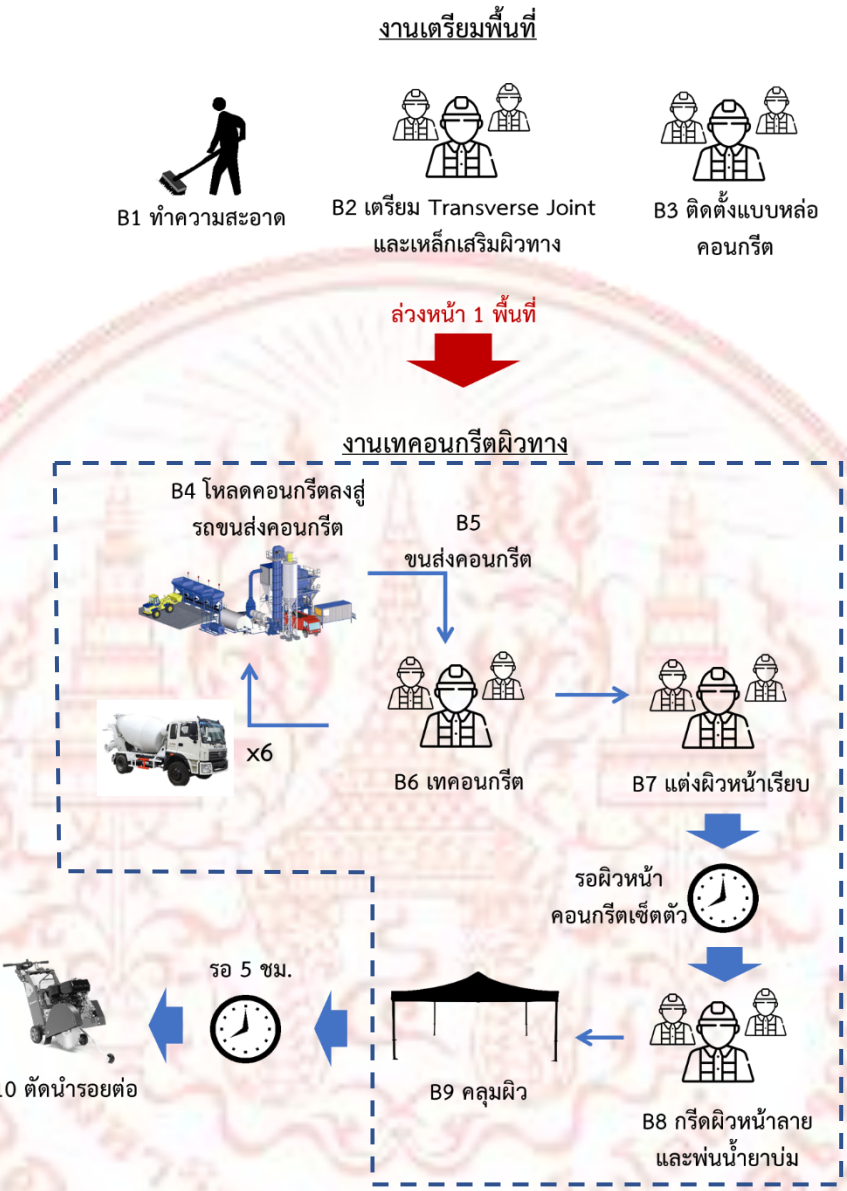
โดยความสัมพันธ์ของการส่งผ่านหน่วยปริมาณงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรมดังภาพที่ 4-8 เริ่มจากรถขนส่งคอนกรีตรับคอนกรีตในกิจกรรม B4 จากนั้นจะทำกิจกรรม B5 ขนส่งคอนกรีต เพื่อไปเทคอนกรีตในกิจกรรม B6 และแต่งผิวหน้าเรียบในกิจกรรม B7 หลังจากแต่งผิวหน้าเรียบแล้วเสร็จจะต้องรอผิวหน้าคอนกรีตให้เกิดการเซ็ตตัวเป็นระยะเวลาหนึ่ง จึงสามารถเริ่มกิจกรรม B9 กรีด

ผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม และกิจกรรม B9 คลุมผิว และสุดท้ายกิจกรรม B10 ตัดนำรอยต่อจะสามารถเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรม B9 คลุมผิวแล้วเสร็จโดยมีการกำหนดความล่าช้าจากกิจกรรม B9 (Lag) เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อให้ผิวทางเซ็ตตัวและสามารถตัดนำรอยต่อได้ โดยจากการวิเคราะห์ของผู้วิจัยการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างเพื่อนับเป็นปริมาณงาน 1 หน่วยสำหรับหน่วยงานซ้ำๆ ที่เหมาะสมเช่นเดียวกับกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver คือการกำหนดจากปริมาณคอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีต ซึ่งโครงการกรณีศึกษาใช้รถขนส่งคอนกรีตที่มีขนาดบรรทุก 5 ลบ.ม. ต่อคัน สามารถแปลงปริมาณงานเป็นตารางเมตรงานเทคอนกรีตผิวทางที่ความหนา 0.50 เมตร ได้เท่ากับ 10 ตร.ม.

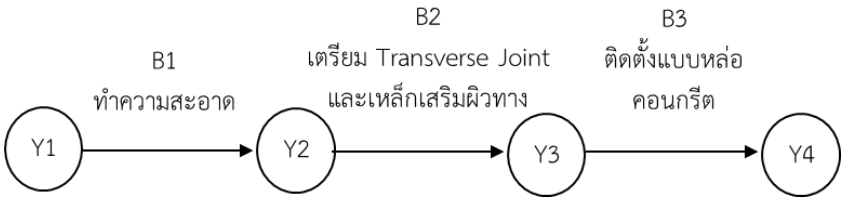
นอกจากเงื่อนไขการส่งผ่านปริมาณหน่วยงานก่อสร้างระหว่างกิจกรรมลักษณะ Finish-to-Start (FTS) ในข้างต้นแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในการใช้ทรัพยากรร่วมกันตามลักษณะการทำงานจริงในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่

- ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่างๆ ในวงรอบของรถขนส่งคอนกรีต เนื่องจากพฤติกรรมของรถขนส่งคอนกรีตในการทำงานในกระบวนการมีลักษณะเช่นเดียวกับรถบรรทุก 10 ล้อของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่จะเริ่มที่กิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต กิจกรรม B5 ขนส่งคอนกรีต และสิ้นสุดที่กิจกรรม B6 เทคอนกรีต แต่ความเป็นจริงรถขนส่งคอนกรีตจะต้องเดินทางกลับมาเพื่อรอโหลดคอนกรีตอีกครั้งเป็นวงรอบการทำงานเช่นนี้ซ้ำๆ จนกว่าจะขนส่งคอนกรีตได้ปริมาณครบถ้วนสำหรับการเทคอนกรีตผิวทางในวันนั้น

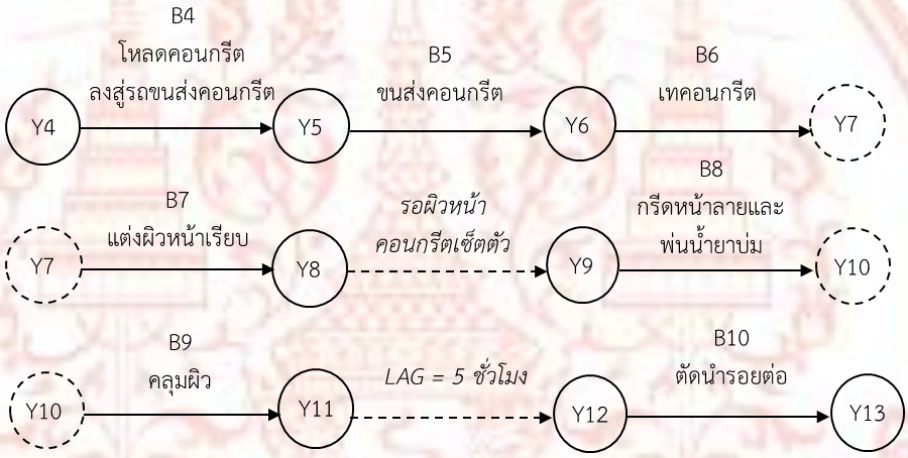
- จากพฤติกรรมการทำงานของวงรอบรถขนส่งคอนกรีตพิจารณาได้ว่าหากไม่มีการควบคุมการทำงานของรถขนส่งคอนกรีตทั้ง 6 คันก็จะทำงานเป็นวงรอบเร่งโหลดคอนกรีตขนส่งเพื่อไปรอเทที่หน้างานซึ่งขัดกับการดำเนินงานจริงที่จะทยอยแจ้งโหลดคอนกรีตเพื่อให้ขนส่งมาที่หน้างานให้สามารถเทและแต่งผิวหน้าได้ทัน ซึ่งความยาวของแถวคอยของรถขนส่งคอนกรีตเพื่อรอเทคอนกรีตที่พื้นที่ก่อสร้างมีประมาณ 2 คัน ซึ่งหากแถวคอยมีความยาวมากเกินไปจะส่งผลต่ออายุของคอนกรีตที่จะหมดอายุก่อนเทคอนกรีต ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต จนถึงกิจกรรม B7 แต่งผิวหน้าเรียบ ต้องมีเงื่อนไขในการจำลองกระบวนการไม่ให้มีจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจอดรอเทคอนกรีตมากเกิน 2 คันดังแสดงในภาพที่ 4-9



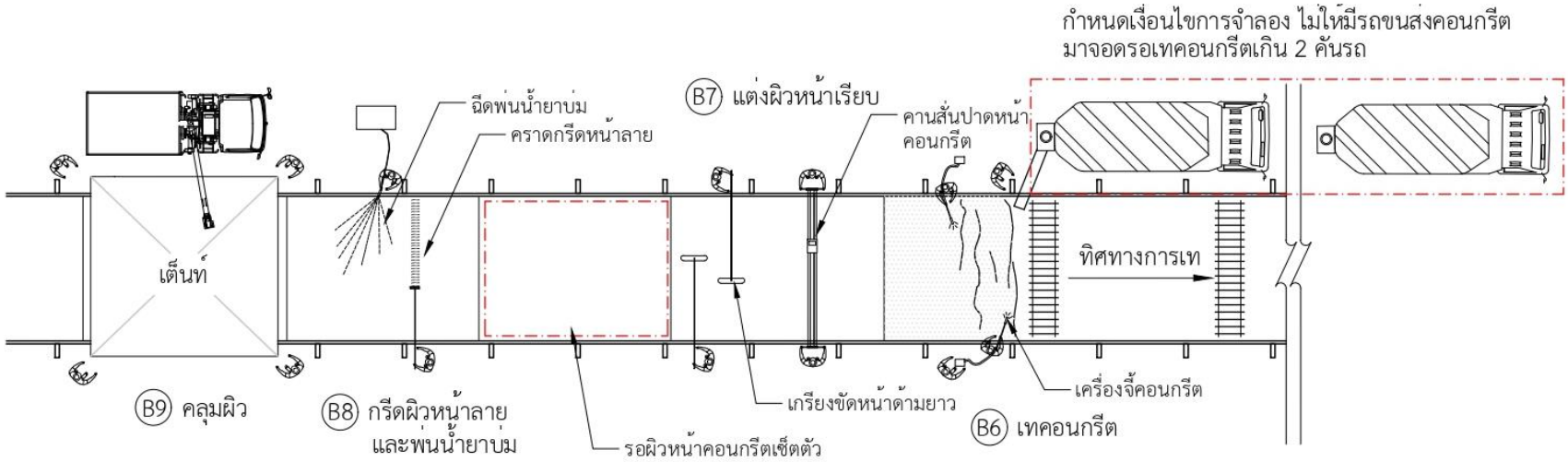
ภาพที่ 4-6 ขั้นตอนกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form



ภาพที่ 4-7 แผนภาพขั้นตอนการทำงานเตรียมพื้นที่ของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตวิธี Fixed Form



ภาพที่ 4-8 แผนภาพขั้นตอนการทำงานเทคอนกรีตผิวทางของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตวิธี Fixed Form

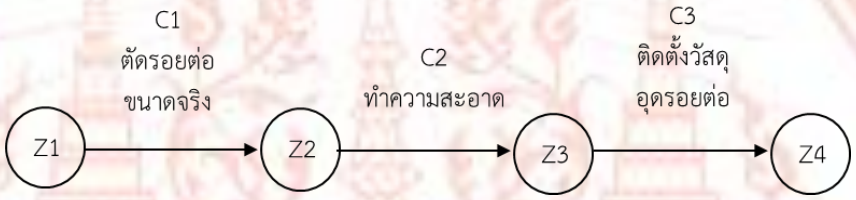


ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตวิธี Fixed Form

4.1.3 วิเคราะห์กระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ

เมื่อปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างผิวทางทั้งกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และวิธี Fixed-Form สะสมในแต่ละพื้นที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ หรือใกล้แล้วเสร็จ จะเริ่มกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ โดยมีความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมในกระบวนการเป็น Finish-to-Start (FTS) เช่นกัน แสดงลำดับกิจกรรมเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram สำหรับผู้รับเหมา 1 ทีมได้ดังภาพที่ 4-10 โดยมีกิจกรรมในกระบวนการนี้ได้แก่

- C1 ตัดรอยต่อขนาดจริง
- C2 ทำความสะอาด
- C3 ติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อ



ภาพที่ 4-10 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ

4.2 ขอบเขตกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง

การกำหนดขอบเขตกิจกรรมในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดกรอบของกระบวนการก่อสร้างที่สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองการทำงานลักษณะซ้ำๆ และสามารถทำนายผลลัพธ์การทำงานจริงได้ โดยที่กิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการก่อสร้างนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อดังนี้

1. กิจกรรมนั้นๆ ในกระบวนการต้องสามารถระบุวิธีการทำงาน ระยะเวลาการทำงานแต่ละวงรอบงานซ้ำ และทรัพยากรที่ใช้ได้ชัดเจน

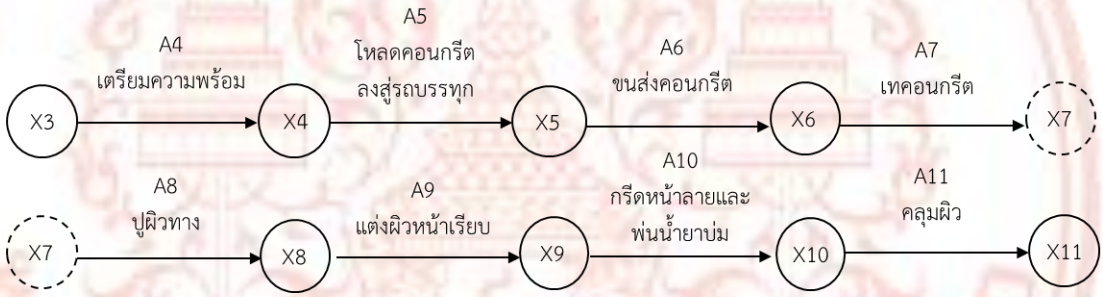
2. ทุกกิจกรรมจะต้องสามารถระบุการส่งผ่านงานในแต่ละวงรอบงานซ้ำๆ ในปริมาณหน่วยงานเดียวกันได้

3. กิจกรรมนั้นจะต้องมีผลลัพธ์ของการทำงานจริงเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือได้

การระบุขอบเขตกิจกรรมตามหัวข้อ 3.2.1 ขั้นตอนที่ 2 จะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาวิธีการดำเนินการก่อสร้างของผู้รับเหมาในหัวข้อที่ 4.1 และการศึกษาผลลัพธ์การดำเนินการก่อสร้างจริงจากบันทึกการทำงานก่อสร้างรายวัน (Daily Report) ของผู้รับเหมาจากหัวข้อ 3.1.1(1) เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตในการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างให้มีขนาดเท่ากับจำนวนกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้างจริง

จากการวิเคราะห์ผลการศึกษากระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ช่วงงานเตรียมพื้นที่ตั้งแต่กิจกรรม A1 ทำความสะอาดจนถึงกิจกรรม A3 ติดตั้ง String Line นั้นไม่สามารถระบุระยะเวลาการทำกิจกรรมในแต่ละวงรอบการทำกิจกรรมนั้นๆ ได้อย่างชัดเจน และกิจกรรมช่วงเตรียม

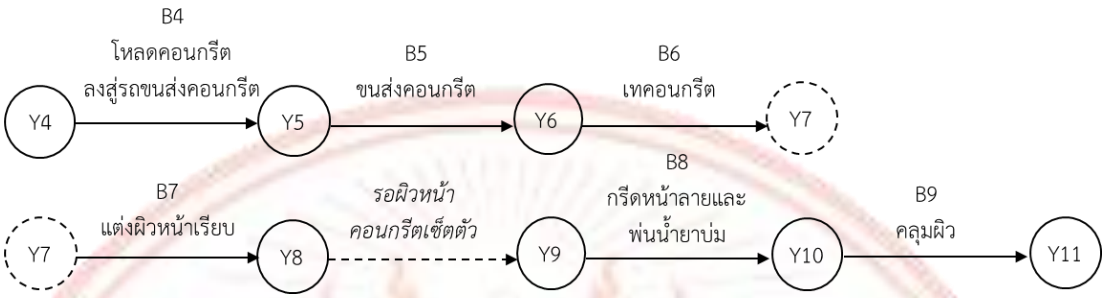
พื้นที่นั้นเป็นการทำงานจนเสร็จสิ้นปริมาณงาน และส่งผ่านพื้นที่พร้อมก่อสร้างทั้งหมดมายังงานปูผิวทางคอนกรีต ไม่ใช่เป็นการส่งผ่านปริมาณงานทีละหน่วยอย่างเช่นการส่งผ่านปริมาณคอนกรีต 1 คันรถบรรทุกระหว่างกิจกรรมอื่นๆ ในงานปูผิวทางคอนกรีต และการวิเคราะห์บันทึกการทำงานก่อสร้างรายวัน (Daily Report) ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่ผู้รับเหมาก่อสร้างบันทึกปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จเฉพาะส่วนงานก่อสร้างที่เกี่ยวกับการปูผิวทางคอนกรีตด้วยเครื่องปูคอนกรีตตั้งแต่กิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ถึงกิจกรรม A11 คลุมผิว ซึ่งไม่รวมกิจกรรม A12 ตัดนำรอยต่อ ที่จะดำเนินการในกะกลางคืน ภายหลังงานปูผิวทางแล้วเสร็จเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง และการบันทึกงานก่อสร้างของผู้รับเหมาไม่ได้บันทึกช่วงงานเตรียมพื้นที่ตั้งแต่กิจกรรม A1 ทำความสะอาด จนถึงกิจกรรม A3 ติดตั้ง String Line ดังนั้นสามารถระบุขอบเขตกิจกรรมที่มีคุณสมบัติครบ 3 ข้อของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver สามารถนำมาสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างลักษณะงานซ้ำๆ ได้คือ ช่วงกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ถึง A11 คลุมผิว มีลำดับของกิจกรรมแสดงเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ของงาน 1 หน่วยดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 แผนภาพสรุปขอบเขตการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

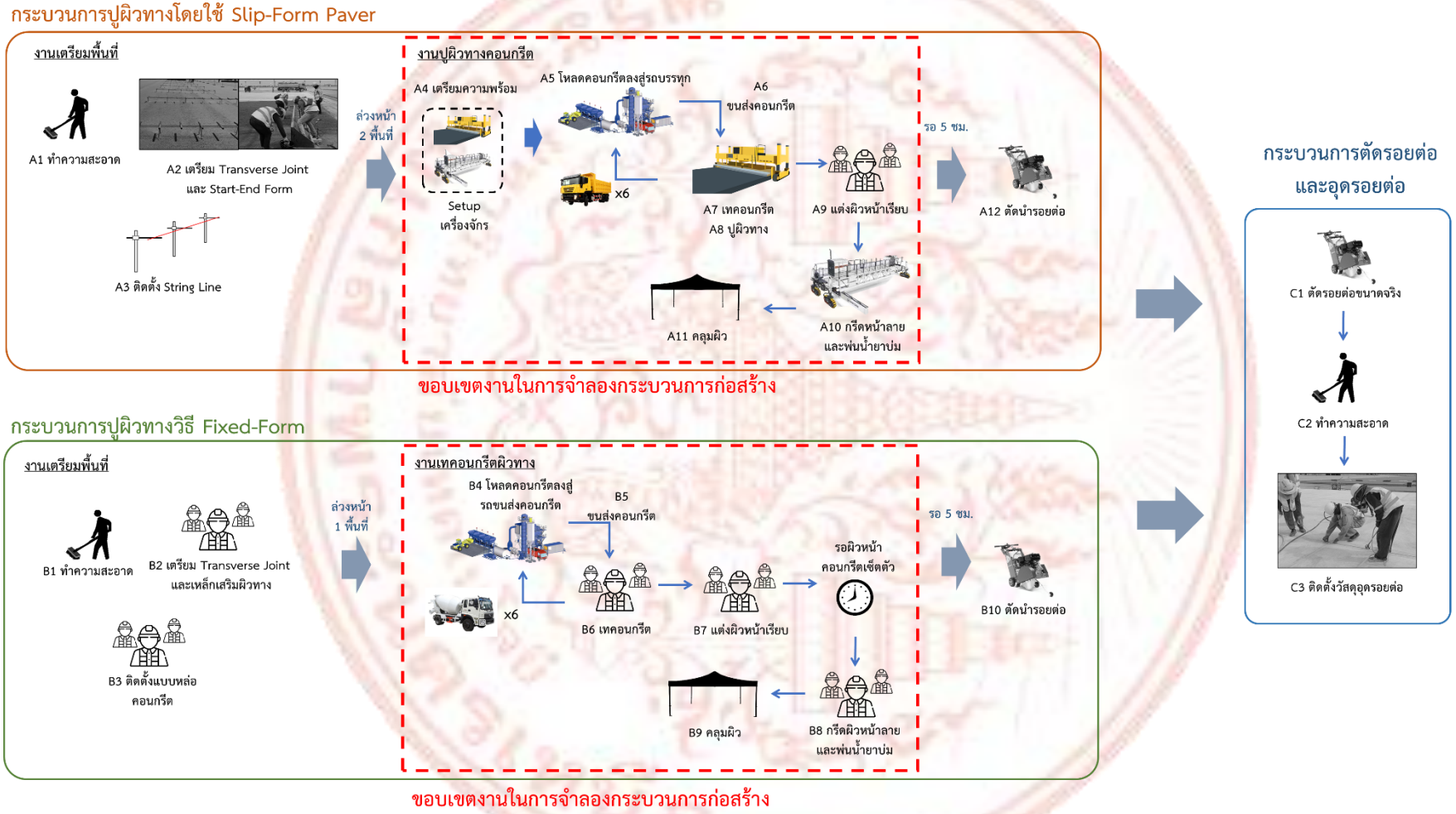
จากการวิเคราะห์กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ช่วงงานเตรียมพื้นที่ตั้งแต่กิจกรรม B1 ทำความสะอาด จนถึงกิจกรรม B3 ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตนั้นไม่สามารถระบุระยะเวลาการทำกิจกรรมในแต่ละวงรอบการทำกิจกรรมนั้นๆ ได้อย่างชัดเจน และกิจกรรมช่วงเตรียมพื้นที่นั้นเป็นการทำงานจนเสร็จสิ้นปริมาณงาน และส่งผ่านพื้นที่พร้อมก่อสร้างทั้งหมดมายังงานเทคอนกรีตผิวทาง ไม่ใช่เป็นการส่งผ่านปริมาณงานทีละหน่วยอย่างเช่นการส่งผ่านปริมาณคอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีตระหว่างกิจกรรมอื่นๆ ในงานเทคอนกรีตผิวทาง และจากบันทึกการทำงานก่อสร้างรายวันของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่ผู้รับเหมาก่อสร้างบันทึกปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จเฉพาะส่วนงานก่อสร้างที่เกี่ยวกับการเทคอนกรีตผิวทางตั้งแต่กิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต ถึงกิจกรรม B9 คลุมผิว ซึ่งไม่รวมกิจกรรม B10 ตัดนำรอยต่อ ที่จะดำเนินการในกะกลางคืน ภายหลังงานเทคอนกรีตผิวทางแล้วเสร็จเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง และการบันทึกงานก่อสร้างของผู้รับเหมาไม่ได้บันทึกช่วงงานเตรียมพื้นที่ตั้งแต่กิจกรรม B1 ทำความสะอาด จนถึงกิจกรรม B3 ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต ดังนั้นสามารถระบุขอบเขตกิจกรรมที่มีคุณสมบัติครบ 3 ข้อของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form สามารถนำมาสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง

ลักษณะงานซ้ำๆ ได้คือ ช่วงกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต ถึง B9 คลุมผิว มีลำดับของกิจกรรมแสดงเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ของงาน 1 หน่วยดังภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4-12 แผนภาพสรุปขอบเขตการจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

สำหรับกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อนั้นไม่สามารถระบุระยะเวลาการทำกิจกรรมในแต่ละวงรอบการทำกิจกรรมนั้นๆ ได้อย่างชัดเจน ไม่มีการส่งผ่านปริมาณงานแต่ละหน่วยงานซ้ำจากกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form แต่เป็นการรอให้ปริมาณงานก่อสร้างผิวทางคอนกรีตจากทั้ง 2 กระบวนการสะสมจนแล้วเสร็จทั้งพื้นที่หรือครบตามปริมาณที่วางแผนไว้จึงเข้าดำเนินการกระบวนการดังกล่าว และจากการศึกษาผลลัพธ์การดำเนินการก่อสร้างจริงจากบันทึกการทำงานก่อสร้างรายวัน (Daily Report) การบันทึกข้อมูลปริมาณงานก่อสร้างกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อนั้นไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถนำมาเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากแบบจำลองได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถรวมกิจกรรมงานก่อสร้างของกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อในขอบเขตกิจกรรมที่จะทำการจำลองได้ สรุปขอบเขตกิจกรรมก่อสร้างที่จะนำมาสร้างเป็นแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างดังแสดงในภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 ขอบเขตกิจกรรมก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่จะจำลองกระบวนการก่อสร้าง

4.3 ทรัพยากรและระยะเวลากิจกรรม

การดำเนินการในหัวข้อที่ 3.2.1 ขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาในรายละเอียดการทำกิจกรรมก่อสร้างของผู้รับเหมาแต่ละกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 กระบวนการ ข้อมูลที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดและจำนวนของทรัพยากรก่อสร้างต่างๆ ที่ใช้ดำเนินกิจกรรมก่อสร้าง และระยะเวลาการทำกิจกรรมก่อสร้างแล้วเสร็จในแต่ละหน่วยงานซ้ำจากการใช้ทรัพยากรเหล่านั้น วิธีการได้มาซึ่งข้อมูลแต่ละชนิดจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เป็นไปตามที่ระบุในหัวข้อที่ 3.3.1

4.3.1 ทรัพยากร

จำนวนคนงานและเครื่องจักรที่ใช้ใน 1 ทีมงานของแต่ละกระบวนการก่อสร้างของผู้รับเหมาก่อสร้างงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินโครงการกรณีศึกษาที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปแยกการใช้ทรัพยากรรายกิจกรรมได้ดังตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-3 และมีรายละเอียดของทรัพยากรหลักดังต่อไปนี้

(1) กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตโดยใช้ Slip-Form Paver จะใช้ทีมงานก่อสร้างจำนวน 2 ทีมดังที่ได้สรุปจากการรวบรวมข้อมูลในตารางที่ 3-2 ทีมงานก่อสร้าง 1 ทีม มีจำนวนคนงานงานเตรียมพื้นที่และงานปูผิวทางคอนกรีตรวม 106 คน ดังแสดงในตารางที่ 4-1 และมีรายละเอียดชนิด ขนาดเครื่องจักรอุปกรณ์หลักที่ใช้ดังนี้

- โรงผลิตคอนกรีต กำลังการผลิต 120 – 150 ลบ.ม. ต่อ ชม. จำนวน 1 โรง
- รถบรรทุก 10 ล้อ ปริมาณบรรทุก 8 ลบ.ม. จำนวน 6 คัน
- Slip-Form Paver ความกว้างในการปู 2 – 7.5 เมตร ความเร็วในการทำงานสูงสุด 22.5 เมตรต่อนาทีจำนวน 1 คัน
- Texture and Curing Machine ความกว้างในการทำงาน 3 - 7.5 เมตร ความเร็วในการทำงานสูงสุด 22 เมตรต่อนาที อัตราการฉีดพ่นน้ำยาบ่ม 23 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 คัน
- รถขุดล้อยาง จำนวน 1 คัน
- รถบรรทุกติดตั้งเครน จำนวน 2 คัน
- รถบรรทุกน้ำ จำนวน 2 คัน
- เครื่องปั่นไฟดีเซล ขนาด 20 kVA จำนวน 1 เครื่อง
- ปั๊มลม ขนาด 185 Cfm จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องตัดคอนกรีต จำนวน 2 เครื่อง
- รถไม้กวาด 1 คัน

(2) กระบวนการปูคอนกรีตผิวทางวิธี Fixed-Form จะใช้ทีมงานก่อสร้างจำนวน 3 ทีมดังที่ได้สรุปจากการรวบรวมข้อมูลในตารางที่ 3-2 ทีมงานก่อสร้าง 1 ทีม มีจำนวนคนงานงานเตรียมพื้นที่และงานเทผิวทางคอนกรีตรวม 35 คน ดังแสดงในตารางที่ 4-2 และมีรายละเอียดชนิด ขนาดเครื่องจักรอุปกรณ์หลักที่ใช้ดังนี้

- โรงผลิตคอนกรีต กำลังการผลิต 120 – 150 ลบ.ม. ต่อ ชม. จำนวน 1 โรง
- รถขนส่งคอนกรีต ปริมาณบรรทุก 5 ลบ.ม. จำนวน 6 คัน

- รถขุดล้อยาง จำนวน 1 คัน
- รถบรรทุกติดตั้งเครน จำนวน 2 คัน
- รถบรรทุกน้ำ จำนวน 2 คัน
- เครื่องจี้คอนกรีต จำนวน 2 เครื่อง
- คานสั่นปาดหน้าคอนกรีต จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องปั่นไฟดีเซล ขนาด 20 kVA จำนวน 1 เครื่อง
- ปั๊มลม ขนาด 185 Cfm จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องตัดคอนกรีต จำนวน 1 เครื่อง

(3) กระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อจะใช้ทีมงานก่อสร้างจำนวน 4 ทีม ทีมงานก่อสร้าง 1 ทีม มีคนงานก่อสร้างจำนวน 10 คน ดังแสดงในตารางที่ 4-3 และมีรายละเอียดชนิดขนาดเครื่องจักรอุปกรณ์หลักที่ใช้ดังนี้

- เครื่องตัดคอนกรีต จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องปั่นไฟดีเซล ขนาด 20 kVA จำนวน 1 เครื่อง
- ปั๊มลม ขนาด 185 Cfm จำนวน 1 เครื่อง
- รถบรรทุกน้ำ จำนวน 1 คัน

ภาพที่ 4-14 เครื่องปูคอนกรีต Slip-Form Paver

ภาพที่ 4-15 เครื่อง Texture and Curing Machine

ตารางที่ 4-1 ทรัพยากรกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver 1 ทีมงาน

No.	กิจกรรม	ทรัพยากรสำหรับ 1 ทีมงาน				
		กำลังคน				เครื่องจักร
		รวม	F/M	OPT.	Labour	รายการ
1	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	106				
1.1	งานเตรียมพื้นที่	41				
	A1 ทำความสะอาด	41	2	3	36	- รถบรรทุกติดตั้งเครน 1 คัน - รถไม้กวาด 1 คัน - รถบรรทุกน้ำ จำนวน 1 คัน - เครื่องปั่นไฟดีเซล 1 เครื่อง - ปั๊มลม 1 เครื่อง
	A2 เตรียม Transverse Joint และ Start-End Form					
	A3 ติดตั้ง String Line					
1.2	งานปูผิวทางคอนกรีต	65				
	A4 เตรียมความพร้อม					
	A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก					- โรงผลิตคอนกรีต 1 โรง - รถบรรทุก 10 ล้อ 6 คัน
	A6 ขนส่งคอนกรีต	6		6		
	A7 เทคอนกรีต	9		1	8	- รถขุดล้อยาง 1 คัน
	A8 ปูผิวทาง	4		4		- Slip-Form Paver 1 คัน
	A9 แต่งผิวหน้าเรียบ	26	2		24	
	A10 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	4		1	3	- Texture and Curing Machine 1 คัน
	A11 คลุมผิว	7		1	6	- รถบรรทุกติดตั้งเครน 1 คัน
	A12 ตัดนำรอยต่อ	9	1		8	- เครื่องตัดคอนกรีต 2 เครื่อง - รถบรรทุกน้ำ จำนวน 1 คัน

ตารางที่ 4-2 ทรัพยากรกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form 1 ทีมงาน

No.	กิจกรรม	ทรัพยากรสำหรับ 1 ทีมงาน				
		กำลังคน				เครื่องจักร
		รวม	F/M	OPT.	Labour	รายการ
2	กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	35				
2.1	งานเตรียมพื้นที่	11				
	B1 ทำความสะอาด	11	1	2	8	- รถบรรทุกติดตั้งเครน 1 คัน - รถบรรทุกน้ำ จำนวน 1 คัน - เครื่องปั่นไฟดีเซล 1 เครื่อง - ปั๊มลม 1 เครื่อง
	B2 เตรียม Transverse Joint และเหล็กเสริมผิวทาง					
	B3 ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต					
2.2	งานเทคอนกรีตผิวทาง	24				
	B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต					- โรงผลิตคอนกรีต 1 โรง - รถขนส่งคอนกรีต 6 คัน
	B5 ขนส่งคอนกรีต	6		6		
	B6 เทคอนกรีต	4			4	
	B7 แต่งผิวหน้าเรียบ	4	1		3	
	B8 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	2			2	
	B9 คลุมผิว	4		1	3	- รถบรรทุกติดตั้งเครน 1 คัน
	B10 ตัดนำรอยต่อ	4		1	3	- เครื่องตัดคอนกรีต 1 เครื่อง - รถบรรทุกน้ำ จำนวน 1 คัน

ตารางที่ 4-3 ทรัพยากรกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ 1 ทีมงาน

No.	กิจกรรม	ทรัพยากรสำหรับ 1 ทีมงาน				
		กำลังคน				เครื่องจักร
		รวม	F/M	OPT.	Labour	รายการ
3	กระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อ	10				
	C1 ตัดรอยต่อขนาดจริง	10	1	1	8	- เครื่องตัดคอนกรีต 2 เครื่อง - รถบรรทุกน้ำ จำนวน 1 คัน - เครื่องปั่นไฟดีเซล 1 เครื่อง - ปั๊มลม 1 เครื่อง
	C2 ทำความสะอาด					
	C3 ติดตั้งวัสดุอุดรอยต่อ					

4.3.2 ระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างต่อหน่วย

เมื่อระบุทรัพยากรที่ต้องใช้ในแต่ละกระบวนการได้แล้ว ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการแบ่งกลุ่มทรัพยากรตามการถูกใช้งานในแต่ละกิจกรรมที่ได้กำหนดขอบเขตกิจกรรมในการสร้างแบบจำลองจากหัวข้อที่ 4.2 เพื่อให้สามารถจำแนกทรัพยากรที่จะถูกใช้งานในแต่ละกิจกรรมตรงตามพฤติกรรมการทำงานได้ง่าย โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองโปรแกรมแบบจำลองวิธี ACD ที่จะต้องระบุทรัพยากรหลักในกระบวนการให้ชัดเจน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรจากหัวข้อที่ 4.1 เนื่องจากทรัพยากรบางชนิดจะถูกใช้งานในหลายๆ กิจกรรม ทั้งหมดนี้เพื่อระบุเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint ของแต่ละกิจกรรม รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-4

ยกตัวอย่างการแบ่งกลุ่มทรัพยากร เช่น กิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ที่ในตารางที่ 4-1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษากระบวนการก่อสร้างจริงไม่ได้มีการกำหนดจำนวนคนงานหรือเครื่องมือสำหรับเตรียมความพร้อมเครื่องจักรโดยเฉพาะ แต่จะเป็นการที่ทีมงานในกิจกรรมอื่นๆ ในกระบวนการมาช่วยกันเตรียมความพร้อมเครื่องปูคอนกรีต ยกแผงเหล็กเสริมรอยต่อตามแนวขวางออกมานอกระยะของเครื่องปูคอนกรีต และเตรียมการอื่นๆ ก่อนเริ่มการปูคอนกรีต ดังนั้นจึงต้องกำหนดกลุ่มทรัพยากรขึ้นมาให้ตรงตามพฤติกรรมการทำงานจริงที่ต้องมีคนทำกิจกรรมเตรียมความพร้อม ได้แก่ ทีมเตรียมความพร้อมเครื่องจักร และทีมยกแผง Transverse Joint ออกจากพื้นที่ ดังที่แสดงในตารางที่ 4-4

และตัวอย่างกิจกรรม A7 เทคอนกรีตที่จากข้อมูลที่ศึกษากระบวนการก่อสร้างจริงมีข้อมูลเฉพาะแรงงานคนและเครื่องจักรเท่านั้น แต่การที่รถบรรทุกจะเข้าเทคอนกรีตลงเพื่อให้รถขุดล้อยางป้อนเข้าสู่เครื่องปูคอนกรีตได้นั้น จะต้องมีพื้นที่ให้รถบรรทุกเทียบเข้าไป ซึ่งพื้นที่หน้างานนั้นมีขนาดเพียงพอให้รถบรรทุกถอยเข้าไปเทคอนกรีตได้เพียงครั้งละ 1 คันเท่านั้น จึงต้องกำหนดทรัพยากรพื้นที่หน้า Slip-Form Paver เพิ่มขึ้นมาให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการทำงานก่อสร้างจริง จึงจะสามารถระบุระยะเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint ของแต่ละกิจกรรมตามรายละเอียดในตารางที่ 4-4 ได้ต่อไป

ตารางที่ 4-4 วิธีระบุระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย

ลำดับ	กิจกรรม	ทรัพยากรหลัก		วิธีการระบุระยะเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint
		ชนิด	จำนวน	
1	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver			
	A4 เตรียมความพร้อม	- ทีมเตรียมความพร้อมเครื่องจักร - ทีมยกแผง Transverse Joint ออกจากพื้นที่	1 ทีม 1 ทีม	ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมความพร้อมเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ ก่อนเริ่มกระบวนการจากการสัมภาษณ์ ประมาณ 60 - 90 นาที ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ 80 นาที
	A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	- โรงผลิตคอนกรีต - รถบรรทุก 10 ล้อ	1 โรง 6 คัน	ระยะเวลาที่ใช้ในผลิตคอนกรีตจากอัตราการผลิตคอนกรีตของโรงผลิตที่ 120 - 150 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง โดยเฉลี่ยที่ 135 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง
	A6 ขนส่งคอนกรีต	- รถบรรทุก 10 ล้อ	6 คัน	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างโรงผลิตไปยังตำแหน่งก่อสร้างจากการประมาณระยะทางในตำแหน่งก่อสร้างต่างๆ และกำหนดความเร็วในการเดินทางไม่เกิน 30 กม.ต่อชั่วโมงตามข้อกำหนดโครงการ ดังแสดงในภาพที่ 4-16
	A7 เทคอนกรีต	- พื้นที่หน้า Slip-Form Paver - รถบรรทุก 10 ล้อ - ทีมติดตั้ง Transverse Joint กลับ - รถขุดล้อยาง	1 ตำแหน่ง 6 คัน 1 ทีม 1 คัน	ระยะเวลาในการเข้าเทคอนกรีตของรถบรรทุก การป้อนคอนกรีตเข้าสู่หน้าเครื่องปูและการติดตั้ง Transverse Joint กลับตำแหน่งจากการสัมภาษณ์ ประมาณ 3 - 5 นาที ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ 4 นาที

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	ทรัพยากรหลัก		วิธีการระบุระยะเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint
		ชนิด	จำนวน	
1	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (ต่อ)			
	A8 ปูผิวทาง	- Slip-Form Paver	1 คัน	ความเร็วในการปูของ Slip-Form Paver ซึ่งไม่สามารถใช้จากข้อมูลจากผู้ผลิตได้ เนื่องจากระบุเฉพาะระยะเวลาสูงสุดที่สามารถทำได้ 22.5 ม.ต่อนาที โดยไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น อัตราการสั่นของเครื่องจี้คอนกรีตที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องปู ระยะเวลาการกระจายคอนกรีตให้สม่ำเสมอทั่วผิวทางด้วยใบปั่น (Auger) และค่ายุบตัวของคอนกรีต เป็นต้น จึงต้องพิจารณาจากความเร็วในการปูที่เหมาะสมโดยศึกษาเพิ่มเติมจากมาตรฐานข้อกำหนดกำหนดเกี่ยวกับกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ได้แก่ - ACPA (1995) 1 - 2.5 ม.ต่อนาที - EUPAVE (2017) 0.5 - 1.5 ม.ต่อนาที ดังนั้นความเร็วในการปูที่เหมาะสมของ Slip-Form Paver ประมาณ 0.5 - 2.5 ม.ต่อนาที ความเร็วโดยเฉลี่ยที่ 1.5 ม.ต่อนาที
	A9 แต่งผิวหน้าเรียบ	- ทีมแต่งผิวหน้าเรียบ	1 ทีม	ระยะเวลาที่ใช้ในการแต่งผิวหน้าคอนกรีตปริมาณ 22.5 ตร.ม. (ขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 4.5 เมตร) จากการสัมภาษณ์ประมาณ 6 - 18 นาที ระยะเวลาที่ใช้โดยปกติที่ 15 นาที

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	ทรัพยากรหลัก		วิธีการระบุระยะเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint
		ชนิด	จำนวน	
1	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (ต่อ)			
	A10 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	- Texture and Curing Machine	1 คัน	การระบุระยะเวลากิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตโดยใช้ Texture and Curing Machine ได้จาก (1) การกำหนดข้อกำหนดของโครงการที่การพ่นน้ำยาบ่มต้องฉีดพ่นด้วยอัตรา 0.60 ลิตรต่อตร.ม. ดังนั้นที่ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. (พื้นที่ในการปูด้วยคอนกรีต 8 ลบ.ม.) จะใช้ปริมาณน้ำยา = 16 x 0.6 = 9.6 ลิตร (2) ความสามารถของเครื่อง Texture and Curing Machine ในการฉีดพ่นน้ำยาได้ที่อัตรา 23 ลิตรต่อนาที ดังนั้นการฉีดพ่น 9.6 ลิตรจะใช้ระยะเวลา 0.42 นาที และ (3) ความเร็วในการเคลื่อนที่ขณะทำงาน 0 - 22 ม.ต่อนาที ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการกรีดผิวหน้าและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตปริมาณ 22.5 ตร.ม. (ขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 4.5 เมตร) ของเครื่อง Texture and Curing Machine ประมาณ 0.42 - 0.71 นาที ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ 0.57 นาที

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	ทรัพยากรหลัก		วิธีการระบุระยะเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint
		ชนิด	จำนวน	
1	กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (ต่อ)			
	A11 คลุมผิว	- ทีมคลุมผิว - รถบรรทุกติดตั้งเครน	1 ทีม 1 คัน	ระยะเวลาที่ใช้ในการคลุมผิวหน้าคอนกรีตปริมาณ 22.5 ตร.ม. (ขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 4.5 เมตร) จากการสัมภาษณ์ ประมาณ 3 - 5 นาที ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ 4 นาที
2	กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form			
	B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต	- โรงผลิตคอนกรีต - รถโม่ขนส่งคอนกรีต	1 โรง 6 คัน	ระยะเวลาที่ใช้ในผลิตคอนกรีตจากอัตราการผลิตคอนกรีตของโรงผลิตที่ 120 - 150 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง โดยเฉลี่ยที่ 135 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง
	B5 ขนส่งคอนกรีต	- รถโม่ขนส่งคอนกรีต	6 คัน	ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างโรงผลิตไปยังตำแหน่งก่อสร้าง จากการประมาณระยะทางในตำแหน่งก่อสร้างต่างๆ และกำหนดความเร็วในการเดินทางไม่เกิน 30 กม.ต่อชั่วโมงตามมข้อกำหนดโครงการ ดังแสดงในภาพที่ 4-16

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	ทรัพยากรหลัก		วิธีการระบุระยะเวลากิจกรรมจากทรัพยากรที่เป็น Constraint
		ชนิด	จำนวน	
2	กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form (ต่อ)			
	B6 เทคอนกรีต	- รถโม่ขนส่งคอนกรีต - ทีมเทคอนกรีต	6 คัน 1 ทีม	ระยะเวลาที่ใช้ในการเทคอนกรีตและจี้คอนกรีตปริมาณ 5 ลบ.ม. (ปริมาณคอนกรีตรถโม่ขนส่งคอนกรีต 1 คัน) จากการสัมภาษณ์ ประมาณ 5 - 45 นาที ระยะเวลาโดยปกติที่ 30 นาที
	B7 แต่งผิวหน้าเรียบ	- ทีมแต่งผิวหน้าเรียบ	1 ทีม	ระยะเวลาที่ใช้ในการแต่งผิวหน้าคอนกรีตปริมาณ 22.5 ตร.ม. (ขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 4.5 เมตร) จากการสัมภาษณ์ ประมาณ 10 - 30 นาที ระยะเวลาโดยปกติที่ 20 นาที
	B8 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	- ทีมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	1 ทีม	ระยะเวลาที่ใช้ในการกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตปริมาณ 22.5 ตร.ม. (ขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 4.5 เมตร) จากการสัมภาษณ์ ประมาณ 10 - 30 นาที ระยะเวลาโดยปกติที่ 20 นาที และมีระยะเวลาในการรอให้ผิวคอนกรีตเซ็ตตัวหลักจากการแต่งผิวหน้าเรียบประมาณ 10 - 30 นาที ระยะเวลาโดยปกติที่ 20 นาที
	B9 คลุมผิว	- ทีมคลุมผิว - รถบรรทุกติดตั้งเครน	1 ทีม 1 คัน	ระยะเวลาที่ใช้ในการคลุมผิวหน้าคอนกรีตปริมาณ 22.5 ตร.ม. (ขนาดความกว้าง 5 เมตร ความยาว 4.5 เมตร) จากการสัมภาษณ์ ประมาณ 3 - 5 นาที ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ 4 นาที

เมื่อสามารถระบุวิธีการได้มาซึ่งระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยของแต่ละกิจกรรมได้แล้ว ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการคำนวณระยะเวลากิจกรรมต่างๆ ให้อยู่ในรูปการแจกแจงแบบ PERT คือ เวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) เวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (Pessimistic, b) และเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้ที่สุด (Most Likely, m) ให้อยู่ในฐานปริมาณงาน 1 หน่วยเดียวกันดังนี้

(1) งานปูผิวทางคอนกรีตของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver กิจกรรม A4 ถึงกิจกรรม A11 กำหนดปริมาณงาน 1 หน่วย คือ คอนกรีต 1 คันรถบรรทุกที่ 8 ลบ.ม.ต่อคัน

• A4 กิจกรรมเตรียมความพร้อม

การระบุระยะเวลากิจกรรมเตรียมความพร้อมเครื่องจักรหลักในกระบวนการ ได้แก่ Slip-Form Paver และ Texture and Curing Machine ได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 60 – 90 นาที ระยะเวลากิจกรรมโดยปกติที่ 80 นาที สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a) = 60 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b) = 90 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = 80 นาที

• A5 กิจกรรมโหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก

การระบุระยะเวลากิจกรรมโหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุกได้จากการระบุอัตราการผลิตของโรงผลิตคอนกรีตที่ 120 – 150 ลบ.ม.ต่อชม. ที่ปริมาณการผลิตสำหรับรถบรรทุก 1 คัน 8 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)

  การผลิตคอนกรีต 150 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา 60 นาที

  การผลิตคอนกรีต 8 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา = 8 x 60/150 = 3.2 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)

  การผลิตคอนกรีต 120 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา 60 นาที

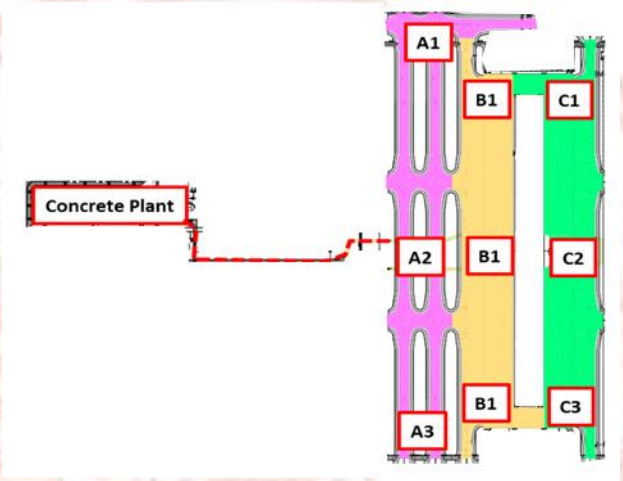
  การผลิตคอนกรีต 8 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา = 8 x 60/120 = 4.0 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = (3.2+4.0)/2 = 3.6 นาที

• A6 กิจกรรมขนส่งคอนกรีต

การระบุระยะเวลากิจกรรมขนส่งคอนกรีตที่เป็นระยะเวลาในการเดินทางขนส่งคอนกรีตจากโรงผลิตคอนกรีตสู่พื้นที่ก่อสร้างตำแหน่งต่างๆ ของรถบรรทุกที่กำหนดความเร็วภายในโครงการไม่เกิน 30 กม.ต่อชม. ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตำแหน่งโรงผลิตคอนกรีตตามบันทึกการทำงานก่อสร้างและกำหนดตำแหน่งพื้นที่ก่อสร้างจำนวน 9 ตำแหน่งกระจายทั่วพื้นที่โครงการดังแสดงในภาพที่ 4-16 และทำการวัดระยะทางตามแนวถนนชั่วคราวของโครงการ ระหว่างตำแหน่งโรงผลิตไปยังตำแหน่งพื้นที่ก่อสร้างต่างๆ เพื่อทำการหาระยะเวลาการเดินทางของรถบรรทุกตามลักษณะการแจกแจงแบบ

PERT ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4-5 และสามารถสรุประยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a) = 2.2 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b) = 4.0 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = 5.4 นาที



ภาพที่ 4-16 กำหนดตำแหน่งก่อสร้างเพื่อหาระยะทางการขนส่งคอนกรีต

ตารางที่ 4-5 ระยะเวลากิจกรรมขนส่งคอนกรีต

ตำแหน่ง	ระยะทาง (ม.)	ระยะเวลา (นาที) ที่ความเร็ว 30 กม./ชม.
A1	1,822	3.6
A2	1,109	2.2
A3	1,748	3.5
B1	2,064	4.1
B2	1,545	3.1
B3	2,166	4.3
C1	2,375	4.8
C2	2,692	5.4
C3	2,273	4.5
Max	2,692	5.4
Average	1,977	4.0
Min	1,109	2.2

• A7 กิจกรรมเทคอนกรีต

การระบุระยะเวลากิจกรรมเทคอนกรีตรวมถึงการป้อนคอนกรีตเข้าสู่หน้า Slip-Form Paver และยกแผง Transverse Joint กลับเข้ามาติดตามตำแหน่งเดิมให้แน่นก่อนจึงจะเริ่มทำการปูคอนกรีต ได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 3 – 5 นาทีต่อปริมาณคอนกรีต 1 รถบรรทุก 8 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a) = 3.0 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b) = 5.0 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = (3+5)/2 = 4.0 นาที

• A8 กิจกรรมปูผิวทาง

การระบุระยะเวลากิจกรรมปูผิวทางได้จากการศึกษาการใช้ความเร็วในการปูผิวทางคอนกรีตที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษามาตรฐานกำหนดเกี่ยวกับกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ได้แก่ ACPA (1995) กำหนดที่ 1 - 2.5 ม.ต่อนาที และ EUPAVE (2017) กำหนดที่ 0.5 - 1.5 ม.ต่อนาที โดยคำนวณความเร็วในการปูผิวทางเฉลี่ยได้ที่ 1.5 ม.ต่อนาที โดยมีความกว้างในการปูทั่วไปของโครงการอยู่ที่ 5 ม. ความหนาผิวทาง 0.5 ม. และปริมาตรรถบรรทุก 1 คัน 8 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)
  ปริมาณพื้นที่ 5 x 2.5 = 12.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาปูผิว 1 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 8 / 0.5 = 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาปูผิว = 16 x 1/12.5 = 1.3 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)
  ปริมาณพื้นที่ 5 x 0.5 = 2.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาปูผิว 1 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 8 / 0.5 = 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาปูผิว = 16 x 1/2.5 = 6.4 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)
  ปริมาณพื้นที่ 5 x 1.5 = 7.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาปูผิว 1 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 8 / 0.5 = 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาปูผิว = 16 x 1/7.5 = 2.1 นาที

• A9 กิจกรรมแต่งผิวหน้าเรียบ

การระบุระยะเวลากิจกรรมแต่งผิวหน้าเรียบได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 6 – 18 นาที โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลา 15 นาทีต่อปริมาณงานปูผิว 1 แผง (22.5 ตร.ม.) โดยมีความกว้างในการปูทั่วไปของโครงการอยู่ที่ 5 ม. ความหนาผิวทาง 0.5 ม. และปริมาตรรถบรรทุก 1 คัน 8 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)
  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 6 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว = 16 x (6/22.5) = 4.3 นาที

- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)
  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 18 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว = 16 x (18/22.5) = 12.8 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)
  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 15 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว = 16 x (15/22.5) = 10.7 นาที

• A10 กิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม

การระบุระยะเวลากิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตโดยใช้ Texture and Curing Machine ได้จาก (1) การกำหนดข้อกำหนดของโครงการที่การพ่นน้ำยาบ่มต้องฉีดพ่นด้วยอัตรา 0.60 ลิตรต่อตร.ม. ดังนั้นที่ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. (พื้นที่ในการปูด้วยคอนกรีต 8 ลบ.ม.) จะใช้ปริมาณน้ำยา = 16 x 0.6 = 9.6 ลิตร (2) ความสามารถของเครื่อง Texture and Curing Machine ในการฉีดพ่นน้ำยาได้ที่อัตรา 23 ลิตรต่อนาที ดังนั้นการฉีดพ่น 9.6 ลิตรจะใช้ระยะเวลา 0.42 นาที และ (3) ความเร็วในการเคลื่อนที่ขณะทำงาน 0 - 22 ม.ต่อนาที สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)
  กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ = 0 ม.ต่อนาที (ฉีดพ่นแต่ไม่เคลื่อนที่)
  ดังนั้น ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a) = 0.42 + 0 = 0.42 = 0.4 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)
  กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ = (0+22)/2 = 11 ม.ต่อนาที
  ระยะทางเคลื่อนที่ 11 ม. ใช้ระยะเวลา 1 นาที
  ระยะทางเคลื่อนที่ 16/5 = 3.2 ม. ใช้ระยะเวลา = 3.2 x 1/11 = 0.29 นาที
  ดังนั้น ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b) = 0.42 + 0.29 = 0.71 = 0.7 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)
  กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ = 22 ม.ต่อนาที
  ระยะทางเคลื่อนที่ 22 ม. ใช้ระยะเวลา 1 นาที
  ระยะทางเคลื่อนที่ 16/5 = 3.2 ม. ใช้ระยะเวลา = 3.2 x 1/22 = 0.15 นาที
  ดังนั้น ระยะเวลาที่เป็นไปได้มากที่สุด (m) = 0.42 + 0.15 = 0.57 = 0.6 นาที

• A11 กิจกรรมคลุมผิว

การระบุระยะเวลากิจกรรมคลุมผิวทางคอนกรีตได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 3 – 5 นาทีต่อปริมาณงานปูผิว 1 แผง (22.5 ตร.ม.) โดยมีความกว้างในการปูทั่วไปของโครงการอยู่ที่ 5 ม. ความหนาผิวทาง 0.5 ม. และปริมาตรรถบรรทุก 1 คัน 8 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)

ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาคลุมผิว 3 นาที
ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาคลุมผิว = 16 x (3/22.5) = 2.1 นาที

- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)
  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาคลุมผิว 5 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาคลุมผิว = 16 x (5/22.5) = 3.6 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)
  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาคลุมผิว (3+5)/2 = 4.0 นาที
  ปริมาณพื้นที่ 16 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาคลุมผิว = 16 x (4/22.5) = 2.8 นาที

จากนั้นสรุปการคำนวณระยะเวลากิจกรรมต่างๆ ของงานปูผิวทางคอนกรีตของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver กิจกรรม A4 ถึงกิจกรรม A11 ให้อยู่ในรูปการแจกแจงแบบ PERT พร้อมคำนวณหาค่าความแปรปรวน (Variance, σ^2) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ) ด้วยสมการที่ 2-3 และสมการที่ 2-4 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะความไม่แน่นอนของข้อมูลระยะเวลากิจกรรมต่างๆ ในเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 สรุปการคำนวณค่าระยะเวลากิจกรรม ค่าความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

No.	กิจกรรม	เวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			ความแปรปรวน σ^2	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ
		a	m	b		
A4	เตรียมความพร้อม	60.0	80.0	90.0	25.00	5.00
A5	โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	3.2	3.6	4.0	0.02	0.13
A6	ขนส่ง	2.2	4.0	5.4	0.28	0.53
A7	เทคอนกรีต	3.0	4.0	5.0	0.11	0.33
A8	ปูผิวทาง	1.3	2.1	6.4	0.72	0.85
A9	แต่งผิวหน้าเรียบ	4.3	10.7	12.8	2.01	1.42
A10	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	0.4	0.6	0.7	0.003	0.05
A11	คลุมผิว	2.1	2.8	3.6	0.06	0.25

(2) งานเทคอนกรีตผิวทางของกระบวนการปูผิวทางวิธีการ Fixed-Form กิจกรรม B4 ถึง กิจกรรม B9 กำหนดปริมาณงาน 1 หน่วย คือ คอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีตที่ 5 ลบ.ม.ต่อคัน

• B4 กิจกรรมโหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต

การระบุระยะเวลากิจกรรมโหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีตได้จากการระบุอัตราการผลิตของโรงผลิตคอนกรีตที่ 120 – 150 ลบ.ม.ต่อชม. ที่ปริมาณการผลิตสำหรับรถขนส่งคอนกรีต 1 คัน 5 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)

  การผลิตคอนกรีต 150 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา 60 นาที

  การผลิตคอนกรีต 5 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา = 5 x 60/150 = 2.0 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)

  การผลิตคอนกรีต 120 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา 60 นาที

  การผลิตคอนกรีต 5 ลบ.ม. ใช้ระยะเวลา = 5 x 60/120 = 2.5 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = (2.0+2.5)/2 = 2.3 นาที

• B5 กิจกรรมขนส่งคอนกรีต

การระบุระยะเวลากิจกรรมขนส่งคอนกรีตที่เป็นระยะเวลาในการเดินทางขนส่งคอนกรีตจากโรงผลิตคอนกรีตสู่พื้นที่ก่อสร้างตำแหน่งต่างๆ ของรถขนส่งคอนกรีตที่กำหนดความเร็วภายในโครงการไม่เกิน 30 กม.ต่อชม. ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตำแหน่งโรงผลิตคอนกรีตตามบันทึกการทำงานก่อสร้าง และกำหนดตำแหน่งพื้นที่ก่อสร้างจำนวน 9 ตำแหน่งกระจายทั่วพื้นที่โครงการดังแสดงในภาพที่ 4-16 และทำการวัดระยะทางตามแนวถนนชั่วคราวของโครงการ ระหว่างตำแหน่งโรงผลิตไปยังตำแหน่งพื้นที่ก่อสร้างต่างๆ เพื่อทำการหาระยะเวลาการเดินทางของรถขนส่งคอนกรีตตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4-5 และสามารถสรุประยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a) = 2.2 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b) = 4.0 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = 5.4 นาที

• B6 กิจกรรมเทคอนกรีต

การระบุระยะเวลากิจกรรมเทคอนกรีตได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 5 – 45 นาที โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลา 30 นาทีต่อปริมาณคอนกรีต 1 รถขนส่งคอนกรีต 5 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a) = 5.0 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b) = 45.0 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m) = 30.0 นาที

• B7 กิจกรรมแต่งผิวหน้าเรียบ

การระบุระยะเวลากิจกรรมแต่งผิวหน้าเรียบได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 10 – 30 นาที โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลา 20 นาทีต่อปริมาณงานปูผิว 1 แผง (22.5 ตร.ม.) โดยมีความกว้างในการปูทั่วไปของโครงการอยู่ที่ 5 ม. ความหนาผิวทาง 0.5 ม. และปริมาตรรถขนส่งคอนกรีต 1 คัน 5 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)

  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 10 นาที

  ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว = 10 x (10/22.5)

  = 4.4 นาที

- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)

  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 30 นาที

  ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว = 10 x (30/22.5)

  = 13.3 นาที

- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)

  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 20 นาที

  ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว = 10 x (20/22.5)

  = 8.9 นาที

• B8 กิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม

การระบุระยะเวลากิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 10 – 30 นาที โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลา 20 นาทีต่อปริมาณงานปูผิว 1 แผง (22.5 ตร.ม.) โดยมีความกว้างในการปูทั่วไปของโครงการอยู่ที่ 5 ม. ความหนาผิวทาง 0.5 ม. และปริมาตรรถขนส่งคอนกรีต 1 คัน 5 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)

  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม 10 นาที

  ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (10/22.5)

  = 4.4 นาที

- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)

  ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม 30 นาที

  ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (30/22.5)

  = 13.3 นาที

- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)

ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 20 นาที
ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (20/22.5)
= 8.9 นาที

และมีระยะเวลาในการรอให้ผิวหน้าคอนกรีตเซ็ตตัวก่อนเริ่มกิจกรรม B8 ประมาณ 10 – 45 นาที โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลา 30 นาทีต่อปริมาณงานปูผิว 1 แผงเช่นเดียวกัน สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)
ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม 10 นาที
ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (10/22.5)
= 4.4 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)
ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม 45 นาที
ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (45/22.5)
= 20.0 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)
ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว 30 นาที
ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (30/22.5)
= 13.3 นาที

• B9 กิจกรรมคลุมผิว

การระบุระยะเวลากิจกรรมคลุมผิวได้จากการสัมภาษณ์ระยะเวลากิจกรรมที่ใช้โดยประมาณจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้าง ที่ระบุระยะเวลากิจกรรม 3 – 5 นาทีต่อปริมาณงานปูผิว 1 แผง (22.5 ตร.ม.) โดยมีความกว้างในการปูทั่วไปของโครงการอยู่ที่ 5 ม. ความหนาผิวทาง 0.5 ม. และปริมาตรรถขนส่งคอนกรีต 1 คัน 5 ลบ.ม. สามารถคำนวณหาระยะเวลากิจกรรมตามลักษณะการแจกแจงแบบ PERT ได้ดังนี้

- ระยะเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (a)
ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม 3 นาที
ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (3/22.5)
= 1.3 นาที
- ระยะเวลาแล้วเสร็จช้าที่สุด (b)
ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม 5 นาที
ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (5/22.5)
= 2.2 นาที
- ระยะเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุด (m)
ปริมาณพื้นที่ 22.5 ตร.ม. ใช้ระยะเวลาแต่งผิว (3+5)/2 = 4 นาที

ปริมาณพื้นที่ (5/0.5) = 10 ตร.ม. ใช้ระยะเวลากิจกรรม = 10 x (4/22.5)
= 1.8 นาที

จากนั้นสรุปการคำนวณระยะเวลากิจกรรมและความล่าช้าต่างๆ ของงานเทคอนกรีตผิวทางของกระบวนการปูผิวทางวิธีการ Fixed-Form กิจกรรม B4 ถึงกิจกรรม B9 ให้อยู่ในรูปการแจกแจงแบบ PERT พร้อมคำนวณหาค่าความแปรปรวน (Variance, σ^2) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ) ด้วยสมการที่ 2-3 และสมการที่ 2-4 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะความไม่แน่นอนของข้อมูลระยะเวลากิจกรรมและความล่าช้าต่างๆ ในเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 สรุปการคำนวณค่าระยะเวลาและความล่าช้ากิจกรรม ค่าความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการปูผิวทางวิธีการ Fixed-Form

No.	กิจกรรม (Activity)	เวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			ความแปรปรวน σ^2	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ
		a	m	b		
B4	โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง	2.0	2.3	2.5	0.01	0.08
B5	ขนส่ง	2.2	4.0	5.4	0.28	0.53
B6	เทคอนกรีต	5.0	30.0	45.0	44.44	6.67
B7	แต่งผิวหน้าเรียบ	4.4	8.9	13.3	2.20	1.48
B8	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	4.4	8.9	13.3	2.20	1.48
B9	คลุมผิว	1.3	1.8	2.2	0.02	0.15
No.	ความล่าช้า (Lag)	ความล่าช้าต่อหน่วย (Lag) นาที			ความแปรปรวน σ^2	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ
		a	m	b		
B7-B8	รอผิวคอนกรีตเซ็ตตัว	4.4	13.3	20	6.76	2.60

4.4 สรุปการศึกษากระบวนการการก่อสร้าง

ในบทที่ 4 นี้ได้แสดงการดำเนินการศึกษากระบวนการ ระยะเวลากิจกรรม ลักษณะการใช้ทรัพยากรของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางของโครงการกรณีศึกษา เพื่อศึกษาผลิตภาพจริงของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และทำการสรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษากระบวนการก่อสร้างของโครงการงานก่อสร้างผิวทางปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตสนามบินกรณีศึกษาตามหัวข้อที่ 3.2.1 ขั้นตอนที่ 4

สามารถระบุกระบวนการก่อสร้างที่จะดำเนินการสร้างและใช้งานแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างตามวัตุประสงค์ของงานวิจัยได้จำนวน 2 กระบวนการ และแต่ละกระบวนการสามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้

(1) กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver สามารถสรุปข้อมูลที่จำเป็นในการจำลองกระบวนการก่อสร้างให้สอดคล้องกับกระบวนการก่อสร้างจริงที่มีขอบเขตกิจกรรมสรุปเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ในภาพที่ 4-11 ตั้งแต่กิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ถึง A11 คลุมผิวได้ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งถูกกำหนดจากขอบเขตการทำงานที่ผู้รับเหมาก่อสร้างได้บันทึกปริมาณก่อสร้างรายวัน (Daily Report) โดยจากการวิเคราะห์กระบวนการก่อสร้างจริงนอกจากกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อมที่เป็นกิจกรรมเฉพาะช่วงเริ่มกระบวนการในแต่ละวัน สามารถระบุลักษณะความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยกิจกรรมที่มีต่อกิจกรรมก่อนหน้าเป็นแบบ Finish to Start (FTS) ที่แต่ละกิจกรรมมีระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยในรูปแบบการแจกแจงแบบ PERT และทรัพยากรที่ใช้จากการศึกษาในหัวข้อ 4.3 แล้ว ยังมีเงื่อนไขความสัมพันธ์การทำงานเป็นวงรอบของรถบรรทุกจำนวน 6 คัน การกำหนดจำนวนรถบรรทุกจอดรอเทคอนกรีตไม่เกิน 3 คัน การปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver ที่จะเริ่มการปูได้ก็ต่อเมื่อได้รับคอนกรีตปริมาณ 2 คันรถและไม่เทสะสมหน้าเครื่องปูมากเกิน 3 คัน และตามพฤติกรรมการทำงานของทีมงานแต่งผิวที่ใช้ระยะเวลาทำกิจกรรมมากที่สุดในกระบวนการจึงกำหนดให้เครื่องปูคอนกรีตปูผิวทางออกมาให้มีปริมาณไม่เกิน 2 คันรถ

(2) กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form สามารถสรุปข้อมูลที่จำเป็นในการจำลองกระบวนการก่อสร้างให้สอดคล้องกับกระบวนการก่อสร้างจริงที่มีขอบเขตกิจกรรมสรุปเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ในภาพที่ 4-12 ตั้งแต่กิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต ถึง B9 คลุมผิวได้ดังตารางที่ 4-9 โดยจากการวิเคราะห์กระบวนการก่อสร้างจริงสามารถระบุลักษณะความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยกิจกรรมที่มีต่อกิจกรรมก่อนหน้าเป็นแบบ Finish to Start (FTS) ที่แต่ละกิจกรรมมีระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยและความล่าช้าของกิจกรรม B8 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มที่ตามหลังกิจกรรม B7 แต่งผิวหน้าเรียบในรูปแบบการแจกแจงแบบ PERT และทรัพยากรที่ใช้จากการศึกษาในหัวข้อ 4.3 แล้ว ยังมีเงื่อนไขความสัมพันธ์การทำงานเป็นวงรอบของรถขนส่งคอนกรีตจำนวน 6 คัน และการการความคุมปริมาณการขนส่งคอนกรีตมาจอดรอเทไม่เกิน 2 คันรถเพื่อให้ทีมงานเทคอนกรีตและทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักสามารถทำงานได้ทัน

โดยแนวคิดการกำหนดขอบเขตกิจกรรมในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดกรอบของกระบวนการก่อสร้างที่สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองการทำงานลักษณะซ้ำๆ และสามารถ

ทำนายผลลัพธ์การทำงานจริงได้ โดยที่กิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการก่อสร้างนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อดังนี้

1. กิจกรรมนั้นๆ ในกระบวนการต้องสามารถระบุวิธีการทำงาน ระยะเวลาการทำงานแต่ละวงรอบงานซ้ำ และทรัพยากรที่ใช้ได้ชัดเจน

2. ทุกกิจกรรมจะต้องสามารถระบุการส่งผ่านงานในแต่ละวงรอบงานซ้ำๆ ในปริมาณหน่วยงานเดียวกันได้ เช่น การส่งผ่านปริมาณคอนกรีต 1 คันรถในแต่ละกิจกรรม เป็นต้น

3. เนื่องจากในงานวิจัยนี้การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลากิจกรรมเป็นการศึกษาจากโครงการก่อสร้างในอดีตไม่ใช่การศึกษาเวลาในขณะทำกิจกรรมโดยตรง เพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองสามารถทำนายลักษณะการทำงานของกระบวนการจริงได้ แต่ละกิจกรรมก่อสร้างนั้นจะต้องมีผลลัพธ์ของการทำงานจริงเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 4-8 สรุปข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

หน่วยวัดปริมาณงาน (U)			คอนกรีต 1 คันรถ = 8 ลบ.ม. = พื้นที่การปู 16 ตร.ม. (ความหนา 0.50 ม.)							
ระยะเวลาทำงานก่อสร้าง (T)			11 ชั่วโมงต่อวัน (660 นาที)							
No.	กิจกรรม	กิจกรรมก่อนหน้า	เวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			ความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) นาที			ทรัพยากร (R)	
			a	m	b	a	m	b	ชนิด	จำนวน
A4	เตรียมความพร้อม		60.0	80.0	90.0	-	-	-	ทีมเตรียมความพร้อมเครื่องจักร ทีมยกแผง Transverse Joint ออก	1 ทีม 1 ทีม
A5	โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	A4	3.2	3.6	4.0	-	-	-	โรงผลิตคอนกรีต รถบรรทุก 10 ล้อ	1 โรง 6 คัน
A6	ขนส่ง	A5	2.2	4.0	5.4	-	-	-	รถบรรทุก 10 ล้อ	6 คัน
A7	เทคอนกรีต	A6	3.0	4.0	5.0	-	-	-	พื้นที่หน้า Slip-Form Paver รถบรรทุก 10 ล้อ ทีมติดตั้ง Transverse Joint กลับ รถขุดล้อยาง	1 ตำแหน่ง 6 คัน 1 ทีม 1 คัน
A8	ปูผิวทาง	A7	1.3	2.1	6.4	-	-	-	Slip-Form Paver	1 คัน
A9	แต่งผิวหน้าเรียบ	A8	4.3	10.7	12.8	-	-	-	ทีมแต่งผิวหน้า	1 ทีม
A10	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	A9	0.4	0.6	0.7	-	-	-	Texture and Curing Machine	1 คัน
A11	คลุมผิว	A10	2.1	2.8	3.6	-	-	-	ทีมคลุมผิว รถบรรทุกติดตั้งเครน	1 ทีม 1 คัน

ตารางที่ 4-9 สรุปข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

หน่วยวัดปริมาณงาน (U)			คอนกรีต 1 คันรถ = 5 ลบ.ม. = พื้นที่การปู 10 ตร.ม. (ความหนา 0.50 ม.)							
ระยะเวลาทำงานก่อสร้าง (T)			11 ชั่วโมงต่อวัน (660 นาที)							
No.	กิจกรรม	กิจกรรมก่อนหน้า	เวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			ความล่าช้าจากกิจกรรมก่อนหน้า (Lag) นาที			ทรัพยากร (R)	
			a	m	b	a	m	b	ชนิด	จำนวน
B4	โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง		2.0	2.3	2.5	-	-	-	โรงผลิตคอนกรีต รถโม่ขนส่งคอนกรีต	1 โรง 6 คัน
B5	ขนส่ง	B4	2.2	4.0	5.4	-	-	-	รถโม่ขนส่งคอนกรีต	6 คัน
B6	เทคอนกรีต	B5	5.0	30.0	45.0	-	-	-	รถโม่ขนส่งคอนกรีต ทีมเทคอนกรีต	6 คัน 1 ทีม
B7	แต่งผิวหน้าเรียบ	B6	4.4	8.9	13.3	-	-	-	ทีมแต่งผิวหน้า	1 ทีม
B8	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	B7	4.4	8.9	13.3	4.4	13.3	20.0	ทีมกรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	1 ทีม
B9	คลุมผิว	B8	1.3	1.8	2.2	-	-	-	ทีมคลุมผิว รถบรรทุกติดตั้งเครน	1 ทีม 1 คัน

บทที่ 5
การจำลองกระบวนการก่อสร้าง

ดำเนินการจำลองกระบวนการก่อสร้างตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.4 ทั้ง 2 ชนิด คือ การจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมจำลองวิธี ACD ซึ่งการจำลองกระบวนการก่อสร้างจะจำลองกระบวนการก่อสร้างตามที่ได้ศึกษาและสรุปข้อมูลในบทที่ 4 จำนวน 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กระบวนการละ 2 กรณี ได้แก่ กรณีเฉลี่ย (Average Case) และกรณีดีที่สุด (Best Case) รวมทั้งสิ้นจำนวน 8 การจำลองได้แก่

(1) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A)
(2) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B)
(3) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A)
(4) การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B)
(5) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A)
(6) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-B)
(7) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) และ
(8) การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

โดยข้อมูลนำเข้าจากกระบวนการก่อสร้างจริงที่ไปใช้ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 จะใช้ข้อมูลที่ได้ทำการสรุปจากตารางที่ 4-8 และตารางที่ 4-9 สำหรับแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ตามลำดับ

5.1 การจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM)

5.1.1 การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A)

การจำลองกระบวนการก่อสร้างนี้วิธีมีแนวคิดคือการนำวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่สามารถแสดงให้เห็นถึงความต่อเนื่องของการใช้ทรัพยากรในงานก่อสร้างที่มีกิจกรรมซ้ำๆ หลายหน่วยมาใช้งานร่วมกับวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่สามารถจำลองลักษณะความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างได้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ Repetitive Scheduling Method (RSM) ในการสร้างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้างที่จะดำเนินการจำลอง ซึ่งในหัวข้อนี้คือกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ช่วงกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ถึง A11 คลุมผิวซึ่งเป็นกระบวนการก่อสร้างที่มีกิจกรรมซ้ำๆ หลายหน่วย สามารถแบ่งหน่วยงานย่อยที่เหมาะสมคือ ปริมาณคอนกรีต 1 คันรถบรรทุก 10 ล้อ ที่ 8 ลบ.ม. แปลงปริมาณงานเป็นพื้นที่งานปูผิวทางที่ความหนา 0.50 เมตร ได้เท่ากับ 16 ตร.ม. ข้อดีของการใช้วิธี RSM คือสามารถเห็นความสัมพันธ์ของการใช้ทรัพยากรระหว่างกิจกรรมในขณะการสร้างแบบจำลองได้ง่าย สาเหตุที่ต้องกำหนดความสัมพันธ์

ระหว่างกิจกรรมให้สอดคล้องกับกระบวนการก่อสร้างจริงเนื่องจากหากดำเนินการสร้างแบบจำลองโดยคำนึงถึงการใช้งานทรัพยากรของแต่ละกิจกรรมอย่างต่อเนื่องเพียงอย่างเดียวตามหลักการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะการทำกิจกรรมซ้ำๆ เช่น วิธี Line of Balance จะไม่สามารถทำนายลักษณะการทำงานของกระบวนการก่อสร้างจริงได้อย่างถูกต้อง จะแสดงตัวอย่างที่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในลำดับถัดไป

ประโยชน์ของการใช้งานวิธี RSM อีกประการคือการกำหนดจุดควบคุม (Control Point) ตามหลักการของ RSM มีประโยชน์อย่างมากในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมให้เป็นไปตามลำดับการทำงานที่ระบุเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ของการทำงาน 1 หน่วย

การสร้างแบบจำลองตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.4.1 เริ่มจากนำระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยที่กำหนดให้เท่ากับปริมาณคอนกรีต 1 คันรถบรรทุก (8 ลบ.ม.) ของกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อมถึง A11 คลุมผิวมาคำนวณหาระยะเวลาคาดหวัง (Te) ตามวิธี PERT โดยใช้สมการที่ 3-1 ดังแสดงในตารางที่ 5-1 เพื่อให้ระยะเวลาก่อสร้างแต่ละกิจกรรมนั้นเป็นตัวแทนของระยะเวลากิจกรรมในลักษณะความไม่แน่นอนต่างๆ ที่ระบุเป็นการแจกแจงแบบ PERT

ตารางที่ 5-1 ระยะเวลาคาดหวังของกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

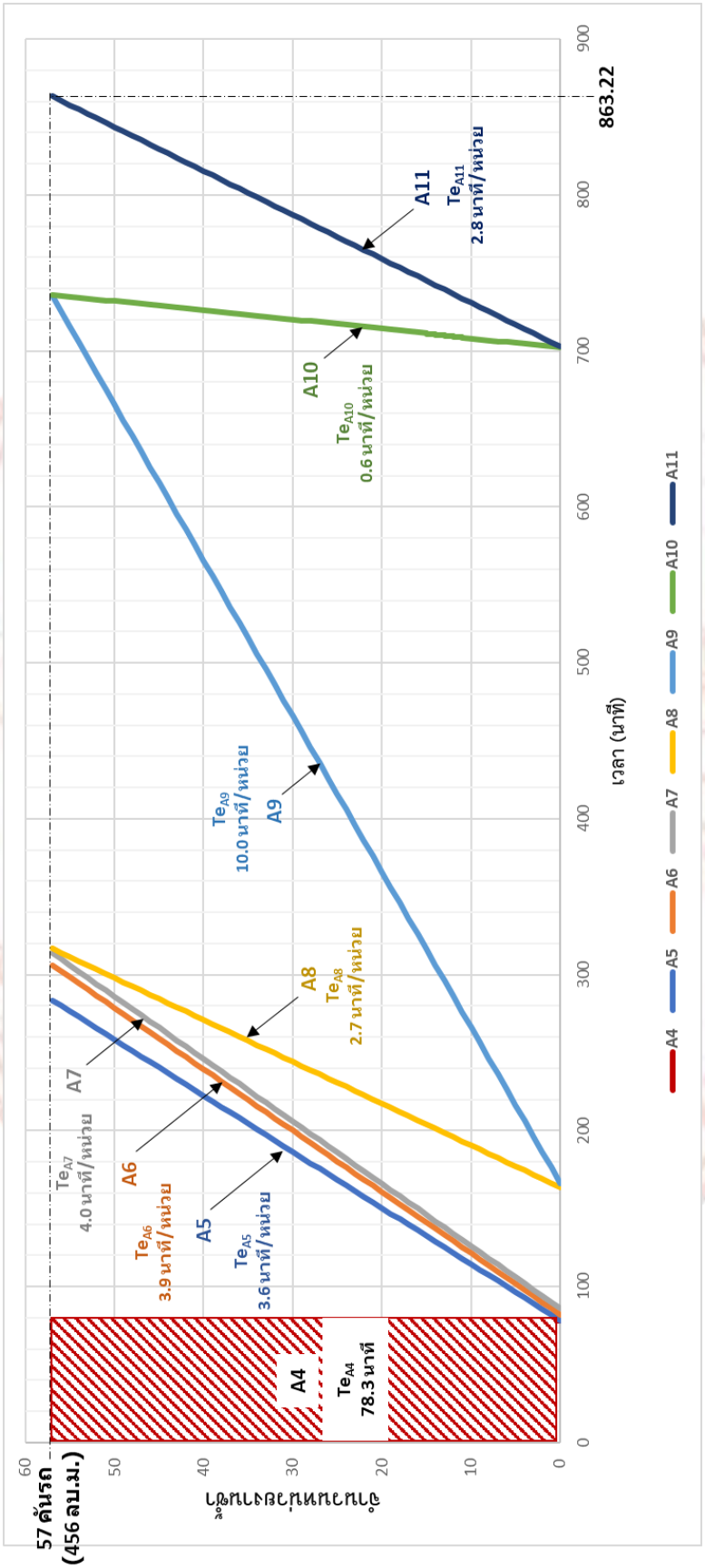
No.	กิจกรรม (Activity)	เวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			Te
		a	m	b	
A4	เตรียมความพร้อม	60.0	80.0	90.0	78.3
A5	โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	3.2	3.6	4.0	3.6
A6	ขนส่ง	2.2	4.0	5.4	3.9
A7	เทคอนกรีต	3.0	4.0	5.0	4.0
A8	ปูผิวทาง	1.3	2.1	6.4	2.7
A9	แต่งผิวหน้าเรียบ	4.3	10.7	12.8	10.0
A10	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	0.4	0.6	0.7	0.6
A11	คลุมผิว	2.1	2.8	3.6	2.8

หากดำเนินการจำลองโดยไม่ได้กำหนดจุดควบคุมตามตรรกะที่ระบุในแผนภาพ Arrow Network Diagram ดังกล่าว และไม่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมตามพฤติกรรมการดำเนินการก่อสร้างจริงที่ศึกษาในบทที่ 4 แต่ดำเนินการจำลองโดยคำนึงถึงเพียงให้ทรัพยากรของแต่ละกิจกรรมถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องเท่านั้นจะมีลักษณะเป็นดังภาพที่ 5-1 ที่แบบจำลองนั้นไม่แสดงถึงการทำงานที่สัมพันธ์กันตามลักษณะการดำเนินการกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver จริงเลย อธิบายจากภาพที่ 5-1 กิจกรรม A5 ถึงกิจกรรม A7 เป็นการดำเนินการโหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุกจนถึงการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver เห็นได้ว่ากิจกรรมกลุ่มนี้เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่เร็วกว่ากิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบที่ใช้เฉพาะแรงงานคนในการ

แต่งผิวภายหลังเครื่องปูคอนกรีต กลายเป็นว่าโรงผลิตคอนกรีตเร่งผลิตคอนกรีตให้รถบรรทุกขนส่งมาเทให้ Slip-Form Paver เร่งปูผิวทางล่วงหน้าในปริมาณมากจนทีมงานแต่งผิวหน้าแต่งผิวตามไม่ทัน ซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถดำเนินการลักษณะนี้ได้ เพราะหากปูผิวทางในปริมาณมากๆ โดยทำการแต่งเก็บผิวหน้าไม่ทันจนคอนกรีตผิวทางเซ็ตตัวเสียก่อนจะทำให้ไม่สามารถแต่งผิวหน้าได้ ผิวทางที่ออกมานั้นจะไม่มีคุณภาพ ไม่เรียบและมีรูโพรงที่ผิว จนถึงขอบของผิวทางนั้นไม่ได้ระดับ เป็นต้น

และลักษณะของกลุ่มกิจกรรม A10 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม และ A11 คลุมผิวนั้นไม่สามารถทิ้งช่วงระยะเวลาหลังการแต่งผิวหน้าเรียบไปทำกิจกรรมในเฉพาะช่วงท้ายของวันได้ เนื่องจากหากไม่ฉีดพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตและทำการคลุมผิวหน้าภายหลังแต่งผิวในทันที จะทำให้ผิวคอนกรีตสูญเสียความชื้นเนื่องจากความร้อนและแสงแดด ส่งผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวทางได้

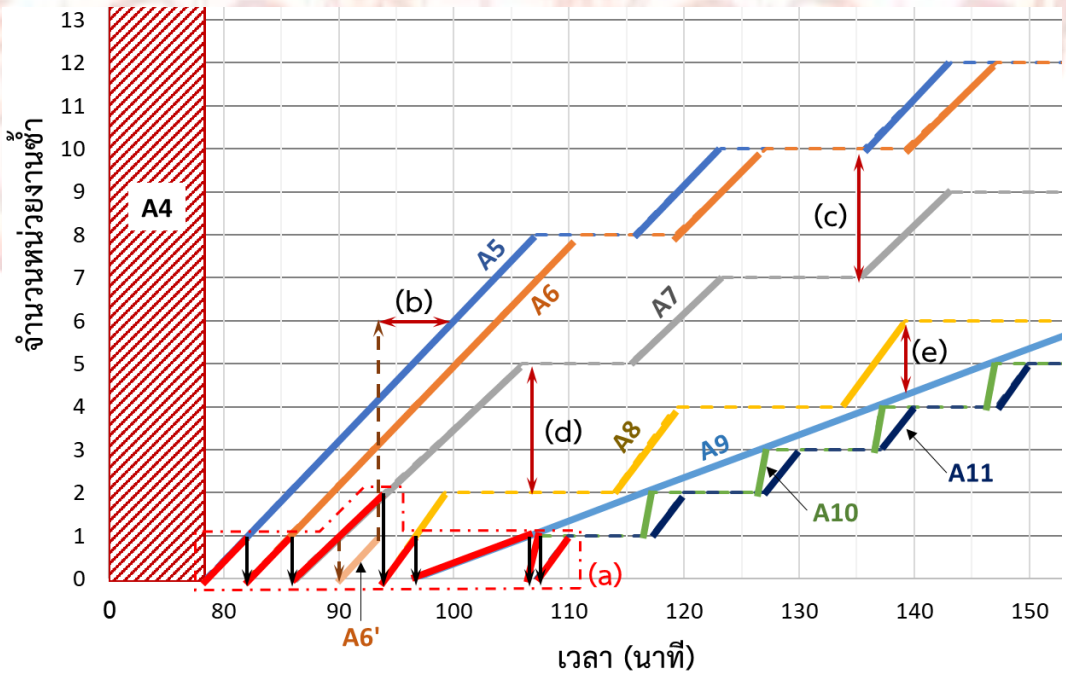
ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ข้างต้นเป็นเหตุให้ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างต้องคำนึงถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตามความเป็นจริงด้วย โดยกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่ต้องกำหนดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5-1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver
โดยไม่คำนึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้าง

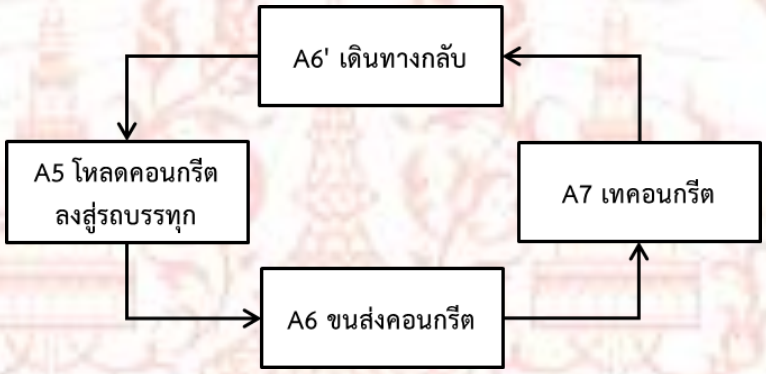
ภายหลังคำนวณหาระยะเวลาคาดหวังของแต่ละกิจกรรมแล้ว นำระยะเวลาคาดหวังของแต่ละหน่วยกิจกรรมมาสร้างเป็นเส้นกราฟผลิตภาพ 1 หน่วย แล้วกำหนดจุดควบคุม (Control Point) ในเบื้องต้นโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพแต่ละกิจกรรมที่มีลักษณะ Finish to Start (FTS) แสดงถึงการส่งผ่านปริมาณงานผิวทางที่แล้วเสร็จแต่ละหน่วยไปยังกิจกรรมต่างๆ ตามลำดับที่ระบุเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ดังภาพที่ 4-11 ยกเว้นกิจกรรม A7 เทคอนกรีตที่ตามลักษณะการทำงานจริงจะต้องมีปริมาณคอนกรีตสะสมล่วงหน้าประมาณ 2 หน่วยก่อนจึงจะเริ่มกิจกรรม A8 ปูผิวทางได้ ดังภาพที่ 5-4 เป็นตัวอย่างตารางคำนวณแผนงาน RSM บนโปรแกรม Spreadsheet สำหรับสร้างแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย จะเห็นว่ากิจกรรม A8 ปูผิวทางหน่วยที่ 1 จะมีเวลาเริ่มต้นเท่ากับเวลาสิ้นสุดของกิจกรรม A7 เทคอนกรีตหน่วยที่ 2 เท่ากับ 9.39 นาที

การสร้างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมในเบื้องต้นนี้เพื่อวิเคราะห์ว่ากิจกรรมใดทำให้กระบวนการผลิตขาดสมดุล เช่น เป็นกิจกรรมเริ่มต้นแต่มีผลิตภาพต่ำกว่ากิจกรรมอื่นๆ หรือ เป็นกิจกรรมท้ายกระบวนการที่มีผลิตภาพสูงกว่ากิจกรรมอื่นๆ เป็นต้น โดยในกระบวนการปูผิวทางกรณีศึกษานี้ พบว่ากิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบมีผลิตภาพต่ำที่สุด โดยมีระยะเวลาคาดหวังประมาณ 10 นาทีต่อหน่วยดังแสดงในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (a) ซึ่งไม่รวมกิจกรรม A4 ซึ่งเป็นกิจกรรมการเตรียมความพร้อมที่เป็นการเตรียมการแยกจากกิจกรรมปูผิวทางในช่วงเริ่มต้นวัน จึงเขียนเป็นกล่องขอบเขตกิจกรรมในช่วงเริ่มต้นของแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 5-2 โดยกิจกรรม A4 มีระยะเวลาคาดหวังเท่ากับ 78.3 นาที



ภาพที่ 5-2 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

ลักษณะความสัมพันธ์ช่วงกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก ถึงกิจกรรม A7 เทคอนกรีต เป็นกลุ่มกิจกรรมลักษณะงานซ้ำที่เริ่มภายหลักการเตรียมความพร้อมแล้วเสร็จ โดยมีทรัพยากรร่วมของกิจกรรมต่างๆ ในกลุ่มนี้ คือ รถบรรทุก 10 ล้อ เริ่มจากรถบรรทุกรับคอนกรีตจากโรงผลิต ทำการขนส่ง และเทลงที่ด้านหน้าเครื่องปู จากนั้นจึงเริ่มกลุ่มกิจกรรมถัดไป โดยในกรณีศึกษามีจำนวนรถบรรทุกในกระบวนการทั้งหมด 6 คัน และแต่ละคันจะทำกิจกรรมเป็นวงรอบดังภาพที่ 5-3 ตัวอย่างเช่น รถบรรทุกคันที่ 1 จะทำงานเป็นวงรอบ รับคอนกรีต-ขนส่ง-เทคอนกรีต-เดินทางกลับ และกลับมารอในแถวคอย (Queue) เพื่อเริ่มกิจกรรม A5 รอบที่ 2 ซึ่งก็คือหน่วยงานซ้ำที่ 7 ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (b)



ภาพที่ 5-3 วงรอบการทำงานของรถบรรทุก 10 ล้อ (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

ดังนั้นเพื่อตรวจสอบระยะเวลาการทำงานของรถบรรทุกใน 1 รอบจึงสร้างกิจกรรม A6’ รถบรรทุกเดินทางกลับเพิ่ม เพื่อให้ตรงกับการดำเนินการจริงของรถบรรทุก และเนื่องจากการเดินทางไป-กลับระหว่างโรงผลิตคอนกรีตและตำแหน่งงานก่อสร้างนั้นใช้เส้นทางเดียวกัน จึงกำหนดให้ระยะเวลากิจกรรม A6’ เดินทางกลับเท่ากับระยะเวลาของกิจกรรม A6 ขนส่งคอนกรีต ดังภาพที่ 5-4 รถบรรทุก 10 ล้อคันที่ 1 ทำกิจกรรม A7 เทคอนกรีตเสร็จที่เวลา 89.9 นาที แล้วจึงเดินทางกลับด้วยกิจกรรม A6’ รวมแล้วเสร็จวงรอบรถบรรทุกในรอบแรก 89.9 + 3.9 = 93.8 นาที ซึ่งไม่เกินเวลาที่โรงผลิตคอนกรีตจะเริ่มโหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุกในกิจกรรม A5 หน่วยที่ 7 ที่เวลา 99.9 นาที

เพื่อไม่ให้มีการผลิตคอนกรีตและขนส่งมารอเทเกิน 3 คันรถ จึงกำหนดเงื่อนไขระยะห่างระหว่างกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตและกิจกรรม A7 เทคอนกรีตไม่เกิน 3 หน่วยดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (c) และอธิบายในภาพที่ 5-4 ที่กำหนดระยะเวลาเริ่มกิจกรรม A5 หน่วยที่ 9 ภายหลังเวลาเริ่มกิจกรรม A7 ในหน่วยที่ 6

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม A7 เทคอนกรีต และกิจกรรม A8 ปูผิวทาง จากการพิจารณาวิธีการทำงาน กิจกรรม A7 จะทำการเทคอนกรีตล่วงหน้าประมาณ 2 หน่วยเพื่อให้มีคอนกรีตสะสมที่เครื่องปูคอนกรีตมากพอที่จะสามารถปูผิวทางได้ก่อนกิจกรรม A8 จะเริ่มปูผิวทาง และหากกิจกรรม A7 ทำการเทคอนกรีตโดนไม่คำนึงถึงความเร็วในการปูของเครื่องปูจนมีปริมาณคอนกรีตที่ถูกเทล่วงหน้าก่อนทำกิจกรรม A8 เป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้คอนกรีตหมดอายุก่อนที่จะทำการปู ดังนั้นจึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม A7 และ A8 โดยผู้วิจัยกำหนดให้สามารถมีปริมาณคอนกรีตที่ถูกเทสะสมล่วงหน้างานปูผิวได้ไม่เกิน 3 หน่วย ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (d) และอธิบายในภาพที่ 5-4 ที่เห็นได้จากกิจกรรม A7 หน่วยที่ 6 จะเริ่มกิจกรรมได้ภายหลังกิจกรรม A8 ในหน่วยที่ 3 ได้เริ่มทำกิจกรรมไปแล้ว

กิจกรรม A8 ปูผิวทาง ถึงกิจกรรม A11 คลุมผิว เป็นกลุ่มกิจกรรมการปูผิวทางคอนกรีต ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมจะต้องเป็นไปตามลักษณะการทำงานที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 4.1.1 ได้แก่

- อัตราการทำกิจกรรม A8 ปูผิวทางและ A9 แต่งผิวหน้าจะต้องสัมพันธ์กัน ซึ่งกำหนดให้ปริมาณงานซ้ำของกิจกรรม A8 ที่แล้วเสร็จจะต้องรอทำกิจกรรม A9 ไม่เกิน 2 หน่วย (32 ตร.ม.) แสดงถึงพฤติกรรมที่เครื่องปูคอนกรีตจะไม่ปูผิวทางออกมาปริมาณมากเกินกว่าที่ทีมแต่งผิวหน้าเรียบที่มีความเร็วในการแต่งผิวหน้าช้ากว่าเครื่องปูคอนกรีตเนื่องจากใช้แรงงานคนเป็นหลักจะตามเก็บแต่งผิวหน้าเรียบได้ทัน ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (e)
- กิจกรรม A10 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม และกิจกรรม A11 คลุมผิวจะดำเนินกิจกรรมต่อเนื่องกันภายหลังแต่งผิวหน้าทันทีเพื่อป้องกันความร้อนและการระเหยของน้ำในคอนกรีต

จากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมตามแนวคิดข้างต้น การจำลองกระบวนการวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำในลักษณะการดำเนินการก่อสร้างกรณีเฉลี่ย (Average Case) ที่จำนวนหน่วยงานซ้ำ 57 หน่วย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 5-5 ระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จจากการจำลองเท่ากับ 669.00 นาที สูงกว่าระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 660 นาที เท่ากับ 1.36% แล้วเมื่อวิเคราะห์เส้นกราฟแบบจำลองเดิมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน พบว่าที่การทำงานก่อสร้าง 660 นาทีมีปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อสะสมรวม 56 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างจริงในการทำงานกรณีเฉลี่ยจำนวน 57 คันรถ คิดเป็น 1.75% ดังสรุปในตารางที่ 5-2

5.1.2 การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B)

เมื่อนำแบบจำลองของกรณีเฉลี่ยสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วันมาปรับเปลี่ยนค่าเพื่อจำลองจำนวนหน่วยงานซ้ำที่ 138 หน่วย และกำหนดระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยเฉพาะเวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) สำหรับการจำลองในกรณีดีที่สุด (Best Case) จากภาพที่ 5-1 โดยดำเนินการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตามที่วิเคราะห์การทำงานก่อสร้างจริงโดยละเอียดตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการจำลองกรณีเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 5-6 ระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จจากการจำลอง

เท่ากับ 668.80 นาที ระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน 1.33% และเมื่อวิเคราะห์เส้นกราฟแบบจำลองเดิมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน พบว่าที่การทำงานก่อสร้าง 660 นาทีมีปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อสะสมรวม 136 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างจริงในการทำงานกรณีดีที่สุดจำนวน 138 คันรถ คิดเป็น 1.45% ดังสรุปในตารางที่ 5-2

เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A) และกรณีดีที่สุด (RSM-S-B) นั้นให้ระยะเวลาการทำงานใน 1 วันเท่ากับ 669.00 และ 668.80 นาทีตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาทำงานใน 1 วันที่ 660 นาที แต่เพียงการจำลองให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำลองกรณีดีที่สุดสามารถให้ปริมาณงานเพิ่มขึ้นจากกรณีเฉลี่ยถึงประมาณ 2.4 เท่า

ตารางที่ 5-2 ผลการจำลองด้วยวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A) และกรณีดีที่สุด (RSM-S-B)

ลักษณะการทำงาน กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	การจำลองหาระยะเวลาทำงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน		การจำลองหาปริมาณงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที)	
	ระยะเวลา (นาที)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถบรรทุก (คัน)	%
Average Case (57 คันรถ)	669.00	1.36%	56	-1.75%
Best Case (138 คันรถ)	668.80	1.33%	136	-1.45%

ตารางคำนวณแผนงาน Repetitive Scheduling Method (RSM)

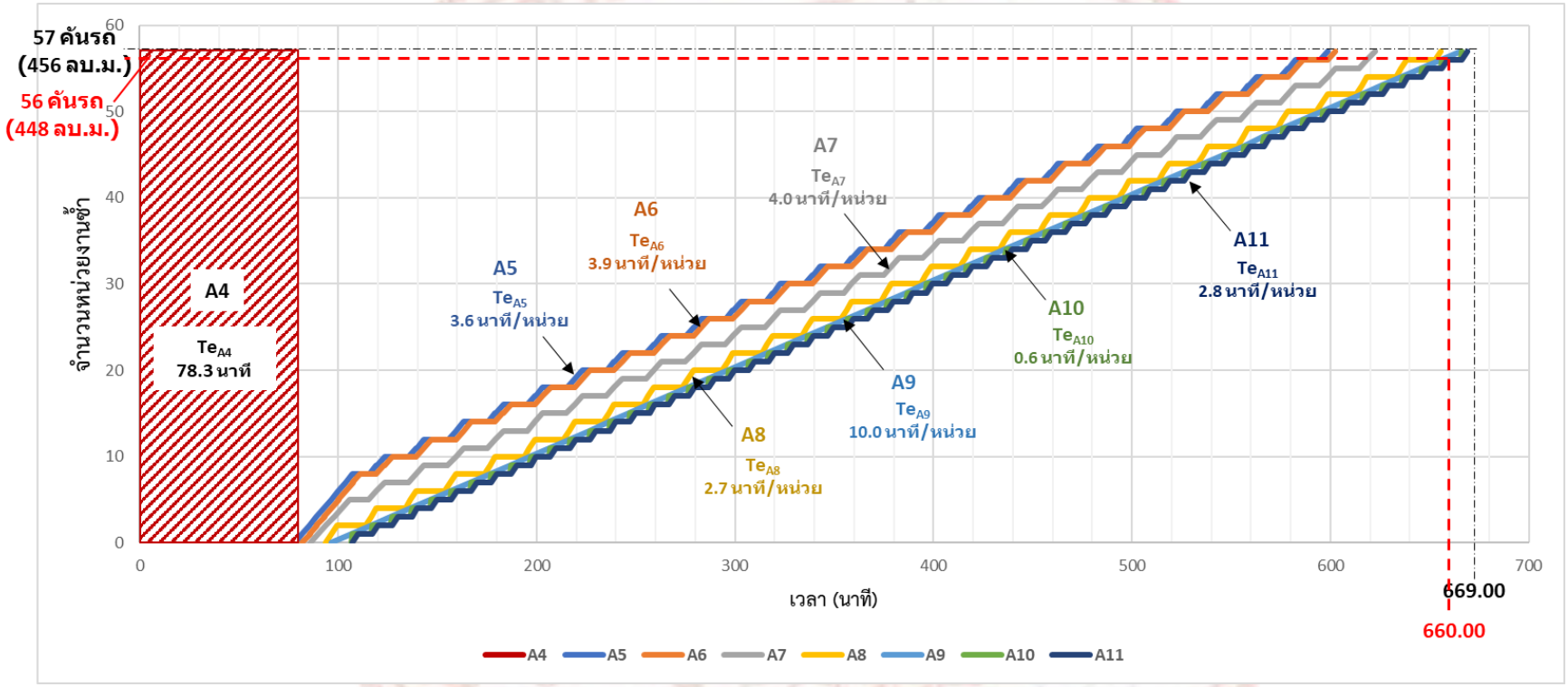
ปริมาณงาน	901.19	ตร.ม.	จำนวนหน่วยงานซ้ำ (N)	57	หน่วย
ระยะห่าง joint	4.5	ม.	กำหนดงานซ้ำ 1 หน่วย	8	ลบ.ม.ต่อหน่วย (คอนกรีต 1 คันรถ)
ความกว้าง	5	ม.	การวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U)	16	ตร.ม.ต่อหน่วย
ความหนา	0.5	ม.			

งานปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

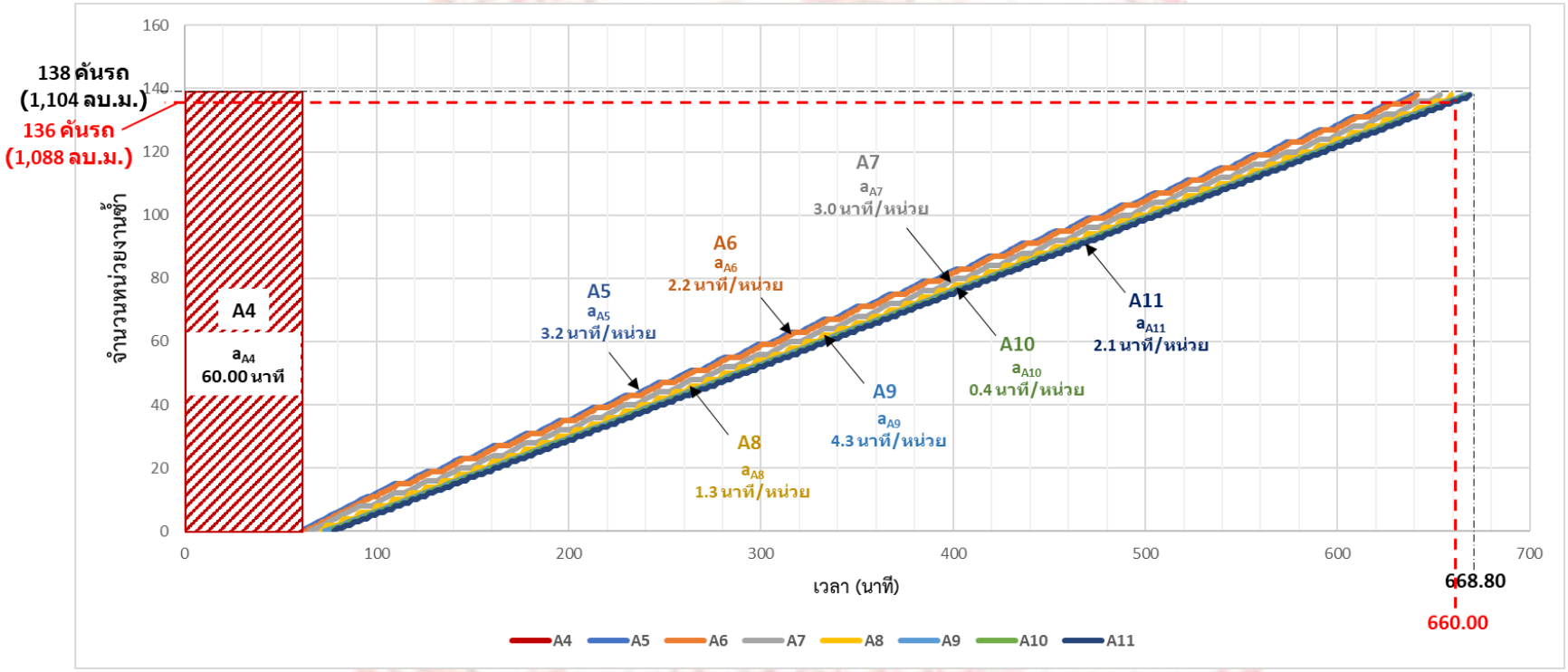
Activity Description			Predecessors				Durations (t, min)			Te(i)	UPR	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4		Unit 5		Unit 6		Unit 7		Unit 8		Unit 9		Unit 10		Unit 11	
No.	Activity	Description	P(1)	Lag(1)	P(2)	Lag(2)	a	m	b			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11
												S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
1	A4	เตรียมความพร้อม					60.0	80.0	90.0	78.3	-	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3
2	A5	โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	A4	0			3.2	3.6	4.0	3.6	0.28	78.3	81.9	81.9	85.5	85.5	89.1	89.1	92.7	92.7	96.3	96.3	99.9	99.9	103.5	103.5	107.1	115.6	119.2	119.6	123.2	135.6	139.2	1
3	A6	ขนส่ง	A5	0			2.2	4.0	5.4	3.9	0.25	81.9	85.9	85.5	89.5	89.1	93.1	92.7	96.7	96.3	100.3	99.9	103.9	103.5	107.5	107.1	111.1	119.2	123.1	123.2	127.1	139.2	143.1	1
4	A7	เทคอนกรีต	A6	0			3.0	4.0	5.0	4.0	0.25	85.9	89.9	89.9	93.9	93.9	97.9	97.9	101.9	101.9	105.9	115.2	119.2	119.2	123.2	135.2	139.2	139.2	143.2	155.1	159.1	159.1	163.1	1
5	A8	ปูผิวทาง	A7	0			1.3	2.1	6.4	2.7	0.37	93.9	96.6	96.6	99.2	113.8	116.5	116.5	119.2	133.8	136.5	136.5	139.2	153.8	156.5	156.5	159.1	173.7	176.4	176.4	179.1	193.7	196.4	1
6	A9	แต่งผิวหน้าเรียบ	A8	0			4.3	10.7	12.8	10.0	0.10	96.6	106.5	106.5	116.5	116.5	126.5	126.5	136.5	136.5	146.5	146.5	156.5	156.5	166.4	166.4	176.4	176.4	186.4	186.4	196.4	196.4	206.4	2
7	A10	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	A9	0			0.4	0.6	0.7	0.6	1.71	106.5	107.1	116.5	117.1	126.5	127.1	136.5	137.1	146.5	147.1	156.5	157.0	166.4	167.0	176.4	177.0	186.4	187.0	196.4	197.0	206.4	207.0	2
8	A11	คลุมผิว	A10	0			2.1	2.8	3.6	2.8	0.36	107.1	109.9	117.1	119.2	127.1	129.9	137.1	139.9	147.1	149.9	157.0	159.9	167.0	169.8	177.0	179.8	187.0	189.8	197.0	199.8	207.0	209.8	2

Unit 38		Unit 39		Unit 40		Unit 41		Unit 42		Unit 43		Unit 44		Unit 45		Unit 46		Unit 47		Unit 48		Unit 49		Unit 50		Unit 51		Unit 52		Unit 53		Unit 54		Unit 55		Unit 56		Unit 57	
37	38	38	39	39	40	40	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.33
399.1	402.7	415.1	418.7	419.1	422.7	435.1	438.7	439.1	442.7	455.0	458.6	459.0	462.6	475.0	478.6	479.0	482.6	495.0	498.6	499.0	502.6	514.9	518.5	518.9	522.5	534.9	538.5	538.9	542.5	554.9	558.5	558.9	562.5	574.8	578.4	578.8	582.4	594.8	598.4
402.7	406.7	418.7	422.6	422.7	426.6	438.7	442.6	442.7	446.6	458.6	462.6	462.6	466.6	478.6	482.5	482.6	486.5	498.6	502.5	502.6	506.5	518.5	522.5	522.5	526.5	538.5	542.4	542.5	546.4	558.5	562.4	562.5	566.4	578.4	582.4	582.4	586.4	598.4	602.3
434.7	438.7	438.7	442.7	454.6	458.6	458.6	462.6	474.6	478.6	478.6	482.6	494.6	498.6	498.6	502.6	514.5	518.5	518.5	522.5	534.5	538.5	538.5	542.5	554.5	558.5	558.5	562.5	574.4	578.4	578.4	582.4	594.4	598.4	598.4	602.4	614.4	618.4	618.4	622.4
456.0	458.6	473.2	475.9	475.9	478.6	493.2	495.9	495.9	498.6	513.2	515.9	515.9	518.5	533.1	535.8	535.8	538.5	553.1	555.8	555.8	558.5	573.1	575.8	575.8	578.4	593.0	595.7	595.7	598.4	613.0	615.7	615.7	618.4	633.0	635.7	635.7	638.3	652.9	655.6
465.9	475.9	475.9	485.9	485.9	495.9	495.9	505.9	505.9	515.9	515.9	525.8	525.8	535.8	535.8	545.8	545.8	555.8	555.8	565.8	565.8	575.8	575.8	585.7	585.7	595.7	595.7	605.7	605.7	615.7	615.7	625.7	625.7	635.7	635.7	645.6	645.6	655.6	655.6	665.60
475.9	476.5	485.9	486.5	495.9	496.5	505.9	506.5	515.9	516.4	525.8	526.4	535.8	536.4	545.8	546.4	555.8	556.4	565.8	566.4	575.8	576.3	585.7	586.3	595.7	596.3	605.7	606.3	615.7	616.3	625.7	626.3	635.7	636.2	645.6	646.2	655.6	656.2	665.6	666.18
476.5	479.3	486.5	489.3	496.5	499.3	506.5	509.3	516.4	519.3	526.4	529.2	536.4	539.2	546.4	549.2	556.4	559.2	566.4	569.2	576.3	579.2	586.3	589.1	596.3	599.1	606.3	609.1	616.3	619.1	626.3	629.1	636.2	639.1	646.2	649.0	656.2	659.0	666.2	669.00

ภาพที่ 5-4 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ยบนโปรแกรม Spreadsheet



ภาพที่ 5-5 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานปูผิวทางคอนกรีตกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A) (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)



ภาพที่ 5-6 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานปูผิวทางคอนกรีตกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

5.1.3 การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A)

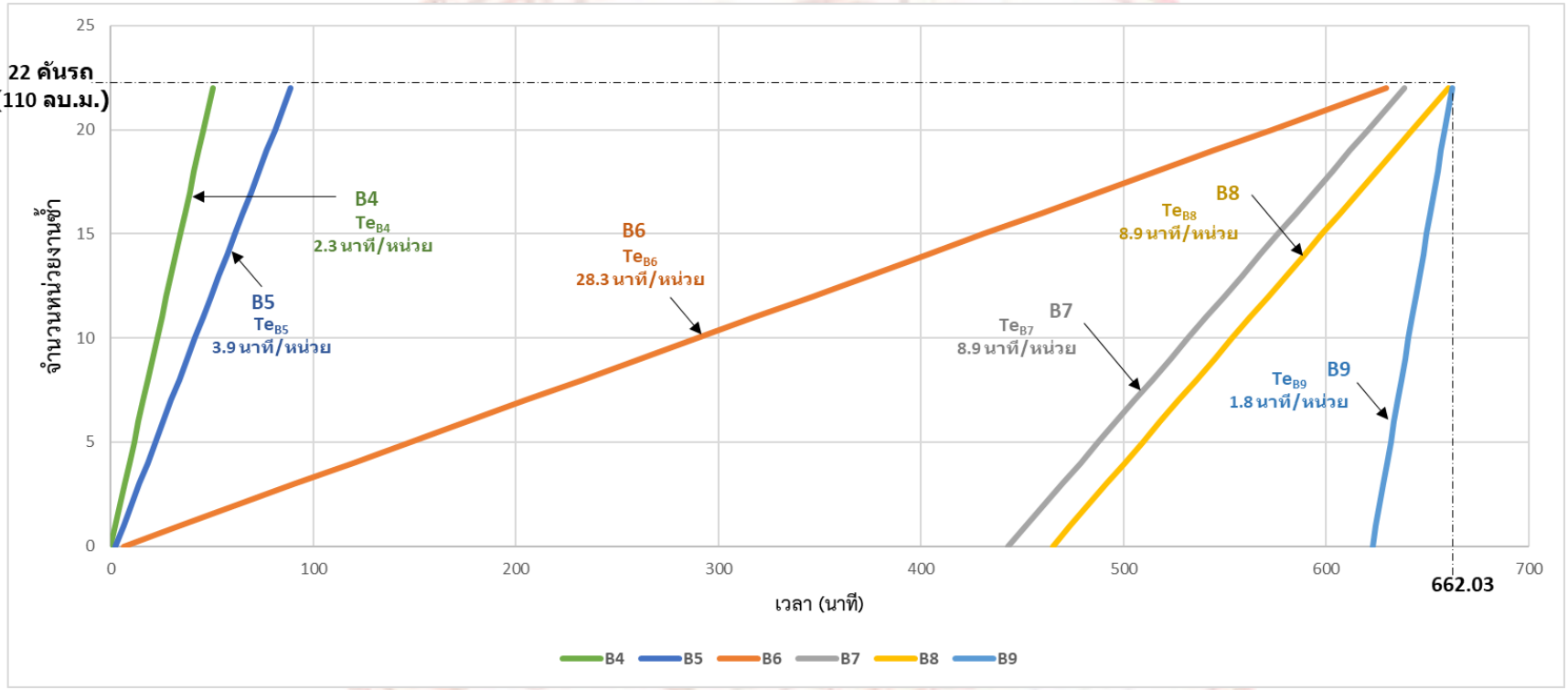
จากการวิเคราะห์กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ช่วงกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งถึง B9 คลุมผิวในบทก่อนหน้าสามารถระบุได้ว่ากระบวนการก่อสร้างดังกล่าวมีลักษณะการทำกิจกรรมก่อสร้างซ้ำๆ ต่อเนื่องหลายหน่วยที่สามารถแบ่งหน่วยงานย่อยที่เหมาะสมคือปริมาณคอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีตที่ 5 ลบ.ม. แปลงปริมาณงานเป็นพื้นที่งานเทคอนกรีตผิวทางที่ความหนา 0.50 เมตร ได้เท่ากับ 10 ตร.ม. ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะวิเคราะห์เป็นเส้นกราฟผลิตภาพกิจกรรมก่อสร้างด้วยวิธี RSM

เริ่มดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.4.1 เริ่มจากนำระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยที่กำหนดให้เท่ากับปริมาณคอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีต (5 ลบ.ม.) ของกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งถึง B9 คลุมผิวมาคำนวณหาระยะเวลาคาดหวัง (Te) ดังแสดงในตารางที่ 5-3 และเนื่องจากกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form มีระยะเวลาในการรอผิวคอนกรีตเซ็ตตัวก่อนทำการกรีดหน้าลาย จึงต้องคำนวณระยะเวลาคาดหวัง (Te) ของความล่าช้า (Lag) ที่เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรม B7 แต่งผิวหน้าเรียบ และ B8 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5-3 ระยะเวลาคาดหวังของกิจกรรมและความล่าช้าในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

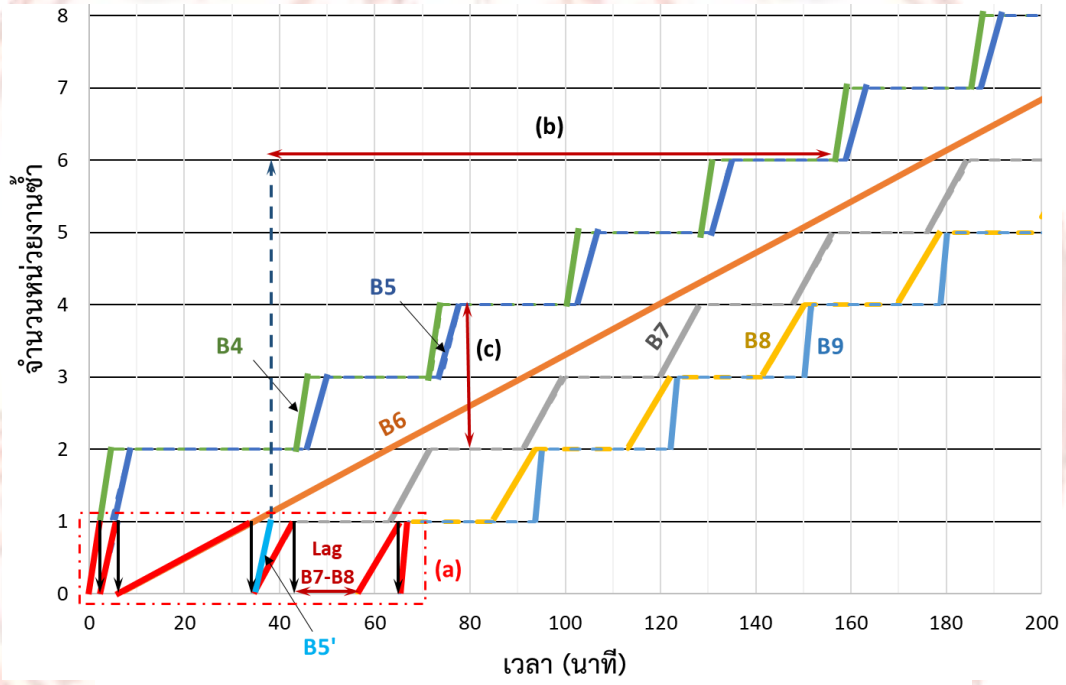
No.	กิจกรรม (Activity)	เวลากิจกรรมต่อหน่วย (t) นาที			Te
		a	m	b	
B4	โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง	2.0	2.3	2.5	2.3
B5	ขนส่ง	2.2	4.0	5.4	3.9
B6	เทคอนกรีต	5.0	30.0	45.0	28.3
B7	แต่งผิวหน้าเรียบ	4.4	8.9	13.3	8.9
B8	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	4.4	8.9	13.3	8.9
B9	คลุมผิว	1.3	1.8	2.2	1.8
No.	ความล่าช้า (Lag)	เวลาความล่าช้าต่อหน่วย (Lag) นาที			Te
		a	m	b	
B7-B8	รอผิวคอนกรีตเซ็ตตัว	4.4	13.3	20	12.9

สำหรับกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form หากดำเนินการสร้างแบบจำลองโดยไม่ได้กำหนดจุดควบคุม (Control Point) ตามตรรกะที่ระบุในแผนภาพ Arrow Network Diagram ดังกล่าว และไม่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมตามพฤติกรรมการดำเนินการก่อสร้างจริง แต่คำนึงถึงเพียงให้ทรัพยากรของแต่ละกิจกรรมถูกใช้งานอย่างต่อเนื่องเท่านั้น จะมีลักษณะเป็นดังภาพที่ 5-7 ซึ่งไม่ตรงกับตรรกะการทำงานจริงที่การทำกิจกรรม B4 รับคอนกรีตจากโรงผลิตและกิจกรรม B5 ขนส่งคอนกรีตของรถขนส่ง จะสามารถทำได้ต่อเนื่องโดยไม่ทำการเทคอนกรีตลงพื้นที่เทคอนกรีตเสียก่อน ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ลักษณะการทำงานของกิจกรรม B6 เทคอนกรีตนั้นไม่สามารถทำการเทได้ต่อเนื่องโดยไม่ได้ทำการแต่งผิวหน้าคอนกรีตด้วยกิจกรรม B7 กรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มคอนกรีตด้วยกิจกรรม B8 และคลุมผิวหน้าคอนกรีตด้วยกิจกรรม B9 เนื่องจากหากเทคอนกรีตเป็นจำนวนมากทิ้งไว้โดยไม่ทำการแต่งผิวหน้าก่อนผิวคอนกรีตเซ็ตตัว และควบคุมความชื้น จะส่งผลให้ผิวทางคอนกรีตที่เทนั้นมีคุณภาพต่ำ ผิวหน้ามีความไม่สม่ำเสมอ อาจเกิดรูโพรงและรอยร้าวได้ สรุปได้ว่าแผนภาพ RSM ดังภาพที่ 5-7 ไม่ใช่เป็นการจำลองกระบวนการก่อสร้างจริง



ภาพที่ 5-7 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form โดยไม่คำนึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้าง

ดำเนินการสร้างแบบจำลองต่อโดยการนำระยะเวลาคาดหวังของแต่ละหน่วยกิจกรรมและระยะเวลาความล่าช้าระหว่างกิจกรรม (Lag) มาสร้างเป็นเส้นกราฟผลิตภาพ แล้วกำหนดจุดควบคุม (Control Point) ในเบื้องต้นโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพแต่ละกิจกรรมที่มีลักษณะ Finish to Start (FTS) แสดงถึงการส่งผ่านปริมาณงานผิวทางที่แล้วเสร็จแต่ละหน่วยไปยังกิจกรรมต่างๆ ตามลำดับที่ระบุเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ดังภาพที่ 4-12 เพื่อวิเคราะห์ว่ากิจกรรมใดทำให้กระบวนการผลิตขาดสมดุล โดยในกระบวนการเทคอนกรีตผิวทางกรณีศึกษานี้พบว่ากิจกรรม B6 เทคอนกรีตมีผลิตภาพต่ำที่สุด โดยมีระยะเวลาคาดหวังประมาณ 28.3 นาทีต่อหน่วยดังแสดงในภาพที่ 5-8 ที่ตำแหน่ง (a)



ภาพที่ 5-8 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

ดำเนินการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานจริง เริ่มจากตรวจสอบวงรอบกลุ่มกิจกรรมของรถขนส่งคอนกรีตเช่นเดียวกับวงรอบรถบรรทุกของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ได้แก่กิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง B5 ขนส่ง B6 เทคอนกรีต และเพิ่มกิจกรรม B5’ เดินทางกลับของรถขนส่งคอนกรีตเพื่อตรวจสอบวงรอบยกตัวอย่างรถขนส่งคันที่ 1 จะทำงานเป็นวงรอบ รับคอนกรีต-ขนส่ง-เทคอนกรีต-เดินทางกลับ และกลับมารอในแถวคอย (Queue) เพื่อเริ่มกิจกรรม B4 รอบที่ 2 ซึ่งก็คือหน่วยงานซ้ำที่ 7 ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5-8 ที่ตำแหน่ง (b)

และเพื่อไม่ให้มีการผลิตคอนกรีตและขนส่งมาเทล่วงหน้ามากเกินกว่าที่จะสามารถแต่งผิวหน้าได้ทัน จึงกำหนดเงื่อนไขระยะห่างของประมาณหน่วยงานซ้ำที่สะสมระหว่างกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตและกิจกรรม B7 แต่งผิวหน้าเรียบไม่เกิน 2 หน่วยดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5-8 ที่ตำแหน่ง (c) และดังตัวอย่างตารางคำนวณแผนงาน RSM บนโปรแกรม Spreadsheet สำหรับแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในภาพที่ 5-9 เห็นได้ว่ารถขนส่งคอนกรีตคันที่ 1 ทำกิจกรรม B6 เทคอนกรีตแล้วเสร็จที่เวลา 34.6 นาที จากนั้นเดินทางกลับโรงผลิตคอนกรีตด้วยกิจกรรม B5’ มาถึงตำแหน่งรอโหลดคอนกรีตที่เวลา 34.6 + 3.9 = 38.5 นาที ซึ่งไม่เกินเวลาที่โรงผลิตคอนกรีตเริ่มโหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งกิจกรรม B4 ในหน่วยที่ 7 เวลา 156.8 นาทีที่ถูกควบคุมปริมาณการส่งคอนกรีตให้เริ่มโหลดคอนกรีตได้ภายหลังกิจกรรม B7 แต่งผิวหน้าเรียบหน่วยที่ 5 ทำกิจกรรมแล้วเสร็จ

จากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมตามแนวคิดข้างต้น การจำลองกระบวนการ RSM ในลักษณะการดำเนินการก่อสร้างกรณีเฉลี่ย (Average Case) ที่จำนวนหน่วยงานซ้ำ 22 หน่วย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 5-10 ระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จจากการจำลองเท่ากับ 662.03 นาที สูงกว่าระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน เท่ากับ 0.31% แล้วเมื่อวิเคราะห์เส้นกราฟแบบจำลองเดิมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน พบว่าที่การทำงานก่อสร้าง 660 นาทีมีปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถขนส่งคอนกรีตสะสมรวม 21 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างจริงในการทำงานกรณีเฉลี่ยจำนวน 22 คันรถ คิดเป็น 4.55% ดังสรุปในตารางที่ 5-4

5.1.4 การจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B)

เมื่อนำแบบจำลองของกรณีเฉลี่ยสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วันมาปรับเปลี่ยนค่าเพื่อจำลองจำนวนหน่วยงานซ้ำที่ 97 หน่วย และกำหนดระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยเฉพาะเวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) สำหรับการจำลองในกรณีดีที่สุด (Best Case) จากตารางที่ 5-3 โดยดำเนินการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตามที่วิเคราะห์การทำงานก่อสร้างจริงโดยละเอียดตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการจำลองกรณีเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 5-11 ระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จจากการจำลองเท่ากับ 676.50 นาที สูงกว่าระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน 2.50% และเมื่อวิเคราะห์เส้นกราฟแบบจำลองเดิมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน พบว่าที่การทำงานก่อสร้าง 660 นาทีมีปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถขนส่งคอนกรีตสะสมรวม 94 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างจริงในการทำงานกรณีดีที่สุดจำนวน 97 คันรถ คิดเป็น 3.09% ดังสรุปในตารางที่ 5-4

เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A) และกรณีดีที่สุด (RSM-F-B) นั้นให้ระยะเวลาการทำงานใน 1 วันเท่ากับ 662.03 และ 676.50 นาทีตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาทำงานใน 1 วันที่ 660 นาที แต่เพียงการจำลองให้

ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำลองกรณีดีที่สุดสามารถให้ปริมาณงานเพิ่มขึ้นจากกรณีเฉลี่ยถึงประมาณ 4.5 เท่า

ตารางที่ 5-4 ผลการจำลองด้วยวิธี RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A) และกรณีดีที่สุด (RSM-F-B)

ลักษณะการทำงาน กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	การจำลองหาระยะเวลาทำงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน		การจำลองหาปริมาณงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที)	
	ระยะเวลา (นาที)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถขนส่ง (คัน)	%
Average Case (22 คันรถ)	662.03	0.31%	21	-4.55%
Best Case (97 คันรถ)	676.50	2.50%	94	-3.09%

ตารางคำนวณแผนงาน Repetitive Scheduling Method (RSM)

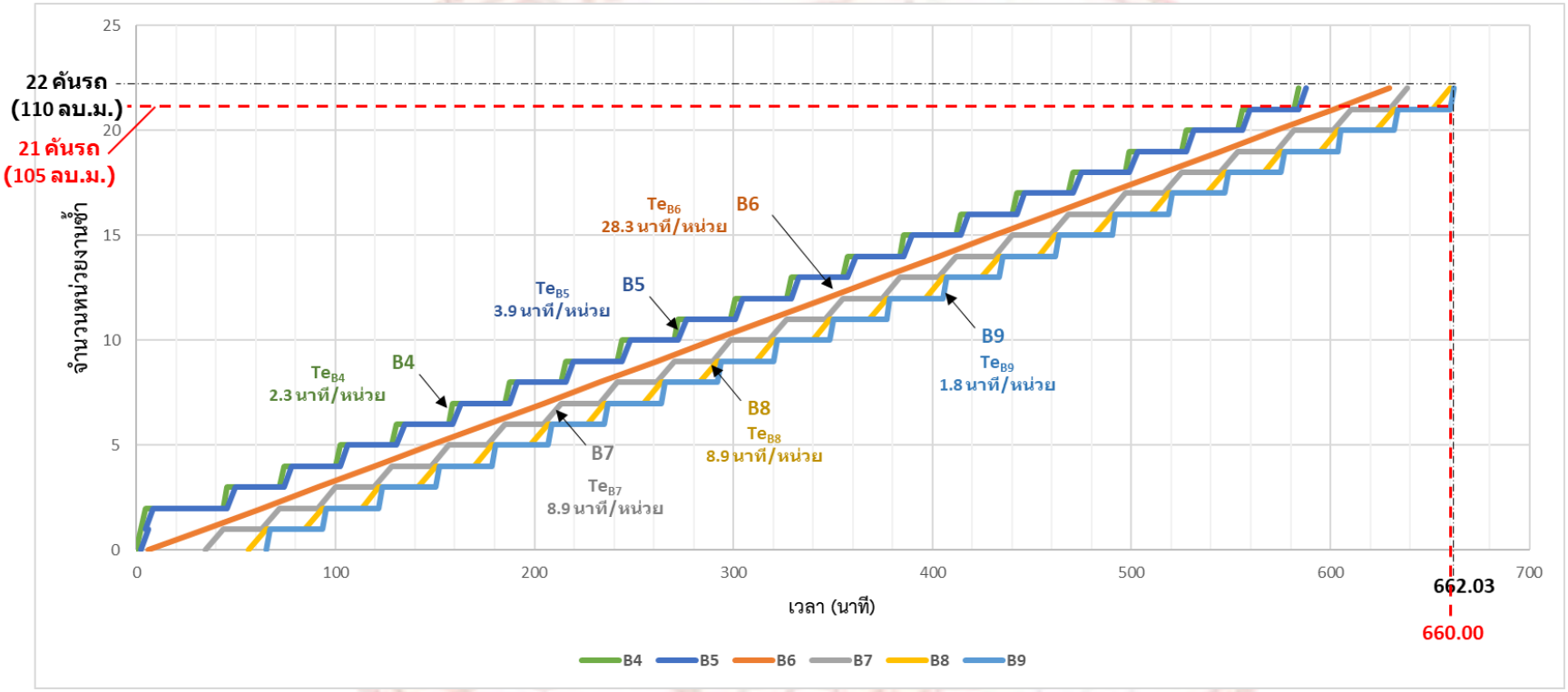
ปริมาณงาน	214.79	ตร.ม.	จำนวนหน่วยงานซ้ำ (N)	22	หน่วย
ระยะห่าง joint	4.5	ม.	กำหนดงานซ้ำ 1 หน่วย	5	ลบ.ม.ต่อหน่วย (คอนกรีต 1 คันรถ)
ความกว้าง	5	ม.	การวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U)	10	ตร.ม.ต่อหน่วย
ความหนา	0.5	ม.			

งานปูผิวทางวิธี Fixed-Form

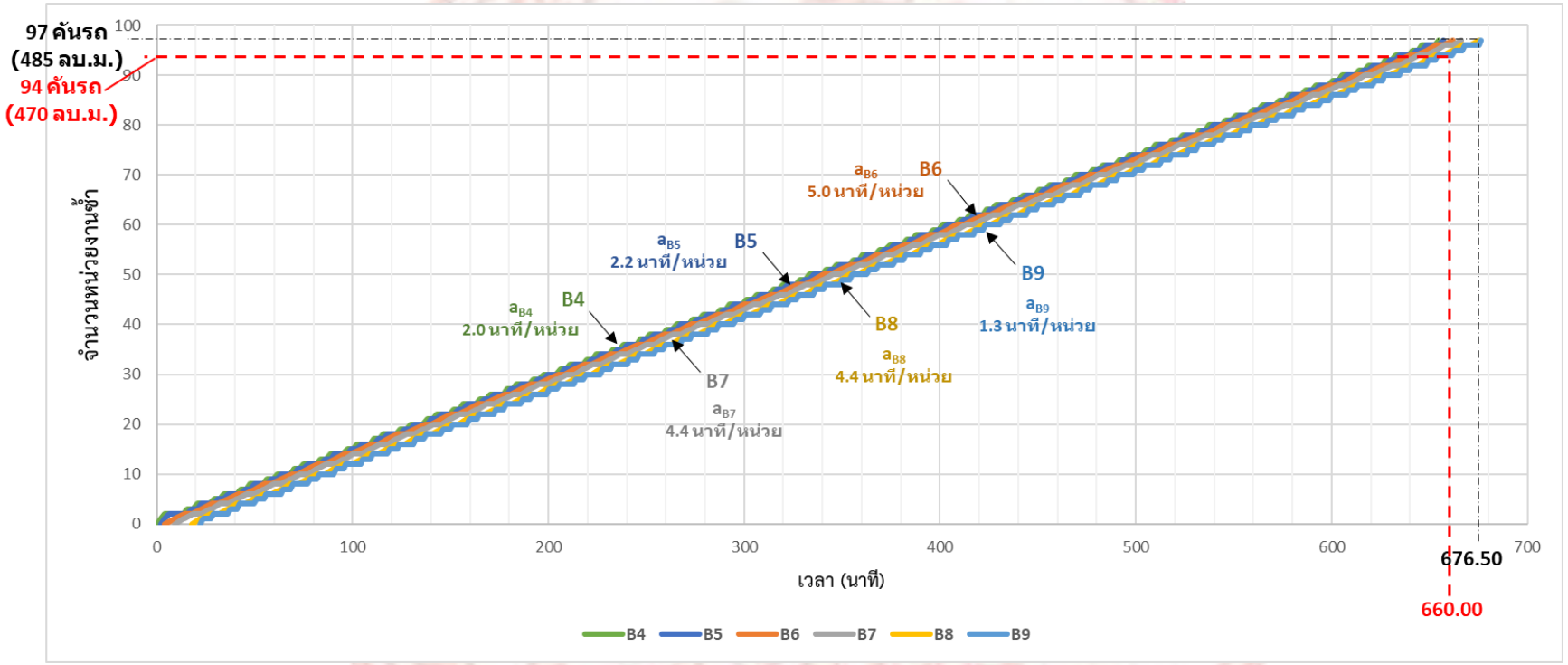
Activity Description			Predecessors				Durations (t, min)			Te(i)	UPR	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4		Unit 5		Unit 6		Unit 7		Unit 8		Unit 9		Unit 10		Unit 11	
No.	Activity	Description	P(1)	Lag(1)	P(2)	Lag(2)	a	m	b			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11
												S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
1	B4	โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง					2.0	2.3	2.5	2.3	0.44	0.0	2.3	2.3	4.6	43.4	45.7	71.8	74.1	100.1	102.4	128.4	130.7	156.8	159.1	185.1	187.4	213.4	215.7	241.8	244.1	270.1	272.4
2	B5	ขนส่ง	B4	0			2.2	4.0	5.4	3.9	0.25	2.3	6.2	4.6	8.5	45.7	49.7	74.1	78.0	102.4	106.3	130.7	134.7	159.1	163.0	187.4	191.3	215.7	219.7	244.1	248.0	272.4	276.3
3	B6	เทคอนกรีต	B5	0			5.0	30.0	45.0	28.3	0.04	6.2	34.6	34.6	62.9	62.9	91.2	91.2	119.6	119.6	147.9	147.9	176.2	176.2	204.6	204.6	232.9	232.9	261.2	261.2	289.6	289.6	317.9
4	B7	แต่งผิวหน้าเรียบ	B6	0			4.4	8.9	13.3	8.9	0.11	34.6	43.4	62.9	71.8	91.2	100.1	119.6	128.4	147.9	156.8	176.2	185.1	204.6	213.4	232.9	241.8	261.2	270.1	289.6	298.4	317.9	326.8
5	B8	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	B7	12.9			4.4	8.9	13.3	8.9	0.11	56.4	65.3	84.7	93.6	113.0	121.9	141.4	150.3	169.7	178.6	198.0	206.9	226.4	235.3	254.7	263.6	283.0	291.9	311.4	320.3	339.7	348.6
6	B9	คลุมผิว	B8	0			1.3	1.8	2.2	1.8	0.56	65.3	67.0	93.6	95.4	121.9	123.7	150.3	152.0	178.6	180.4	206.9	208.7	235.3	237.0	263.6	265.4	291.9	293.7	320.3	322.0	348.6	350.4

Unit 12		Unit 13		Unit 14		Unit 15		Unit 16		Unit 17		Unit 18		Unit 19		Unit 20		Unit 21		Unit 22	
11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
298.4	300.7	326.8	329.1	355.1	357.4	383.4	385.7	411.8	414.1	440.1	442.4	468.4	470.7	496.8	499.1	525.1	527.4	553.4	555.7	581.8	584.05
300.7	304.7	329.1	333.0	357.4	361.3	385.7	389.7	414.1	418.0	442.4	446.3	470.7	474.7	499.1	503.0	527.4	531.3	555.7	559.7	584.1	587.98
317.9	346.2	346.2	374.6	374.6	402.9	402.9	431.2	431.2	459.6	459.6	487.9	487.9	516.2	516.2	544.6	544.6	572.9	572.9	601.2	601.2	629.55
346.2	355.1	374.6	383.4	402.9	411.8	431.2	440.1	459.6	468.4	487.9	496.8	516.2	525.1	544.6	553.4	572.9	581.8	601.2	610.1	629.6	638.43
368.0	376.9	396.4	405.3	424.7	433.6	453.0	461.9	481.4	490.3	509.7	518.6	538.0	546.9	566.4	575.3	594.7	603.6	623.0	631.9	651.4	660.25
376.9	378.7	405.3	407.0	433.6	435.4	461.9	463.7	490.3	492.0	518.6	520.4	546.9	548.7	575.3	577.0	603.6	605.4	631.9	633.7	660.3	662.03

ภาพที่ 5-9 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ยบนโปรแกรม Spreadsheet



ภาพที่ 5-10 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานเทคอนกรีตผิวทาง กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A)

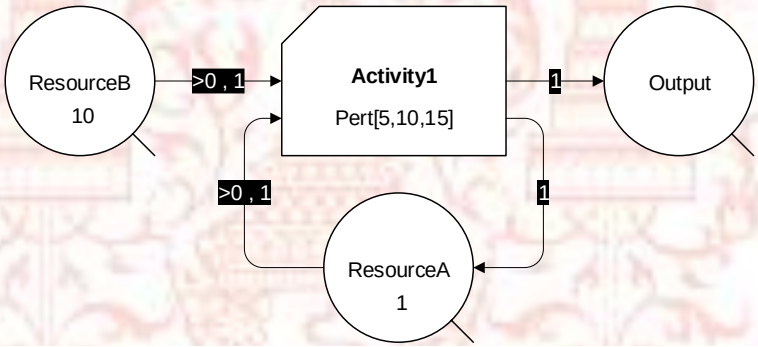


ภาพที่ 5-11 ผลการจำลองแบบจำลองวิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำงานเทคอนกรีตผิวทาง กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B)

5.2 การจำลองด้วยโปรแกรมแบบจำลองวิธี ACD

5.2.1 การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A)

การจำลองวิธีนี้เป็นการจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้แนวคิดการจำลองวิธี Activity Cycle Diagram หรือ ACD โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม EZStrobe ที่ใช้โปรแกรม Stroboscope ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างผ่านการใช้งานบนโปรแกรม Microsoft Visio การใช้โปรแกรมแบบจำลองวิธี ACD ในการจำลองพฤติกรรมการส่งผ่านทรัพยากรของกระบวนการก่อสร้างที่มีการทำกิจกรรมซ้ำๆ ต่อเนื่องหลายหน่วยและการจำลองความไม่แน่นอนของระยะเวลาทำกิจกรรมก่อสร้างต่างๆ แบบ PERT ซึ่งในหัวข้อนี้คือกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver ในช่วงกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อมจนถึงกิจกรรม A11 คลุมผิว มีแนวคิดซึ่งอธิบายได้ด้วยภาพที่ 5-12



ภาพที่ 5-12 หลักการจำลองลักษณะการทำกิจกรรมซ้ำๆ หลายหน่วยและความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างด้วยวิธี ACD

ลักษณะการทำกิจกรรมซ้ำเป็นพฤติกรรมของทรัพยากรหลักชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่ทำกิจกรรมนั้นให้แล้วเสร็จในปริมาณงานก่อสร้าง 1 หน่วยซ้ำหลายๆ ครั้งจนได้ผลผลิตจากกิจกรรมดังกล่าวครบปริมาณหน่วยงานทั้งหมด จากภาพที่ 5-12 มีประมาณงานที่ต้องก่อสร้างคือ ResourceB จำนวน 10 หน่วยรอทำกิจกรรม Activity1 ด้วย ResourceA ที่เป็นผู้ให้บริการ (Server) จำนวน 1 หน่วย เงื่อนไขในการเริ่มทำกิจกรรม Activity1 ที่เป็นกิจกรรมชนิด Combi ซึ่งแต่ละรอบการทำกิจกรรมต้องมีทรัพยากร ResourceA และ ResourceB รออยู่ในแถวคอยพร้อมทำกิจกรรมครบทั้ง 2 ชนิดเสียก่อน พฤติกรรมในการทำกิจกรรม Activity1 ของ ResourceA จะมีลักษณะเป็นงานซ้ำๆ เป็นวงรอบการทำกิจกรรมสลับกับรอคอยงานอยู่ในแถวคอยจนกว่าจะทำกิจกรรมเพื่อเปลี่ยน ResourceB เป็นผลผลิต (Output) จนครบ 10 หน่วย ซึ่งหากมีปริมาณงานที่ต้องก่อสร้างเตรียมพร้อมรอทำกิจกรรมตลอดเวลาจะทำให้ ResourceA สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการหยุดรอคอยงานหรือไม่เกิดการหยุดชะงักของ ResourceA ในขณะเดียวกันหากไม่สร้างโหนดแถวคอย ResourceA เพื่อกำหนดปริมาณหน่วยงานซ้ำที่จะจำลอง แบบจำลองจะดำเนินการจำลองการทำกิจกรรม

Activity1 ไปจนกว่าจะครบระยะเวลาที่ผู้จำลองกำหนดไว้บนโปรแกรม ยกตัวอย่างเช่นผู้จำลองอาจไม่กำหนดปริมาณหน่วยงานซ้ำเพียงแต่กำหนดให้ทำการจำลองเป็นระยะเวลา 60 นาที เพื่อหาว่า Activity1 สามารถทำงานได้ปริมาณงานเท่าใด

โดยลักษณะการทำกิจกรรม Activity1 ในแต่ละหน่วยงานนั้นจะใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน จากตัวอย่างที่ใช้ความสามารถของโปรแกรม EZStrobe ในการกำหนดลักษณะการแจกแจงของเวลาทำกิจกรรมแบบ PERT โดยมีระยะเวลาเร็วที่สุดเท่ากับ 5 ช้าที่สุดเท่ากับ 15 และระยะเวลาที่เป็นไปได้มากที่สุดเท่ากับ 10 หน่วยเวลา (วินาที, นาที หรือชั่วโมง เป็นต้น) ซึ่งโปรแกรม EZStrobe นั้นสามารถกำหนดลักษณะการแจกแจงอื่นๆ ได้อีกหลากหลายชนิดตัวอย่างเช่น เป็นค่าคงที่ไม่มีการแจกแจง (None) การแจกแจงปกติ (Normal Distribution) การแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution) การแจกแจงเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) การแจกแจงแกมม่า (Gamma Distribution) การแจกแจงเบต้า (Beta Distribution) เป็นต้น

จากแนวคิดข้างต้นเริ่มดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.4.2 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยเริ่มจากวิเคราะห์และสร้างวงรอบการการทำงานของทรัพยากรหลักแต่ละชนิดจากข้อมูลที่สรุปในตารางที่ 4-8 ดังแสดงในภาพที่ 5-13 และมีรายละเอียดขององค์ประกอบแผนภาพ ACD ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5-5

ภาพที่ 5-13 (a) จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของกระบวนการจริงที่กิจกรรม A4 เตรียมความพร้อมจะเริ่มเป็นกิจกรรมแรกในการเตรียมความพร้อมเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ และดำเนินการจนสิ้นสุด จากนั้นจึงจะเริ่มกิจกรรมที่มีลักษณะซ้ำ ที่เริ่มด้วยกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก ดังนั้นเพื่อจำลองพฤติกรรมดังกล่าวจึงเลือกกำหนดให้ทรัพยากรทีมเตรียมความพร้อมและโรงผลิตคอนกรีตรวมเข้าด้วยกันที่แถวคอยเริ่มต้น SetupTeam และเมื่อสิ้นสุดกิจกรรม A4Setup ทรัพยากรจะมารออยู่ตำแหน่งโรงผลิตคอนกรีตในแถวคอย PlantRD เพื่อจำลองการดำเนินกิจกรรม A5 ในลักษณะซ้ำๆ ต่อไป

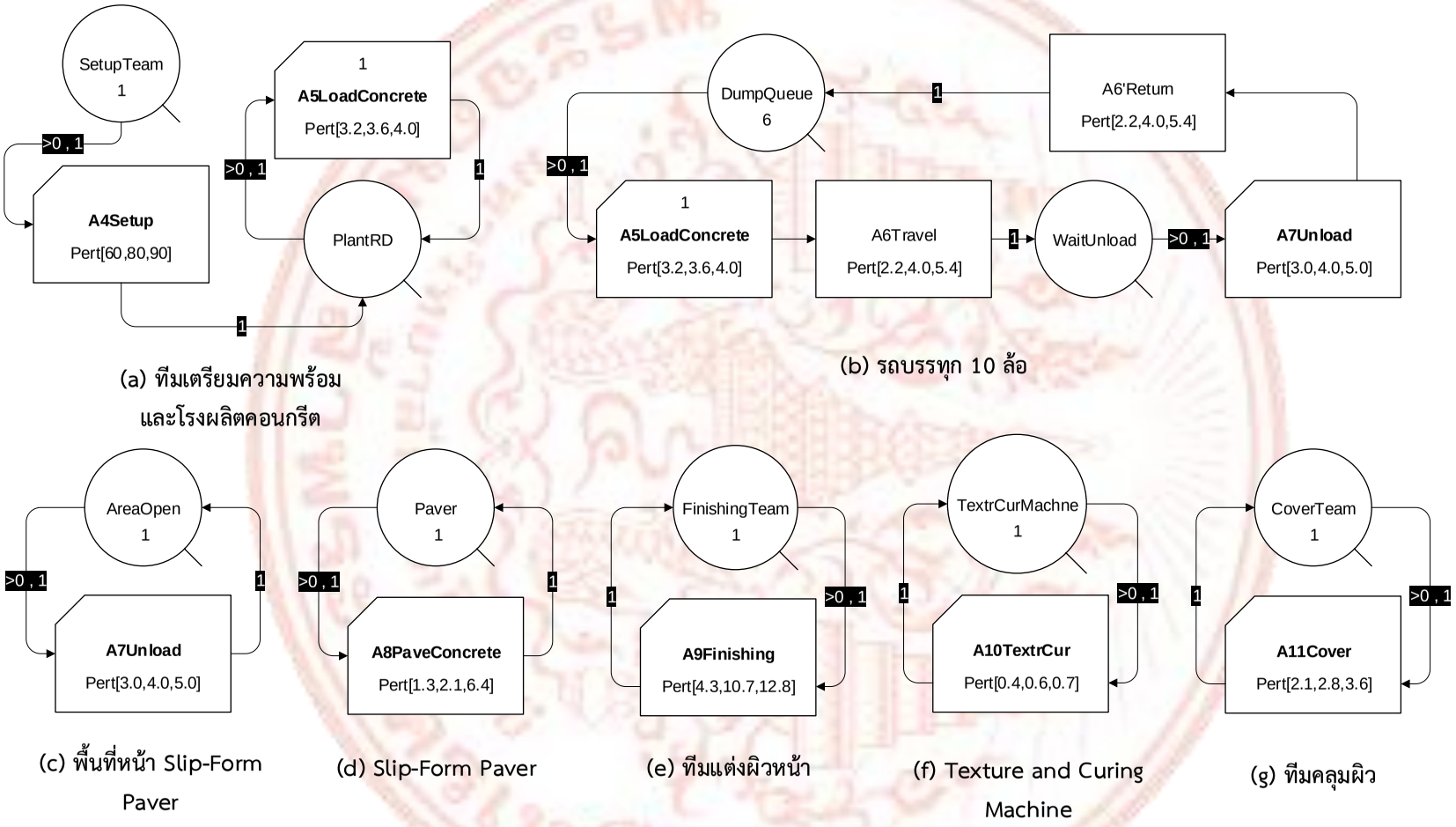
ภาพที่ 5-13 (b) เป็นวงรอบการทำงานของทรัพยากรรถบรรทุก ที่เมื่อเริ่มต้นกระบวนการรถบรรทุก 6 คันจะรออยู่ใน DumpQueue เพื่อรอรับคอนกรีตจาก A5LoadConcrete จากนั้นจะเดินทางไปยังพื้นที่ก่อสร้างที่จำลองด้วยกิจกรรม A6Travel จนถึงตำแหน่งแถวคอย WaitUnload เพื่อรอตำแหน่งพื้นที่ด้านหน้า Slip-Form Paver ว่างก่อนจะถอยเข้าไปเทคอนกรีตเพื่อให้รถขุดล้อยางป้อนคอนกรีตเข้าสู่เครื่องปูและทีมงานยก Transverse Joint ติดเข้าตำแหน่ง จากนั้นรถบรรทุกก็จะวิ่งรถกลับมารอยังตำแหน่ง DumpQueue ด้วยกิจกรรม A6’Return เช่นเดิม

ภาพที่ 5-13 (c) ถึงภาพที่ 5-13 (g) เป็นวงรอบกิจกรรมในลักษณะซ้ำเช่นเดียวกับตัวอย่างในภาพที่ 5-12 เมื่อเริ่มกระบวนการทรัพยากรที่เป็นผู้ให้บริการแต่ละชนิดจะรอที่ตำแหน่งแถวคอย หากได้รับการส่งผ่านทรัพยากรคือปริมาณงานผิวทางที่ก่อสร้างในกิจกรรมก่อนหน้าแล้วเสร็จ จึงจะเริ่มกิจกรรมเฉพาะของตน และเมื่อทำกิจกรรมเสร็จในหน่วยปริมาณงานหนึ่งแล้วทรัพยากรแต่ละชนิดที่เป็นผู้ให้บริการจะถูกส่งกลับไปยังแถวคอยเพื่อเตรียมพร้อมทำกิจกรรมในหน่วยถัดไป

นำแผนผัง ACD ย่อยของทรัพยากรแต่ละชนิดมาเขียนรวมกันในโปรแกรม EZStrobe และปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมให้เป็นไปตามลักษณะการก่อสร้างจริง ดังแสดงในภาพที่ 5-14

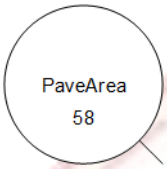
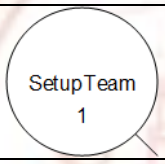
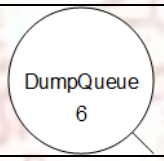
โดยนำแผนผังวงรอบย่อยของทรัพยากรแต่ละชนิดมารวมกันโดยกำหนดปริมาณหน่วยงานซ้ำที่ส่งผ่านระหว่างแต่ละกิจกรรม 1 หน่วยคือคอนกรีต 1 คันรถ โดยกำหนดที่ Draw Link และ Release Link ระหว่างโหนดแถวคอยและกิจกรรม Combi ต่างๆ ซึ่งการสร้างโหนดแถวคอยระหว่างกิจกรรมนั้นเพื่อเป็นตำแหน่งหยุดรอของทรัพยากรคอนกรีตก่อนเริ่มกิจกรรมนั้นๆ เช่น โหนดแถวคอยเริ่มต้น PaveArea สำหรับจัดเก็บปริมาณผิวทางที่ต้องก่อสร้างในวันนั้น และโหนดแถวคอยที่สิ้นสุดกระบวนการ PaveComplete สำหรับรวบรวมปริมาณงานก่อสร้างผิวทางแล้วเสร็จในแต่ละรอบการจำลอง

ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตามลักษณะการทำงานจริงที่วิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับแบบจำลองวิธี RSM จะทำการเพิ่มแถวคอย ConcreteOrder เพื่อกำหนดเงื่อนไขไม่ให้ผลิตคอนกรีตล่วงหน้าจำนวนมากจนมีรถบรรทุกจอดคอยเทคอนกรีตเกิน 3 คัน แถวคอย LimitStock เพื่อกำหนดเงื่อนไขปริมาณคอนกรีตที่ถูกเทล่วงหน้างานปูผิวได้ไม่เกิน 3 คัน และแถวคอย LimitArea สำหรับกำหนดพฤติกรรมการส่งผ่านพื้นที่ผิวทางคอนกรีตระหว่างกิจกรรม A8PaveConcrete กับ A9Finishing ไม่ให้มีปริมาณงานผิวทางรอการแต่งผิวเกิน 2 หน่วยคันรถ

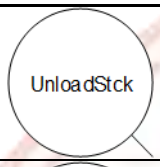
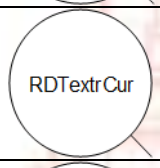
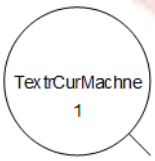


ภาพที่ 5-13 วงรอบ ACD ทรัพยากรแต่ละชนิดของงานปูผิวทางคอนกรีตกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

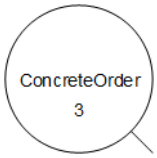
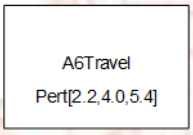
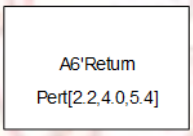
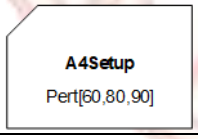
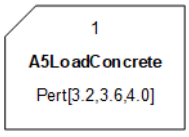
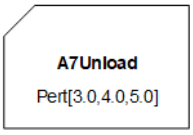
ตารางที่ 5-5 องค์ประกอบแผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บจำนวนหน่วยงานก่อสร้างที่กำหนดเพื่อจำลองหาระยะเวลาการทำงาน โดยต้องกำหนดให้มากกว่าการทำงานจริง 1 หน่วยตามเงื่อนไขของ Draw Link ที่แถวคอย UnloadStck	- กำหนดจำนวน 58 หน่วย สำหรับแบบจำลองกรณีเฉลี่ย - จำนวน 139 หน่วยสำหรับแบบจำลองกรณีดีที่สุด
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บกลุ่มทรัพยากรจำนวน 1 กลุ่ม สำหรับทำกิจกรรม A4 และ A5 ในขณะเริ่มจำลอง และตำแหน่งโรงผลิตคอนกรีตว่างสำหรับรอโหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	กลุ่มทรัพยากรดังกล่าวเป็นตัวแทนของทรัพยากร ได้แก่ - โรงผลิตคอนกรีต 1 โรง - ทีมเตรียมความพร้อมเครื่องจักร 1 ทีม - ทีมยกแผง Transverse Joint ออก 1 ทีม
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ รถบรรทุก จำนวน 6 คัน ในตำแหน่งรอโหลดคอนกรีตจากโรงผลิตที่กิจกรรม A5 และรอเทคอนกรีตลงสู่หน้า Slip-Form Paver ที่กิจกรรม A7	
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บกลุ่มทรัพยากรจำนวน 1 กลุ่ม สำหรับทำกิจกรรม A7Unload ในการเทคอนกรีต	กลุ่มทรัพยากรดังกล่าวเป็นตัวแทนของทรัพยากร ได้แก่ - พื้นที่หน้า Slip-Form Paver 1 ตำแหน่ง - ทีมติดตั้ง Transverse Joint กลับ 1 ทีม - รถขุดล้อยาง 1 คัน

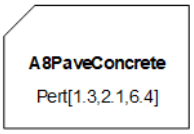
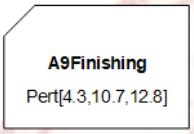
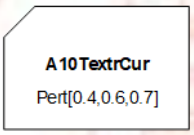
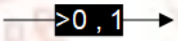
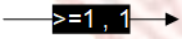
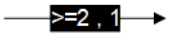
ตารางที่ 5-5 (ต่อ)

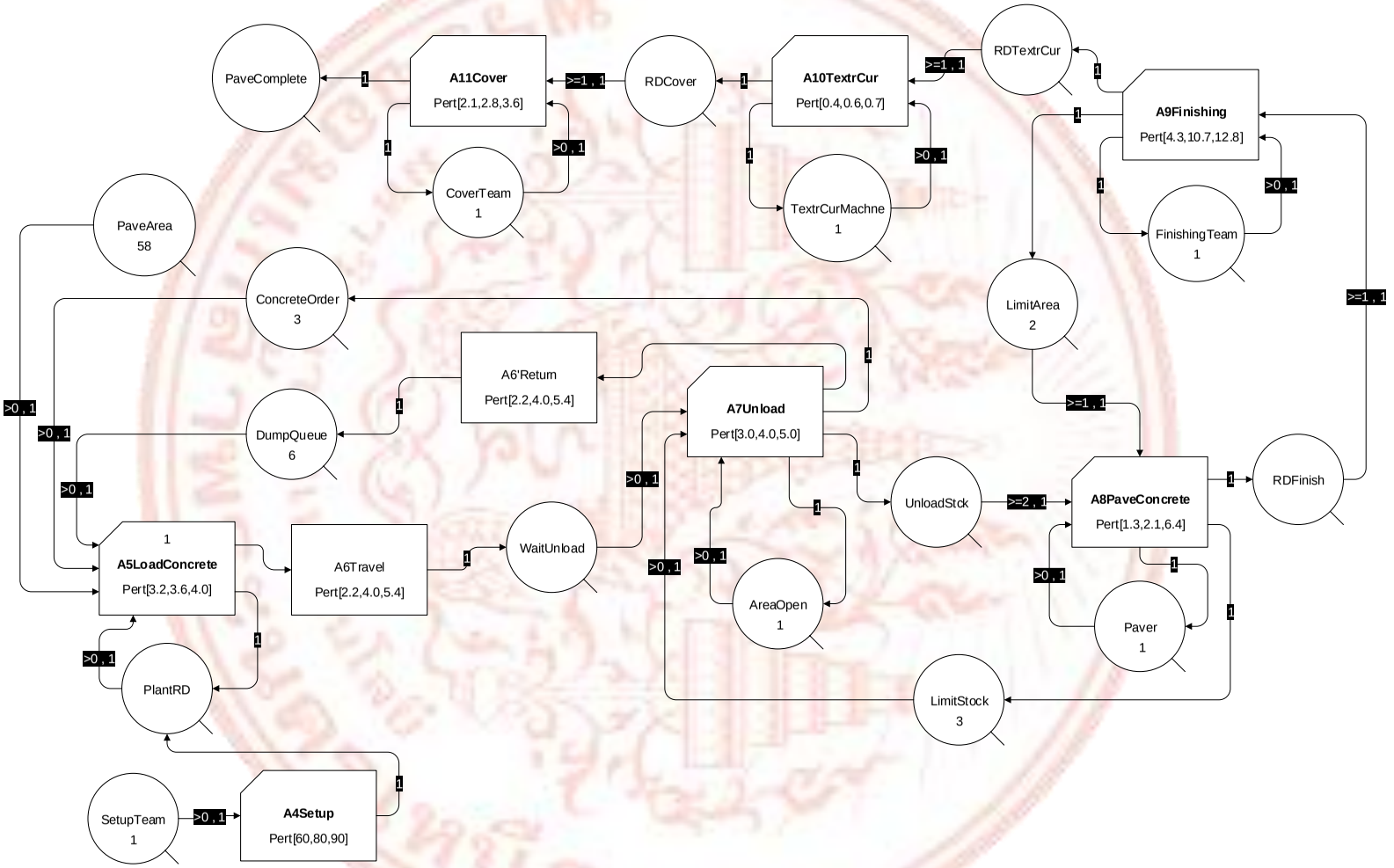
สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ Slip-Form Paver จำนวน 1 คัน สำหรับกิจกรรม A8PaverConcrete	
  	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ ปริมาณพื้นที่ผิวทางที่ก่อสร้างในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ ปริมาณคอนกรีตที่รถบรรทุกเทแล้วเสร็จรอปูพื้นที่คอนกรีตผิวทางรอแต่งผิวหน้าเรียบ รอกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม รอคลุมผิว และพื้นที่ผิวทางที่ปูแล้วเสร็จ	กำหนดให้ปริมาณงาน 1 หน่วยที่ก่อสร้างในกิจกรรมต่างๆ เท่ากับคอนกรีต 1 คันรถบรรทุก
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ ทีมแต่งผิวหน้า จำนวน 1 ทีม สำหรับทำกิจกรรม A9	
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ Texture and Curing Machine จำนวน 1 คัน สำหรับทำกิจกรรม A10	
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บกลุ่มทรัพยากรจำนวน 1 กลุ่ม สำหรับทำกิจกรรม A11 Cover	กลุ่มทรัพยากรดังกล่าวเป็นตัวแทนของทรัพยากร ได้แก่ - ทีมคลุมผิว 1 ทีม - รถบรรทุกติดตั้งเครน 1 คัน

ตารางที่ 5-5 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บคำสั่งเงื่อนไขระหว่างกิจกรรม A5LoadConcrete ถึงกิจกรรม A7Unload	กำหนดเงื่อนไขการผลิตคอนกรีตไปรอเทได้ไม่เกิน 3 หน่วย
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บคำสั่งเงื่อนไขระหว่างกิจกรรม A7Unload ถึงกิจกรรม A8PaveConcrete	กำหนดเงื่อนไขให้มีปริมาณคอนกรีตที่เทด้านหน้าเครื่องปูเพื่อรอปูคอนกรีตได้ไม่เกิน 3 หน่วย
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บคำสั่งเงื่อนไขระหว่างกิจกรรม A8PaveConcrete ถึงกิจกรรม A9Finishing	กำหนดเงื่อนไขให้มีปริมาณคอนกรีตที่ออกจากเครื่องปูรอการแต่งผิวได้ไม่เกิน 2 หน่วย
	Normal	กิจกรรมรถบรรทุกขนส่งคอนกรีตไปยัง Slip-Form Paver	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[2.2,4.0,5.4] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 2.2 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Normal	กิจกรรมรถบรรทุกเดินทางกลับไปโหลดคอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[2.2,4.0,5.4] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 2.2 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมเตรียมความพร้อมเครื่องจักรก่อนเริ่มงานก่อสร้าง	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[60,80,90] ที่กรณีเฉลี่ย - 60 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมโหลดคอนกรีตจากโรงผลิตลงสู่รถบรรทุก	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[3.2,3.6,4.0] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 3.2 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมรถบรรทุกเทคอนกรีตลงสู่หน้า Slip-Form Paver	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[3.0,4.0,5.0] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 3.0 สำหรับกรณีดีที่สุด

ตารางที่ 5-5 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Combi	กิจกรรมปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[1.3,2.1,6.4] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 1.3 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมแต่งผิวหน้าคอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[4.3,10.7,12.8] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 4.3 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มด้วย Texture and Curing Machine	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[0.4,0.6,0.7] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 0.4 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมคลุมผิวหน้าคอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[2.1,2.8,3.6] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 2.1 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Draw Link		หากในแถวคอยหน้ากิจกรรมมีทรัพยากรมากกว่า 0 ให้ส่งผ่านไปยังกิจกรรมตามหลังจำนวน 1 หน่วย
	Draw Link		หากในแถวคอยหน้ากิจกรรมมีทรัพยากรมากกว่าหรือเท่ากับ 1 ให้ส่งผ่านไปยังกิจกรรมตามหลังจำนวน 1 หน่วย
	Draw Link		หากในแถวคอยหน้ากิจกรรมมีทรัพยากรมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ให้ส่งผ่านไปยังกิจกรรมตามหลังจำนวน 1 หน่วย
	Release Link		เมื่อกิจกรรมแล้วเสร็จ ให้ทรัพยากรที่ออกจากกิจกรรมนั้นมีจำนวน 1 หน่วย



ภาพที่ 5-14 แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) (พงศธร และ กมลวัลย์, 2567)

กำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลองเพื่อหาระยะเวลาของกระบวนการรวม สำหรับจำลองลักษณะกรณีเฉลี่ย (Average Case) ที่ปริมาณงานก่อสร้าง 57 หน่วย โดยกำหนดปริมาณผิวทางที่ก่อสร้าง ที่แถวคอย PaveArea จำนวน 58 หน่วย เพิ่มจากปริมาณงานก่อสร้างจริง 1 หน่วย เพื่อให้ครอบคลุมเงื่อนไขของ Draw Link ระหว่างแถวคอย UnloadStck ไปยังกิจกรรม A8PaveConcrete ที่ต้องมีปริมาณเทคอนกรีตล่วงหน้างานปู 2 หน่วย และเมื่อสิ้นสุดการจำลอง จะมีปริมาณผิวทางค้างอยู่ในแถวคอย UnloadStck จำนวน 1 หน่วยซึ่งจะไม่ถูกนำไปใช้ในกิจกรรม A8PaveConcrete ตามข้อจำกัดของแบบจำลอง

ทำการจำลองในเบื้องต้นเพื่อตรวจความสมบูรณ์ของการสร้างเครือข่าย ACD และถูกต้องในการจำลองตามตรรกะการดำเนินการก่อสร้างจริงของแบบจำลอง โดยใน EZStrobe จะสามารถดูข้อมูลแสดงลำดับขั้นตอนของกิจกรรม การไหลของทรัพยากรขณะทำการจำลองได้ และเมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จะเริ่มดำเนินการจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อหาระยะเวลาทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยกำหนดเป้าหมายประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการปูผิวทาง 901 ตร.ม. หรือ 57 หน่วยคันรถ กรณีนี้ทำการจำลองกระบวนการตามภาพที่ 5-14 โดยใช้ระยะเวลากิจกรรมแบบ PERT จำนวน 100 รอบ (100 วันงาน) และได้ผลลัพธ์ดังแสดงผลในตารางที่ 5-6 โดยค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในการปูผิวทางปริมาณ 57 หน่วย เท่ากับ 668.19 นาที ใกล้เคียงกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน หรือ 660 นาที ซึ่งสูงกว่าเท่ากับ 1.24%

จากนั้นทำการปรับแก้แบบจำลองสำหรับจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันโดยทำการลบโหนดแถวคอย PaveArea เพื่อไม่เป็นการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลองและตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม EZStrobe ให้สิ้นสุดการจำลองเมื่อครบระยะเวลาการจำลองการก่อสร้าง 660 นาที ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5-6 มีค่าเฉลี่ยปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อจากการจำลองจำนวน 100 รอบเท่ากับ 55.82 คันรถ ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงกรณีเฉลี่ย 57 คันรถบรรทุกคิดเป็น 2.07%

ตารางที่ 5-6 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A)

กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	การจำลองหาระยะเวลาทำงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (57 คัน)		การจำลองหาปริมาณงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที)	
กรณีเฉลี่ย (Average Case) จากการจำลอง 100 รอบ	ระยะเวลา (นาที)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถบรรทุก (คัน)	%
(1) ผลลัพธ์สูงสุด	703.55	6.60%	58	1.75%
(2) ผลลัพธ์ต่ำสุด	643.95	-2.43%	53	-7.02%
(3) ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ (μ)	668.19	1.24%	55.82	-2.07%
(4) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)	11.89		1.21	

5.2.2 การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-B)

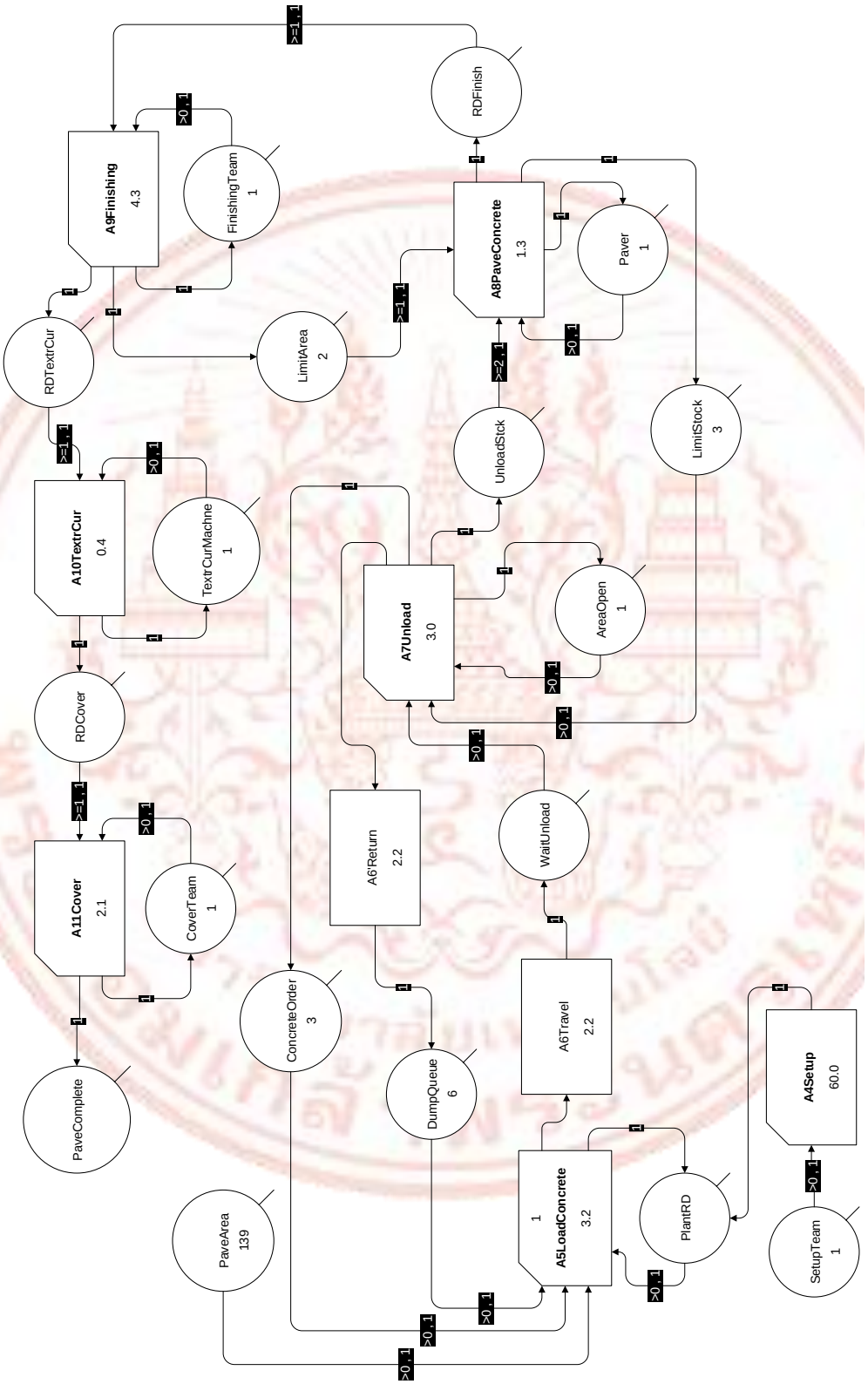
นำแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ยในขั้นตอนแรกมาปรับปรุงเพื่อทำการจำลองหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน สำหรับลักษณะการทำงานกรณีดีที่สุด (Best Case) ดังแสดงในภาพที่ 5-15 ที่ปริมาณงานก่อสร้าง 138 หน่วย โดยกำหนดปริมาณผิวทางที่ก่อสร้าง ที่แถวคอย PaveArea จำนวน 139 หน่วย และปรับระยะเวลาทุกกิจกรรมในแบบจำลองให้ใช้ระยะเวลาแบบดีที่สุด (Optimistic, a) เท่านั้น ผลการจำลองดังแสดงในตารางที่ 5-7 ได้ระยะเวลาการจำลองที่ 668.80 นาที สูงกว่าระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน เท่ากับ 1.33% ซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน

จากนั้นทำการปรับแก้แบบจำลองสำหรับจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันโดยทำการลบโหนดแถวคอย PaveArea เพื่อไม่เป็นการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลองและตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม EZStrobe ให้สิ้นสุดการจำลองเมื่อครบระยะเวลาการจำลองการก่อสร้าง 660 นาที ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5-7 ได้ปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อ 136 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงกรณีดีที่สุด 138 คันรถคิดเป็น 1.45%

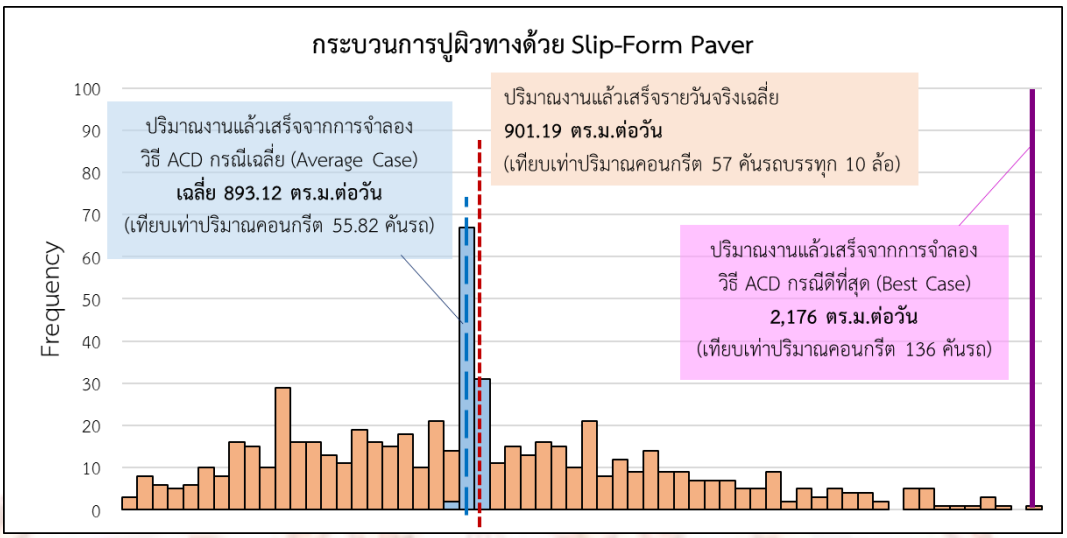
ตารางที่ 5-7 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-A)

กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver	การจำลองหาระยะเวลาทำงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (138 คัน)		การจำลองหาปริมาณงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที)	
	ระยะเวลา (นาที)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถบรรทุก (คัน)	%
กรณีดีที่สุด (Best Case)	668.80	1.33%	136	-1.45%

หากนำลักษณะการแจกแจงของปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันจริงจากการรวบรวมบันทึกการทำงานก่อสร้างของผู้รับเหมา (Daily Report) มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมวิธี ACD จะได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 5-16 เนื่องจากการจำลองการกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในงานวิจัยนี้ที่แยกดำเนินการจำลองเป็น 2 ลักษณะการทำงานคือ กรณีเฉลี่ย (Average Case) และกรณีดีที่สุด (Best Case) จึงทำให้ผลการจำลองจากโปรแกรมวิธี ACD จะเกาะกลุ่มอยู่ที่ตำแหน่งปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จลักษณะดังกล่าว โดยผลลัพธ์ในกรณีเฉลี่ยดังสรุปในตารางที่ 5-6 จะมีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบ Normal Distribution ที่มีค่าเฉลี่ย 55.82 คันรถหรือคิดเป็น 893.12 ตร.ม.ต่อวัน ส่วนกรณีดีที่สุดจากตารางที่ 5-7 จะมีผลลัพธ์จากการจำลองด้วยวิธี ACD เพียงค่าเดียวคือ 136 คันรถหรือคิดเป็น 2,176 ตร.ม.ต่อวัน



ภาพที่ 5-15 แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีที่ดีที่สุด (ACD-S-B)



ภาพที่ 5-16 เปรียบเทียบลักษณะการแจกแจงปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงกับปริมาณงานแล้วเสร็จจากการจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) และกรณีดีที่สุด (ACD-S-B) นอกจากการเปรียบเทียบปริมาณงานปูผิวทางที่สูงขึ้นจากการเปลี่ยนลักษณะการทำงานจากกรณีเฉลี่ยเป็นกรณีดีที่สุดแล้ว การจำลองวิธี ACD ยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณแถวคอยได้ ดังแสดงในตารางที่ 5-8 เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาการรอในแถวคอยต่างๆ ระหว่างการจำลองรอบที่ 6 ของกรณีเฉลี่ยซึ่งให้ระยะเวลาการจำลองใกล้เคียงกับ 668.19 นาทีมากที่สุดกับการจำลองกรณีดีที่สุด

พบว่าแถวคอย SetupTeam, RDTextrCur และ RDCover มีค่าเป็นศูนย์หรือไม่มีแถวคอยทั้งในกรณีเฉลี่ยและกรณีดีที่สุด นั่นหมายถึง ไม่มีปริมาณงานค้างรอการเตรียมความพร้อม (A4Setup) การกรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม (A10TextrCur) และการคลุมผิว (A11Cover) ในทั้งสองแบบจำลอง โดยระยะเวลาที่แต่ละทรัพยากรใช้ในทุกแถวคอยของแบบจำลองกรณีดีที่สุดจะมีค่าน้อยกว่าแบบกรณีเฉลี่ยทั้งหมด บ่งบอกถึงกระบวนการทำงานที่ต่อเนื่องและการใช้ทรัพยากรในแต่ละกิจกรรมอย่างเต็มที่มากขึ้น

ทั้งนี้แถวคอยที่มีระยะเวลาเฉลี่ยในการรอคอยมากที่สุดคือแถวคอย DumpQueue เนื่องจากกิจกรรมปูผิวทาง (A8PaveConcrete) เป็นกิจกรรมที่ใช้เวลานาน แต่กิจกรรมผลิตและจัดส่งคอนกรีตจากโรงผลิตใช้เวลาน้อยกว่า ทำให้ต้องชะลอการผลิตและจัดส่งคอนกรีต โดยแบบจำลอง ACD จะกำหนดให้มีรถบรรทุกรอการเทคอนกรีตได้ไม่เกิน 3 คันด้วยแถวคอย ConcreteOrder สอดคล้องกับการปฏิบัติจริงที่จะไม่ผลิตคอนกรีตมารอเทเกิน 3 คัน และกำหนดให้มีปริมาณคอนกรีตที่เทและรอการปูผิวทางด้วยเครื่องปูไม่เกิน 3 คันด้วยแถวคอย LimitStock

สำหรับแถวคอย UnloadStck มีระยะเวลาเฉลี่ยรอคอยสูงรองลงมา เนื่องจากกิจกรรม A9Finishing ใช้ชุดคนงาน 24 คนปรับแต่งผิวทางคอนกรีตตามหลังเครื่องปูผิวทาง และจำเป็นต้องปรับแต่งผิวให้เรียบร้อยก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว และใช้เวลาในการทำงานมากกว่าการปูผิวทาง

A8PaveConcrete ทำให้เกิดงานสะสมใน UnloadStck ได้ โดยในเชิงปฏิบัติจะไม่สามารถมีคอนกรีตสะสมรอปรับแต่งผิวได้เกิน 2 คันรถจึงกำหนดแถวคอย LimitArea เป็นตัวแทนเงื่อนไขดังกล่าว เพื่อให้แบบจำลองสอดคล้องกับสถานการณ์ปฏิบัติจริง และจะเห็นได้ว่า เมื่อปรับระยะเวลาการทำงานให้เป็นกรณีดีที่สุดแล้ว ระยะเวลารอคอยใน DumpQueue และ UnloadStck นั้นลดลง 60% และ 63% ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 5-8 และระยะเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในแถวคอยของทุกทรัพยากรในแบบจำลองกรณีดีที่สุดนั้นมีค่าลดลงทุกตัวอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5-8 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของแต่ละทรัพยากรในแถวคอยของแบบจำลองกรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) รอบที่ 67 และแบบจำลองกรณีดีที่สุด (ACD-S-B)

แถวคอย (Queue)	ระยะเวลาเฉลี่ยในแถวคอย (นาที)		Diff (นาที) Best - Avg	Diff%
	67^{th} Avg Case	Best Case		
AreaOpen	7.41	1.80	-5.61	-76%
ConcreteOrder	6.24	1.82	-4.42	-71%
CoverTeam	8.79	2.73	-6.06	-69%
DumpQueue	33.70	13.52	-20.18	-60%
FinishingTeam	1.65	0.54	-1.11	-67%
LimitArea	3.44	1.12	-2.32	-67%
LimitStock	5.29	1.69	-3.60	-68%
Paver	9.10	3.52	-5.58	-61%
PlantRD	6.55	1.17	-5.38	-82%
RDCover	0.00	0.00	-	-
RDFinish	7.38	2.96	-4.42	-60%
RDTextrCur	0.00	0.00	-	-
SetupTeam	0.00	0.00	-	-
TextrCurMachne	10.95	4.41	-6.54	-60%
UnloadStck	22.69	8.43	-14.26	-63%
WaitUnload	16.42	4.17	-12.25	-75%

5.2.3 การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A)

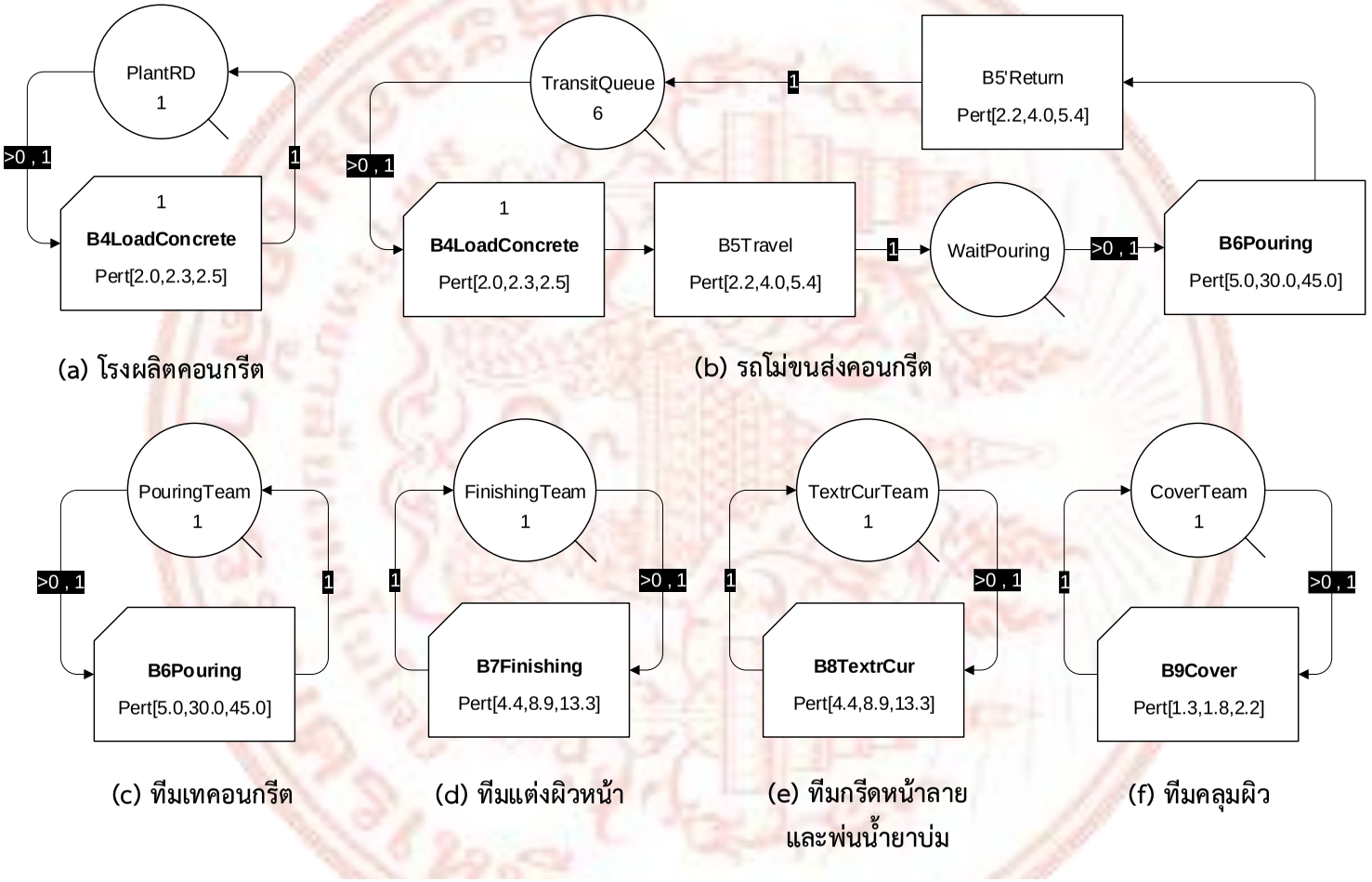
เริ่มดำเนินการสร้างแบบจำลองตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.4.2 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการจำลองหาระยะเวลาทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน โดยวิเคราะห์และสร้างวงรอบการการทำงานของทรัพยากรหลักแต่ละชนิดจากข้อมูลที่สรุปในตารางที่ 4-9 ดังแสดงในภาพที่ 5-17 และมีรายละเอียดขององค์ประกอบแผนภาพ ACD ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5-9

ภาพที่ 5-17 (a) และภาพที่ 5-17 (c) ถึงภาพที่ 5-17 (f) เป็นกิจกรรมในลักษณะงานซ้ำๆ เมื่อเริ่มกระบวนการทรัพยากรแต่ละชนิดจะรอที่ตำแหน่งคิว หากได้รับการส่งผ่านทรัพยากรคือปริมาณงานผิวทางที่ก่อสร้างในกิจกรรมก่อนหน้าแล้วเสร็จ จึงจะเริ่มกิจกรรม และเมื่อทำกิจกรรมเสร็จในหน่วยปริมาณงานหนึ่งแล้วทรัพยากรแต่ละชนิดจะถูกส่งกลับไปยังคิวเพื่อเตรียมพร้อมทำกิจกรรมในหน่วยถัดไป ยกตัวอย่างเช่น ภาพที่ 5-17 (a) มีทรัพยากรคือทีมเทคอนกรีตเป็นทรัพยากรที่กิจกรรม B6Pouring ต้องการเพื่อทำกิจกรรมจำนวน 1 ทีม เมื่อคอนกรีต 1 หน่วยคือ 1 คันรถโม่ขนส่งคอนกรีต ส่งผ่านมากิจกรรม B6 จะเริ่มดำเนินกิจกรรมก่อสร้างแล้วเมื่อสิ้นสุดกิจกรรมทรัพยากรคอนกรีตจะถูกส่งไปยังกิจกรรมถัดไปและทีมเทคอนกรีตจะกลับเข้าสู่คิวเพื่อรอทำงานในหน่วยงานถัดไป

ภาพที่ 5-17 (b) เป็นวงรอบการทำงานของทรัพยากรรถโม่ขนส่งคอนกรีต ที่เมื่อเริ่มต้นกระบวนการรถโม่ขนส่งคอนกรีตทั้งหมด 6 คันจะรออยู่ในคิว TransitQueue เพื่อรอรับคอนกรีตในกิจกรรม B4LoadConcrete จากนั้นจะเดินทางไปยังพื้นที่ก่อสร้างที่จำลองด้วยกิจกรรม B5Travel จนถึงตำแหน่งคิว WaitPouring เพื่อรอคิวเทคอนกรีตเมื่อทีมเทอคอนกรีตว่าง จากนั้นรถโม่ขนส่งคอนกรีตก็จะวิ่งรถกลับมารอยังตำแหน่ง TransitQueue ด้วยกิจกรรม B5’Return เช่นเดิม

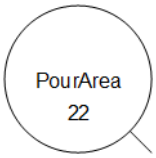
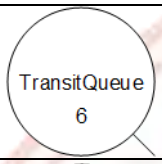
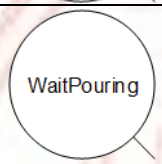
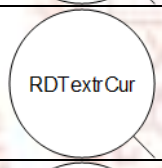
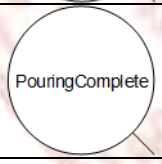
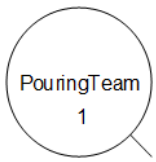
นำแผนผัง ACD ย่อยของทรัพยากรแต่ละชนิดมาเขียนรวมกันในโปรแกรม EZStrobe และปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมให้เป็นไปตามลักษณะการก่อสร้างจริง ดังแสดงในภาพที่ 5-18 โดยนำแผนผังวงรอบย่อยของทรัพยากรแต่ละชนิดมารวมกันโดยกำหนดปริมาณหน่วยงานซ้ำที่ส่งผ่านระหว่างแต่ละกิจกรรม 1 หน่วยคือคอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีต โดยกำหนดที่ Draw Link และ Release Link ระหว่างโหนดแถวคอยและกิจกรรม Combi ต่างๆ ซึ่งการสร้างโหนดแถวคอยระหว่างกิจกรรมนั้นเพื่อเป็นตำแหน่งหยุดรอของทรัพยากรคอนกรีตก่อนเริ่มกิจกรรมนั้นๆ เช่น โหนดแถวคอยเริ่มต้น PourArea สำหรับจัดเก็บปริมาณผิวทางที่ต้องเทคอนกรีตในวันนั้น และโหนดแถวคอยที่สิ้นสุดกระบวนการ PouringComplete สำหรับรวบรวมปริมาณงานเทผิวทางคอนกรีตแล้วเสร็จในแต่ละรอบการจำลอง เพิ่มแถวคอย ConcreteOrder เพื่อกำหนดเงื่อนไขไม่ให้ผลิตคอนกรีตล่วงหน้าจำนวนมากจนทีมงานเทคอนกรีตและทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบทำงานไม่ทันโดยกำหนดให้มีปริมาณคอนกรีตระหว่างกิจกรรม B4LoadConcrete ถึงกิจกรรม B7Finishing ไม่เกิน 2 หน่วย

เนื่องจากการเทผิวทางคอนกรีตที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักนั้นใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวสูงกว่าการใช้เครื่องปูคอนกรีต ภายหลังแต่งผิวหน้าเรียบแล้วเสร็จจะต้องรอให้ผิวหน้าคอนกรีตเกิดการเซ็ตตัวก่อนจึงจะเริ่มทำการกรีดหน้าลายได้ ดังนั้นจึงได้กำหนดกิจกรรม Normal SettingTime สำหรับจำลอง Lag ที่เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรม B7Finishing และ B8TextrCur

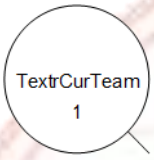
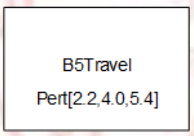
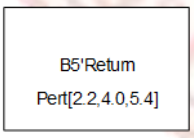
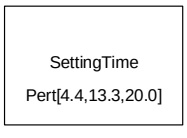
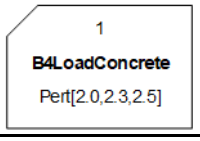


ภาพที่ 5-17 ร่างวงรอบ ACD ทรัพยากรแต่ละชนิดของงานเทคอนกรีตผิวทางกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

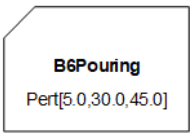
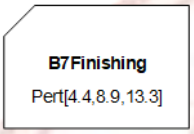
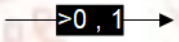
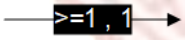
ตารางที่ 5-9 องค์ประกอบแผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางวิธีการ Fixed-Form

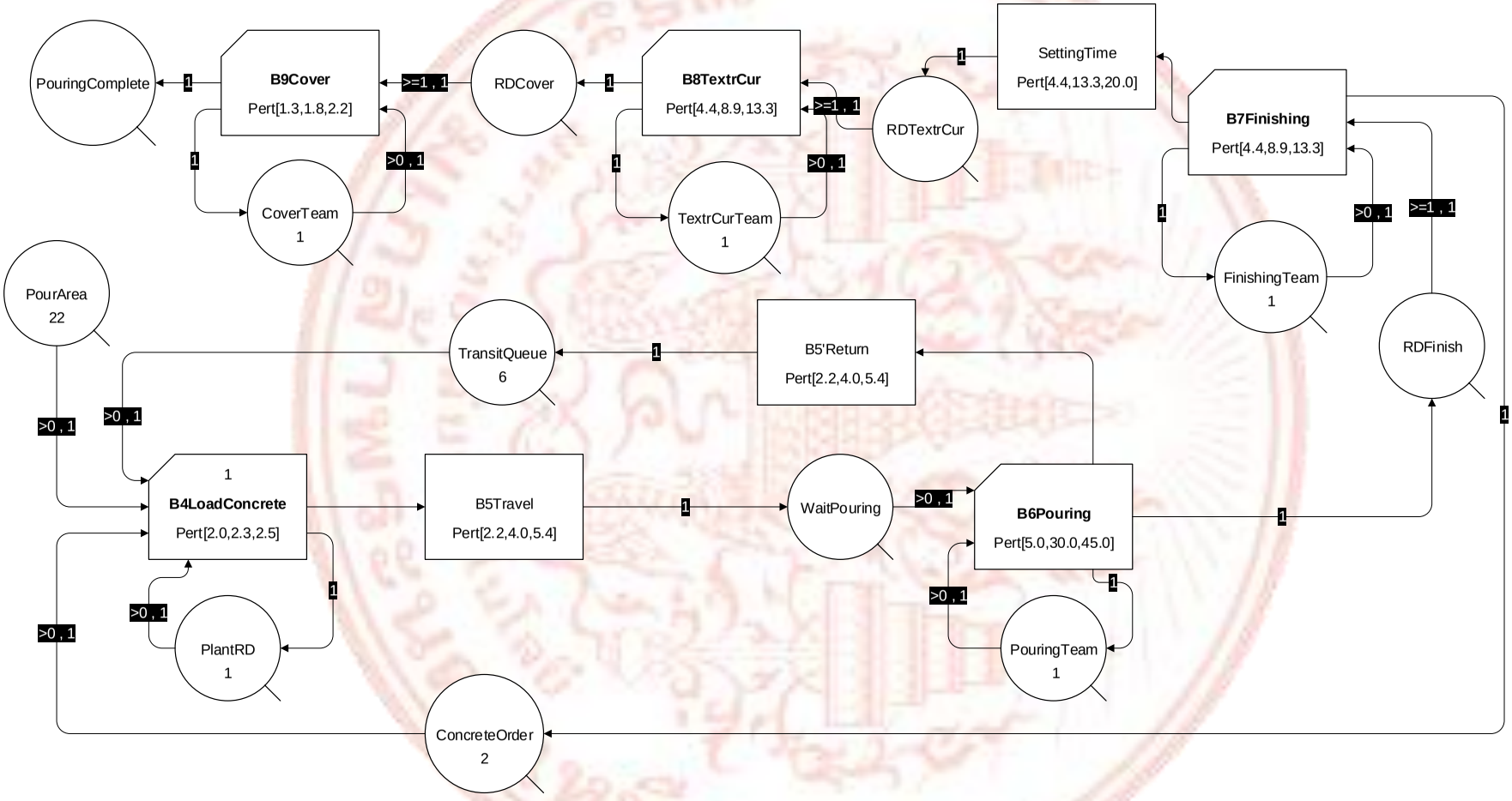
สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บจำนวนหน่วยงานก่อสร้างที่กำหนดเพื่อจำลองหาระยะเวลาการทำงาน	- กำหนดจำนวน 22 หน่วยสำหรับแบบจำลองกรณีเฉลี่ย - จำนวน 97 หน่วยสำหรับแบบจำลองกรณีดีที่สุด
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ รถโม่ผสมคอนกรีต จำนวน 6 คัน ในตำแหน่งรอโหลดคอนกรีตจากโรงผลิต และรอเทคอนกรีตลงสู่พื้นที่ก่อสร้าง	
			
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ ปริมาณพื้นที่ผิวทางที่ก่อสร้างในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ พื้นที่คอนกรีตผิวทางรอแต่งผิวหน้าเรียบ รอกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มรอคลุมผิว และพื้นที่ผิวทางที่ปูแล้วเสร็จ	
			
			
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ โรงผลิตคอนกรีต จำนวน 1 โรง สำหรับทำกิจกรรม B4	
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ ทีมเทคอนกรีต จำนวน 1 ทีมสำหรับทำกิจกรรม B6	

ตารางที่ 5-9 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ ทีมแต่งผิวหน้า จำนวน 1 ทีม สำหรับทำกิจกรรม B7	
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากร คือ ทีมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม จำนวน 1 ทีม สำหรับทำกิจกรรม B8	
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บกลุ่มทรัพยากรจำนวน 1 กลุ่ม สำหรับทำกิจกรรม B9Cover	กลุ่มทรัพยากรดังกล่าวเป็นตัวแทนของทรัพยากร ได้แก่ - ทีมคลุมผิว 1 ทีม - รถบรรทุกติดตั้งเครน 1 คัน
	Queue	แถวคอยสำหรับจัดเก็บคำสั่งเงื่อนไขระหว่างกิจกรรม B4LoadConcrete ถึง กิจกรรม B7Finishing	กำหนดเงื่อนไขการผลิตคอนกรีตล่วงหน้าเพื่อเทและแต่งผิวหน้าได้ไม่เกิน 2 หน่วย
	Normal	กิจกรรมรถโม่ผสมคอนกรีตไปยังพื้นที่ก่อสร้าง	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[2.2,4.0,5.4] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 2.2 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Normal	กิจกรรมรถโม่ผสมคอนกรีตเดินทางกลับไปโหลดคอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[2.2,4.0,5.4] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 2.2 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Normal	กิจกรรมที่เป็นตัวแทน Lag การรอผิวคอนกรีตเซ็ตตัวที่เกิดระหว่างกิจกรรม B7Finishing และ B8TextrCur	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[4.4,13.3,20.0] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 4.4 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมโหลดคอนกรีตจากโรงผลิตลงสู่รถโม่ผสมคอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[2.0,2.3,2.5] กรณีเฉลี่ย - 2.0 สำหรับกรณีดีที่สุด

ตารางที่ 5-9 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภท	คำอธิบาย	เงื่อนไขของแบบจำลอง
	Combi	กิจกรรมรถโม่ผสมคอนกรีตเทคอนกรีตลงตำแหน่งก่อสร้าง จี้คอนกรีตด้วยเครื่องจี้คอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[5.0,30.0,45.0] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 5.0 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมแต่งผิวหน้าคอนกรีตด้วยคานสั่นปาดหน้า และเกรียงด้ามยาว	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[4.4,8.9,13.3] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 4.4 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[4.4,8.9,13.3] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 4.4 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Combi	กิจกรรมคลุมผิวหน้าคอนกรีต	กำหนดระยะเวลาทำกิจกรรม - Pert[1.3,1.8,2.2] สำหรับกรณีเฉลี่ย - 1.3 สำหรับกรณีดีที่สุด
	Draw Link		หากในแถวคอยหน้ากิจกรรมมีทรัพยากรมากกว่า 0 ให้ส่งผ่านไปยังกิจกรรมตามหลังจำนวน 1 หน่วย
	Draw Link		หากในแถวคอยหน้ากิจกรรมมีทรัพยากรมากกว่าหรือเท่ากับ 1 ให้ส่งผ่านไปยังกิจกรรมตามหลังจำนวน 1 หน่วย
	Release Link		เมื่อกิจกรรมแล้วเสร็จ ให้ทรัพยากรที่ออกจากกิจกรรมนั้นมีจำนวน 1 หน่วย



ภาพที่ 5-18 แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A)

กำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลองเพื่อหาระยะเวลาของกระบวนการรวม สำหรับจำลองลักษณะกรณีเฉลี่ย (Average Case) ที่ปริมาณงานก่อสร้าง 22 หน่วย โดยกำหนดปริมาณงานเทผิวทาง ที่แถวคอย PourArea เมื่อตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบจำลองแล้วจะเริ่มดำเนินการจำลองเพื่อหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วันของกระบวนการการก่อสร้าง โดยกำหนดเป้าหมายประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการเทคอนกรีตผิวทาง 215 ตร.ม. หรือ 22 หน่วยคันรถ กรณีนี้ทำการจำลองกระบวนการตามภาพที่ 5-18 โดยใช้ระยะเวลากิจกรรมแบบ PERT จำนวน 100 รอบ (100 วันงาน) และได้ผลลัพธ์ดังแสดงผลในตารางที่ 5-10 โดยค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในการเทคอนกรีตผิวทางปริมาณ 22 หน่วย หรือ 22 คันรถขนส่งคอนกรีต เท่ากับ 662.28 นาที ใกล้เคียงกับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน หรือ 660 นาที ซึ่งสูงกว่าเท่ากับ 0.34%

จากนั้นทำการปรับแก้แบบจำลองสำหรับจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันโดยทำการลบโหนดแถวคอย PourArea เพื่อไม่เป็นการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลองและตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม EZStrobe ให้สิ้นสุดการจำลองเมื่อครบระยะเวลาการจำลองการก่อสร้าง 660 นาที ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5-10 มีค่าเฉลี่ยปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจากการจำลองจำนวน 100 รอบเท่ากับ 21.51 คันรถ ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงกรณีเฉลี่ย 22 คันรถคิดเป็น 2.23%

ตารางที่ 5-10 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A)

กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	การจำลองหาระยะเวลาทำงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (22 คัน)		การจำลองหาปริมาณงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที)	
กรณีเฉลี่ย (Average Case) จากการจำลอง 100 รอบ	ระยะเวลา (นาที)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถขนส่ง (คัน)	%
(1) ผลลัพธ์สูงสุด	728.97	10.45%	24	9.09%
(2) ผลลัพธ์ต่ำสุด	595.82	-9.72%	19	-13.64%
(3) ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ (μ)	662.28	0.34%	21.51	-2.23%
(4) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)	29.72		1.11	

5.2.4 การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

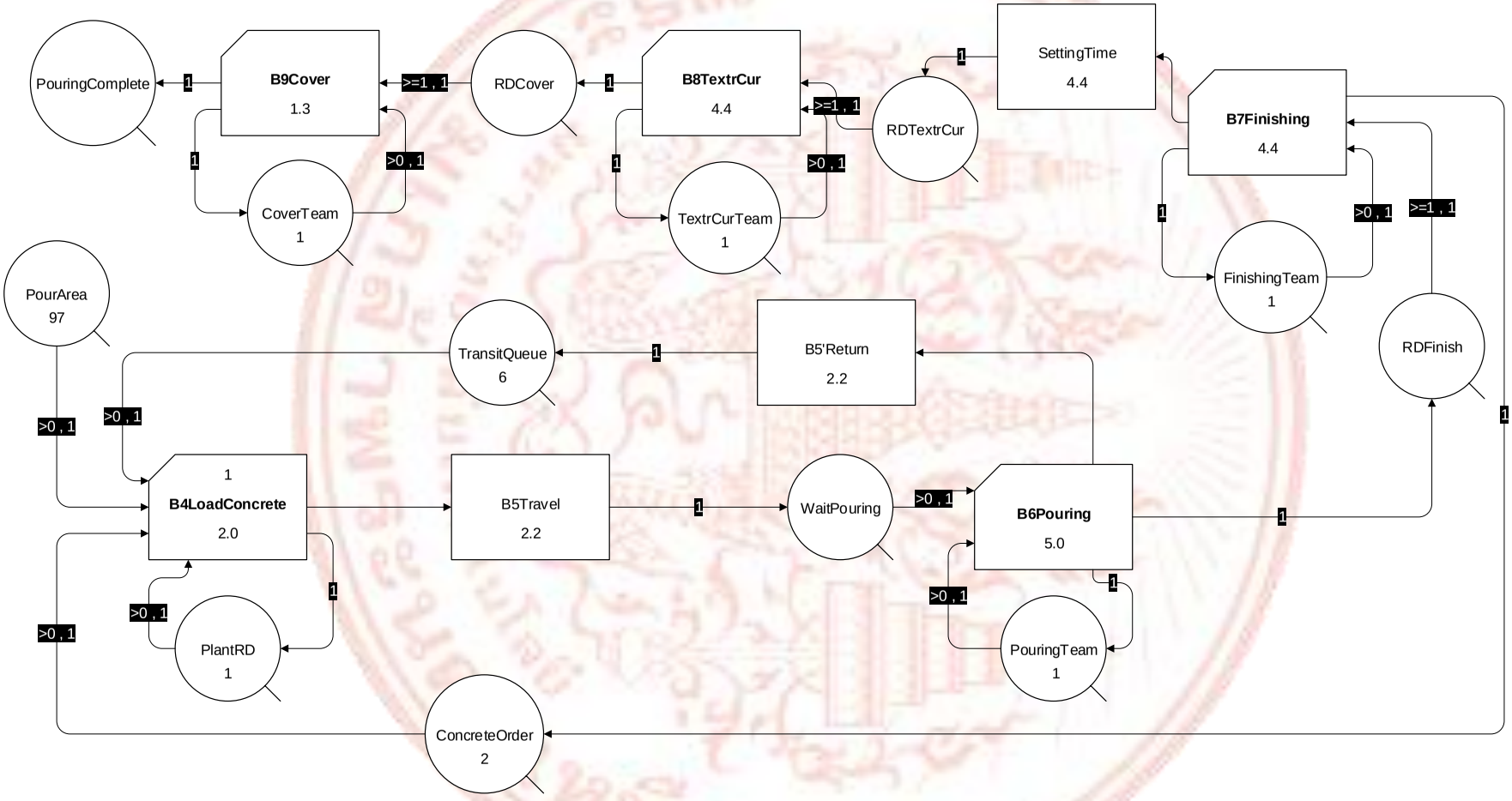
นำแบบจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ยข้างต้นมาปรับปรุงลักษณะการทำงานดังแสดงในภาพที่ 5-19 เพื่อทำการจำลองหาระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วัน สำหรับลักษณะการทำงานกรณีดีที่สุด (Best Case) ที่ปริมาณงานเทคอนกรีตผิวทาง 97 หน่วย โดยกำหนดปริมาณผิวทางที่ก่อสร้าง ที่แถวคอย PourArea และปรับระยะเวลาทุกกิจกรรมในแบบจำลองให้ใช้ระยะเวลาแบบดีที่สุด (Optimistic, a) เท่านั้น ผลการจำลองดังแสดงในตารางที่ 5-11 ได้ระยะเวลา

การทำงานใน 1 วันจากการจำลอง 676.50 นาที สูงกว่าระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 660 นาทีเท่ากับ 2.50%

จากนั้นทำการปรับแก้แบบจำลองสำหรับจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันโดยทำการลบโหนดแถวคอย PourArea เพื่อไม่เป็นการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะทำการจำลองและตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม EZStrobe ให้สิ้นสุดการจำลองเมื่อครบระยะเวลาการจำลองการก่อสร้าง 660 นาที ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5-11 ได้ปริมาณงานซ้ำหรือจำนวนรถขนส่งคอนกรีต 94 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงกรณีดีที่สุด 97 คันรถคิดเป็น 3.09%

ตารางที่ 5-11 ผลลัพธ์การจำลองด้วยวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form	การจำลองหาระยะเวลาทำงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (97 คัน)		การจำลองหาปริมาณงานที่แล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที)	
	ระยะเวลา (นาที)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถขนส่ง (คัน)	%
กรณีดีที่สุด (Best Case)	676.50	2.50%	94	-3.09%



ภาพที่ 5-19 แผนภาพ ACD ของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

เปรียบเทียบปริมาณแถวคอยที่ได้จากผลลัพธ์การจำลองวิธี ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) และกรณีดีที่สุด (ACD-F-B) ดังแสดงในตารางที่ 5-12 เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาการรอในแถวคอยต่างๆ ระหว่างการจำลองรอบที่ 6 ของกรณีเฉลี่ยซึ่งให้ระยะเวลาการจำลองใกล้เคียงกับ 662.28 นาทีมากที่สุดกับการจำลองกรณีดีที่สุด

พบว่าแถวคอย RDFinish, RDTextrCur และ RDCover มีค่าเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ในแถวคอย RDTextrCur ของแบบจำลองกรณีเฉลี่ย หรือไม่มีแถวคอยทั้งในกรณีเฉลี่ยและกรณีดีที่สุด นั่นหมายถึง ไม่มีปริมาณงานค้างรอการแต่งผิวหน้าเรียบ (B7Finishing) การกรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม (B8TextrCur) และการคลุมผิว (B9Cover) ในทั้งสองแบบจำลอง โดยระยะเวลาที่แต่ละทรัพยากรใช้ในทุกแถวคอยของแบบจำลองกรณีดีที่สุดจะมีค่าน้อยกว่าแบบกรณีเฉลี่ยทั้งหมด บ่งบอกถึงกระบวนการทำงานที่ต่อเนื่องและการใช้ทรัพยากรในแต่ละกิจกรรมอย่างเต็มที่มากขึ้น ยกเว้นแถวคอย PouringTeam ที่มีการใช้ระยะเวลารอในแถวคอยใกล้เคียงกันในทั้ง 2 กรณี แสดงถึงการรอคอยการมาถึงของรถขนส่งคอนกรีตเพื่อทำการเทที่ไม่แตกต่างจากเดิม

ทั้งนี้แถวคอยที่มีระยะเวลาเฉลี่ยในการรอคอยมากที่สุดคือแถวคอย TransitQueue เนื่องจากกิจกรรมเทคอนกรีต (B6Pouring) และกิจกรรมแต่งผิว (B7Finishing) เป็นกิจกรรมที่ใช้เวลานาน แต่กิจกรรมผลิตและจัดส่งคอนกรีตจากโรงผลิตใช้เวลาน้อยกว่า ทำให้ต้องชะลอการผลิตและจัดส่งคอนกรีต โดยแบบจำลอง ACD จะกำหนดให้มีรถบรรทุกรอการเทคอนกรีตได้ไม่เกิน 2 คันด้วย แถวคอย ConcreteOrder สอดคล้องกับการปฏิบัติจริงที่จะไม่ผลิตคอนกรีตมารอเทเกิน 2 คัน

ตารางที่ 5-12 ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของแต่ละทรัพยากรในแถวคอยของแบบจำลองกรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) รอบที่ 6 และแบบจำลองกรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

แถวคอย (Queue)	ระยะเวลาเฉลี่ยในแถวคอย (นาที)		Diff (นาที) Best - Avg	Diff%
	6^{th} Avg Case	Best Case		
ConcreteOrder	3.52	0.31	-3.21	-91%
CoverTeam	27.05	5.62	-21.43	-79%
FinishingTeam	20.16	2.55	-17.61	-87%
PlantRD	26.60	4.92	-21.68	-82%
PouringTeam	1.93	1.95	0.02	1%
RDCover	0.00	0.00	-	-
RDFinish	0.00	0.00	-	-
RDTextrCur	0.05	0.00	-0.05	-100%
TextrCurTeam	20.45	2.55	-17.90	-88%
TransitQueue	101.70	28.64	-73.06	-72%
WaitPouring	13.01	0.03	-12.98	-100%

5.3 วิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง

5.3.1 ความถูกต้องของแบบจำลอง

การดำเนินการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองการดำเนินงานก่อสร้างจริงตามที่ได้ศึกษากระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form จากโครงการกรณีศึกษาตามขั้นตอนการศึกษาในหัวข้อ 3.2.1 โดยใช้วิธีการจำลองทั้ง 2 วิธีที่กำหนดในงานวิจัยนี้ ได้แก่ วิธีการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมจำลองวิธี ACD ตามขั้นตอนวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการจำลองทั้ง 2 ที่อธิบายในหัวข้อ 3.4.1 สำหรับวิธี RSM และ 3.4.2 สำหรับวิธี ACD ได้ผลลัพธ์จากการจำลองเพื่อหาระยะเวลาการทำงานก่อสร้างให้แล้วเสร็จใน 1 วัน ตามปริมาณงานก่อสร้างจริงที่กำหนดจากลักษณะการทำงานในกรณีเฉลี่ย (Average Case) และกรณีดีที่สุด (Best Case) ของแต่ละกระบวนการก่อสร้างดังสรุปในตารางที่ 5-13

ตารางที่ 5-13 ผลลัพธ์ระยะเวลาทำงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน (11 ชั่วโมง, 660 นาที) จากการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form โดยการจำลองวิธี RSM และ ACD

Operation	Case	Unit	การจำลองวิธี RSM		การจำลองวิธี ACD	
			ระยะเวลา (นาที)	%	ระยะเวลา (นาที)	%
Slip-Form	Average	57	669.00	1.36%	668.19*	1.24%*
	Best	138	668.80	1.33%	668.80	1.33%
Fixed-Form	Average	22	662.03	0.31%	662.28*	0.35%*
	Best	97	676.50	2.50%	676.50	2.50%
ผลลัพธ์การจำลองเฉลี่ย			669.03	1.38%	668.94	1.36%

* ค่าเฉลี่ยจากการจำลอง 100 รอบ

อธิบายการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองด้วยวิธีการจำลอง RSM และ ACD เพื่อจำลองลักษณะการทำงานของผู้รับเหมากระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในกรณีเฉลี่ยที่ทำได้ปริมาณ 901 ตร.ม.ต่อวัน หรือเท่ากับจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อ 57 คันรถ แบบจำลองของการจำลองวิธี RSM สามารถทำนายระยะเวลาการทำงานให้แล้วเสร็จได้ที่ 669.00 นาที ส่วนแบบจำลองของโปรแกรมวิธี ACD ซึ่งใช้งานโปรแกรม EZStrobe สามารถทำนายระยะเวลาแล้วเสร็จได้ที่ 668.19 นาที ซึ่งเป็นผลลัพธ์เฉลี่ยจากการทำการจำลองด้วยโปรแกรมจำนวน 100 รอบ เนื่องจากการจำลองกรณีเฉลี่ยด้วยวิธี ACD จะจำลองระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมด้วยการใช้ค่าระยะเวลากิจกรรมแบบ PERT ทั้ง 3 ค่า คือ ระยะเวลาทำงานแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Optimistic, a) เวลาทำงานแล้วเสร็จช้าที่สุด (Pessimistic, b) และเวลาที่คาดว่าเป็นไปได้ที่สุด (Most Likely, m) แตกต่างจากวิธี RSM ที่ใช้ค่าระยะเวลากิจกรรมจากการแปลงเป็นระยะเวลาคาดหวัง (Expected Time, Te)

เมื่อกำหนดให้ทั้งสองแบบจำลองประเมินหาระยะเวลาที่ใช้ในการปูผิวทาง 138 คันรถ โดยใช้ข้อมูลเวลากิจกรรมแบบดีที่สุด (Optimistic, a) ที่เป็นสถานการณ์การดำเนินการก่อสร้างกรณีดีที่สุด

(Best Case) ของ Slip-Form Paver พบว่าแบบจำลอง RSM และแบบจำลอง ACD ใช้เวลา 668.80 นาทีเท่ากัน จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง RSM และ ACD สามารถจำลองกระบวนการจริงและมีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับสถิติการดำเนินการจริง โดยทั้ง 4 การจำลองจากการใช้ข้อมูลการศึกษากระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเพียง 1.32%

การจำลองลักษณะการทำงานเฉลี่ยของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่มีปริมาณการเทผิวทางเฉลี่ย 22 คันรถ ใน 1 วัน พบว่าแบบจำลอง RSM ใช้เวลา 662.03 นาที และแบบจำลอง ACD ใช้เวลาเฉลี่ย 662.28 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาทำงาน 660 นาที แสดงว่าสามารถนำแบบจำลองทั้ง 2 ของการจำลองกระบวนการเทคอนกรีตดังกล่าวมาทำนายลักษณะการทำงานเทคอนกรีตได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกับการดำเนินการก่อสร้างจริง จากนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวมาจำลองที่ลักษณะการดำเนินการก่อสร้างที่ให้ผลลัพธ์การเทคอนกรีตผิวทางได้ดีที่สุดที่ปริมาณ 97 คันรถ พบว่าแบบจำลอง RSM และแบบจำลอง ACD ใช้เวลา 676.50 นาทีเท่ากัน โดยทั้ง 4 การจำลองจากการใช้ข้อมูลการศึกษากระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 1.42% ซึ่งสูงกว่ากระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการจำลองกระบวนการก่อสร้างที่ใช้เครื่องจักรในการทำงานเป็นหลักนั้น แบบจำลองสามารถทำนายและให้ผลลัพธ์ได้ใกล้เคียงการดำเนินงานจริงได้มากกว่ากระบวนการก่อสร้างที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักมากกว่าเพียงเล็กน้อย

และจากตารางที่ 5-13 สามารถเปรียบเทียบการจำลองกระบวนการก่อสร้างในลักษณะการทำงานกรณีเฉลี่ย (Average Case) และกรณีดีที่สุด (Best Case) ได้ว่า การจำลองลักษณะการทำงานกรณีดีที่สุดที่ทุกกิจกรรมก่อสร้างใช้ค่าระยะเวลากิจกรรมแบบดีที่สุด (Optimistic, a) เพียงค่าเดียวเปรียบเสมือนการคำนวณด้วยค่าคงที่โดยใช้เครื่องมือคำนวณคือแบบจำลอง RSM และ ACD จำลองลักษณะขั้นตอนการทำงานเดียวกัน ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองของทั้ง 2 แบบจำลองจึงได้ค่าเดียวกัน แตกต่างจากการจำลองกรณีเฉลี่ยที่แบบจำลอง RSM จะต้องคำนวณระยะเวลาแต่ละกิจกรรมเป็นค่าระยะเวลาคาดหวังที่เปรียบเสมือนเป็นค่าคงที่ แต่แบบจำลอง ACD จะใช้เครื่องมือของโปรแกรม EZStrobe ในการจำลองลักษณะความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมแบบ PERT ให้และได้ผลลัพธ์จากค่าเฉลี่ยระยะเวลาการจำลองจำนวน 100 รอบ ดังนั้นผลลัพธ์ระยะเวลาจากการจำลองที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 2 แบบในกรณีเฉลี่ยจึงแตกต่างกัน

จากผลลัพธ์ของวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 วิธีแสดงให้เห็นความสามารถการจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่การจำลองด้วยโปรแกรมแบบจำลอง ACD จะให้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะเวลาการจำลองที่ 1.36% ใกล้เคียงกับระยะเวลาการทำงานจริงมากกว่าวิธี RSM ที่ 1.38% เล็กน้อย เนื่องจากสามารถกำหนดให้ใช้ค่าระยะเวลากิจกรรมตามหลักสถิติต่างๆ เช่น PERT โดยการจำลอง ACD ของโปรแกรม EZStrobe จะใช้การระบุระยะเวลากิจกรรมเป็น 3 ค่าไม่ใช้ค่าเวลาเฉพาะตายตัวเหมือน RSM ที่ใช้เพียงค่าระยะเวลาคาดหวัง (Te) ที่ได้จากการคำนวณ

สามารถนำแบบจำลองเดียวกันที่ให้ผลลัพธ์การจำลองคือระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จใน 1 วันทั้งหมดที่แสดงในตารางที่ 5-13 มาปรับแปลี่ยนเพื่อหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จที่สามารถทำได้ในรูปปริมาณงานซ้ำหรือก็คือปริมาณคอนกรีต 1 คันรถ จากการกำหนดระยะเวลาการจำลอง

เท่ากับระยะเวลาการทำงานก่อสร้างจริงใน 1 วัน เท่ากับ 660 นาทีของแต่ละลักษณะการทำงานในแต่ละกระบวนการดังสรุปในตารางที่ 5-14 แนวคิดคือเปลี่ยนจากการกำหนดปริมาณงานเพื่อหาระยะเวลาการทำงาน เป็นกำหนดระยะเวลาการทำงานเพื่อย้อนกลับไปหาปริมาณงานก่อสร้างที่จะสามารถทำได้ตามเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 5-14 ผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน (11 ชั่วโมง, 660 นาที) จากการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form โดยการจำลองวิธี RSM และ ACD

Operation	Case	Unit	การจำลองวิธี RSM		การจำลองวิธี ACD	
			ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถ (คัน)	%	ปริมาณงานซ้ำ (หน่วย), จำนวนรถ (คัน)	%
Slip-Form	Average	57	56	-1.75%	55.82*	-2.07%*
	Best	138	136	-1.45%	136	-1.45%
Fixed-Form	Average	22	21	-4.55%	21.51*	-2.23%*
	Best	97	94	-3.09%	94	-3.09%
ผลลัพธ์การจำลองเฉลี่ย				-2.71%		-2.21%

* ค่าเฉลี่ยจากการจำลอง 100 รอบ

สำหรับวิธีการจำลอง RSM นั้นไม่จำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยนใดๆ ในตัวแบบจำลอง แต่เป็นการเปลี่ยนวิธีการอ่านค่าจากเส้นกราฟผลิตภาพว่า ที่ระยะเวลา 660 นาทีมีปริมาณหน่วยงานซ้ำสะสมของกิจกรรมสุดท้ายแล้วเสร็จไปเท่าใด ซึ่งจะนับเฉพาะจำนวนหน่วยงานซ้ำที่แล้วเสร็จไปแล้วก่อนเวลา 660 นาที ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5-14 ที่กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver สามารถแล้วเสร็จจำนวน 56 คันรถในกรณีเฉลี่ย และ 136 คันรถในกรณีดีที่สุด ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานก่อสร้างจริงของผู้รับเหมาที่ 57 และ 138 คันรถบรรทุก 10 ล้อตามลำดับ ส่วนการจำลองด้วยโปรแกรมวิธี ACD นั้นจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนโดยการลบโหนดแถวคอย PaveArea เพื่อไม่กำหนดปริมาณงานก่อสร้างที่จะจำลอง แล้วกำหนดขอบเขตให้โปรแกรมทำการจำลองโดยมีระเวลาการจำลองที่ 660 นาทีตามระยะเวลาการทำงานก่อสร้างจริงใน 1 วัน ได้ผลลัพธ์ที่กรณีเฉลี่ย 55.82 คันรถ และที่กรณีดีที่สุด 136 คันรถ ซึ่งโดยปรกติแล้วผลลัพธ์จำนวนหน่วยงานซ้ำจากการจำลองนั้นจะต้องเป็นค่าจำนวนเต็มตามจำนวนหน่วยงานก่อสร้างเนื่องจากเป็นลักษณะการทำงานที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของจำนวนหน่วยงานซ้ำในระบบแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event) คือจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อหรือรถขนส่งคอนกรีตครั้งละ 1 คัน แต่เนื่องจากการจำลองในกรณีเฉลี่ยด้วยโปรแกรมวิธี ACD ที่ใช้เป็นการกำหนดค่า PERT ทั้ง 3 ค่า การจำลองในแต่ละรอบโปรแกรมจะจำลองความไม่แน่นอนและให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละรอบการจำลอง จึงต้องทำการจำลองจำนวน 100 รอบเพื่อหาผลลัพธ์เฉลี่ย จากการวิเคราะห์จากจำลองหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จ

จากวิธีการจำลอง RSM และ ACD ของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ทั้งหมด 4 แบบจำลองได้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริงเท่ากับ 1.68%

ส่วนการจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (Average Case) เพื่อหาปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จที่ 660 นาที ผลลัพธ์จากวิธี RSM ได้เท่ากับ 21 คันรถขนส่งคอนกรีต และวิธี ACD จากการจำลอง 100 รอบ ได้ค่าเฉลี่ยที่ 21.51 คันรถ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานแล้วเสร็จจริงที่ 22 คันรถขนส่งคอนกรีตทั้ง 2 วิธี และที่ลักษณะการทำงานกรณีดีที่สุด (Best Case) ที่การทำงานจริง 97 คันรถขนส่งคอนกรีต แบบจำลองของทั้งวิธีการจำลอง RSM และ ACD สามารถจำลองได้ที่จำนวน 94 คันรถขนส่งคอนกรีตในเวลา 660 นาทีเท่ากัน ซึ่งต่ำกว่าปริมาณงานแล้วเสร็จจริง โดยเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลลัพธ์ปริมาณงานแล้วเสร็จใน 1 วัน (660นาที) ที่ได้จากการจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form เปรียบเทียบกับปริมาณงานแล้วเสร็จจริงจะได้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 3.24% ซึ่งสูงกว่าการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver เกือบ 2 เท่า จากการวิเคราะห์สาเหตุเนื่องจากปริมาณงานก่อสร้างของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กับกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ใน 1 วันที่แตกต่างกันมาก เมื่อมีความคลาดเคลื่อนจำนวน 1 หน่วยงานซ้ำเท่ากัน แต่เนื่องจากวิธี Fixed-Form ที่เป็นการใช้แรงงานคนมีปริมาณงานก่อสร้างในแต่ละวันที่ทำได้ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณงานเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจึงมองเห็นความแตกต่างจากความคลาดเคลื่อนสูงกว่า

ในการเปรียบเทียบการผลลัพธ์ของวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 วิธีแสดงให้เห็นความสามารถการจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่การจำลองด้วยโปรแกรมแบบจำลอง ACD จะให้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วันจากการจำลองที่ 2.21% ใกล้เคียงกับปริมาณงานแล้วเสร็จจริงมากกว่าวิธี RSM ที่ 2.71% เล็กน้อย

5.3.2 ข้อดี ข้อเสียของแบบจำลอง RSM และ ACD

จากผลลัพธ์ของวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 วิธีแสดงให้เห็นความสามารถการจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่การจำลองด้วยโปรแกรมแบบจำลอง ACD จะให้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะเวลาการจำลอง และปริมาณงานแล้วเสร็จจากการจำลองดังแสดงในตารางที่ 5-13 และตารางที่ 5-14 ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากกว่าวิธี RSM เล็กน้อย เนื่องจากสามารถกำหนดให้ใช้ค่าระยะเวลากิจกรรมตามหลักสถิติต่างๆ เช่น PERT โดยการจำลอง ACD ของโปรแกรม EZStrobe จะใช้การระบุระยะเวลากิจกรรมเป็น 3 ค่าไม่ใช้ค่าเวลาเฉพาะตายตัวเหมือน RSM ที่ใช้เพียงค่าระยะเวลาคาดหวัง (Te) ที่ได้จากการคำนวณ

แต่การจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วย RSM จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของเส้นผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมได้ง่ายกว่า จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้างในระหว่างการสร้างแบบจำลองได้ทันที ไม่จำเป็นต้องรอดูผลลัพธ์เพื่อวิเคราะห์ภายหลังทำการจำลองไปแล้ว 1 รอบอย่างเช่นแบบจำลองวิธี ACD และสามารถใช้โปรแกรมแผ่นคำนวณทั่วไป (Spreadsheet) ในการสร้างแบบจำลองได้ แต่มีข้อด้อยคือปรับแก้แบบจำลองเดิมได้ยาก ต้องจัดทำแบบจำลองใหม่เมื่อต้องการจำลองสถานการณ์ใหม่ หรือการจำลองในปริมาณงานก่อสร้างที่แตกต่างกัน และไม่สามารถประมวลผลความยาวของแถวคอย ระยะเวลาในแถวคอย และต้องทำการวิเคราะห์

พฤติกรรมการใช้ทรัพยากรระหว่างกิจกรรมโดยละเอียดเพื่อกำหนดเงื่อนไขและจุดควบคุม (Control Point) ต่างๆ

ในขณะที่การปรับปรุงแบบจำลอง ACD ทำได้ง่ายกว่า แต่ต้องอาศัยโปรแกรมเฉพาะและต้องเข้าใจรูปแบบของการจำลอง สัญลักษณ์ที่ใช้ วิธีการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ รวมถึงวิธีการอ่านผลของแบบจำลอง แต่แบบจำลอง ACD เป็นแบบจำลองที่สามารถแสดงภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรมในกระบวนการเป็นเครือข่าย และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของแต่ละกิจกรรมได้ ผู้สร้างแบบจำลองต้องเข้าใจความสัมพันธ์ของกระบวนการอย่างชัดเจน เพื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม และกำหนดอัตราการส่งผ่านทรัพยากรต่อหน่วยไปยังกิจกรรมต่างๆ ให้สัมพันธ์กัน เช่น การสร้างวงรอบกิจกรรมที่ใช้ทรัพยากรชนิดเดียวกัน การกำหนดหน่วยปริมาณงานปูผิวทางที่จะส่งต่อระหว่างกิจกรรม เป็นต้น และเมื่อสร้างแบบจำลองและทดสอบความถูกต้องดังกรณีเฉลี่ย (Average Case) ของกรณีศึกษานี้แล้ว สามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปปรับใช้เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ที่เปลี่ยนไป เช่น การเปลี่ยนระยะเวลาของกิจกรรม การเปลี่ยนจำนวนชุดทรัพยากรที่ใช้ หรือเงื่อนไขต่างๆ จะกระทำได้โดยง่าย และสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นแยกตามกิจกรรมและแถวคอยต่างๆ ได้โดยง่าย

ในลักษณะของการนำข้อมูลจากแบบจำลองไปใช้งาน วิธีการจำลอง RSM นั้นนอกจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเป็นค่าระยะเวลาหรือปริมาณงานก่อสร้างแล้ว การที่แบบจำลองแสดงให้เห็นเป็นเส้นกราฟแผนงานก่อสร้างมีประโยชน์ต่อผู้ควบคุมงานในการใช้ตรวจสอบและประเมินความคืบหน้าของงาน รวมไปถึงการควบคุมการทำงานของคนงานในกิจกรรมต่างๆ ขณะตอนทำงาน เนื่องจากสามารถบอกได้ว่าในขณะเวลานั้นกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้างควรก่อสร้างได้ปริมาณงานเท่าใดแล้วบ้างจากเส้นกราฟแผนงาน RSM จึงสามารถประเมินได้ว่าการทำงานในขณะนั้นเร็วกว่าหรือช้ากว่าแผนงานที่ได้ทำการจำลองไว้ เพื่อเป็นการควบคุมผลิตภาพการทำงานในแต่ละวันให้ได้เท่าที่ควรจะเป็นตามผลลัพธ์จากการจำลอง แตกต่างจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมวิธี ACD ซึ่งมีลักษณะเป็นการจำลองเพื่อทำนายผลลัพธ์จากการจำลองลักษณะการทำงานที่ได้เป็นค่าตัวเลขของปริมาณงานก่อสร้าง เวลาที่ใช้ในการทำงานก่อสร้าง หรือค่าต่างๆ ตามที่ควรจะเป็นเท่านั้น

5.4 วิเคราะห์แนวทางปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างจากแบบจำลอง

5.4.1 การปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

จากการวิเคราะห์เส้นกราฟผลิตภาพของกิจกรรมจากการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ในลักษณะการดำเนินการกรณีเฉลี่ยและกรณีดีที่สุดในภาพที่ 5-5 และภาพที่ 5-6 แล้วทำการจัดอันดับระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยเฉพาะกิจกรรมในลักษณะเป็นการส่งผ่านงานซ้ำๆ ทีละหน่วย เพื่อหากิจกรรมที่มีระยะเวลาการทำกิจกรรมสูงที่สุดหรือมีเส้นกราฟผลิตภาพต่ำที่สุดดังตารางที่ 5-15 พบว่ากิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบเป็นกิจกรรมที่มีความชันของเส้นกราฟอัตราการทำกิจกรรมต่ำที่สุด และไม่สัมพันธ์กับกิจกรรมอื่นๆ ในกระบวนการซึ่งส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมที่ใช้เครื่องจักรในการดำเนินการก่อสร้างเป็นหลัก เช่น กิจกรรม A8 ปูผิวทางที่ใช้ Slip-Form Paver และกิจกรรม A10 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มที่ใช้เครื่อง Texture and Curing Machine ซึ่งเครื่องจักรทั้ง 2 มีค่าดำเนินการเป็นจำนวนมาก เช่น ค่าเช่า ค่าน้ำมัน ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น ดังนั้นจะเป็นการคุ้มค่ากว่า

หากสามารถใช้งานเครื่องจักรต่างๆ ในกระบวนการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากขึ้น แต่มีข้อพิจารณา คือกิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบนั้นมีจำนวนกำลังคนรวม 26 คนดังแสดงในตารางที่ 4-1 โดยมีพื้นที่การทำงานของจำนวนคนดังกล่าวรวมกับพื้นที่ที่เครื่อง Slip-Form Paver ได้ปูผิวออกมาแล้วเสร็จรอการแต่งผิวหน้าเรียบตามที่กำหนดในแบบจำลองไม่เกินปริมาณคอนกรีต 2 คันรถ หรือคิดเป็นพื้นที่ผิวทาง 32 ตร.ม.ซึ่งในแบบจำลอง ACD จะกำหนดที่คิว LimitArea หรือตามเงื่อนไขในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (e) ของแบบจำลอง RSM ดังนั้นหากต้องการเพิ่มจำนวนทีมงานของกิจกรรมแต่งผิวหน้าเรียบก็จะสามารถเพิ่มพื้นที่การทำงานรวมกับพื้นที่รอการแต่งผิวในอัตราเดียวกันได้ เพื่อให้เครื่อง Slip-Form Paver สามารถปูผิวทางได้อย่างต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5-15 จัดอันดับกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่มีระยะเวลาต่อหน่วยสูงที่สุด

อันดับที่	กิจกรรม	ระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย (นาที)	
		กรณีเฉลี่ย	กรณีดีที่สุด
1st	A9 แต่งผิวหน้าเรียบ	10.0	4.3
2nd	A7 เทคอนกรีต	4.0	3.0
3rd	A6 ขนส่ง	3.9	2.2
4th	A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	3.6	3.2
5th	A11 คลุมผิว	2.8	2.1
6th	A8 ปูผิวทาง	2.7	1.3
7th	A10 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	0.6	0.4

และการวิเคราะห์ความยาวของแถวคอยจากแบบจำลอง ACD ในตารางที่ 5-8 นำมาจัดอันดับทรัพยากรหลักที่มีระยะเวลารอคอยในแนวคอยเฉลี่ยรอการทำงานสูงที่สุดได้ดังตารางที่ 5-16 สามารถระบุได้ว่าทรัพยากรที่เกิดแถวคอยสูงสุดในกระบวนการ ได้แก่ รถบรรทุก 10 ล้อในตำแหน่งการรอโหลดคอนกรีตจากโรงผลิตคอนกรีตที่คิว DumpQueue เนื่องจากการกำหนดปริมาณการขนส่งคอนกรีตให้สัมพันธ์กับความเร็วในการก่อสร้างผิวทางที่มีกิจกรรมที่กำหนดอัตราการทำงานคือกิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบซึ่งมีผลิตภาพต่ำ โดยมีเงื่อนไขของรถบรรทุกคือไม่ให้มีรถบรรทุกจอดรอเทคอนกรีตเกิน 3 คันและไม่ให้มีปริมาณคอนกรีตถูกเทรอการปูผิวทางเกิน 3 คันรถตามลักษณะการดำเนินการจริง ทั้งหมดนี้ส่งผลให้เกิดแถวคอยของรถบรรทุกรอทำกิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก ดังนั้นผู้วิจัยมองว่าหากสามารถปรับลดจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในกระบวนการลงได้โดยที่ยังสามารถดำเนินการปูผิวทางด้วยปริมาณคอนกรีต 57 คันรถในกรณีเฉลี่ยและ 138 คันรถในกรณีดีที่สุดได้เช่นเดิมจะเป็นแนวทางช่วยลดต้นทุนที่เกินความจำเป็นได้

ตารางที่ 5-16 จัดอันดับแถวคอยของทรัพยากรหลักในกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่มีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยสูงที่สุด

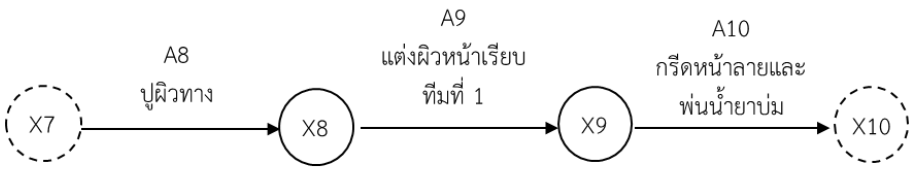
อันดับที่	แถวคอย (Queue)	ทรัพยากรในแถวคอย	ระยะเวลาเฉลี่ยในแถวคอย (นาที)	
			กรณีเฉลี่ย (รอบที่ 67)	กรณีดีที่สุด
1st	DumpQueue	รถบรรทุก 10 ล้อ	33.70	13.52
2nd	TextrCurMachne	Texture and Curing Machine	10.95	4.41
3rd	Paver	Slip-Form Paver	9.10	3.52
4th	CoverTeam	- ทีมคลุมผิว - รถบรรทุกติดตั้งเครน	8.79	2.73
5th	AreaOpen	- พื้นที่หน้า Slip-Form Paver - ทีมติดตั้ง Transverse Joint กลับ - รถขุดล้อยาง	7.41	1.80
6th	PlantRD	โรงผลิตคอนกรีต	6.55	1.17
7th	ConcreteOrder	คำสั่งเงื่อนไขการผลิตคอนกรีตไปรอเทได้ไม่เกิน 3 หน่วย	6.24	1.82
8th	LimitStock	คำสั่งเงื่อนไขให้มีปริมาณคอนกรีตที่เทด้านหน้าเครื่องปูเพื่อรอปูคอนกรีตได้ไม่เกิน 3 หน่วย	5.29	1.69
9th	LimitArea	คำสั่งเงื่อนไขให้มีปริมาณคอนกรีตที่ออกจากเครื่องปูรอการแต่งผิวได้ไม่เกิน 2 หน่วย	3.44	1.12
10th	FinishingTeam	ทีมแต่งผิวหน้า	1.65	0.54

สำหรับการพิจารณาความไวของผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างด้วยแบบจำลองในงานวิจัยนี้ จะดำเนินการปรับเปลี่ยนจำนวนปัจจัยที่ระบุได้ว่าเป็นปัจจัยที่จะส่งผลรุนแรงต่อกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่สุดจากการจัดอันดับในทั้งวิธีการจำลอง RSM และ ACD พร้อมกันด้วยวิธี Two-way Sensitivity analysis เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหน่วยงานก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1 วัน (660 นาที) จากการจำลองในแต่ละกรณีว่ามีความแตกต่างจากผลลัพธ์ของแบบจำลองที่จำนวนปัจจัยตั้งต้นเท่าใด เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นกี่เปอร์เซ็นต์

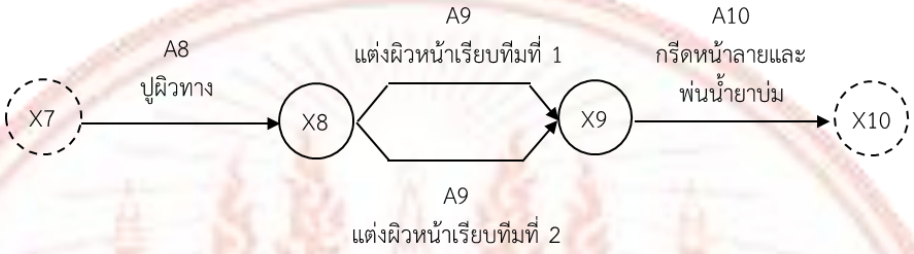
จากการวิเคราะห์กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ผ่านมุมมองของแบบจำลอง RSM และ ACD ข้างต้นสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงกระบวนการคือ จะดำเนินการทดลองเพิ่มจำนวนปัจจัยแรก คือ ทีมงานแต่งผิวหน้าของกิจกรรม A9 จาก 1 ทีมจนถึง 3 ทีมและเพิ่มพื้นที่การทำงานร่วมกับพื้นที่รอการแต่งผิวหน้าได้ตามอัตราส่วน โดย 1 ทีมแต่งผิวหน้าจะสามารถมีพื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นปริมาณคอนกรีตได้ไม่เกิน 2 คันรถ สรุปเป็นอัตราส่วน จำนวนทีมแต่งผิวหน้า : จำนวนพื้นที่รอแต่งผิวหน้าสูงสุด คือ 1 : 2, 2 : 4 และ 3 : 6 ตามลำดับ และทดลองปรับลดจำนวนปัจจัยที่สอง คือ รถบรรทุก 10 ล้อจาก 6 คันจนถึง 2 คันตามลำดับ แล้วจึงวิเคราะห์ความไวของระยะเวลาทำงานใน 1 วัน ต่อการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ระบุข้างต้นของแต่ละสถานการณ์

สำหรับแบบจำลอง RSM จะทำการเพิ่มเส้นกราฟผลิตภาพของกิจกรรม A9 ตามจำนวนทีมงานที่เพิ่มขึ้นดังแสดงแนวคิดเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ในภาพที่ 5-20 ที่ทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบทุกทีมจะสลับกันรับปริมาณคอนกรีต 1 คันรถจากกิจกรรม A8 ปูผิวทางเดียวกัน และส่งต่อให้กิจกรรม A10 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่มกิจกรรมเดียวกันดังตัวอย่างในภาพที่ 5-21 เนื่องจากการปรับแก้แบบจำลองไม่ควรปรับลดค่าระยะเวลาทำกิจกรรม A9 ลงตามสัดส่วนจำนวนทีมงานที่เพิ่มขึ้น และปรับเงื่อนไขของแบบจำลองในภาพที่ 5-2 ที่ตำแหน่ง (e) สำหรับกำหนดปริมาณพื้นที่รอแต่งผิวหน้าเรียบในอัตราตามที่กำหนดข้างต้นและทำการตรวจสอบวงรอบของรถบรรทุก 10 ล้อที่ปรับลดลงในแต่ละสถานการณ์ที่จำลอง

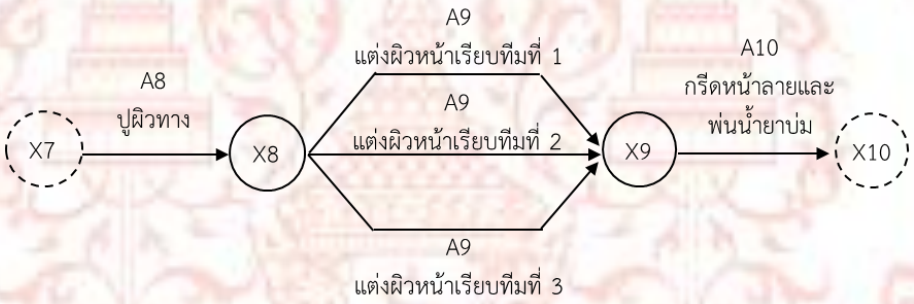
สำหรับโปรแกรมแบบจำลองวิธี ACD จะปรับเปลี่ยนอัตราจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าในคิว FinishingTeam และเงื่อนไขพื้นที่รอการแต่งผิวหน้าภายหลังปูผิวในคิว LimitArea ให้สัมพันธ์กัน คือ 1 : 2, 2 : 4 และ 3 : 6 ตามลำดับ และดำเนินการทดลองลดจำนวนรถบรรทุกในคิว DumpQueue จาก 6 จนถึง 2 คันตามลำดับ แล้วกำหนดให้โปรแกรมทำการจำลองหาปริมาณงานซ้ำในระยะเวลาการจำลอง 660 นาที



(a) ทีมแต่งผิวหน้าเรียบจำนวน 1 ทีม

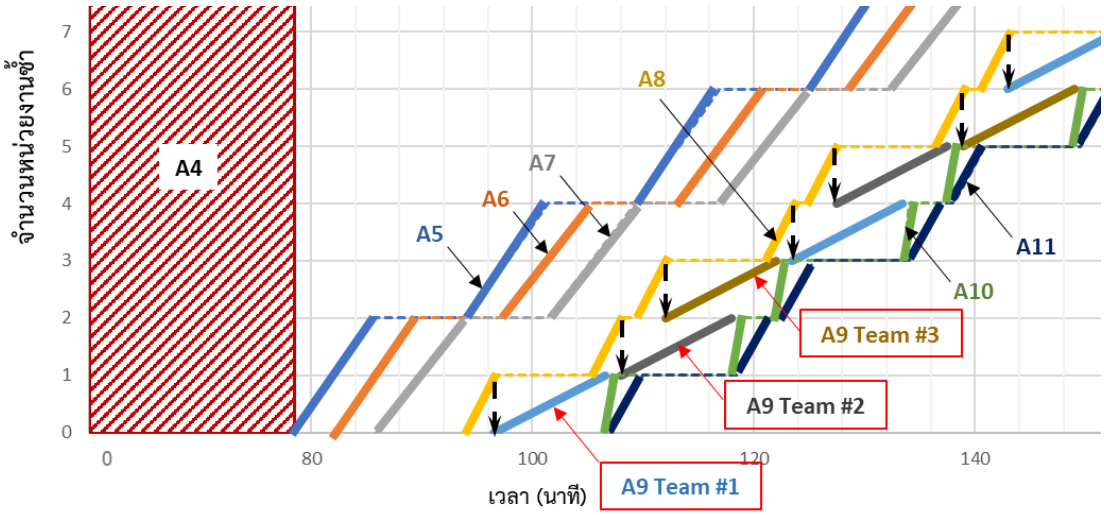


(b) ทีมแต่งผิวหน้าเรียบจำนวน 2 ทีม



(c) ทีมแต่งผิวหน้าเรียบจำนวน 3 ทีม

ภาพที่ 5-20 แผนภาพแนวคิดการเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบสำหรับการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยแบบจำลอง RSM



ภาพที่ 5-21 ตัวอย่างการรับและส่งผ่านปริมาณงานซ้ำของแบบจำลอง RSM ที่กิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบมีทีมงานจำนวน 3 ทีม

โดยแบบจำลองแต่ละวิธีจะดำเนินการทดลองจำนวน 15 สถานการณ์ ได้ผลลัพธ์ปริมาณงานซ้ำในแต่ละสถานการณ์จากการวิเคราะห์ความไวแบบสองทางดังแสดงในตารางที่ 5-17 การทดลองในแต่ละสถานการณ์จะจำลองการดำเนินงานในระยะเวลา 660 นาทีเพื่อหาปริมาณงานก่อสร้างหรือก็คือปริมาณคอนกรีตเป็นจำนวนหน่วยคันรถบรรทุก (สำหรับแบบจำลอง ACD กรณีเฉลี่ยจะใช้ค่าจากการจำลองรอบที่ 67 ที่มีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยที่สุด) เมื่อได้ปริมาณงานซ้ำจากการทดลองในแต่ละสถานการณ์ของทั้งวิธีการจำลอง RSM และ ACD แล้ว ทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการปรับปรุงกระบวนการตามสมมติฐานข้างต้นว่าสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างที่ระยะเวลาการทำงาน 660 นาทีเท่าได้กี่เปอร์เซ็นต์

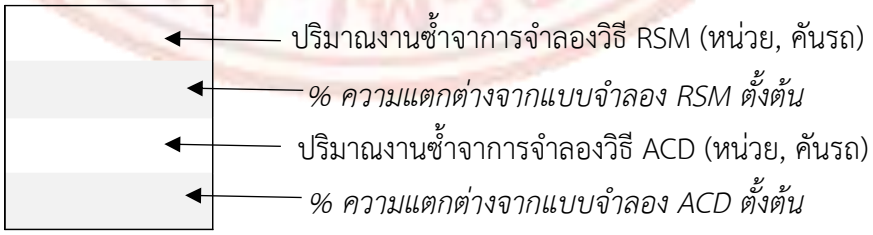
พิจารณาผลการปรับลดจำนวนรถบรรทุกจากตารางที่ 5-17 พบว่าการปรับลดจำนวนรถบรรทุกลดลงเหลือ 4 คันไม่ส่งผลต่อปริมาณงานซ้ำจากการจำลองในทุกสถานการณ์จำนวนทีมงานแต่งผิวหน้า แต่เมื่อจำนวนรถบรรทุกลดลงเหลือ 3 และ 2 คันจะส่งผลให้ได้ปริมาณงานก่อสร้างที่ลดลงดังแสดงในภาพที่ 5-22 และภาพที่ 5-23

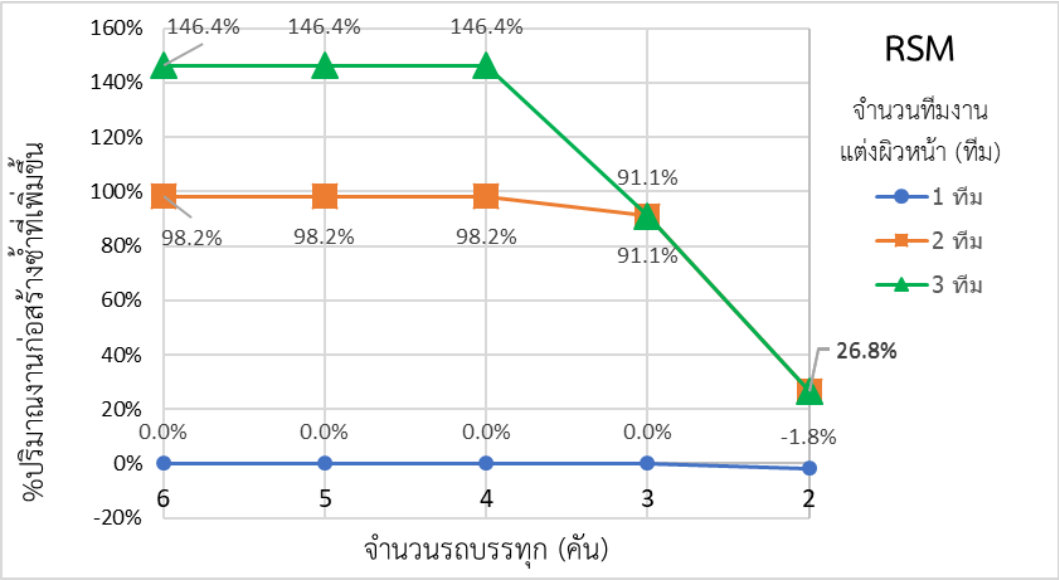
และเมื่อพิจารณาการเพิ่มของจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบจาก 1 ทีมเป็น 2 ทีมที่จำนวนรถบรรทุก 4 คันพบว่าสามารถได้ปริมาณงานก่อสร้างเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แต่เมื่อเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเป็น 3 ทีมสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างจากทีมงานจำนวน 2 ทีมเพียงประมาณ 45% เท่านั้นดังภาพที่ 5-22 และภาพที่ 5-23

ตารางที่ 5-17 ปริมาณงานซ้ำจากการจำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในแต่ละสถานการณ์

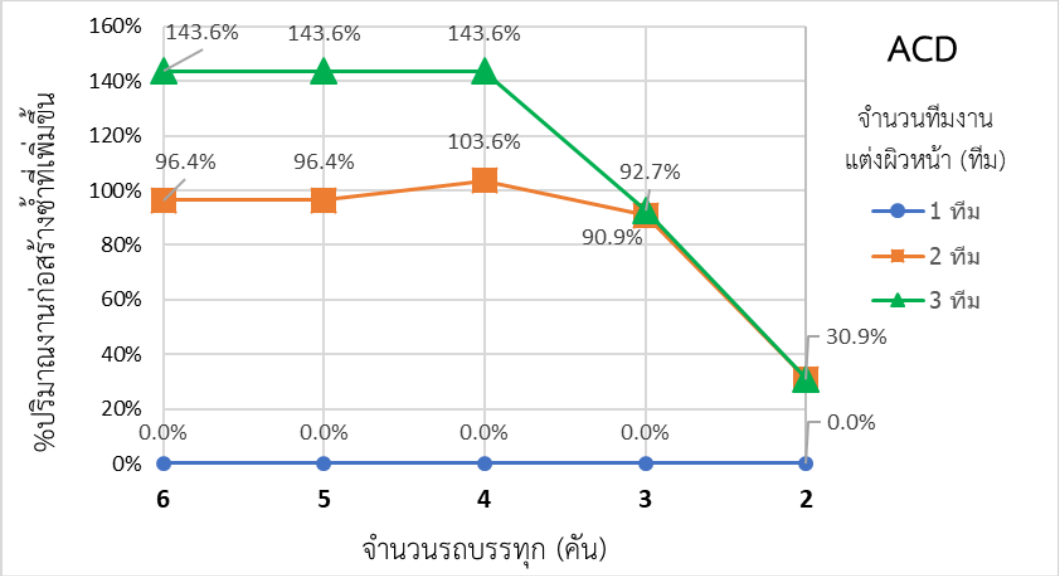
จำนวนรถบรรทุก	จำนวน Finishing team		
	1	2	3
6	56	111	138
	0%	*98.2%*	*146.4%*
	55	108	134
	0%	*96.4%*	*143.6%*
5	56	111	138
	0.0%	*98.2%*	*146.4%*
	55	108	134
	0.0%	*96.4%*	*143.6%*
4	56	111	138
	0.0%	*98.2%*	*146.4%*
	55	112	134
	0.0%	*103.6%*	*143.6%*
3	56	107	107
	0.0%	*91.1%*	*91.1%*
	56	105	106
	1.8%	*90.9%*	*92.7%*
2	55	71	71
	-1.8%	*26.8%*	*26.8%*
	55	72	72
	0.0%	*30.9%*	*30.9%*

หมายเหตุ





ภาพที่ 5-22 แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี RSM



ภาพที่ 5-23 แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี ACD

จากนั้นดำเนินการคำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในช่วงกิจกรรมงานซ้ำๆ ต่อเนื่องตั้งแต่กิจกรรม A5 โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก ถึงกิจกรรม A11 คลุมผิว จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมดังแสดงรายการคำนวณในภาพที่ 5-24 เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าดำเนินการของสถานการณ์การใช้จำนวนปัจจัยตามแบบจำลองตั้งต้นที่มีการจำลองเหมือนกับการทำงานจริงของโครงการกรณีศึกษาที่จำนวนรถบรรทุก 10 ล้อ 6 คัน และจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบ 1 ทีมมีค่าดำเนินการรวมต่อวันเท่ากับ 139,111 บาท จากนั้นนำมาแปลงเป็นค่าดำเนินการต่อตารางเมตรงานปูผิวทางโดยปริมาณงานจากแบบจำลอง RSM เท่ากับ 56 คันรถ และ ACD เท่ากับ 55 คันรถ คิดเป็น 896 และ 880 ตารางเมตรตามลำดับ ดังนั้นจะมีค่าดำเนินการต่อตารางเมตรอยู่ที่ 155.26 และ 158.08 บาทต่อตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 5-18 และตารางที่ 5-19

เมื่อทำการคำนวนค่าดำเนินการต่อตารางเมตรของทุกสถานการณ์การจำลองดังในตารางที่ 5-18 และตารางที่ 5-19 ของทั้ง 2 วิธีการจำลองแล้วเสร็จ สามารถวิเคราะห์ค่าดำเนินการที่ลดลงได้ดังภาพที่ 5-25 และภาพที่ 5-26 เห็นได้ว่าที่จำนวนทีมงานแต่งผิวหน้า 3 ทีมและจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อ 4 คันจะให้ความคุ้มค่าในด้านค่าดำเนินการที่ลดลงมากที่สุดเท่ากับ 53.2% โดยมีตัวเลือกลักษณะการทำงานที่ดีรองลงมาคือที่จำนวนรถบรรทุก 10 ล้อเป็น 5 และ 6 คันตามลำดับ นอกจากนี้หากทางผู้บริหารงานก่อสร้างมีข้อจำกัดด้านกำลังคนแต่ยังต้องการความคุ้มค่าด้านค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงสามารถพิจารณาที่จำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบ 2 ทีมและรถบรรทุก 3 คันจะสามารถให้ค่าดำเนินการลดลง 47.1% โดยสามารถทำเป็นตารางเพื่อแสดงทางเลือกการปรับเปลี่ยนจำนวนปัจจัยทั้งหมดต่อผู้บริหารงานก่อสร้างเพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมต่อข้อจำกัดของโครงการได้ดังตารางที่ 5-20

ดังนั้นสามารถสรุปผลจากการทดลองแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความไวเพื่อปรับปรุงผลิตภาพของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ได้ว่า แนวทางในการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ที่สามารถวิเคราะห์ได้จากการใช้แบบจำลองคือ แนะนำเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบเป็น 3 ทีมเพื่อทำกิจกรรม A9 แต่งผิวหน้าเรียบให้เร็วขึ้นโดยต้องเพิ่มปริมาณผิวทางที่ปูออกจากเครื่องปูเพื่อรอการแต่งผิวหน้าเป็นปริมาณ 6 คันรถหรือ 96 ตร.ม. และสามารถปรับลดจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อในกระบวนการลงเหลือ 4 คันจะสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างได้เป็น 145% และยังสามารถลดต้นทุนค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานลงได้ 53.2% แต่ทั้งนี้ผู้บริหารงานก่อสร้างสามารถวิเคราะห์เลือกแนวทางการปรับปรุงกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ได้ด้วยตารางที่ 5-20 เพื่อให้เหมาะสมต่อข้อจำกัดของโครงการ เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุน ด้านการหาแรงงานหรือเครื่องจักรต่างๆ มาใช้ในกระบวนการ เป็นต้น

คำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

ระยะเวลาทำงานใน 1 วัน 660 นาที 11 ชม.

ราคาน้ำมัน วันที่ 15-6-2567 33.24 บาท/ลิตร

No.	Machine	Qty.	ค่าเช่าต่อวันต่อคัน	อัตราการใช้น้ำมันต่อชั่วโมง	ค่าน้ำมันต่อวันต่อคัน	Total
1	รถบรรทุก 10 ล้อ	6	3,000.00	4.0	1,462.6	26,775.36
2	Slip-Form Paver	1	23,333.33	55.0	20,110.2	43,443.53
3	Texture & Curing Machine	1	20,000.00	8.5	3,107.9	23,107.94
4	รถขุดล้อยาง	1	6,666.67	7.0	2,559.5	9,226.15
5	รถบรรทุกติดตั้งเครน	1	3,333.33	4.0	1,462.6	4,795.89

ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรต่อวัน *107,348.87* *บาท/วัน*

ค่าแรงขั้นต่ำ 2567 **363.00** **บาท/คน/วัน**

OTx1.5 บาท/ชม.

Activity	Manpower	No. Team	F/M	OPT.	Labour	Total Man	8 ชม.	3 ชม.
A6	ทีมขนส่งคอนกรีต	1		6		6	2,178.00	1,225.13
A7	ทีมเทคอนกรีต	1		1	8	9	3,267.00	1,837.69
A8	ทีมปูผิวทาง	1		4		4	1,452.00	816.75
A9	ทีมแต่งผิวหน้าเรียบ	1	2		24	26	9,438.00	5,308.88
A10	ทีมกรีดหน้าลายพ่นน้ำยาบ่ม	1		1	3	4	1,452.00	816.75
A11	ทีมคลุมผิว	1		1	6	7	2,541.00	1,429.31

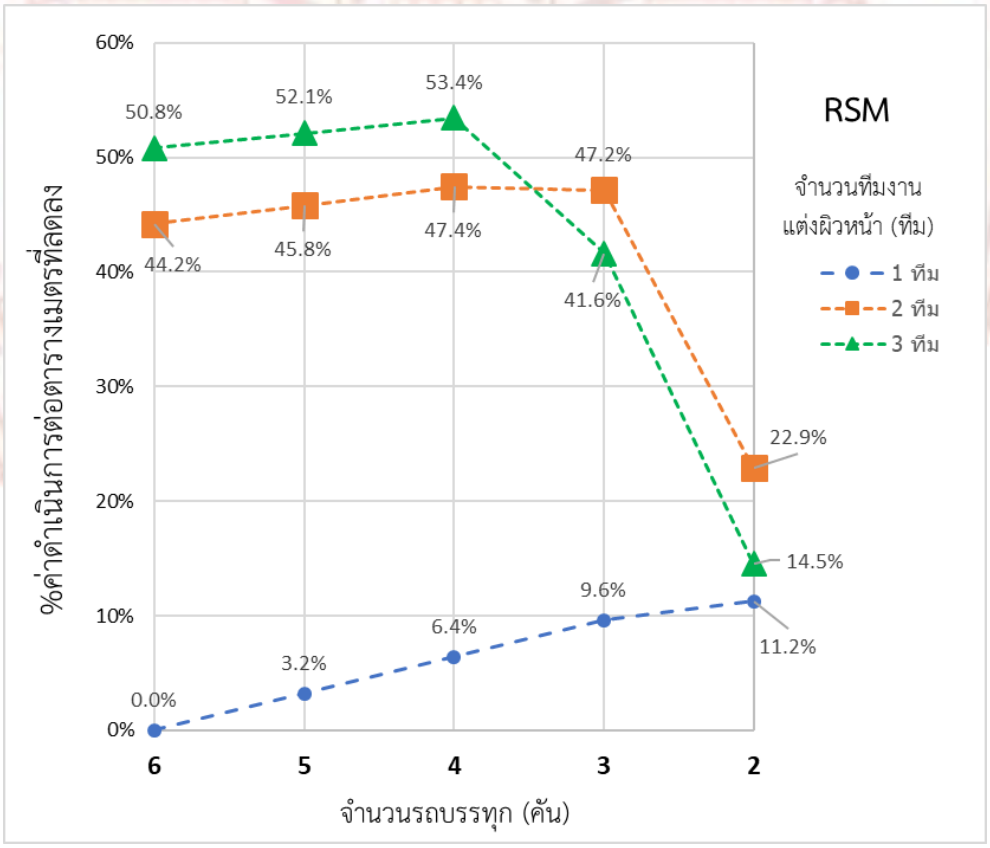
ค่าดำเนินการด้านแรงงานต่อวัน *31,762.50* *บาท/วัน*

ค่าดำเนินการต่อวันรวม **139,111.37** **บาท/วัน**

ภาพที่ 5-24 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver

ตารางที่ 5-18 ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี RSM

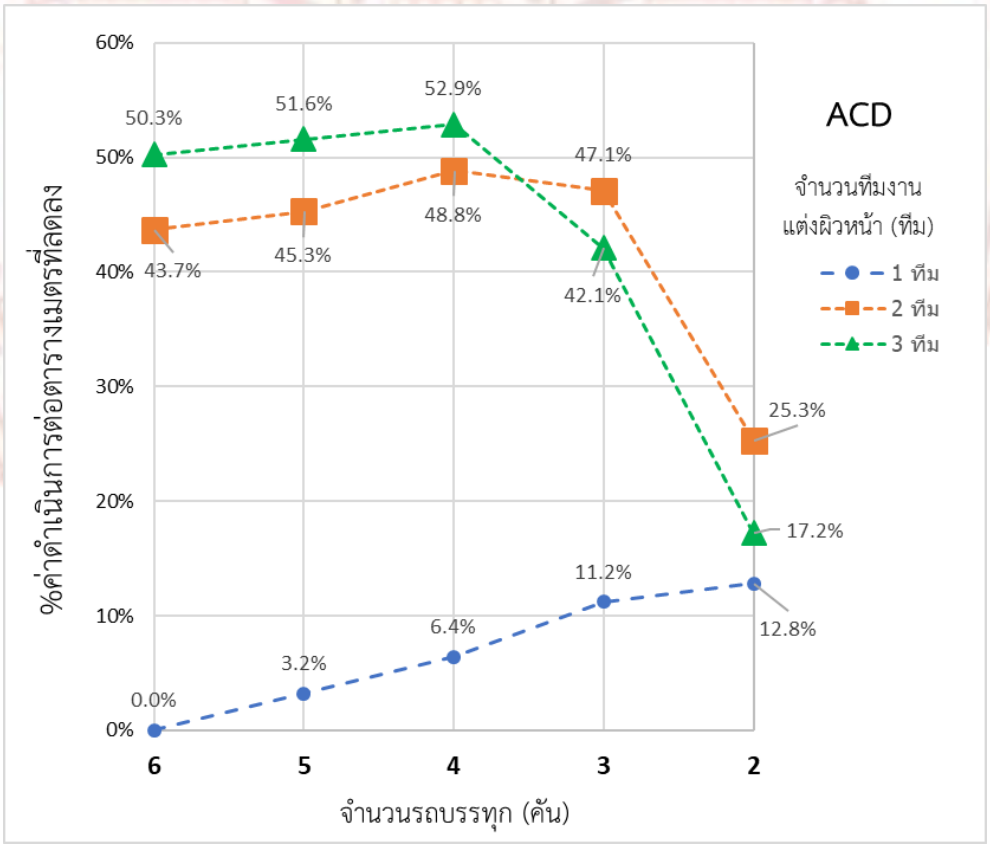
จำนวนรถบรรทุก	จำนวน Finishing team		
	1	2	3
6	155.26	86.63	76.36
	0%	*44.2%*	*50.8%*
5	150.28	84.12	74.34
	3.2%	*45.8%*	*52.1%*
4	145.30	81.61	72.32
	6.4%	*47.4%*	*53.4%*
3	140.32	82.05	90.66
	9.6%	*47.2%*	*41.6%*
2	137.80	119.73	132.71
	11.2%	*22.9%*	*14.5%*



ภาพที่ 5-25 แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี RSM

ตารางที่ 5-19 ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี ACD

จำนวนรถบรรทุก	จำนวน Finishing team		
	1	2	3
6	158.08	89.04	78.64
	0%	*43.7%*	*50.3%*
5	153.01	86.46	76.56
	3.2%	*45.3%*	*51.6%*
4	147.94	80.88	74.48
	6.4%	*48.8%*	*52.9%*
3	140.32	83.61	91.52
	11.2%	*47.1%*	*42.1%*
2	137.80	118.06	130.86
	12.8%	*25.3%*	*17.2%*



ภาพที่ 5-26 แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ด้วยวิธี ACD

ตารางที่ 5-20 ผลลัพธ์ผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนปัจจัยที่สถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์		ปริมาณงานก่อสร้าง ที่เพิ่มขึ้น (%)			ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน ที่ลดลง (%)			อันดับ
จำนวนทีมแต่งผิวหน้า	จำนวนรถบรรทุก	RSM	ACD	ค่าเฉลี่ย	RSM	ACD	ค่าเฉลี่ย	
1	6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	15th
1	5	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	3.2%	3.2%	14th
1	4	0.0%	0.0%	0.0%	6.4%	6.4%	6.4%	13th
1	3	0.0%	1.8%	0.9%	9.6%	11.2%	10.4%	12th
1	2	-1.8%	0.0%	-0.9%	11.2%	12.8%	12.0%	11th
2	6	98.2%	96.4%	97.3%	44.2%	43.7%	43.9%	7th
2	5	98.2%	96.4%	97.3%	45.8%	45.3%	45.6%	6th
2	4	98.2%	103.6%	100.9%	47.4%	48.8%	48.1%	4th
2	3	91.1%	90.9%	91.0%	47.2%	47.1%	47.1%	5th
2	2	26.8%	30.9%	28.8%	22.9%	25.3%	24.1%	9th
3	6	146.4%	143.6%	145.0%	50.8%	50.3%	50.5%	3rd
3	5	146.4%	143.6%	145.0%	52.1%	51.6%	51.8%	2nd
3	4	146.4%	143.6%	145.0%	53.4%	52.9%	53.2%	1st
3	3	91.1%	92.7%	91.9%	41.6%	42.1%	41.9%	8th
3	2	26.8%	30.9%	28.8%	14.5%	17.2%	15.9%	10th

5.4.2 การปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

จากลักษณะการดำเนินการของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่เป็นการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทางด้วยแรงงานคนเป็นหลักนั้น จากการวิเคราะห์เส้นกราฟผลิตภาพของกิจกรรมจากการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ในลักษณะการดำเนินการกรณีเฉลี่ยและกรณีดีที่สุดในภาพที่ 5-10 และภาพที่ 5-11 พบว่ากิจกรรม B6 เทคอนกรีตเป็นกิจกรรมที่มีความชันของเส้นกราฟอัตราการทำกิจกรรมต่ำที่สุดในกระบวนการ ซึ่งใช้ระยะเวลา Te เท่ากับ 28.3 นาทีต่อหน่วยในกรณีเฉลี่ย และในสถานการณ์ดีที่สุดใช้ระยะเวลา 5 นาทีต่อหน่วยซึ่งเป็นกิจกรรมที่มีระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วยสูงที่สุดในกระบวนการดังตารางที่ 5-21 โดยกิจกรรมดังกล่าวเป็นการเทคอนกรีตออกจากรถขนส่งคอนกรีตโดยมีทีมงานจำนวน 4 คนในการจี้และลำเลียงคอนกรีตลงสู่พื้นที่ตำแหน่งที่เทคอนกรีต ซึ่งการทำงานเทคอนกรีตด้วยทีมงาน 1 ทีมมีการกำหนดปริมาณรถขนส่งคอนกรีตไม่ให้ขนส่งคอนกรีตมาจอดรอเทคอนกรีตที่หน้างานเกิน 2 คันรถด้วยเงื่อนไขในภาพที่ 5-8 ที่ตำแหน่ง (c) สำหรับแบบจำลองวิธี RSM หรือการกำหนดคำสั่งจำนวน 2 หน่วยที่คิว ConcreteOrder ในแบบจำลอง ACD ดังนั้นหากต้องการเพิ่มจำนวนทีมงานของกิจกรรมเทคอนกรีตก็สามารถเพิ่มพื้นที่สำหรับจอดรอเทคอนกรีตที่หน้างานของรถขนส่งในอัตราที่เท่ากันได้

ตารางที่ 5-21 จัดอันดับกิจกรรมในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่มีระยะเวลาต่อหน่วยสูงที่สุด

อันดับที่	กิจกรรม	ระยะเวลากิจกรรมต่อหน่วย (นาที)	
		กรณีเฉลี่ย	กรณีดีที่สุด
1st	B6 เทคอนกรีต	28.3	5.0
2nd	B7 แต่งผิวหน้าเรียบ	8.9	4.4
2nd	B8 กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	8.9	4.4
3rd	B5 ขนส่ง	3.9	2.2
4th	B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง	2.3	2.0
5th	B9 คลุมผิว	1.8	1.3

การวิเคราะห์ความยาวของแถวคอยจากแบบจำลอง ACD ในตารางที่ 5-12 แล้วนำมาจัดอันดับหาทรัพยากรที่มีระยะเวลารอคอยในแถวคอยเฉลี่ยรอการทำงานสูงที่สุดดังตารางที่ 5-22 สามารถระบุได้ว่าทรัพยากรที่เกิดแถวคอยสูงสุดในกระบวนการ ได้แก่ รถขนส่งคอนกรีตในตำแหน่งการรอโหลดคอนกรีตจากโรงผลิตคอนกรีตที่คิว TransitQueue เนื่องจากการกำหนดปริมาณการขนส่งคอนกรีตให้สัมพันธ์กับความเร็วในการเทคอนกรีตผิวทางด้วยแรงงานคนที่มีกิจกรรมที่กำหนดอัตราการทำงานคือกิจกรรม B6 เทคอนกรีตซึ่งมีผลิตภาพต่ำ โดยมีเงื่อนไขของรถขนส่งคอนกรีตคือไม่ให้มีรถขนส่งคอนกรีตจอดรอเทคอนกรีตที่หน้างานเกิน 2 คันตามลักษณะการดำเนินการจริง ส่งผลให้เกิดแถวคอยของรถขนส่งคอนกรีตรอทำกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง ดังนั้นผู้วิจัยมองว่าหากสามารถปรับลดจำนวนรถขนส่งที่จอดรอและไม่ได้ถูกใช้งานในกระบวนการลงได้โดยที่ยัง

สามารถดำเนินการเทคอนกรีตผิวทางด้วยปริมาณคอนกรีต 22 คันรถในกรณีเฉลี่ยและ 97 คันรถในกรณีดีที่สุดได้เช่นเดิมจะเป็นแนวทางช่วยลดต้นทุนที่เกินความจำเป็นได้

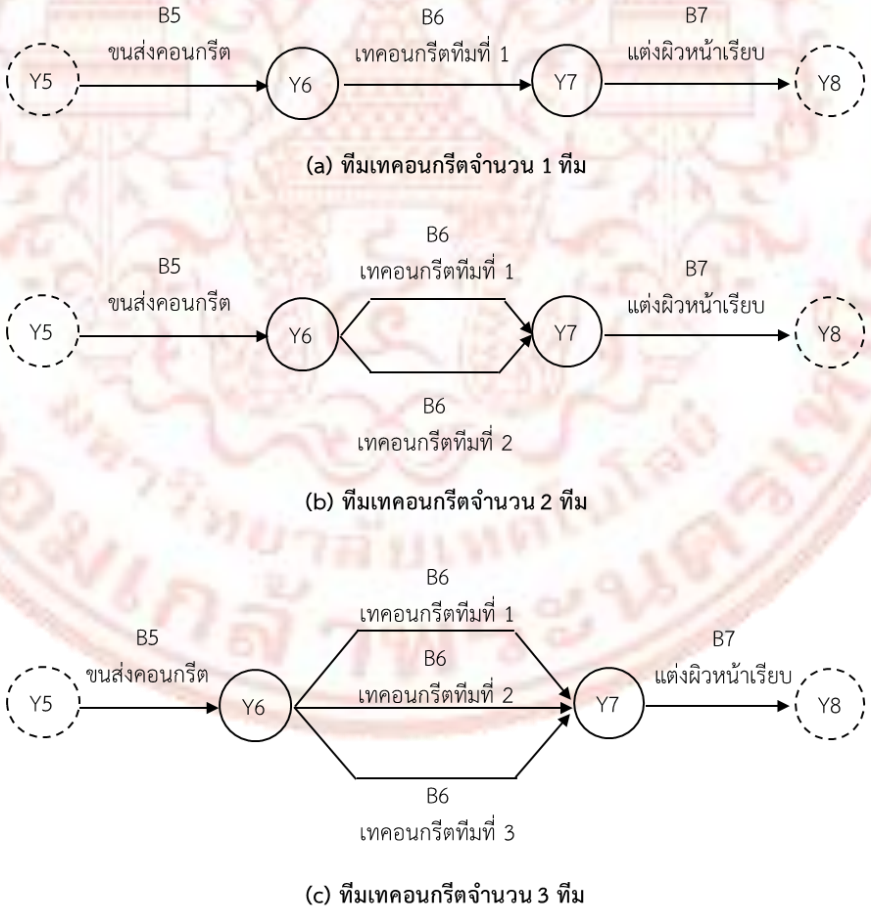
ตารางที่ 5-22 จัดอันดับแถวคอยของทรัพยากรหลักในกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่มีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยสูงที่สุด

อันดับที่	แถวคอย (Queue)	ทรัพยากรในแถวคอย	ระยะเวลาเฉลี่ยในแถวคอย (นาที)	
			กรณีเฉลี่ย (รอบที่ 6)	กรณีดีที่สุด
1st	TransitQueue	รถขนส่งคอนกรีต	101.70	28.64
2nd	CoverTeam	- ทีมคลุมผิว - รถบรรทุกติดตั้งเครน	27.05	5.62
3rd	PlantRD	โรงผลิตคอนกรีต	26.60	4.92
4th	TextrCurTeam	ทีมกรีดผิวหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	20.45	2.55
5th	FinishingTeam	ทีมแต่งผิวหน้า	20.16	2.55
6th	ConcreteOrder	คำสั่งเงื่อนไขการผลิตคอนกรีตล่วงหน้าเพื่อเทและแต่งผิวหน้าได้ไม่เกิน 2 หน่วย	3.52	0.31
7th	PouringTeam	ทีมเทคอนกรีต	1.93	1.95

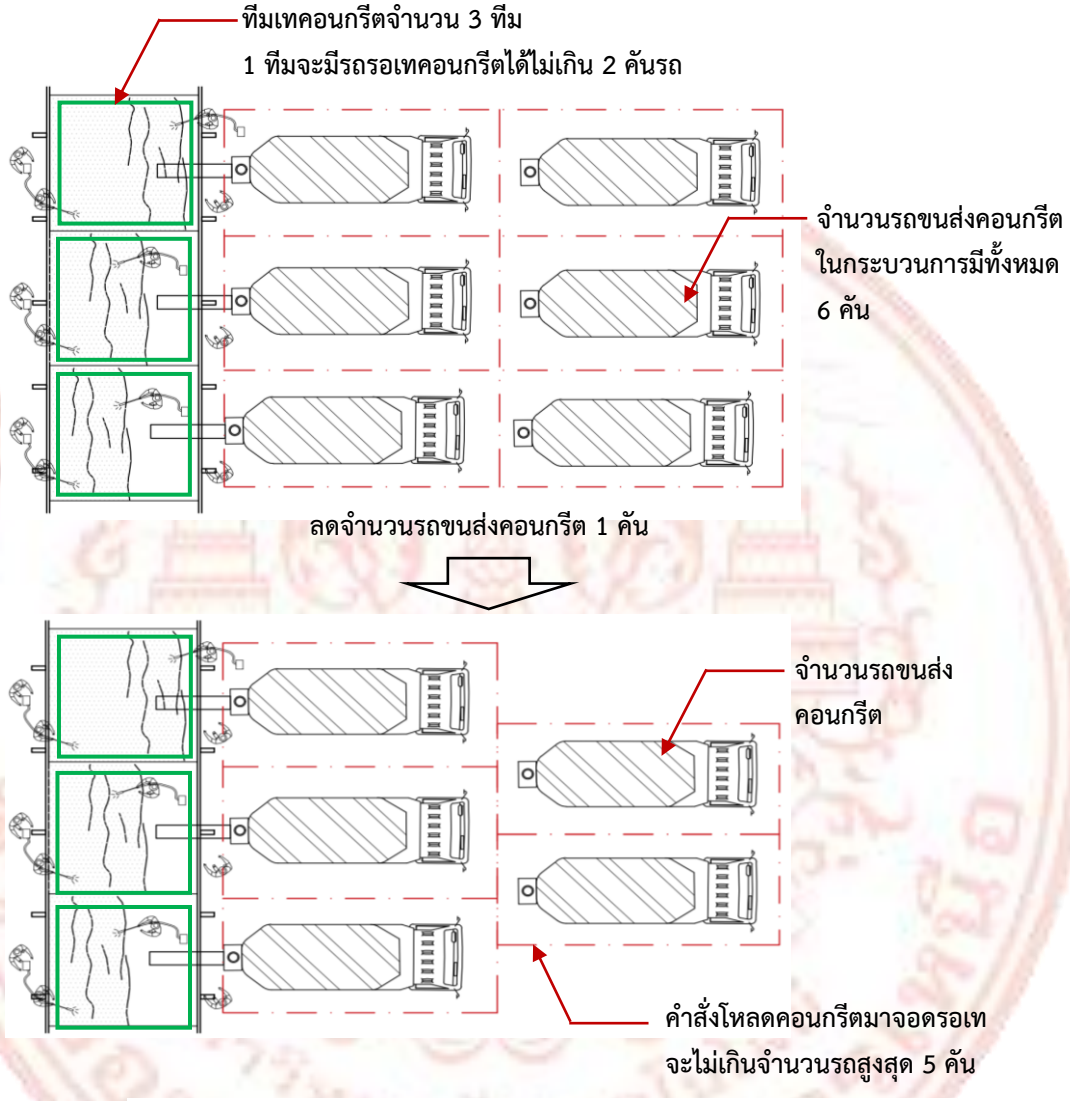
จากการวิเคราะห์กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ผ่านมุมมองของแบบจำลอง RSM และ ACD ข้างต้นสามารถสรุปแนวทางการวิเคราะห์ความไวแบบสองทางเพื่อปรับปรุงกระบวนการ คือ จะทำการเพิ่มจำนวนปัจจัยแรกคือทีมงานเทคอนกรีตของกิจกรรม B6 จาก 1 ทีมเป็น 2 และ 3 ทีมตามลำดับ และทดลองปรับลดปัจจัยที่สองคือจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจาก 6 คันลงจนถึง 2 คัน โดยทีมงานเทคอนกรีต 1 ทีมจะสามารถให้รถขนส่งคอนกรีตมาจอดรอเทคอนกรีตได้ไม่เกิน 2 คันรถ และมีเงื่อนไขสำหรับการสร้างแบบจำลอง คือ พื้นที่การจอดรอเทคอนกรีตของรถขนส่งคอนกรีตกับจำนวนรถขนส่งคอนกรีตที่มีอยู่จะต้องสัมพันธ์กัน ดังตัวอย่างในภาพที่ 5-28 ตัวอย่างการจำลองที่สมมติจำนวนทีมเทคอนกรีตมีจำนวน 3 ทีม ดังนั้นจะมีปริมาณรถขนส่งคอนกรีตจอดรอเทคอนกรีตรวมไม่เกิน 6 คันรถ แต่เมื่อจำนวนรถขนส่งคอนกรีตปรับลดจาก 6 คันเป็น 5 คันแล้ว จำนวนพื้นที่จอดรอเทคอนกรีตจะต้องปรับลดจาก 6 เป็น 5 ตำแหน่งเช่นเดียวกันตามจำนวนรถขนส่งคอนกรีตที่มีอยู่ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ความไวของระยะเวลาทำงานใน 1 วัน ต่อการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ระบุข้างต้นของแต่ละสถานการณ์

สำหรับแบบจำลอง RSM จะทำการเพิ่มเส้นกราฟผลิตภาพของกิจกรรม B6 ตามจำนวนทีมงานที่เพิ่มขึ้นดังแสดงแนวคิดเป็นแผนภาพ Arrow Network Diagram ในภาพที่ 5-27 ที่กิจกรรม B6 เทคอนกรีตทุกทีมงานจะสลับกันเข้ารับปริมาณคอนกรีต 1 คันรถขนส่งคอนกรีตจากกิจกรรม B5 ขนส่งคอนกรีตกิจกรรมเดียวกันและส่งผ่านปริมาณงานเทคอนกรีตแล้วเสร็จไปยังกิจกรรม B7 แต่งผิวหน้าเรียบทีมงานเดียวกัน และปรับเงื่อนไขของแบบจำลองในภาพที่ 5-8 ที่ตำแหน่ง (c) สำหรับกำหนดจำนวนรถขนส่งคอนกรีตสูงสุดที่สามารถจอดรอเทคอนกรีตที่หน้างานได้ในอัตราตามที่กำหนดข้างต้นและทำการตรวจสอบวงรอบของรถขนส่งคอนกรีตที่ปรับลดลงในแต่ละสถานการณ์ที่จำลอง

สำหรับโปรแกรมแบบจำลองวิธี ACD จะปรับเปลี่ยนอัตราจำนวนทีมงานเทคอนกรีตในคิว PouringTeam และเงื่อนไขการจอดรอเทคอนกรีตของรถขนส่งคอนกรีตให้สัมพันธ์กัน คือ ทีมเทคอนกรีต 1 ทีมจะมีปริมาณรถขนส่งคอนกรีตจอดรอเทคอนกรีตได้ไม่เกิน 2 คันรถเช่นเดิม แต่จำนวน ConcreteOrder จะไม่เกินจำนวนรถขนส่งคอนกรีตที่เหลืออยู่จากการดำเนินการทดลองลดจำนวนรถบรรทุกในคิว TransitQueue จาก 6 จนถึง 2 คันตามลำดับ แล้วกำหนดให้โปรแกรมทำการจำลองหาปริมาณงานซ้ำในระยะเวลาการจำลอง 660 นาที



ภาพที่ 5-27 แผนภาพแนวคิดการเพิ่มจำนวนทีมงานเทคอนกรีตสำหรับการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยแบบจำลอง RSM



ภาพที่ 5-28 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีตในกระบวนการ และจำนวนรถขนส่งจอดรอเทคอนกรีต

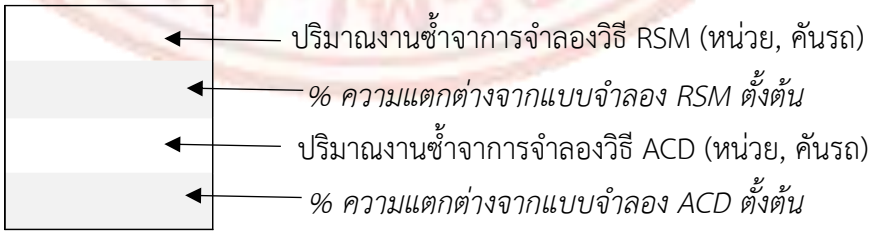
โดยการจำลองแต่ละวิธีจะดำเนินการทดลองจำนวน 15 สถานการณ์และได้ผลลัพธ์ปริมาณงานซ้ำของแต่ละสถานการณ์ดังแสดงในตารางที่ 5-23 การทดลองในแต่ละสถานการณ์จะจำลองการดำเนินงานในระยะเวลา 1 วัน เท่ากับ 660 นาทีเพื่อหาปริมาณงานก่อสร้างหรือก็คือปริมาณคอนกรีตจำนวนหน่วยคันรถขนส่งคอนกรีต (สำหรับแบบจำลอง ACD กรณีเฉลี่ยจะใช้ค่าจากการจำลองรอบที่ 6 ที่มีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยที่สุด) เมื่อได้ปริมาณงานซ้ำจากการจำลองทั้งวิธี RSM และ ACD จากการจำลองจากแต่ละสถานการณ์แล้ว ทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการปรับปรุงกระบวนการตามสมมติฐานข้างต้นว่าสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างที่ระยะเวลาการทำงาน 660 นาทีได้กี่เปอร์เซ็นต์

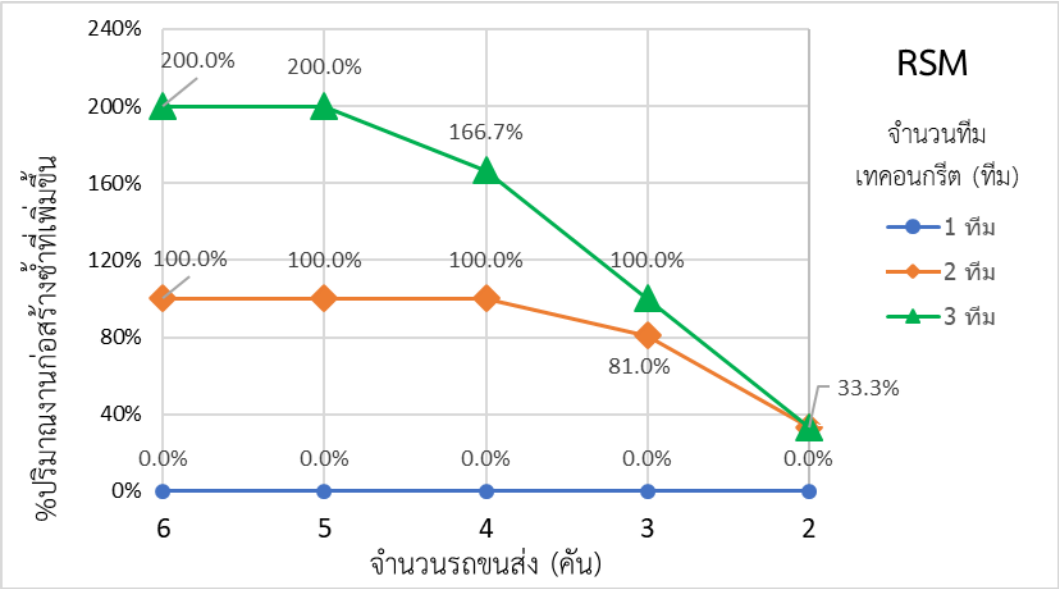
พิจารณาผลการวิเคราะห์ความไวแบบสองทางจากตารางที่ 5-23 พบว่าในสถานการณ์การใช้จำนวนทีมเทคอนกรีต 1 ทีม การปรับลดจำนวนรถขนส่งคอนกรีตลงตั้งแต่ 5 ถึง 2 คันนั้นไม่ส่งผลต่อปริมาณงานก่อสร้างที่แล้วเสร็จเลยหมายถึงว่าการใช้งานจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจำนวน 6 คันในการทำงานจริงเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้าง RSM และ ACD แล้วมีการใช้จำนวนรถที่เกินความจำเป็น จากนั้นเมื่อวิเคราะห์การเพิ่มจำนวนทีมงานเทคอนกรีตที่จำนวนรถขนส่งคอนกรีต 5 และ 6 คัน พบว่าได้ปริมาณงานก่อสร้างเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวตามจำนวนทีมงานเทคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น 2 และ 3 ทีม ดังแสดงในภาพที่ 5-29 และภาพที่ 5-30

ตารางที่ 5-23 ปริมาณงานซ้ำจากการจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละสถานการณ์

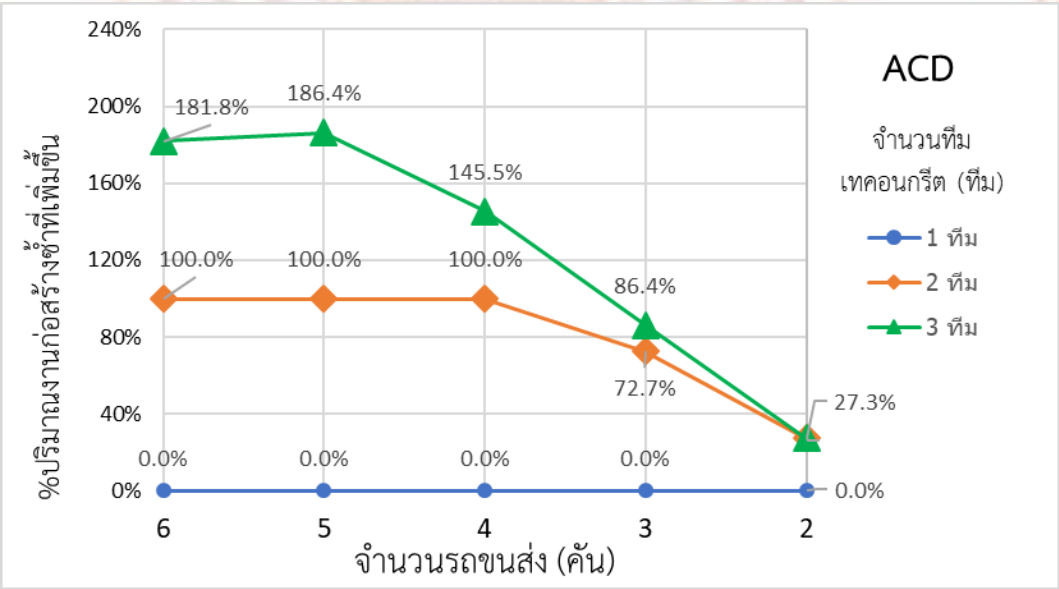
จำนวนรถขนส่งคอนกรีต	จำนวน Pouring team		
	1	2	3
6	21	42	63
	0%	*100.0%*	*200.0%*
	22	44	62
	0%	*100.0%*	*181.8%*
5	21	42	63
	0.0%	*100.0%*	*200.0%*
	22	44	63
	0.0%	*100.0%*	*186.4%*
4	21	42	56
	0.0%	*100.0%*	*166.7%*
	22	44	54
	0.0%	*100.0%*	*145.5%*
3	21	38	42
	0.0%	*81.0%*	*100.0%*
	22	38	41
	0.0%	*72.7%*	*86.4%*
2	21	28	28
	0.0%	*33.3%*	*33.3%*
	22	28	28
	0.0%	*27.3%*	*27.3%*

หมายเหตุ





ภาพที่ 5-29 แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี RSM



ภาพที่ 5-30 แผนภาพเปรียบเทียบปริมาณงานซ้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี ACD

จากนั้นดำเนินการคำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในช่วงกิจกรรมงานซ้ำๆ ต่อเนื่องตั้งแต่กิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต ถึงกิจกรรม B9 คลุมผิว จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมดังแสดงรายการคำนวณในภาพที่ 5-31 เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าดำเนินการของสถานการณ์การใช้จำนวนปัจจัยตามแบบจำลองตั้งต้นที่มีการจำลองเหมือนกับการทำงานจริงของโครงการกรณีศึกษาที่จำนวนรถขนส่งคอนกรีต 6 คัน และจำนวนทีมงานเทคอนกรีต 1 ทีมมีค่าดำเนินการรวมต่อวันเท่ากับ 57,109 บาท จากนั้นนำมาแปลงเป็นค่าดำเนินการต่อตารางเมตรงานเทคอนกรีตผิวทางโดยปริมาณงานจากแบบจำลอง RSM เท่ากับ 21 คันรถ และ ACD เท่ากับ 22 คันรถ คิดเป็น 210 และ 220 ตารางเมตรตามลำดับ ดังนั้นจะมีค่าดำเนินการต่อตารางเมตรอยู่ที่ 271.95 และ 259.59 บาท/ตร.ม. ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 5-24 และตารางที่ 5-25

เมื่อทำการคำนวนค่าดำเนินการต่อตารางเมตรของทุกสถานการณ์การจำลองดังในตารางที่ 5-24 และตารางที่ 5-25 แล้วเสร็จ สามารถวิเคราะห์ค่าดำเนินการที่ลดลงได้ดังภาพที่ 5-32 และภาพที่ 5-33 เห็นได้ว่าที่จำนวนทีมเทคอนกรีต 3 ทีมและจำนวนรถขนส่งคอนกรีต 5 และ 4 คันจะให้ความคุ้มค่าในด้านค่าดำเนินการที่ลดลงมากที่สุดเท่ากับ 67.2% โดยมีตัวเลือกลักษณะการทำงานที่ดีรองลงมาคือที่จำนวนรถขนส่งคอนกรีตเป็น 3 หรือ 6 คันตามลำดับ นอกจากนี้หากทางผู้บริหารงานก่อสร้างมีข้อจำกัดด้านกำลังคนแต่ยังต้องการความคุ้มค่าด้านค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงสามารถพิจารณาที่จำนวนทีมงานเทคอนกรีต 2 ทีมและรถบรรทุก 3 คันจะสามารถให้ค่าดำเนินการลดลง 61.5% โดยสามารถทำเป็นตารางเพื่อแสดงทางเลือกการปรับเปลี่ยนจำนวนปัจจัยทั้งหมดต่อผู้บริหารงานก่อสร้างเพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมต่อข้อจำกัดของโครงการได้ดังตารางที่ 5-26

ดังนั้นสามารถสรุปผลจากการทดลองแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความไวเพื่อปรับปรุงผลิตภาพของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ได้ว่า แนวทางในการปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่สามารถวิเคราะห์ได้จากการใช้แบบจำลองคือแนะนำเพิ่มจำนวนทีมงานเทคอนกรีตเป็น 3 ทีมเพื่อทำกิจกรรม B6 เทคอนกรีตให้เร็วขึ้นโดยสามารถปรับลดจำนวนรถขนส่งคอนกรีตในกระบวนการลงเหลือ 5 คันจะสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างได้เป็น 193.2% และยังสามารถลดต้นทุนค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานลงได้ 67.2% แต่ทั้งนี้ผู้บริหารงานก่อสร้างสามารถวิเคราะห์เลือกแนวทางการปรับปรุงกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ได้ด้วยตารางที่ 5-26 เพื่อให้เหมาะสมต่อข้อจำกัดของโครงการ เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุน ด้านการหาแรงงานมาใช้ในกระบวนการ เป็นต้น

คำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

ระยะเวลาทำงานใน 1 วัน 660 นาที 11 ชม.

ราคาน้ำมัน วันที่ 15-6-2567 33.24 บาท/ลิตร

No.	Machine	Qty.	ค่าเช่าต่อวันต่อคัน	อัตราการใช้น้ำมันต่อชั่วโมง	ค่าน้ำมันต่อวันต่อคัน	Total
1	รถขนส่งคอนกรีต	6	5,000.00	5.0	1,828.2	40,969.20
2	รถบรรทุกติดตั้งเครน	1	3,333.33	4.0	1,462.6	4,795.89

ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรต่อวัน *45,765.09* *บาท/วัน*

ค่าแรงขั้นต่ำ 2567 **363.00** **บาท/คน/วัน**

OTx1.5 บาท/ชม.

Activity	Manpower	No. Team	F/M	OPT.	Labour	Total Man	8 ชม.	3 ชม.
B5	ทีมขนส่งคอนกรีต	1		6		6	2,178.00	1,225.13
B6	ทีมเทคอนกรีต	1			4	4	1,452.00	816.75
B7	ทีมแต่งผิวหน้าเรียบ	1	1		3	4	1,452.00	816.75
B8	ทีมกรีดหน้าลายพ่นน้ำยาบ่ม	1			2	2	726.00	408.38
B9	ทีมคลุมผิว	1		1	3	4	1,452.00	816.75

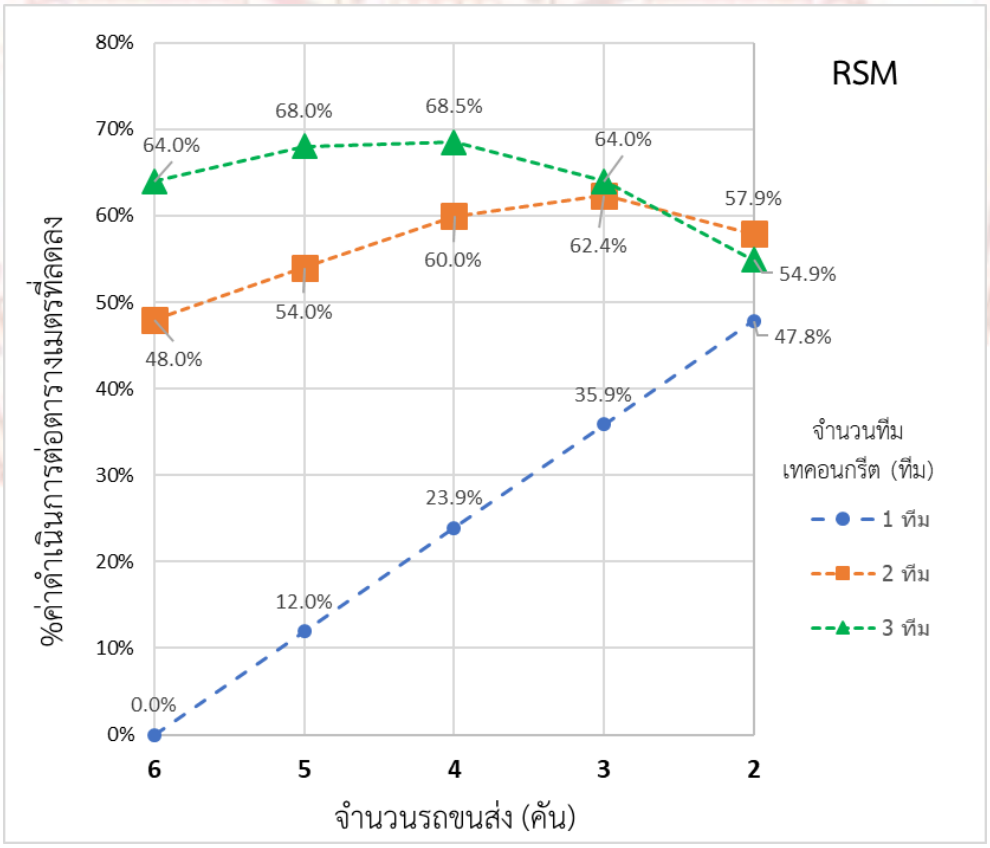
ค่าดำเนินการด้านแรงงานต่อวัน *11,343.75* *บาท/วัน*

ค่าดำเนินการต่อวันรวม **57,108.84** **บาท/วัน**

ภาพที่ 5-31 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงาน กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form

ตารางที่ 5-24 ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี RSM

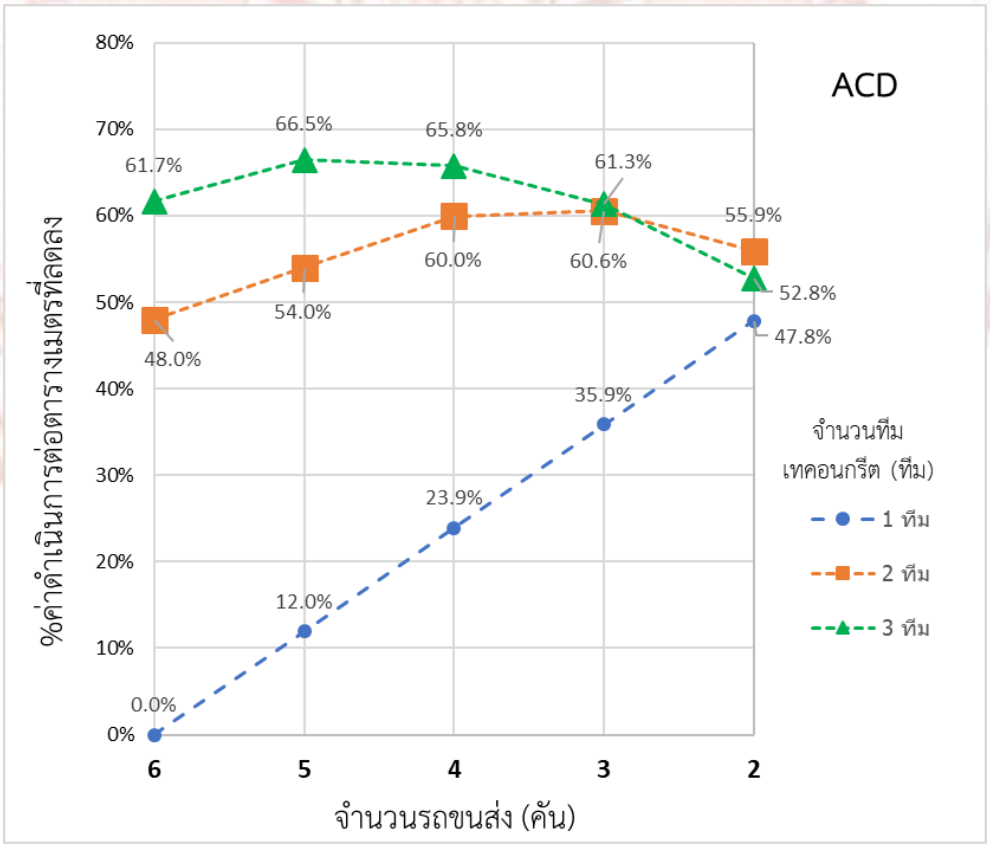
จำนวนรถขนส่งคอนกรีต	จำนวน Pouring team		
	1	2	3
6	271.95	141.38	97.85
	0%	*48.0%*	*64.0%*
5	239.43	125.12	87.01
	12.0%	*54.0%*	*68.0%*
4	206.92	108.86	85.70
	23.9%	*60.0%*	*68.5%*
3	174.40	102.35	98.00
	35.9%	*62.4%*	*64.0%*
2	141.89	114.52	122.62
	47.8%	*57.9%*	*54.9%*



ภาพที่ 5-32 แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี RSM

ตารางที่ 5-25 ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานต่อตารางเมตรงานก่อสร้างกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ในแต่ละสถานการณ์จากการจำลองด้วยวิธี ACD

จำนวนรถขนส่งคอนกรีต	จำนวน Pouring team		
	1	2	3
6	259.59	134.95	99.43
	0%	*48.0%*	*61.7%*
5	228.55	119.43	87.01
	12.0%	*54.0%*	*66.5%*
4	197.51	103.91	88.87
	23.9%	*60.0%*	*65.8%*
3	166.47	102.35	100.39
	35.9%	*60.6%*	*61.3%*
2	135.44	114.52	122.62
	47.8%	*55.9%*	*52.8%*



ภาพที่ 5-33 แผนภาพเปรียบเทียบค่าดำเนินการต่อตารางเมตรที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ด้วยวิธี ACD

ตารางที่ 5-26 ผลลัพธ์ผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนปัจจัยที่สถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์		ปริมาณงานก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น (%)			ค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานที่ลดลง (%)			อันดับ
จำนวนทีมเทคอนกรีต	จำนวนรถขนส่ง	RSM	ACD	ค่าเฉลี่ย	RSM	ACD	ค่าเฉลี่ย	
1	6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	15th
1	5	0.0%	0.0%	0.0%	12.0%	12.0%	12.0%	14th
1	4	0.0%	0.0%	0.0%	23.9%	23.9%	23.9%	13th
1	3	0.0%	0.0%	0.0%	35.9%	35.9%	35.9%	12th
1	2	0.0%	0.0%	0.0%	47.8%	47.8%	47.8%	11th
2	6	100.0%	100.0%	100.0%	48.0%	48.0%	48.0%	10th
2	5	100.0%	100.0%	100.0%	54.0%	54.0%	54.0%	8th
2	4	100.0%	100.0%	100.0%	60.0%	60.0%	60.0%	6th
2	3	81.0%	72.7%	76.8%	62.4%	60.6%	61.5%	5th
2	2	33.3%	27.3%	30.3%	57.9%	55.9%	56.9%	7th
3	6	200.0%	181.8%	190.9%	64.0%	61.7%	62.9%	3rd
3	5	200.0%	186.4%	193.2%	68.0%	66.5%	67.2%	1st
3	4	166.7%	145.5%	156.1%	68.5%	65.8%	67.1%	2nd
3	3	100.0%	86.4%	93.2%	64.0%	61.3%	62.6%	4th
3	2	33.3%	27.3%	30.3%	54.9%	52.8%	53.8%	9th

5.5 สรุปผลการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

ในบทที่ 5 นี้ได้แสดงวิธีการสร้างและใช้งานแบบจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) ที่สามารถใช้งานได้บนโปรแกรม Spreadsheet และแบบจำลองวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) ที่ใช้งานบนโปรแกรมเฉพาะซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม EZStrobe สำหรับจำลองกระบวนการผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-Form Paver) และกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทาง (Fixed-Form) ด้วยข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการศึกษาโครงการกรณีศึกษาตามขั้นตอนที่แสดงในบทก่อนหน้า ซึ่งผลลัพธ์ระยะเวลาการทำงานจากการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 วิธีการจำลองใกล้เคียงระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 660 นาทีทั้งลักษณะการทำงานก่อสร้างในกรณีเฉลี่ย (Average Case) และกรณีดีที่สุด (Best Case) ของทั้ง 2 กระบวนการก่อสร้าง และสามารถทำการจำลองหาปริมาณงานซ้ำจากการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 660 นาทีได้ใกล้เคียงลักษณะการดำเนินการก่อสร้างจริงเช่นเดียวกัน สรุปได้ว่าสามารถใช้วิธีการจำลอง RSM และ ACD ตามแนวทางในงานวิจัยนี้ในการจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการดำเนินการจริงได้

จากนั้นได้แสดงแนวทางการใช้วิธีการจำลอง RSM และ ACD เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรก่อสร้างที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างที่ได้จากการระบุด้วยวิธีการจำลองทั้ง 2 วิธี โดยที่แบบจำลอง RSM นั้นเนื่องจากเป็นการจำลองโดยการสร้างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรม จึงต้องกำหนดให้ทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบของกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และทีมงานเทคอนกรีตของกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่เพิ่มจำนวนทีมงาน 2 และ 3 ทีมเป็นการสร้างเส้นผลิตภาพที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนทีมงาน ส่วนแบบจำลอง ACD สามารถปรับเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรได้ง่ายกว่าโดยการเปลี่ยนจำนวนที่แถวคอยสำหรับจัดเก็บทรัพยากรนั้นๆ ได้โดยตรง สำหรับการเลือกนำสถานการณ์ต่างๆ ที่เป็นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความไวไปปรับใช้นั้นขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ตัดสินใจร่วมกับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในด้านต่างๆ นอกเหนือจากค่าผลิตภาพที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากทางเลือกในตารางที่ 5-20 และตารางที่ 5-26 สำหรับกระบวนการก่อสร้างนั้นๆ โดยในตัวอย่างกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ผู้วิจัยเลือกแนะนำแนวทางการเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบเป็น 3 ทีมและลดจำนวนรถบรรทุก 10 ล้อเหลือ 4 คัน เพื่อได้ปริมาณงานก่อสร้างเพิ่มขึ้น 145% ในกรณีเฉลี่ย 33.8% ในกรณีดีที่สุด และได้ค่าดำเนินการที่ลดลง 53.2% ส่วนกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form แนะนำการเพิ่มจำนวนทีมงานเทคอนกรีตเป็น 3 ทีม และลดจำนวนรถขนส่งคอนกรีตเหลือ 5 คัน เพื่อได้ปริมาณงานก่อสร้างเพิ่มขึ้นเกือบ 3 เท่าในกรณีเฉลี่ย 54.3% ในกรณีดีที่สุด และได้ค่าดำเนินการที่ลดลง 67.2%

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้สรุปผลการศึกษากระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-Form Paver) และกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทาง (Fixed-Form) ของโครงการก่อสร้างผิวทางอากาศยานปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่แล้วเสร็จในอดีตเพื่อให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับวิธีก่อสร้างที่ผู้รับเหมางานก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษาเลือกใช้ ได้แก่ แผนการทำงานก่อสร้าง ระยะเวลากิจกรรม ชนิด จำนวนและลักษณะการใช้งานทรัพยากรชนิดต่างๆ เพื่อดำเนินการกระบวนการก่อสร้าง โดยจากการรวบรวมข้อมูลบันทึกประจำบ่งชี้ว่ากระบวนการปูผิวทางแบบเลื่อนนั้นเป็นกระบวนการก่อสร้างหลักของโครงการกรณีศึกษาดังกล่าวมีพื้นที่ก่อสร้างรวม 503,767 ตร.ม. ดำเนินการก่อสร้างรวม 559 วันงาน ซึ่งดำเนินการโดยใช้กลุ่มเครื่องจักรจำนวนมากในการก่อสร้างเป็นหลักโดยให้ผลลัพธ์ปริมาณงานแล้วเสร็จจริงเฉลี่ยที่ 901 ตร.ม.ต่อวันเทียบเท่ากับปริมาณคอนกรีต 57 คันรถบรรทุก และสามารถปูผิวทางในวันที่ดำเนินการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ปริมาณ 2,198 ตร.ม.เทียบเท่าคอนกรีต 138 คันรถบรรทุก ในช่วงกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อม ถึง A11 คลุมผิว

สำหรับกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ที่เป็นการเข้าแบบเทคอนกรีตดำเนินการก่อสร้างรวม 349 วันงานในพื้นที่ก่อสร้าง 74,963 ตร.ม. มีปริมาณงานแล้วเสร็จจริงเฉลี่ยที่ 215 ตร.ม.ต่อวัน เทียบเท่าปริมาณรถขนส่งคอนกรีต 22 คัน และสามารถดำเนินการก่อสร้างได้ปริมาณก่อสร้างรายวันสูงสุดเท่ากับ 970 ตร.ม. เทียบเท่าปริมาณรถขนส่งคอนกรีต 97 คันรถ ในช่วงกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต ถึง B9 คลุมผิว

เมื่อดำเนินการศึกษากระบวนการก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษาจนสามารถเข้าใจลักษณะการดำเนินงานก่อสร้าง ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมก่อสร้าง และสามารถระบุข้อมูลทรัพยากรและระยะเวลาการทำงานก่อสร้างต่างๆ ที่ต้องใช้แล้ว จึงดำเนินการจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 ด้วยการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมจำลองวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) โดยนำข้อมูลผลลัพธ์เฉลี่ยจากการทำงานจริง 57 คันรถบรรทุกสำหรับกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และ 22 คันรถขนส่งคอนกรีตสำหรับกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form มาจำลองโดยการระบุลักษณะความไม่แน่นอนของระยะเวลากิจกรรมแบบ PERT สำหรับแบบจำลอง RSM จะคำนวณเป็นระยะเวลาคาดหวังส่วนแบบจำลอง ACD จะระบุเป็นค่าระยะเวลากิจกรรม 3 ค่าเพื่อดำเนินการจำลองลักษณะความไม่แน่นอนด้วยโปรแกรม EZStrobe ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 2 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 ให้ค่าระยะเวลาจากการจำลองใกล้เคียงระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน ที่ 660 นาที

และเมื่อนำแบบจำลอง RSM และ ACD ของทั้ง 2 กระบวนการมาจำลองในสถานการณ์ที่ดำเนินการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดที่ได้ผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้าง 138 คันรถบรรทุก

สำหรับกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver และ 97 คันรถขนส่งคอนกรีตสำหรับกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form มาจำลองที่ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรมทุกกิจกรรมเร็วที่สุด พบว่าทุกการจำลองให้ผลลัพธ์ระยะเวลาการจำลองใกล้เคียงระยะเวลาการทำงานก่อสร้างใน 1 วัน เช่นเดียวกัน สามารถสรุปได้ว่าวิธีการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และโปรแกรมจำลองวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) ของทุกลักษณะการดำเนินงานของทั้ง 2 กระบวนการสามารถทำการจำลองได้ใกล้เคียงการดำเนินการก่อสร้างจริง

จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนแนวทางการจำลองเพื่อหาปริมาณงานซ้ำจากการทำงานที่ระยะเวลา 660 นาทีเพื่อจำลองหาว่าหากใช้ระยะเวลาการทำงานเทียบเท่าระยะเวลาการทำงานจริงจะสามารถทำงานก่อสร้างได้ปริมาณงานก่อสร้างเท่าใด ผลลัพธ์จากการจำลองด้วยวิธี RSM ทั้ง 2 กระบวนการก่อสร้างใน 2 ลักษณะการทำงานได้ปริมาณงานก่อสร้างต่ำกว่าการทำงานจริงเฉลี่ย 2.71% ส่วนการใช้โปรแกรมจำลองวิธี ACD ได้ผลลัพธ์ปริมาณงานก่อสร้างต่ำกว่าการทำงานจริงเฉลี่ย 2.21%

จะเห็นว่าปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จในแต่ละวันจากการดำเนินงานก่อสร้างจริงของผู้รับเหมาไม่คงที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เป็นลักษณะการทำงานในกรณีเฉลี่ย (Average Case) และลักษณะการทำงานกรณีดีที่สุด (Best Case) ที่ทีมงานสามารถดำเนินงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ สามารถวิเคราะห์สาเหตุของความไม่แน่นอนแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือปัจจัยที่ส่งผลต่อการวางแผนกำหนดปริมาณพื้นที่ก่อสร้างแต่ละวัน เช่น ตำแหน่ง ขนาดพื้นที่ ช่วงความยาวที่ต้องก่อสร้างถูกกำหนดโดยแบบก่อสร้าง พื้นที่ที่ได้รับการส่งมอบจากงานก่อสร้างชั้นทางหรืองานอื่นๆ ใต้ผิวทางดำเนินงานแล้วเสร็จจึงสามารถปูผิวทางได้ ขนาดพื้นที่ที่เหลืออยู่จากการปูผิวทางครั้งก่อนหน้า ความพร้อมของเครื่องมือ เครื่องจักร และทีมงาน เป็นต้น และส่วนที่ 2 คือปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณพื้นที่งานปูผิวทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จแต่ละวัน เช่น สภาพอากาศ ค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump) ที่ผลิตได้ในวันที่ดำเนินงาน การเกิดอุบัติเหตุหรือเครื่องจักรเสีย ความพร้อมและความเหนื่อยล้าของคนงาน การเร่งงาน เป็นต้น ดังนั้นการจะปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ให้ได้จำนวน 138 คันรถหรือเทคอนกรีตผิวทางให้ได้วันละ 97 คันรถทุกๆ วันจึงเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยาก

จากการศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่จำลองกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver บ่งชี้ว่ากิจกรรมที่เป็นคอขวดของกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อนคือกิจกรรมแต่งผิวหน้าเรียบภายหลังเครื่องปูผิวทางคอนกรีต และจากลักษณะความสัมพันธ์ในกระบวนการก่อสร้างส่งผลให้เกิดแถวคอยของรถบรรทุก 10 ล้อที่ไม่ได้ถูกใช้งานจำนวนมากในแถวคอยเพื่อรอการโหลดคอนกรีตจากโรงผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ความไวต่อการปรับเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรทั้ง 2 คือ จำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบและจำนวนรถบรรทุกโดยใช้แบบจำลอง RSM และ ACD ได้สรุปข้อแนะนำในการปรับปรุงกระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form ดังกล่าว โดยเพิ่มจำนวนทีมงานแต่งผิวหน้าเรียบเป็น 3 ทีม และลดจำนวนลดบรรทุกเหลือ 4 คันจะสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างได้เป็น 145% และยังสามารถลดต้นทุนค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานลงได้ 53.2%

และจากผลลัพธ์การจำลองกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form แสดงถึงกิจกรรมเทคอนกรีตที่ใช้ระยะเวลาการทำกิจกรรมสูงที่สุดในกระบวนการ และจากความสัมพันธ์ของลักษณะการดำเนินการก่อสร้างที่ใช้แรงงานคนเป็นหลักทำให้มีปริมาณแถวคอยของรถขนส่งคอนกรีตบริเวณรอรับคอนกรีตจากโรงผลิตเป็นจำนวนมาก เพื่อปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างดังกล่าวผู้วิจัยได้ทดลอง

ปรับเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรทั้ง 2 ชนิดคือจำนวนทีมงานเทคอนกรีตและจำนวนรถขนส่งคอนกรีต สามารถสรุปได้ว่าสามารถปรับปรุงกระบวนการเทคอนกรีตผิวทางได้โดยเพิ่มจำนวนทีมงานเทคอนกรีตเป็น 3 ทีมที่ใช้จำนวนรถขนส่งคอนกรีตลดลงเหลือ 5 คัน จะสามารถเพิ่มปริมาณงานก่อสร้างได้เป็น 193.2% และยังสามารถลดต้นทุนค่าดำเนินการด้านเครื่องจักรและแรงงานลงได้ 67.2%

ข้อดีในการจำลองกระบวนการก่อสร้างด้วย RSM จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของเส้นผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมได้ง่ายกว่า สามารถวิเคราะห์ได้ว่าขณะเวลาการก่อสร้างนั้นๆ ปริมาณงานก่อสร้างของแต่ละกิจกรรมควรดำเนินถึงส่วนไหน จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้เพื่อติดตามความก้าวหน้าขณะดำเนินการก่อสร้างให้ได้ใกล้เคียงการจำลอง และสามารถใช้โปรแกรมแผ่นคำนวณทั่วไป (Spreadsheet) แต่มีข้อด้อยคือปรับแก้แบบจำลองเดิมได้ยาก ไม่สามารถทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรที่ใช้งานในแต่ละกิจกรรม และไม่สามารถประมวลผลความยาวของแถวคอยหรือระยะเวลาในแถวคอยได้ ในขณะที่การปรับปรุงแบบจำลอง ACD ทำได้ง่ายกว่า เห็นภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรมในกระบวนการเป็นเครือข่ายและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของแต่ละกิจกรรมได้ แต่ต้องอาศัยโปรแกรมเฉพาะและต้องเข้าใจวิธีการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ การจำลองวิธี ACD แต่เมื่อสร้างแบบจำลองและทดสอบความถูกต้องแล้ว สามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปปรับใช้เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ที่เปลี่ยนไปได้โดยง่าย สรุปการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการจำลอง RSM และ ACD ได้ดังตารางที่ 6-1

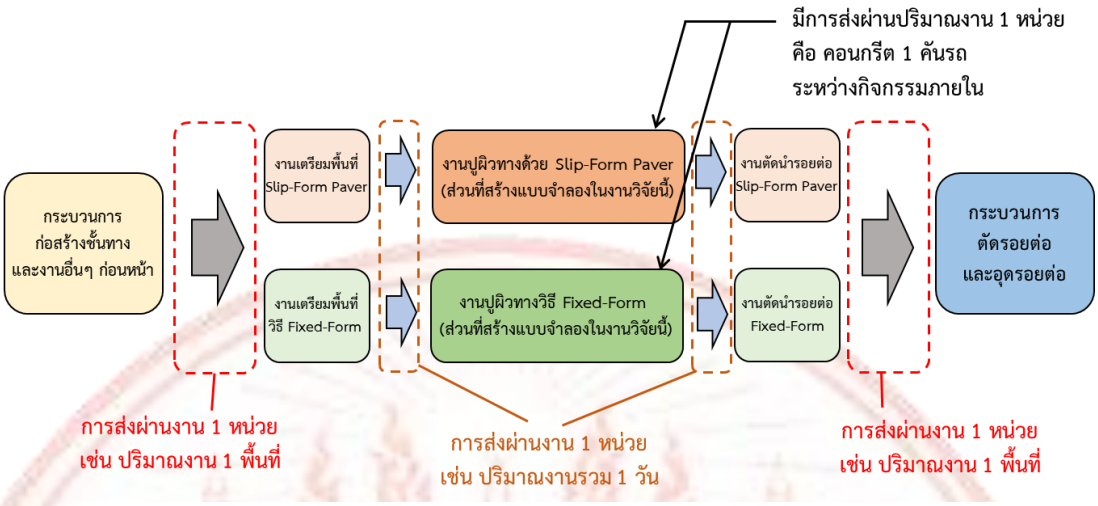
ตารางที่ 6-1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการจำลอง RSM และ ACD

การเปรียบเทียบวิธีการจำลอง	**ข้อดี**	**ข้อเสีย**
วิธีการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM)	เข้าใจง่ายเนื่องจากเป็นการจำลองด้วยทฤษฎีการวางแผนงานก่อสร้าง RSM	ไม่สามารถเห็นพฤติกรรมของทรัพยากรต่างๆ และความยาวของแถวคอยได้
	สร้างและใช้งานง่าย เนื่องจากใช้ Spreadsheet เช่น Excel ที่เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณทั่วไป	การจำลองต้องวิเคราะห์ และสร้างเส้นผลิตภาพของแต่ละกิจกรรมให้มีความสัมพันธ์กันโดยละเอียดในทุกครั้งที่ทำการจำลอง
	มีประโยชน์ต่อผู้ควบคุมงานในการใช้ตรวจสอบและประเมินความคืบหน้าของงาน รวมไปถึงการควบคุมการทำงานของคนงานในกิจกรรมต่างๆ ขณะตอนทำงาน	

ตารางที่ 6-1 (ต่อ)

การเปรียบเทียบวิธีการจำลอง	ข้อดี	ข้อเสีย
โปรแกรมจำลองวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD)	เข้าใจกระบวนการก่อสร้างง่าย เนื่องจากเห็นภาพความสัมพันธ์ของกระบวนการเป็นเครือข่าย ACD เห็นพฤติกรรมการทำงานการส่งผ่านทรัพยากรไปยังกิจกรรมต่างๆ	ต้องสร้างและใช้งานบนโปรแกรมสำหรับจำลองกระบวนการโดยเฉพาะ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้งานโปรแกรม EZStrobe
	เมื่อสร้างแบบจำลองแล้ว สามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปปรับใช้เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ที่เปลี่ยนไปได้ง่าย	ผู้สร้างแบบจำลองต้องเข้าใจหลักการของเครือข่าย ACD และการใช้งานโปรแกรมอย่างดี
	สามารถวิเคราะห์ความยาวแถวคอยของทรัพยากรต่างๆ ได้	

การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างลักษณะซ้ำในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตเฉพาะช่วงกิจกรรมที่มีการส่งผ่านปริมาณงานก่อสร้าง 1 หน่วยคือปริมาณคอนกรีต 1 คันรถ ได้แก่ กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver ช่วงกิจกรรม A4 เตรียมความพร้อมถึง A11 คลุมผิว และกระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form ช่วงกิจกรรม B4 โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่งคอนกรีต ถึง B9 คลุมผิว โดยไม่ได้รวมกิจกรรมในงานเตรียมพื้นที่และงานตัดนำรอยต่อของทั้ง 2 กระบวนการที่เป็นการส่งผ่านปริมาณงานแล้วเสร็จทั้งหมดที่ทำได้ใน 1 วัน และกระบวนการตัดรอยต่อและอุดรอยต่อหรือกระบวนการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางและงานอื่นๆ ก่อนหน้างานปูผิวทางที่จะส่งงานเป็นปริมาณ 1 พื้นที่ก่อสร้างหรือปริมาณตามแผนการทำงานของผู้รับเหมา แนวทางในการจำลองกระบวนการก่อสร้างโดยรวมงานและกระบวนการต่างๆ ข้างต้นเพื่อให้ครอบคลุมทั้งโครงการก่อสร้างนั้น จะต้องพิจารณาความสัมพันธ์การส่งปริมาณงานซ้ำๆ 1 หน่วยระหว่างกระบวนการ เช่น ปริมาณงานแล้วเสร็จ 1 วัน หรือ 1 พื้นที่ เป็นต้น ตามลักษณะการดำเนินการก่อสร้างจริง



ภาพที่ 6-1 ตัวอย่างการกำหนดปริมาณงาน 1 หน่วยสำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้างลักษณะซ้ำนอกเหนือขอบเขตในงานวิจัย

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลจากโครงการที่แล้วเสร็จในอดีตซึ่งสามารถรวมรวมข้อมูลได้จากบันทึกการดำเนินงานในอดีต ประสบการณ์จากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องและการศึกษาเพิ่มเติมโดยระบุระยะเวลากิจกรรมเป็นเฉพาะลักษณะการแจกแจงแบบ PERT เท่านั้น บางกิจกรรมไม่สามารถระบุระยะเวลากิจกรรมหรือไม่มีการบันทึกผลการดำเนินการก่อสร้างในแต่ละวันไว้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่นงานเตรียมพื้นที่ก่อนการปูผิวทางคอนกรีต และระยะเวลากิจกรรมในงานวิจัยนี้ไม่ได้แยกลักษณะความไม่แน่นอนอื่นๆ ออกจากระยะเวลากิจกรรม เช่น ความล่าช้าจากอุบัติเหตุ เครื่องจักรเสีย สภาพอากาศ เป็นต้น ดังนั้นสำหรับงานศึกษาในอนาคตแนะนำดำเนินการศึกษาการสร้างและใช้งานแบบจำลองในโครงการก่อสร้างที่สามารถเข้าศึกษาระยะเวลาการทำกิจกรรมก่อสร้างจริงได้ เพื่อสามารถเห็นลักษณะการแจกแจงความไม่แน่นอนของระยะเวลาการทำกิจกรรมก่อสร้างจริง และบ่งชี้ความไม่แน่นอนจากความเสี่ยงต่างๆ แยกออกจากระยะเวลาทำกิจกรรม เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างระยะเวลาจากการจำลองกับระยะเวลาการก่อสร้างจริงว่าระยะเวลากิจกรรมก่อสร้างที่ได้จากการเข้าเก็บข้อมูลการดำเนินการก่อสร้างจริงสามารถให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงการทำงานจริงมากกว่าระยะเวลากิจกรรมที่ดำเนินการตามลักษณะการศึกษาในงานวิจัยนี้หรือไม่

6.2.2 การนำแนวทางการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ไปใช้งานสำหรับผู้ที่สนใจ หากดำเนินการจำลองกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-Form Paver) หรือกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทาง (Fixed-Form) ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับกระบวนการกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ควรตรวจสอบรูปแบบวิธีการทำงาน ขนาดปริมาณงานก่อสร้าง 1 หน่วย จำนวนกิจกรรมก่อสร้าง ระยะเวลากิจกรรมและทรัพยากรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการนั้นๆ ว่ามีลักษณะเดียวกันกับโครงการกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้หรือไม่ก่อนใช้งานแบบจำลอง หรือหากเป็นการ

นำแนวคิดวิธีการสร้างแบบจำลองของงานวิจัยนี้ไปใช้สำหรับจำลองกระบวนการก่อสร้างอื่นๆ สามารถดำเนินการศึกษาโครงการก่อสร้างนั้นๆ ตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1 เพื่อให้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจำลองกระบวนการได้อย่างครบถ้วนตามแนวทางของงานวิจัยนี้ และสามารถดำเนินการสร้างแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง RSM หรือ ACD ที่แนะนำในงานวิจัยนี้รวมถึงการวิเคราะห์ความไวของผลิตภาพกระบวนการก่อสร้างได้ตามแนวคิดและขั้นตอนที่แสดงในบทที่ 5 โดยสามารถสรุปสิ่งที่ต้องเตรียมสำหรับดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างวิธี RSM และ ACD ดังตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 รายการเตรียมการสำหรับการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างวิธี RSM และ ACD

รายการเตรียมการสำหรับการสร้างแบบจำลอง	**วิธี RSM**	**วิธี ACD**
การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจำลอง	การวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำ RSM	การสร้างเครือข่ายแบบจำลองวิธี ACD และการใช้งานโปรแกรมวิธี ACD
เครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลอง	โปรแกรมตารางคำนวณ (Spreadsheet) เช่น Microsoft Excel	โปรแกรมจำลองกระบวนการวิธี ACD เช่น EZStrobe (ใช้งานโปรแกรม Stroboscope และ Microsoft Visio)
การเก็บข้อมูลจากกระบวนการก่อสร้างเพื่อสร้างแบบจำลอง		
ศึกษาขั้นตอน วิธีการทำงานก่อสร้างลักษณะซ้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม	✓	✓
ระยะเวลากิจกรรม	✓	✓
ชนิด และจำนวนทรัพยากรของแต่ละกิจกรรม	✓	✓
ระยะเวลาที่กำหนดในการทำงานก่อสร้าง	✓	✓
ผลลัพธ์ปริมาณงานแล้วเสร็จจากกระบวนการก่อสร้างจริงที่เคยทำ	✓	✓
การใช้งานวิธีการจำลอง		
การอ่านค่าผลลัพธ์จากการจำลอง	อ่านค่าปริมาณงานซ้ำ หรือระยะเวลาการก่อสร้างที่เป็นผลลัพธ์จากการจำลองได้จากเส้นกราฟแผนงาน RSM	โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์การจำลองภายหลังการส่งคำสั่งให้ทำการจำลอง โดยผลลัพธ์ปริมาณงานซ้ำจะแสดงอยู่ที่แถวคอยสุดท้ายของกระบวนการ

ตารางที่ 6-2 (ต่อ)

รายการเตรียมการสำหรับการสร้างแบบจำลอง	วิธี RSM	วิธี ACD
การวิเคราะห์กระบวนการ	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดคอขวดของกระบวนการได้จากการดูระยะห่างระหว่างเส้นกราฟผลิตภาพของแต่ละกิจกรรม	วิเคราะห์การเกิดแถวคอยของทรัพยากรเนื่องจากกิจกรรมที่เป็นคอขวดหรือทรัพยากรเกินความจำเป็นได้จากค่าระยะเวลาการรอคอยในแถวคอยเฉลี่ยของทุกแถวคอย
การเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้าเพื่อจำลองในสถานการณ์อื่นๆ	เปลี่ยนแปลงจำนวนระยะเวลากิจกรรม หรือความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกิจกรรมที่กราฟของกิจกรรมนั้นๆ เพื่อจำลองในสถานการณ์ที่ต่างไป	เปลี่ยนแปลงจำนวนของทรัพยากรต่างๆ ที่กำหนดในแถวคอยเริ่มต้น เปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาของกิจกรรมได้ที่โหนดกิจกรรมนั้น และเปลี่ยนแปลงเครือข่าย ACD เพื่อจำลองลำดับการทำงานที่ต่างไป

6.2.3 งานวิจัยนี้ได้แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน (Slip-Form Paver) และกระบวนการเข้าแบบเทคอนกรีตผิวทาง (Fixed-Form) ในอดีตจากการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อผลิตภาพของกระบวนการก่อสร้างโดยรวม ซึ่งงานก่อสร้างในแต่ละโครงการก่อสร้างนั้นมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาปลี่ยนแปลงจำนวนทรัพยากรในกระบวนการก่อสร้างควรพิจารณาอยู่บนพื้นฐานข้อจำกัดของโครงการนั้นๆ และควรพิจารณาในด้านความคุ้มค่าอื่นๆ ประกอบด้วย ยกตัวอย่างเช่น ค่าใช้จ่ายต้นทุนในการเพิ่มหรือลดทรัพยากร หรือการเลือกใช้นวัตกรรมใหม่มีความคุ้มค่าต่อปริมาณงานก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ ความคุ้มค่าจากการใช้เวลาเพื่อฝึกอบรมทีมงานก่อสร้างเพื่อเรียนรู้วิธีการทำงานใหม่ๆ สำหรับปริมาณงานก่อสร้างที่ถูกกำหนดไว้แล้วโดยแบบก่อสร้างหรือการกำหนดปริมาณงานก่อสร้างรายวันเพื่อควบคุมคุณภาพของงาน หากเพิ่มอัตราการทำงานของทีมงานต่อวันแล้วจะก่อสร้างได้เร็วเกินความจำเป็นต่อปริมาณงานที่ต้องทำหรือไม่ เป็นต้น เนื่องจากประโยชน์ที่ได้จากผลิตภาพที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นได้ทั้งปริมาณงานก่อสร้างต่อวันที่เพิ่มขึ้นหรือระยะเวลาการก่อสร้างในปริมาณงานเดิมที่ลดลง ซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าดำเนินการ ค่าทำงานล่วงเวลาที่ลดลง เป็นต้น

6.2.4 วิธีการจำลองการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำ (RSM) และวิธีการจำลองวงจรของกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง (ACD) ในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดคือ สามารถจำลองได้ที่ทรัพยากรก่อสร้างแต่ละชนิดมีลักษณะเดียว เช่น รถบรรทุก 10 ล้อที่มีปริมาณการบรรทุก 8 ลบ.ม. เท่ากันทุก

คัน สำหรับการศึกษาวิธีการจำลองกระบวนการก่อสร้างในอนาคตแนะนำให้ดำเนินการศึกษาวิธีการจำลองที่รองรับความหลากหลายของทรัพยากรก่อสร้างได้มากขึ้น และดำเนินการศึกษากระบวนการก่อสร้างที่มีการใช้ทรัพยากรในการดำเนินการก่อสร้างที่หลากหลายมากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กนกพล จันทะรักษา, และ ธีระวัฒน์ จันทึก. (2559). “การวิเคราะห์ต้นทุนและความอ่อนไหวของธุรกิจแหล่งท่องเที่ยวนันทนาการทางน้ำ ครบวงจรที่มนุษย์สร้างขึ้น”. ใน วารสารวิชาการ Veridian E-Journal Silpakorn University, Vol. 9 No.2.

เฉลิมพล พรมทอง. (2561). วิธีกำหนดเวลางานแบบลูปสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ชูเกียรติ ชูสกุล. (2549). การประเมินค่าผลิตภาพของคนงานในงานก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหม. (2558). การวิเคราะห์ความไวของอิทธิพลตัวแปรองค์ประกอบกรอบอาคารที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดียว. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธนพัฒน์ น้ำจันทร์. (2561). การศึกษาผลิตภาพและของเสียในการติดตั้งผนังภายในโครงการก่อสร้างอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 8 ชั้น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พงศ์เทพ วรัตถ์ตระกูล. (2553). การศึกษาการใช้ระบบจำลองสถานการณ์ในการวางแผนงานก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโครงการก่อสร้าง มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พงศธร ชินบุตร, และ กมลวัลย์ ลือประเสริฐ. (2567). [วารสารออนไลน์]. “การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงผลิตภาพ : กรณีศึกษา กระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน”. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 29. : CEM52-51-CEM52-11.

พรเทพ ม่วงสุขำ, และ พิชญ์ สุธีรวรรธนา. (2563). [วารสารออนไลน์]. “การประเมินทางเลือกและวิเคราะห์ความเสี่ยงโครงการบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชน”. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. : CEM38-CEM38.

รัฐพงษ์ ศรุติรัตนวรกุล. (2548). การพัฒนาแบบจำลองสถานการ์สำหรับวางแผนโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณวิทย์ แต้มทอง. (2561). การวางแผนงานก่อสร้างและการจัดการทรัพยากร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วรรณวิทย์ แต้มทอง. (2563). การเพิ่มผลิตภาพในการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 6. จำนวน 200 เล่ม. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วศิน นันตสุข, นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์ และ พิทักษ์ ปักษานนท์. (2566). [วารสารออนไลน์]. “การประมาณระยะเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินงานสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ด้วยวิธี PERT/CPM”. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 28. : CEM05-1-CEM05-7.

สุรพันธ์ สันติยานนท์, ชิษณุ อัมพรายน์, คมวุธ วิศวไพศาล และ ธงชัย วิชิตนพวรรณ. (2564). [วารสารออนไลน์]. “การสร้างแบบจำลองเพื่อเพิ่มผลิตภาพในการผลิต : กรณีศึกษางานผลิตสะพานรูปกล่องตัวกลาง”. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26 : วิศวกรรมโยธากับการพัฒนาอย่างไร้ขีดจำกัด. : 1691-1698.

ภาษาอังกฤษ

Agrama, F.A. (2 0 1 1). “Linear projects scheduling using spreadsheets features”. In Alexandria Engineering Journal 50. : 179–185.

American Concrete Pavement Association (ACPA). (1995). “Construction of Portland Cement Concrete Pavements”. National Highway Institute Course No. 13133. AASHTO/FHWA/Industry joint training. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Washington, D.C.

Arditi, D., Tokdemir, O. B. and Suh, K. (2002). “Challenges in Line-of-Balance Scheduling”. In Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. Vol. 128, Issue 6 : 545-556.

Banks, J., CARSON II, J. S. and Barry, L. (2005). Discrete-Event System Simulation. Fourth Edition, Pearson Prentice Hall : 9-12.

Cottrell, W. D. (1 9 9 9). “SIMPLIFIED PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE (PERT)”. In Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. Vol. 125, Issue 1 : 16-22.

Farooqi, M. A. (n.d.). [Online]. Airport Pavement Design. [cited 2023 July 8]. Available from : URL : https://old.amu.ac.in/emp/studym/1917.pdf

Federal Aviation Administration. (FAA). (2009). Airport Pavement Design and Evaluation. AC 150/5320-6E. [cited 2023 July 5] Available from : URL : https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150_5320_6e.pdf

Filho, W. A., Hirata, C. M. and Yano, E. T. (2004). GroupSim: A Collaborative Environment for Discrete Event Simulation Software Development for the World Wide Web. SIMULATION. Vol. 80, Issue 6 : 257-272.

Halpin, D. W. and Riggs, L. S. (1992). Planning and Analysis of Construction Operations. New York : John Wiley & Sons.

Harris, R. B. and Ioannou, P. G. (1998). [Online]. REPETITIVE SCHEDULING METHOD. Civil and Environmental Engineering Department, University of Michigan. [cited 2023 July 5]. Available from : URL : http://www.elearn.eng.cu.edu.eg/pluginfile.php/5022/mod_resource/content/1/PGI_CEE98_RSM.pdf

Hassan, M. M. and Gruber, S. (2008). “Simulation of Concrete Paving Operations on

Interstate-74". In Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. Vol. 134, Issue 1 : 2-9.

Ioannou, P. G. (1990). [Online]. UM-CYCLONE Discrete Event Simulation System Reference Manual. Civil and Environmental Engineering Department, University of Michigan. [cited 2023 July 5]. Available from : URL : https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=38fcca98bcf57e745a1324b3dc044db12732335f

Ioannou, P. G. (2022). [serial online]. "EZStrobe Description". EZStrob. [cited 2023 June 28]. Available from : URL : https://www.ioannou.org/ezstrobe

Jin, H., Zhang, M., & Yuan, Y. (2018). "Analytic network process-based multi-criteria decision approach and sensitivity analysis for temporary facility layout planning in construction projects". Applied Sciences, 8(12), 2434.

Jiradamkerng, W. (2013). "Evaluation of EZStrobe Simulation System as a Tool in Productivity Analysis - A Case Study: Precast Concrete Hollow-Core Slab Installation", Eng. J., Vol. 17, No. 2 : 75-84.

Jofré, C. (2017). "ACHIEVING AND MAINTAINING THE EVENNES OF CONCRETE PAVEMENTS". European Concrete Paving Association.

Lutz, J. D. and Halpin, D. W. (1992). Analyzing Linear Construction Operations Using Simulation and Line of Balance. Transportation Research Record.

Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E. and Fazar, w. (1959). Application of a technique for research and development program. Operations Research, Vol. 7 : 646-649.

Maloney, W.F. (1983). "Productivity Improvement: The Influence of Labor." In Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. Vol. 109, No.3 : 321-334.

Martinez, J. C. (1996). State and Resource Based Simulation of Construction Process. Doctoral Dissertation. Department of Civil Engineer, Faculty of Engineering, University of Michigan.

Martinez, J. C. (2001). J. C. (2001). "EZStrobe-General-Purpose Simulation System Based on Activity Cycle Diagrams." In Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference. Arlington, VA : 1556-1564.

Mohammed, S. Z., Tantawy, M. A. and Elhakeem, A. (2023). "Scheduling of Repetitive Projects Using Line of Balance for Different Scenarios of Activities' Duration Uncertainty" In INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ENGINEERING AND BUSINESS SCIENCES (IJAEBS). Vol. 4, Issue 2 : 87-99.

Oglesby, C. H., Parker, H. W. and Howell, G. A. (1989). Productivity Improvement in Construction. New York : McGraw-Hill Book Co.

Parker, F., Jr. (1975). AIRFIELD PAVEMENT CONSTRUCTION; SLIPFORM PAVING METHOD. (Miscellaneous Paper S-75-18). Vicksburg : Soils and Pavement Laboratory, U.S. Army Engineer Waterway Experiment Station.

Paul, R. j. (1993). “Activity Cycle Diagrams and the Three Phase Method”. In Proceedings of 1993 Winter Simulation Conference. Los Angeles, CA : 123-131.

PCC Pavement. (2023). [Online]. [cited 2023 July 8]. Available from : URL : https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/pcc-pavement/

Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., & Campolongo, F. (2005). “Sensitivity analysis for chemical models”. Chemical reviews, 105(7), 2811-2828.

Slipform Pavers. (2023). [Online]. [cited 2023 July 23]. Available from : URL : https://geometrimakina.com/slipform-pavers/

Stevenson, J. (2 0 2 1). Pavement Manual. (Manual Notice 2021-2). Texas : Texas Department of Transportation.

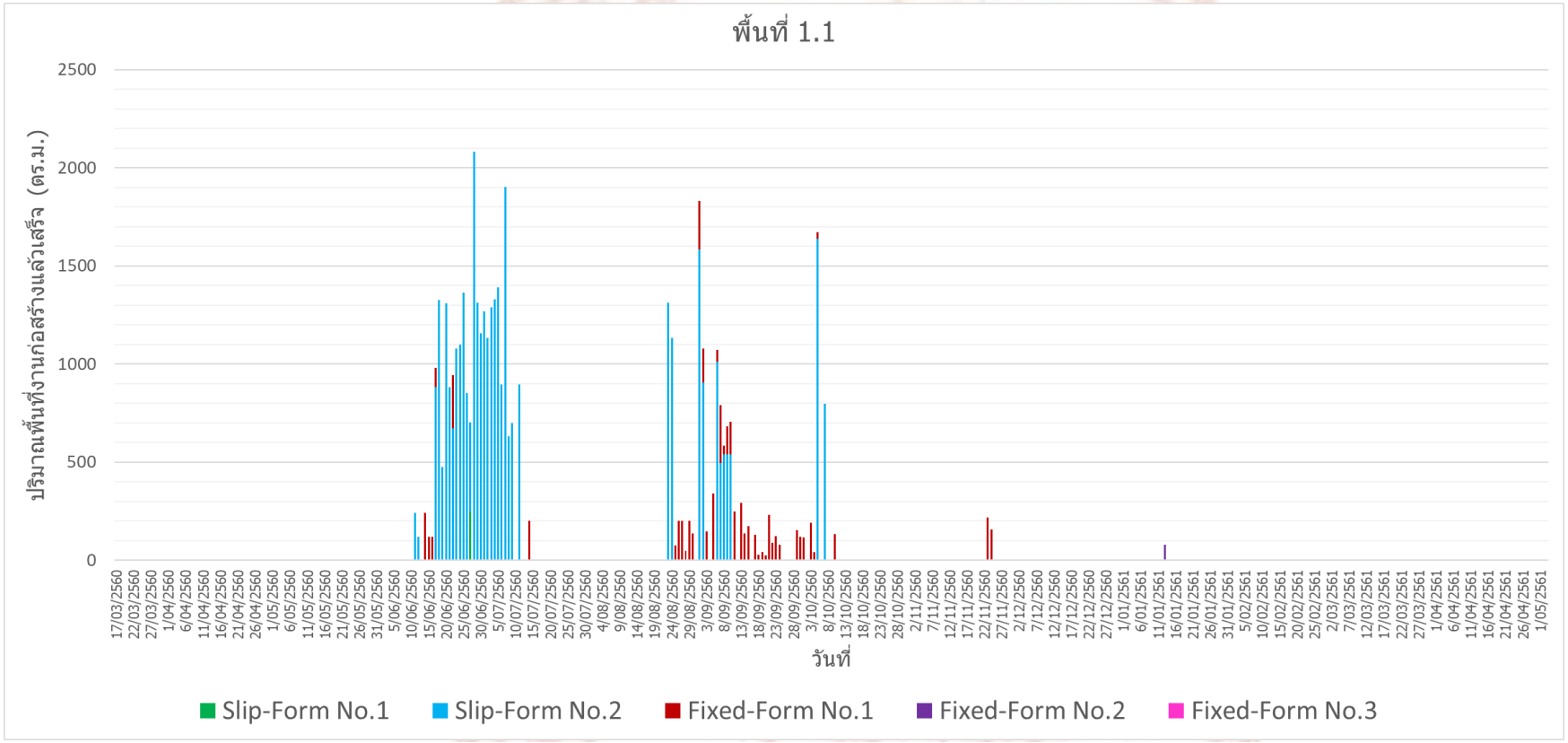
Thabane, L., Mbuagbaw, L., Zhang, S., Samaan, Z., Marcucci, M., Ye, C. and Kosa, D. (2013). “A tutorial on sensitivity analyses in clinical trials: the what, why, when and how”. In BMC medical research methodology. 13, 1-12.

Tomar, A. and Bansal, V. K. (2019). “Scheduling of repetitive construction projects using geographic information systems: an integration of critical path method and line of balance” In Asian Journal of Civil Engineering.

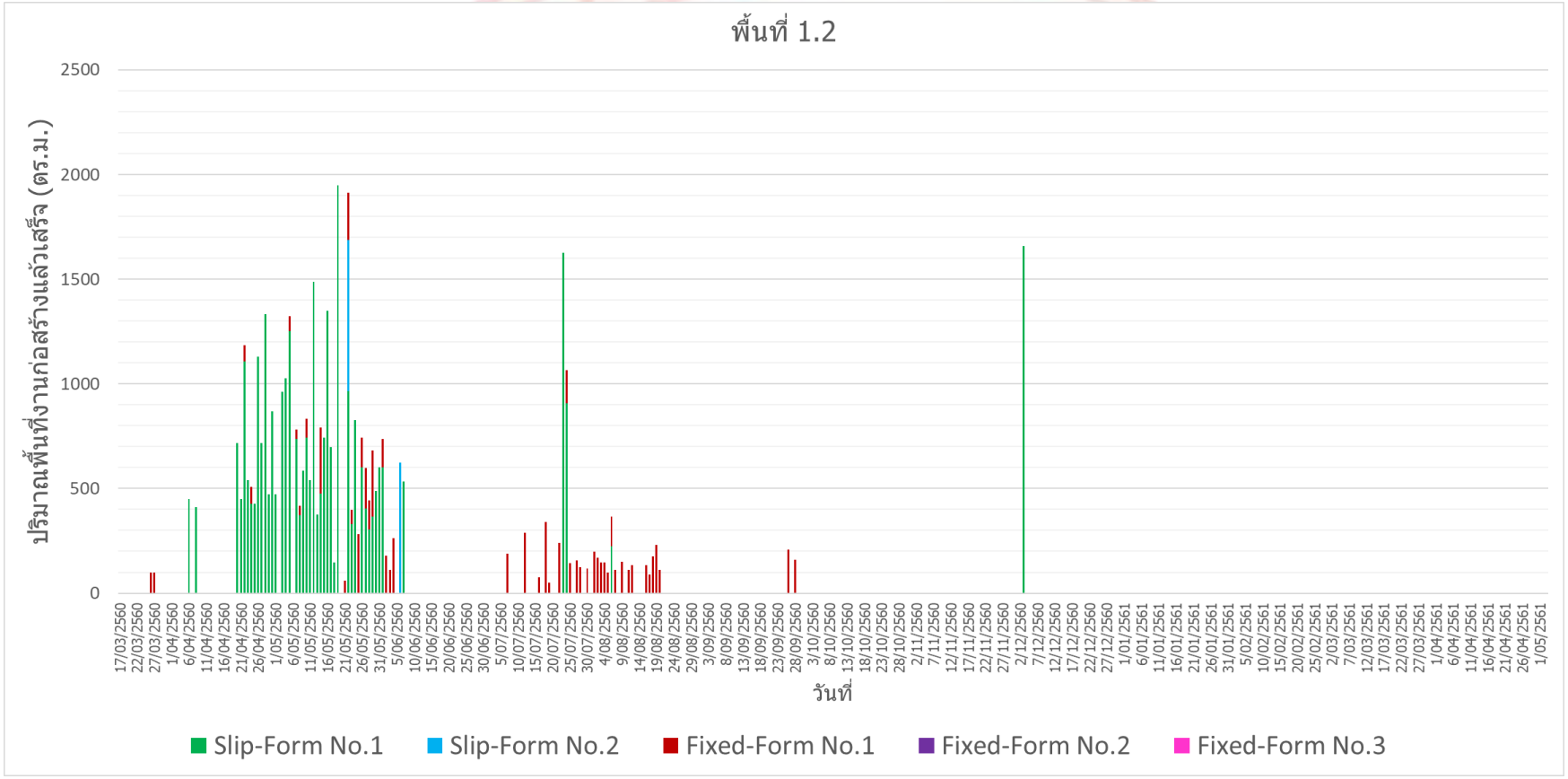
U.S. Army Corps of Engineers. (2 0 0 1). [Online]. UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC) : PAVEMENT DESIGN FOR AIRFIELDS. [cited 2023 July 5]. Available from : URL : https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc_3_260_02_2001.pdf

ภาคผนวก ก

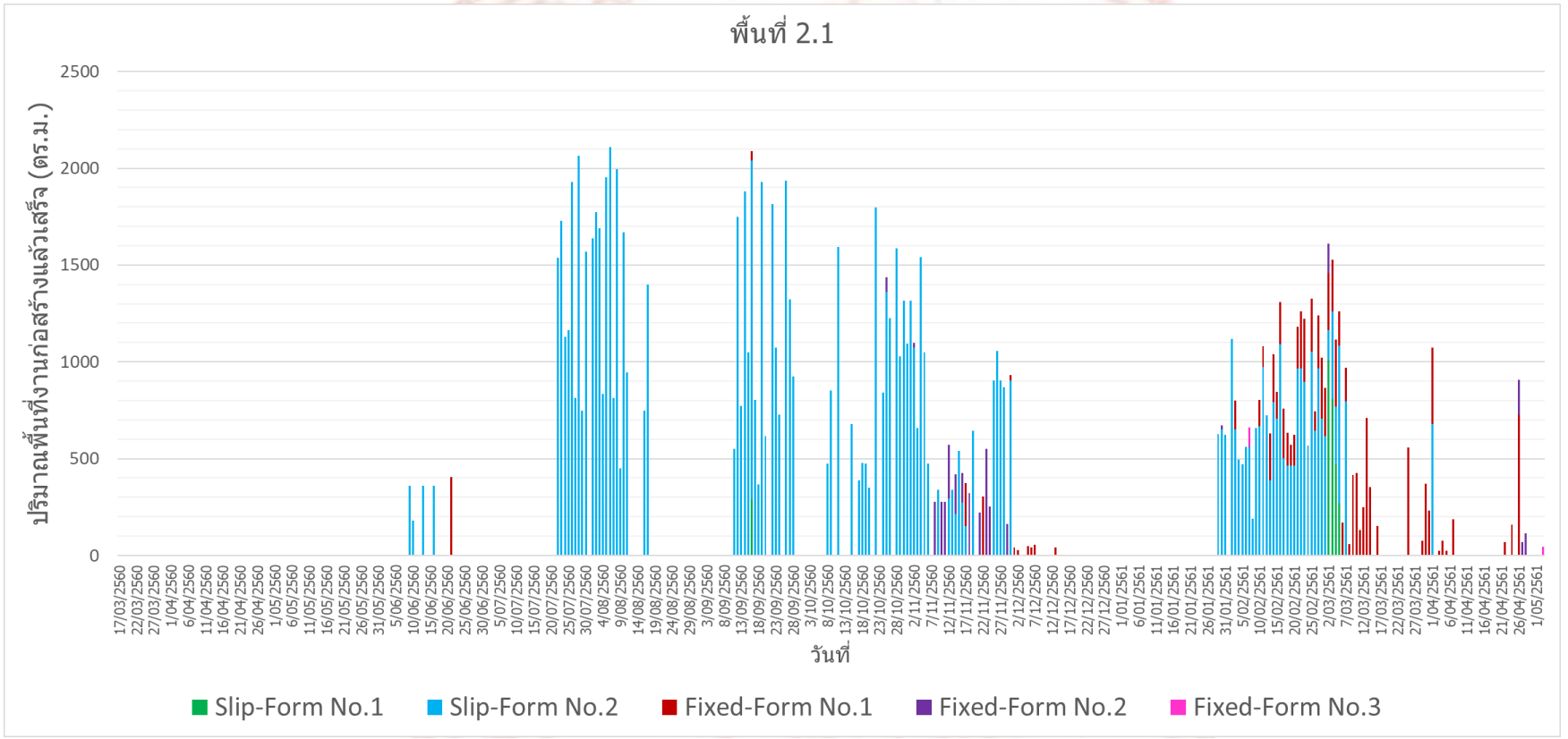
ผลการรวบรวมปริมาณงานก่อสร้างแล้วเสร็จจริง



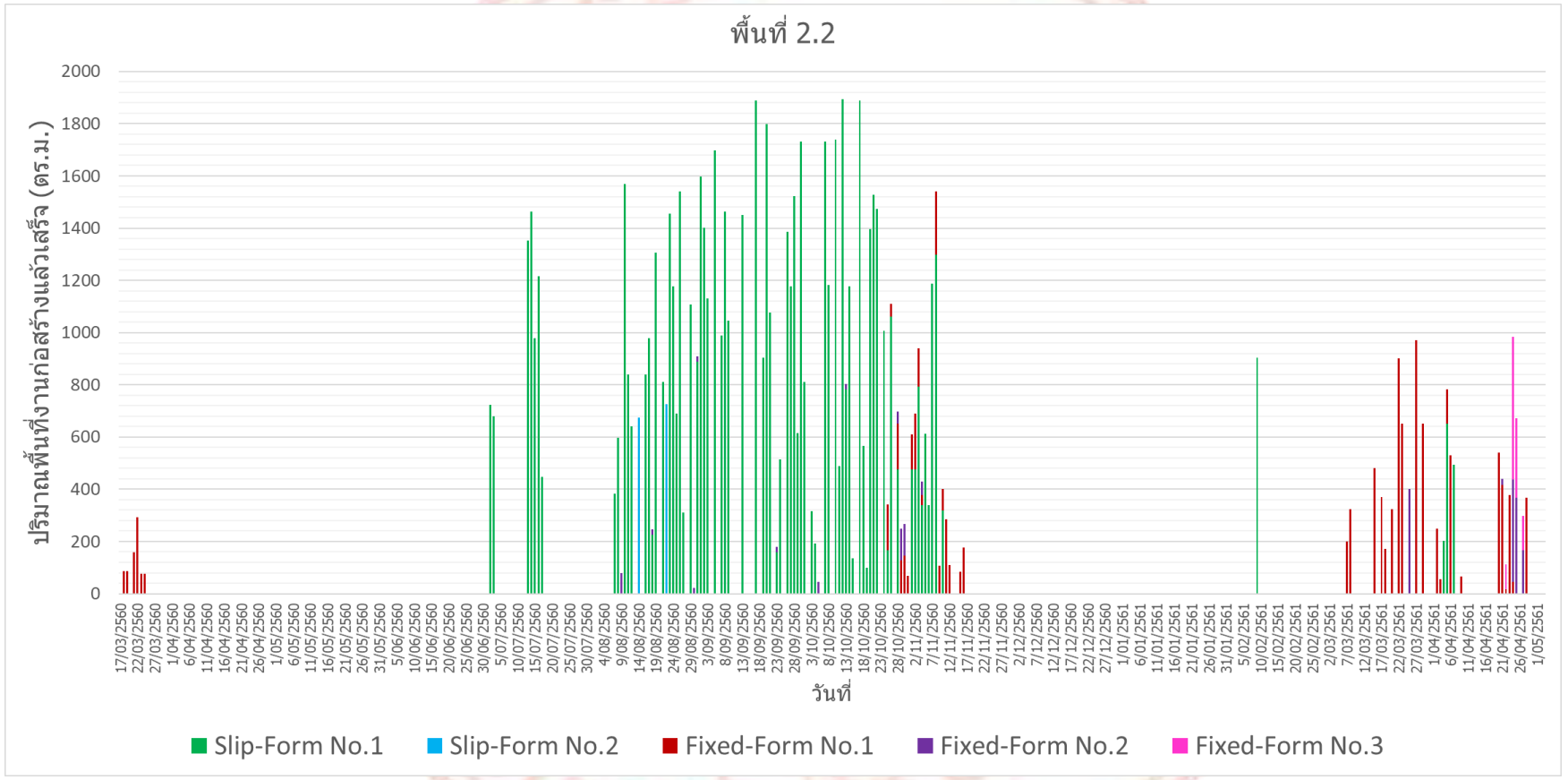
ภาพที่ ก-1 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 1.1



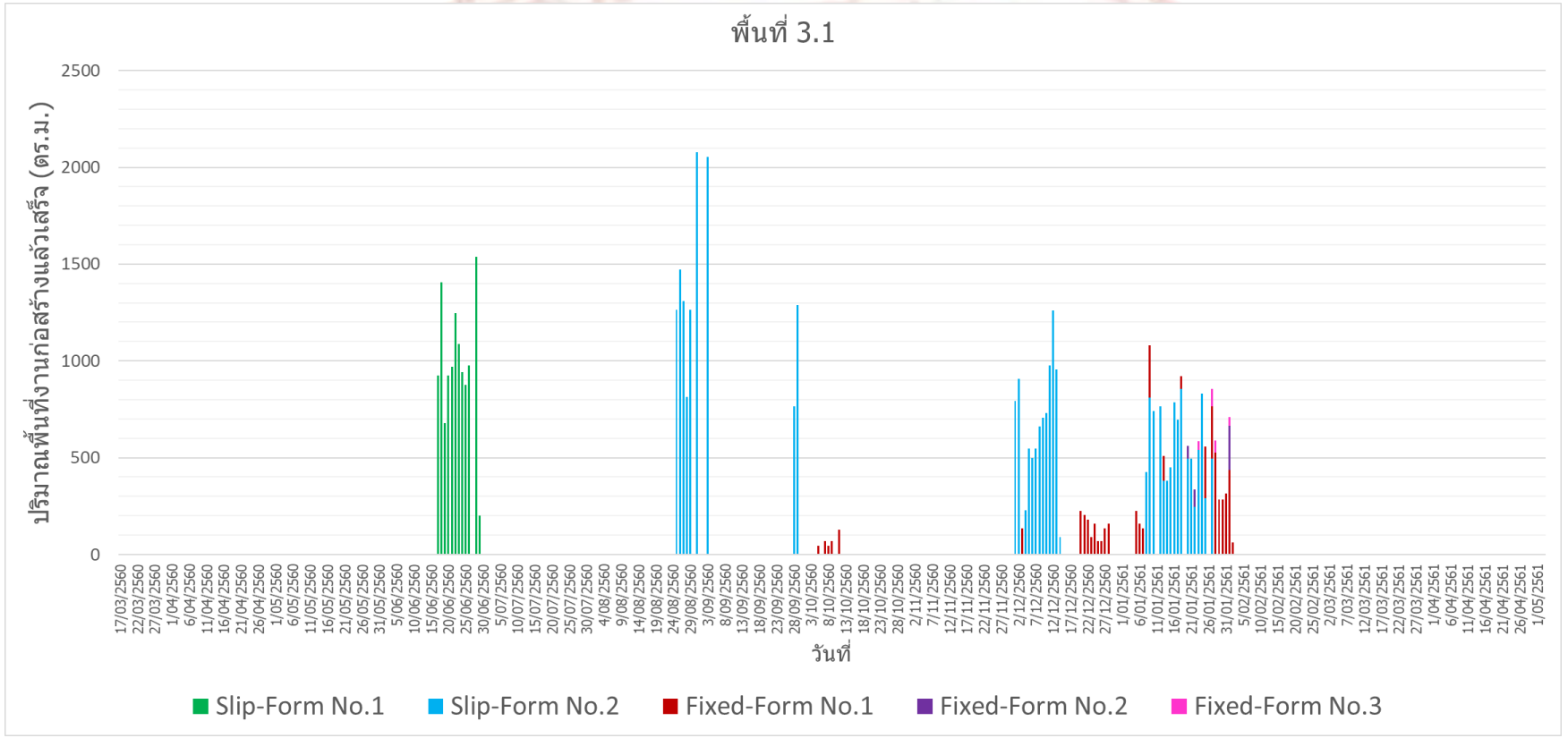
ภาพที่ ก-2 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 1.2



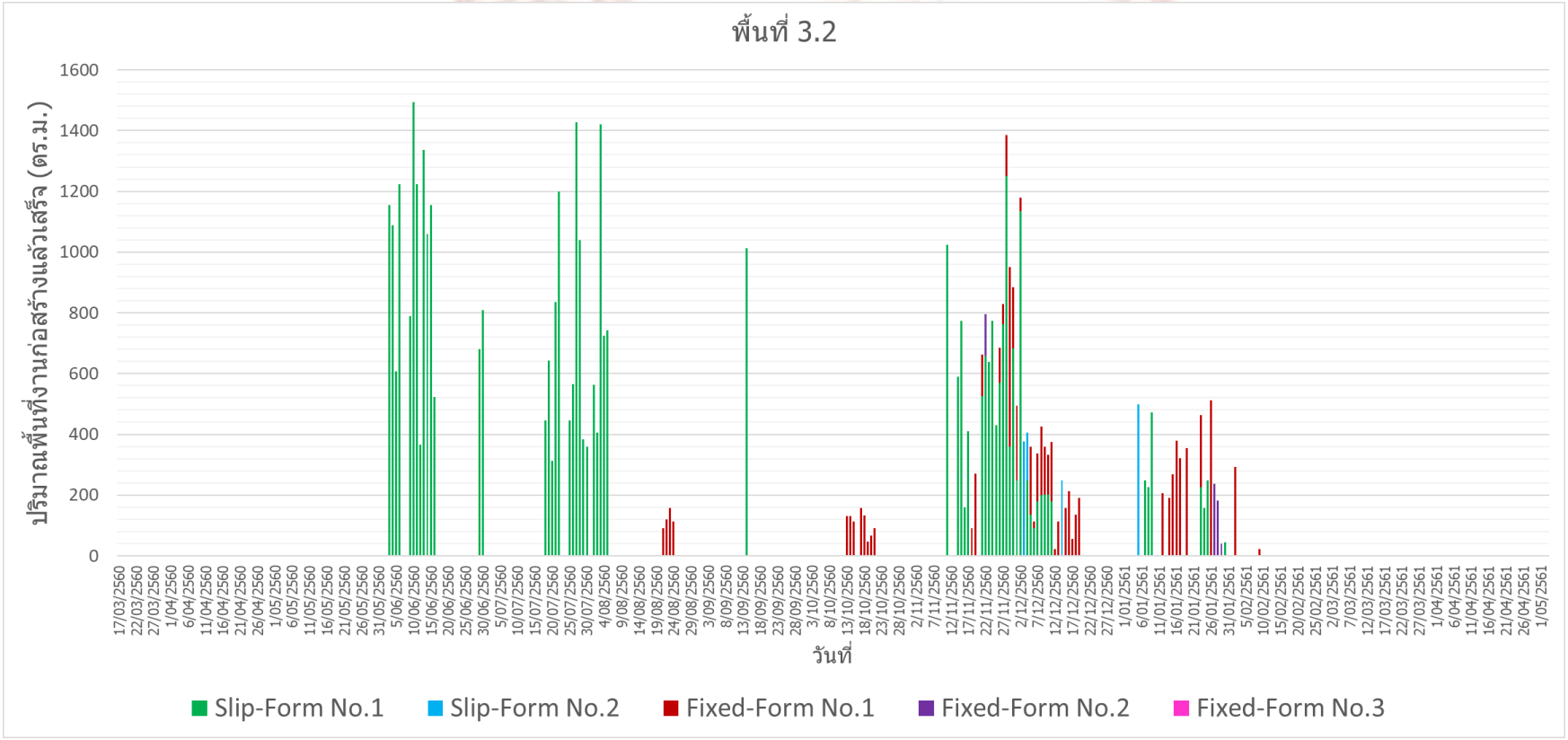
ภาพที่ ก-3 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 2.1



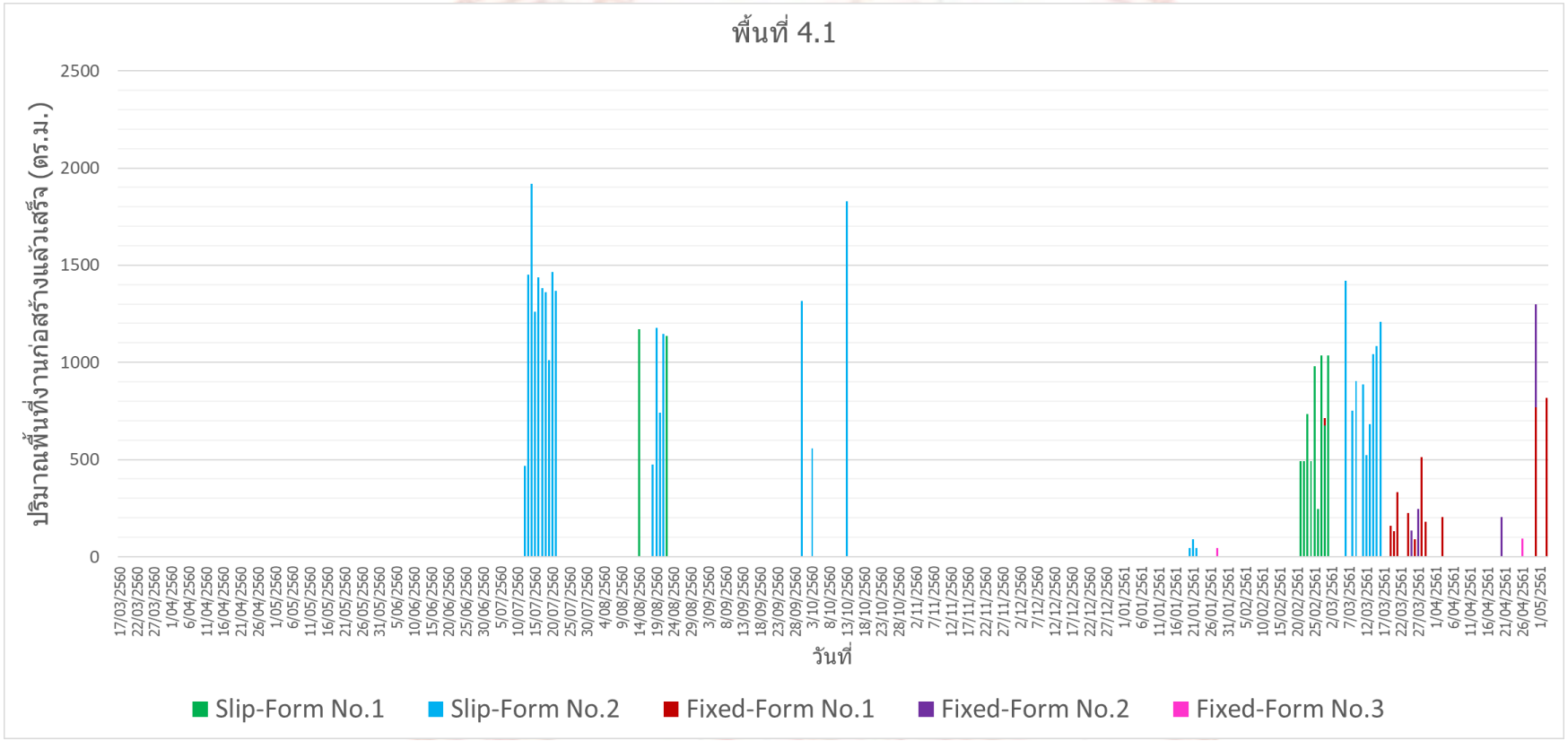
ภาพที่ ก-4 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 2.2



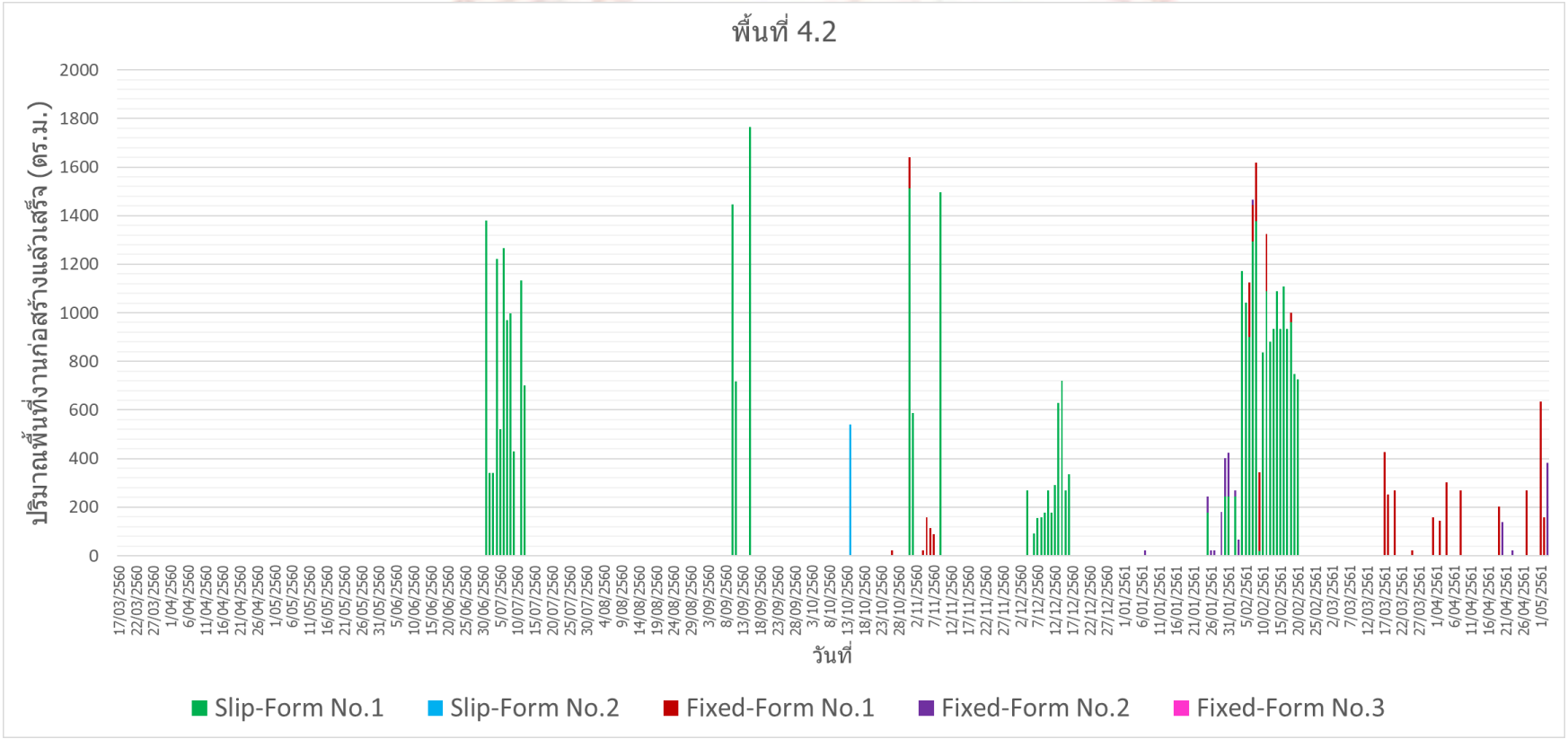
ภาพที่ ก-5 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 3.1



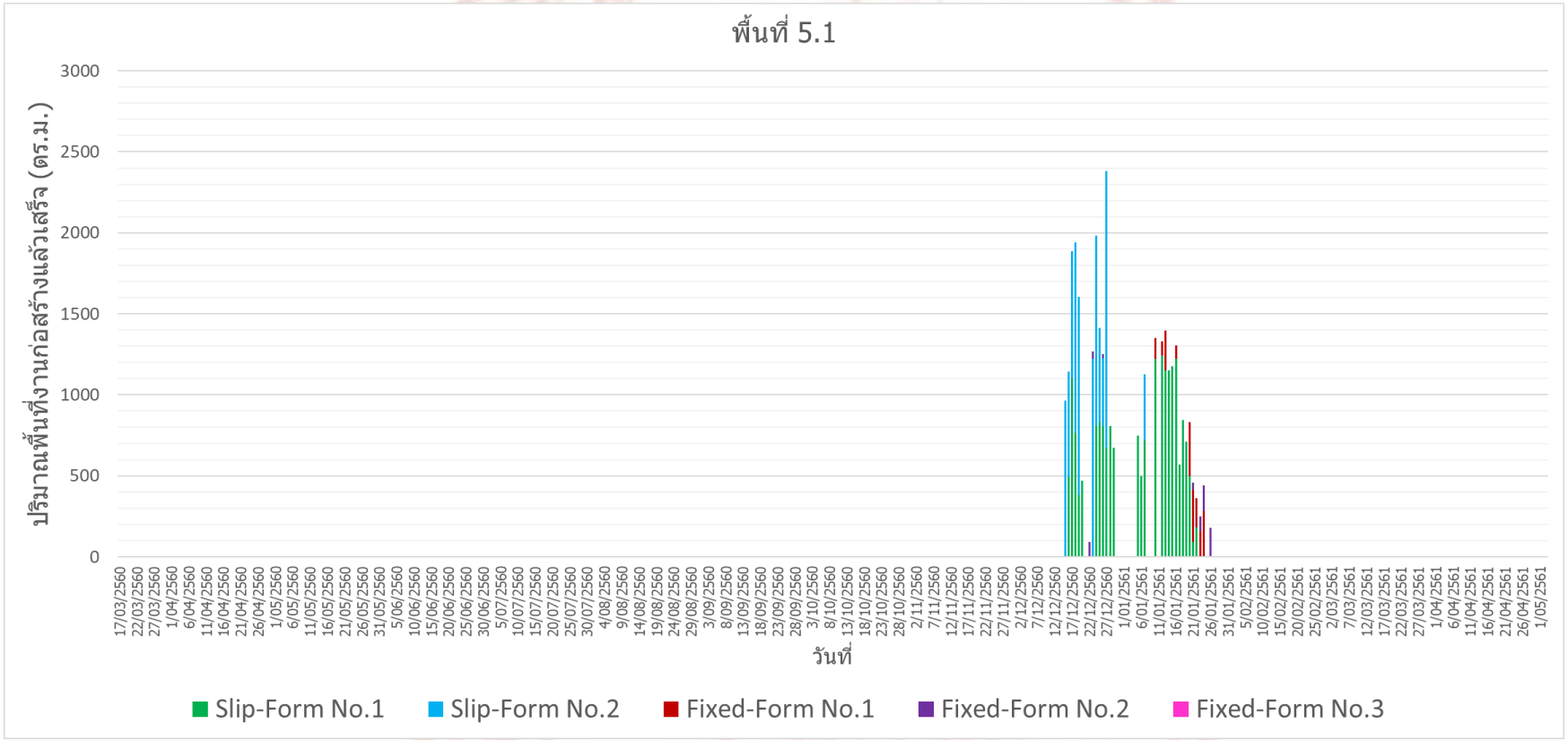
ภาพที่ ก-6 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 3.2



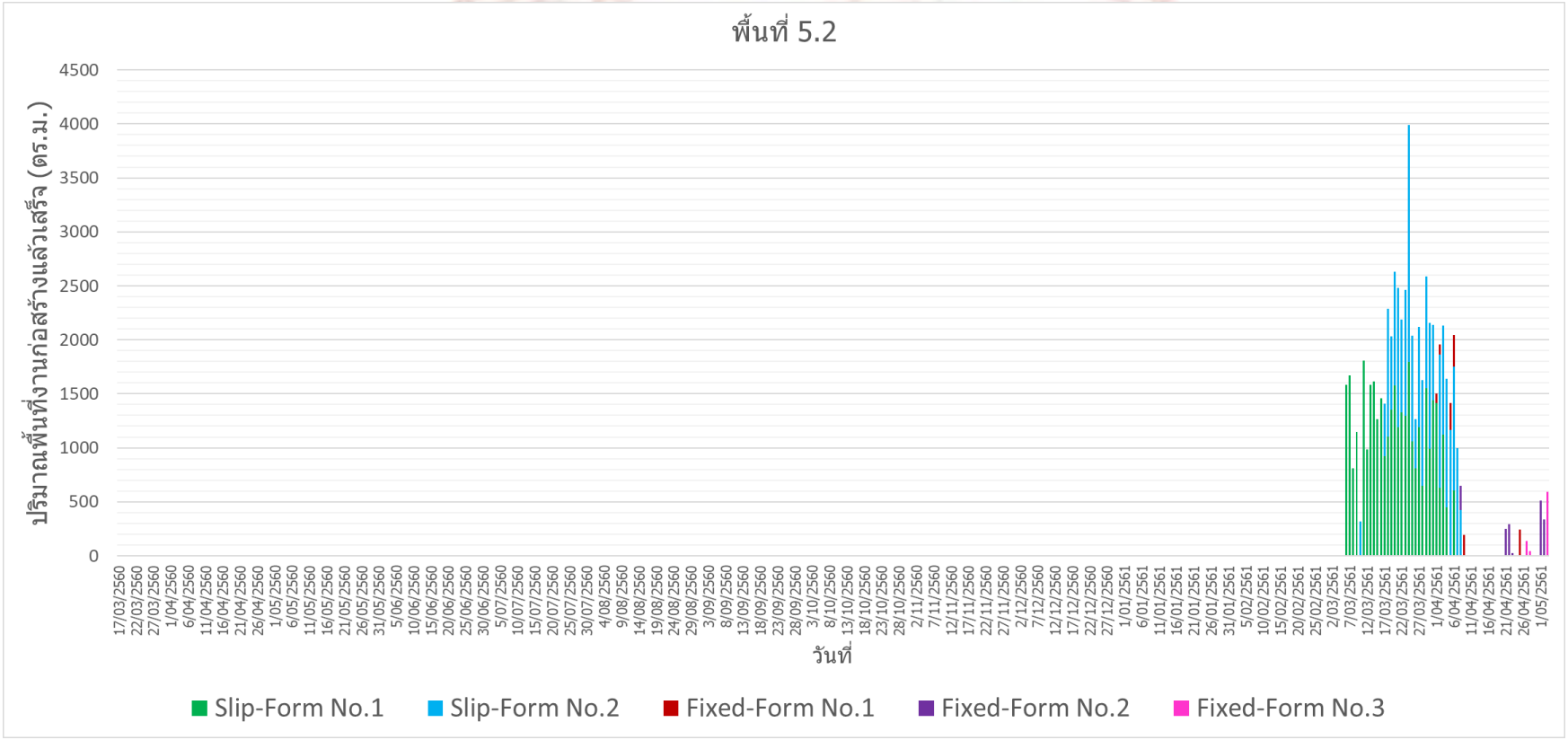
ภาพที่ ก-7 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 4.1



ภาพที่ ก-8 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 4.2



ภาพที่ ก-9 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 5.1



ภาพที่ ก-10 แผนภาพปริมาณพื้นที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จรายวันของพื้นที่ 5.2

ภาคผนวก ข

ผลการจำลองแบบจำลอง ACD

ตารางที่ ข-1 ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (Average Case) 100 รอบ

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 57 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
1	1105397928	655.257	56
2	1067993256	669.535	56
3	2017282216	669.169	55
4	1529661608	667.603	57
5	2022557864	661.321	57
6	565717160	652.96	58
7	759769256	673.738	55
8	2068097192	673.041	55
9	199862440	697.132	54
10	120613032	679.8	55
11	1565616296	670.848	56
12	877717672	655.069	57
13	381610152	645.741	57
14	1114630312	669.366	56
15	1496193192	663.247	56
16	1453267112	656.152	57
17	1651087528	661.524	57
18	807377064	651.07	57
19	1419597992	703.545	53
20	1240783016	647.644	58
21	940431528	645.978	57
22	1071921320	667.446	55
23	546650280	672.496	55
24	689223848	660.678	56
25	2079045800	675.986	56

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 57 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
26	1190951080	682.216	55
27	798324904	673.398	55
28	1574500520	682.501	55
29	1968830632	653.755	58
30	1471153320	643.946	58
31	375669928	652.333	58
32	1222984872	670.338	56
33	1996014760	669.225	55
34	464110760	675.653	54
35	58729640	666.094	57
36	809575592	659.611	57
37	1257022632	683.786	55
38	1348838568	676.44	55
39	795370664	667.759	56
40	2126406824	656.489	57
41	573531304	667.557	57
42	762766504	673.312	56
43	2019026088	671.287	55
44	1522144424	672.565	56
45	859509928	686.68	54
46	1249023144	649.85	58
47	1509790888	669.69	56
48	225727656	653.823	56
49	248861864	652.036	57
50	1347998888	674.161	55

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 57 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
51	1169282216	653.127	57
52	2123355304	661.448	56
53	1429877928	682.856	54
54	1525363880	663.532	56
55	195736744	676.755	55
56	901231784	666.255	56
57	1316910248	673.133	56
58	303527080	667.383	55
59	1542124712	662.188	56
60	837022888	665.673	57
61	1514278056	656.269	57
62	1883049128	680.992	54
63	2108329128	664.676	56
64	412322984	673.317	55
65	1599229096	669.537	55
66	941444264	682.022	54
67	409259176	668.447	55
68	1290914984	655.938	58
69	708824232	668.72	55
70	105262248	669.765	56
71	1768631464	653.365	58
72	1139584168	670.243	56
73	1405463720	683.66	54
74	1964928168	669.071	56
75	1106209960	662.509	57

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 57 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
76	100068520	697.358	53
77	1735126184	674.914	55
78	1054612648	688.508	54
79	585964712	659.186	57
80	970497192	683.251	55
81	968989864	678.112	54
82	1084251304	651.071	57
83	542006440	676.235	55
84	1694194856	682.759	55
85	616357032	659.617	57
86	590208168	675.017	55
87	1423719592	663.753	56
88	833961128	690.34	54
89	764984488	666.179	56
90	1040301224	652.854	57
91	823114920	663.22	57
92	1721138344	660.567	56
93	2067233960	682.85	54
94	580582568	679.675	54
95	1791753384	677.716	55
96	464257704	656.034	57
97	87622312	666.444	56
98	1820361384	672.304	55
99	54952616	666.579	56
100	1626571432	662.75	56

Stroboscope Model Slip-Form_Paver_Model_avg_Case.vsdm (1294899732)

Statistics report at simulation time 668.447

Queue	Res	Cur	Tot	AvWait	AvCont	SDCont	MinCont	MaxCont
AreaOpen	ezs	1.00	59.00	7.41	0.65	0.48	0.00	1.00
ConcreteOrder	ezs	3.00	61.00	6.24	0.57	1.14	0.00	3.00
CoverTeam	ezs	1.00	58.00	8.79	0.76	0.43	0.00	1.00
DumpQueue	ezs	6.00	64.00	33.70	3.23	1.36	1.00	6.00
FinishingTeam	ezs	1.00	58.00	1.65	0.14	0.35	0.00	1.00
LimitArea	ezs	2.00	59.00	3.44	0.30	0.70	0.00	2.00
LimitStock	ezs	2.00	60.00	5.29	0.48	1.03	0.00	3.00
PaveArea	ezs	0.00	58.00	317.38	27.54	19.11	0.00	58.00
PaveComplete	ezs	57.00	57.00	282.37	24.08	18.13	0.00	57.00
Paver	ezs	1.00	58.00	9.10	0.79	0.41	0.00	1.00
PlantRD	ezs	1.00	59.00	6.55	0.58	0.49	0.00	1.00
RDCover	ezs	0.00	57.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
RDFinish	ezs	0.00	57.00	7.38	0.63	0.48	0.00	1.00
RDTextrCur	ezs	0.00	57.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
SetupTeam	ezs	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
TextrCurMachne	ezs	1.00	58.00	10.95	0.95	0.22	0.00	1.00
UnloadStck	ezs	1.00	58.00	22.69	1.97	0.92	0.00	3.00
WaitUnload	ezs	0.00	58.00	16.42	1.42	0.84	0.00	3.00

Activity	Cur	Tot	1stSt	LstSt	AvDur	SDDur	MinD	MaxD	AvTnt	SDTnt	MinT	MaxT
A10TextrCur	0	57	103.60	664.95	0.58	0.04	0.47	0.68	10.02	1.33	6.76	12.38
A11Cover	0	57	104.15	665.53	2.78	0.24	2.29	3.24	10.02	1.34	6.68	12.37
A4Setup	0	1	0.00	0.00	73.70		73.70	73.70				
A5LoadConcrete	0	58	73.70	598.95	3.59	0.14	3.33	3.86	9.21	2.66	3.56	13.72
A6Return	0	58	84.31	630.24	3.95	0.61	2.81	5.07	9.58	2.32	3.56	13.72
A6Travel	0	58	77.27	602.59	4.02	0.52	2.80	5.20	9.22	2.68	3.48	13.80
A7Unload	0	58	80.26	625.75	3.99	0.37	3.20	4.78	9.57	2.38	3.56	13.38
A8PaveConcrete	0	57	89.98	641.84	2.47	0.80	1.41	4.37	9.85	1.55	3.56	12.38
A9Finishing	0	57	91.93	652.57	10.05	1.34	6.76	12.38	10.01	1.32	6.76	12.38

The Future Events List is empty at simulation time 668.45

Total Number of Named Objects : 69
Total Number of Variables : 90
Total Number of Statements : 16

Integral Stat Ave. Wait

Execution Time = 0.23 seconds

ภาพที่ ข-1 ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (ACD-S-A) รอบที่ 67

Stroboscope Model S_ip-Form_Paver_Model_Best_Case.vsdm (1159625236)

Statistics report at simulation time 668.8

Queue	Res	Cur	Tot	AvWait	AvCont	SDCont	MinCont	MaxCont
AreaOpen	ezs	1.00	140.00	1.80	0.38	0.48	0.00	1.00
ConcreteOrder	ezs	3.00	142.00	1.82	0.39	0.97	0.00	3.00
CoverTeam	ezs	1.00	139.00	2.73	0.57	0.50	0.00	1.00
DumpQueue	ezs	6.00	145.00	13.52	2.93	1.21	2.00	6.00
FinishingTeam	ezs	1.00	139.00	0.54	0.11	0.32	0.00	1.00
LimitArea	ezs	2.00	140.00	1.12	0.23	0.63	0.00	2.00
LimitStock	ezs	2.00	141.00	1.69	0.36	0.92	0.00	3.00
PaveArea	ezs	0.00	139.00	344.39	71.58	44.32	0.00	139.00
PaveComplete	ezs	138.00	138.00	294.55	60.78	43.33	0.00	138.00
Paver	ezs	1.00	139.00	3.52	0.73	0.44	0.00	1.00
PlantRD	ezs	1.00	140.00	1.17	0.25	0.43	0.00	1.00
RDCover	ezs	0.00	138.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
RDFinish	ezs	0.00	138.00	2.96	0.61	0.49	0.00	1.00
RDTextrCur	ezs	0.00	138.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
SetupTeam	ezs	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
TextrCurMachne	ezs	1.00	139.00	4.41	0.92	0.28	0.00	1.00
UnloadStck	ezs	1.00	139.00	8.43	1.75	0.63	0.00	3.00
WaitUnload	ezs	0.00	139.00	4.17	0.87	0.44	0.00	2.00

Activity	Cur	Tot	1stSt	LstSt	AvDur	SDDur	MinD	MaxD	AvTnt	SDTnt	MinT	MaxT
A10TextrCur	0	138	77.20	666.30	0.40	0.00	0.40	0.40	4.30	0.00	4.30	4.30
A11Cover	0	138	77.60	666.70	2.10	0.00	2.10	2.10	4.30	0.00	4.30	4.30
A4Setup	0	1	0.00	0.00	60.00		60.00	60.00				
A5LoadConcrete	0	139	60.00	640.50	3.20	0.00	3.20	3.20	4.21	0.30	3.20	4.30
A6Return	0	139	68.40	653.40	2.20	0.00	2.20	2.20	4.24	0.25	3.20	4.30
A6Travel	0	139	63.20	643.70	2.20	0.00	2.20	2.20	4.21	0.30	3.20	4.30
A7Unload	0	139	65.40	650.40	3.00	0.00	3.00	3.00	4.24	0.25	3.20	4.30
A8PaveConcrete	0	138	71.60	657.70	1.30	0.00	1.30	1.30	4.28	0.15	3.20	4.30
A9Finishing	0	138	72.90	662.00	4.30	0.00	4.30	4.30	4.30	0.00	4.30	4.30

The Future Events List is empty at simulation time 668.80

Total Number of Named Objects : 69
Total Number of Variables : 90
Total Number of Statements : 16

Integral Stat	Ave. Wait

Execution Time = 0.19 seconds

ภาพที่ ข-2 ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (ACD-S-B)

ตารางที่ ข-2 ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (Average Case) 100 รอบ

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 22 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
1	772705024	626.789	23
2	1392593664	696.576	20
3	22498048	639.525	23
4	731564800	642.814	22
5	623102720	728.965	19
6	305408768	662.069	22
7	398797568	654.117	22
8	2007018240	656.082	22
9	169782016	618.89	23
10	2065410816	677.702	21
11	155609856	680.756	21
12	438528768	630.969	23
13	1677257472	664.138	21
14	1202842368	621.396	23
15	1857547008	725.27	19
16	522590976	672.357	21
17	821238528	673.543	21
18	1840028416	629.937	23
19	1965660928	664.756	22
20	287283968	637.206	22
21	801528576	691.124	20
22	2024495872	595.822	24
23	1641208576	638.245	23
24	1842731776	632.065	23
25	1556626176	654.942	22

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 22 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
26	1394490112	667.702	21
27	949697280	631.296	23
28	882686720	614.625	23
29	509197056	727.697	20
30	960477952	637.249	22
31	904559360	678.793	21
32	1166244608	670.12	21
33	1295579904	657.159	22
34	1257372416	626.266	23
35	267385600	723.129	19
36	690358016	666.066	21
37	566508800	700.909	22
38	424576768	650.309	22
39	1039369984	686.284	21
40	1797015296	691.433	20
41	399066880	673.79	21
42	1848592128	641.061	22
43	1660602112	684.879	21
44	1845348096	679.14	21
45	1330390784	664.703	21
46	1302931200	638.83	22
47	193111808	678.17	21
48	1858971392	614.484	23
49	840460032	635.831	22
50	1614702336	676.722	21

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 22 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
51	67593984	710.808	20
52	590538496	722.616	20
53	857597696	716.426	20
54	1486100224	667.051	21
55	885331712	627.732	23
56	1264523008	700.487	20
57	1567004416	647.308	22
58	625710848	623.573	23
59	897341184	663.996	21
60	248862464	610.537	23
61	1471338240	653.981	22
62	1853740800	669.748	21
63	1132214016	638.802	22
64	601175808	646.229	23
65	1894037248	664.894	21
66	1386854144	683.157	21
67	645904128	645.486	22
68	695891712	678.159	21
69	1992128256	649.649	22
70	1764292352	660.085	21
71	1013053184	652.055	22
72	305657600	667.683	21
73	1616514816	663.36	22
74	300748544	645.275	22
75	863276800	670.108	21

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

รอบ	รหัสรอบการจำลอง (Seed)	ระยะเวลาการจำลอง กำหนดปริมาณ 22 คันรถ (นาที)	ปริมาณการจำลอง กำหนดระยะเวลา 660 นาที (หน่วย : คันรถ)
76	1092194048	616.092	23
77	1976061696	684.263	21
78	1451314944	707.14	20
79	643780352	693.648	20
80	1885785856	656.672	22
81	1843646208	633.868	23
82	1676422912	663.284	22
83	1063857920	681.057	20
84	1151282944	638.486	22
85	1244311296	675.192	21
86	298692352	647.582	22
87	201879296	709.482	20
88	2035379968	647.582	22
89	1478979328	651.156	22
90	1010626304	604.527	23
91	1103490816	673.246	21
92	1766334208	648.316	22
93	1354112768	708.313	20
94	1542135552	716.57	19
95	193109760	664.495	21
96	1199939328	666.911	21
97	692035328	642.883	22
98	54943488	628.179	23
99	916283136	684.821	20
100	649387776	671.943	21

Stroboscope Model Fixed-Form_Mode_avg_Case.vsdm (1453987348)

Statistics report at simulation time 662.069

Queue	Res	Cur	Tot	AvWait	AvCont	SDCont	MinCont	MaxCont
ConcreteOrder	ezs	2.00	24.00	3.52	0.13	0.43	0.00	2.00
CoverTeam	ezs	1.00	23.00	27.05	0.94	0.24	0.00	1.00
FinishingTeam	ezs	1.00	23.00	20.16	0.70	0.46	0.00	1.00
PlantRD	ezs	1.00	23.00	26.60	0.92	0.26	0.00	1.00
PourAres	ezs	0.00	22.00	299.86	9.96	6.64	0.00	22.00
PouringCompleteezs		22.00	22.00	283.47	9.42	6.68	0.00	22.00
PouringTeam	ezs	1.00	23.00	1.93	0.07	0.25	0.00	1.00
RDCover	ezs	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
RDFinish	ezs	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
RDTextrCur	ezs	0.00	22.00	0.05	0.00	0.04	0.00	1.00
TextrCurTeam	ezs	1.00	23.00	20.45	0.71	0.45	0.00	1.00
TransitQueue	ezs	6.00	28.00	101.70	4.30	0.55	4.00	6.00
WaitPouring	ezs	0.00	22.00	13.01	0.43	0.50	0.00	1.00

Activity	Cur	Tot	1stSt	LstSt	AvDur	SDDur	MinD	MaxD	AvInt	SDInt	MinI	MaxI
B4LoadConcrete	0	22	0.00	592.69	2.28	0.08	2.12	2.42	28.22	11.25	2.33	54.96
B5Return	0	22	47.09	627.52	3.80	0.47	2.75	4.66	27.64	7.91	10.85	41.65
B5Travel	0	22	2.33	595.01	3.96	0.64	2.91	5.08	28.22	11.29	2.16	55.19
B6Pouring	0	22	6.82	599.38	28.08	8.12	10.85	47.65	28.22	8.03	13.85	41.65
B7Finishing	0	22	47.09	627.52	9.02	1.46	6.31	11.66	27.64	7.91	10.85	41.65
B8TextrCur	0	22	67.10	652.18	8.72	1.34	7.02	12.09	27.86	8.94	10.24	42.05
B9Cover	0	22	76.72	660.22	1.81	0.12	1.57	2.03	27.79	9.10	7.07	41.03
SellingTime	0	22	57.29	636.38	11.81	2.83	7.13	17.14	27.58	8.29	11.49	44.44

The Future Events List is empty at simulation time 662.07

Total Number of Named Objects : 54
Total Number of Variables : 70
Total Number of Statements : 13

Integral Stat Ave. Wait

Execution Time = 0.14 seconds

ภาพที่ ข-3 ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (ACD-F-A) รอบที่ 6

Stroboscope Model Fixed-Form_Mode_Best_Case.vsdm (1992013332)

Statistics report at simulation time 676.5

Queue	Res	Cur	Tot	AvWait	AvCont	SDCont	MinCont	MaxCont
ConcreteOrder	ezs	2.00	99.00	0.31	0.05	0.27	0.00	2.00
CoverTeam	ezs	1.00	98.00	5.62	0.81	0.39	0.00	1.00
FinishingTeam	ezs	1.00	98.00	2.55	0.37	0.48	0.00	1.00
PlantRD	ezs	1.00	98.00	4.92	0.71	0.45	0.00	1.00
PourAres	ezs	0.00	97.00	325.48	46.67	28.63	0.00	97.00
PouringCompleteezs		97.00	97.00	327.29	46.93	28.65	0.00	97.00
PouringTeam	ezs	1.00	98.00	1.95	0.28	0.45	0.00	1.00
RDCover	ezs	0.00	97.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
RDFinish	ezs	0.00	97.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
RDTextrCur	ezs	0.00	97.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
TextrCurTeam	ezs	1.00	98.00	2.55	0.37	0.48	0.00	1.00
TransitQueue	ezs	6.00	103.00	28.64	4.36	0.52	4.00	6.00
WaitPouring	ezs	0.00	97.00	0.03	0.00	0.07	0.00	1.00

Activity	Cur	Tot	1stSt	LstSt	AvDur	SDDur	MinD	MaxD	AvInt	SDInt	MinI	MaxI
B4LoadConcrete	0	97	0.00	652.80	2.00	0.00	2.00	2.00	6.80	1.92	2.00	11.60
B5Return	0	97	9.20	662.00	2.20	0.00	2.20	2.20	6.80	1.81	5.00	8.60
B5Travel	0	97	2.00	654.80	2.20	0.00	2.20	2.20	6.80	1.92	2.00	11.60
B6Pouring	0	97	4.20	657.00	5.00	0.00	5.00	5.00	6.80	1.81	5.00	8.60
B7Finishing	0	97	9.20	662.00	4.40	0.00	4.40	4.40	6.80	1.81	5.00	8.60
B8TextrCur	0	97	18.00	670.80	4.40	0.00	4.40	4.40	6.80	1.81	5.00	8.60
B9Cover	0	97	22.40	675.20	1.30	0.00	1.30	1.30	6.80	1.81	5.00	8.60
SellingTime	0	97	13.60	666.40	4.40	0.00	4.40	4.40	6.80	1.81	5.00	8.60

The Future Events List is empty at simulation time 676.50

Total Number of Named Objects : 54
Total Number of Variables : 70
Total Number of Statements : 13

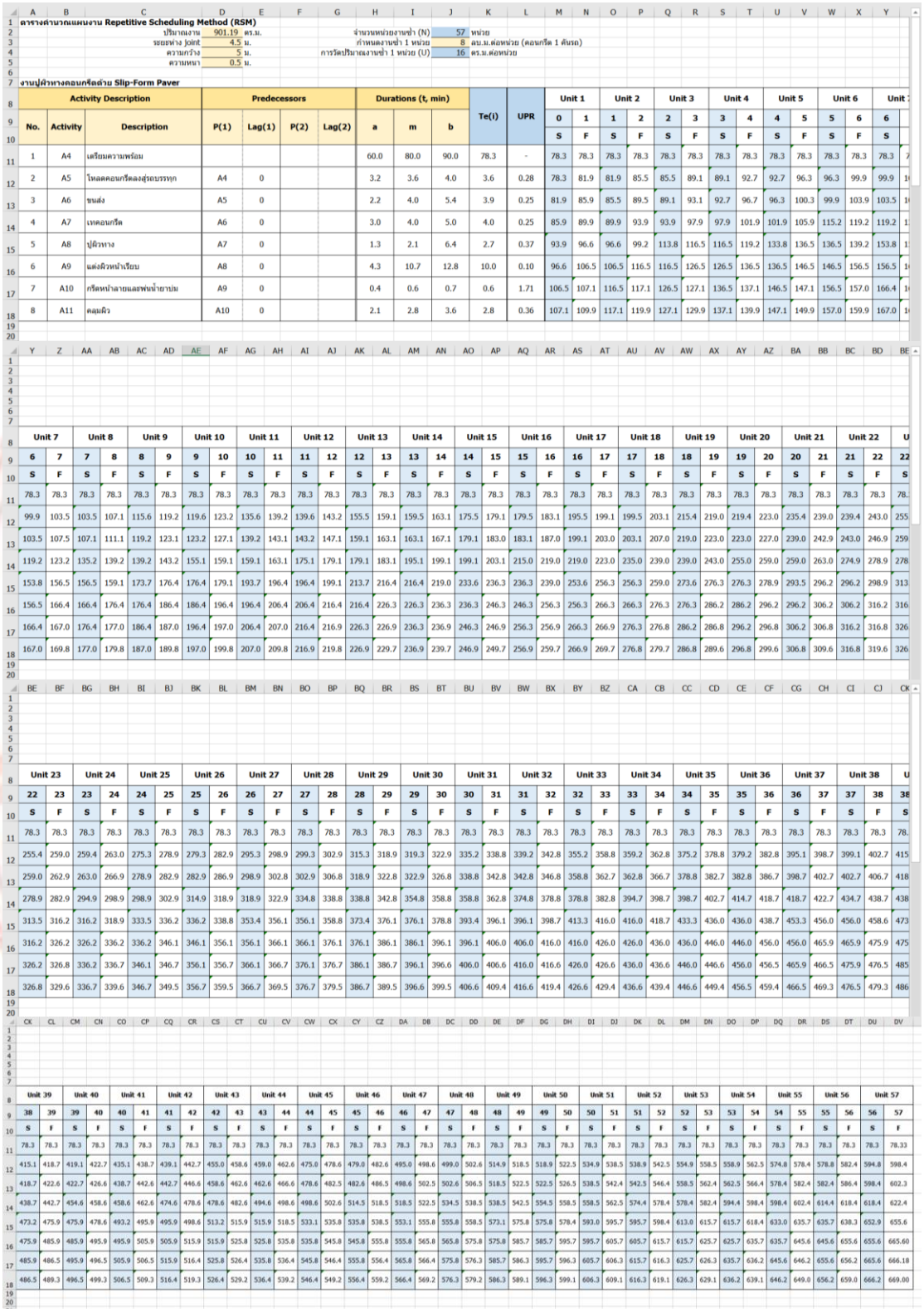
Integral Stat Ave. Wait

Execution Time = 0.14 seconds

ภาพที่ ข-4 ผลการจำลองแบบจำลอง ACD กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (ACD-F-B)

ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM



ตารางคำนวณแผนงาน Repetitive Scheduling Method (RSM)

ปริมาณงาน	901.19	ตร.ม.	จำนวนหน่วยงานซ้ำ (N)	57	หน่วย
ระยะห่าง Joint	4.5	ม.	กำหนดงานซ้ำ 1 หน่วย	8	ตม.ม.ต่อหน่วย (คอนกรีต 1 คันรถ)
ความกว้าง	5	ม.	การวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U)	16	ตร.ม.ต่อหน่วย
ความหนา	0.5	ม.			

งานปูผิวทางคอนกรีตด้วย Slip-Form Paver

Activity Description			Predecessors				Durations (t, min)			Te(i)	UPR	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4		Unit 5		Unit 6		Unit 7	
No.	Activity	Description	P(1)	Lag(1)	P(2)	Lag(2)	a	m	b			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	
												S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	
1	A4	เตรียมความพร้อม					60.0	80.0	90.0	78.3	-	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	
2	A5	โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	A4	0			3.2	3.6	4.0	3.6	0.28	78.3	81.9	81.9	85.5	85.5	89.1	89.1	92.7	92.7	96.3	96.3	99.9	99.9	
3	A6	ขนส่ง	A5	0			2.2	4.0	5.4	3.9	0.25	81.9	85.9	85.5	89.5	89.1	93.1	92.7	96.7	96.3	100.3	99.9	103.9	103.5	
4	A7	เทคอนกรีต	A6	0			3.0	4.0	5.0	4.0	0.25	85.9	89.9	89.9	93.9	93.9	97.9	97.9	101.9	101.9	105.9	115.2	119.2	119.2	
5	A8	ปูผิวทาง	A7	0			1.3	2.1	6.4	2.7	0.37	93.9	96.6	96.6	99.2	113.8	116.5	116.5	119.2	133.8	136.5	136.5	139.2	153.8	
6	A9	แต่งผิวหน้าเรียบ	A8	0			4.3	10.7	12.8	10.0	0.10	96.6	106.5	106.5	116.5	116.5	126.5	126.5	136.5	136.5	146.5	146.5	156.5	156.5	
7	A10	กรีดหน้าลายแอสฟัลท์น้ำยาบ่ม	A9	0			0.4	0.6	0.7	0.6	1.71	106.5	107.1	116.5	117.1	126.5	127.1	136.5	137.1	146.5	147.1	156.5	157.0	166.4	
8	A11	คลุมผิว	A10	0			2.1	2.8	3.6	2.8	0.36	107.1	109.9	117.1	119.9	127.1	129.9	137.1	139.9	147.1	149.9	157.0	159.9	167.0	

Unit 7		Unit 8		Unit 9		Unit 10		Unit 11		Unit 12		Unit 13		Unit 14		Unit 15		Unit 16		Unit 17		Unit 18		Unit 19		Unit 20		Unit 21		Unit 22	
6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.
99.9	103.5	103.5	107.1	115.6	119.2	119.6	123.2	135.6	139.2	139.6	143.2	155.5	159.1	159.5	163.1	175.5	179.1	179.5	183.1	195.5	199.1	199.5	203.1	215.4	219.0	219.4	223.0	235.4	239.0	239.4	243.0
103.5	107.5	107.1	111.1	119.2	123.1	123.2	127.1	139.2	143.1	143.2	147.1	159.1	163.1	163.1	167.1	179.1	183.0	183.1	187.0	199.1	203.0	203.1	207.0	219.0	223.0	223.0	227.0	239.0	242.9	243.0	246.9
119.2	123.2	135.2	139.2	139.2	143.2	155.1	159.1	159.1	163.1	175.1	179.1	179.1	183.1	195.1	199.1	199.1	203.1	215.0	219.0	219.0	223.0	235.0	239.0	239.0	243.0	255.0	259.0	259.0	263.0	274.9	278.9
153.8	156.5	156.5	159.1	173.7	176.4	176.4	179.1	193.7	196.4	196.4	199.1	213.7	216.4	216.4	219.0	233.6	236.3	236.3	239.0	253.6	256.3	256.3	259.0	273.6	276.3	276.3	278.9	293.5	296.2	296.2	298.9
156.5	166.4	166.4	176.4	176.4	186.4	186.4	196.4	196.4	206.4	206.4	216.4	216.4	226.3	226.3	236.3	236.3	246.3	246.3	256.3	256.3	266.3	266.3	276.3	276.3	286.2	286.2	296.2	296.2	306.2	306.2	316.2
166.4	167.0	176.4	177.0	186.4	187.0	196.4	197.0	206.4	207.0	216.4	216.9	226.3	226.9	236.3	236.9	246.3	246.9	256.3	256.9	266.3	266.9	276.3	276.8	286.2	286.8	296.2	296.8	306.2	306.8	316.2	316.8
167.0	169.8	177.0	179.8	187.0	189.8	197.0	199.8	207.0	209.8	216.9	219.8	226.9	229.7	236.9	239.7	246.9	249.7	256.9	259.7	266.9	269.7	276.8	279.7	286.8	289.6	296.8	299.6	306.8	309.6	316.8	319.6

Unit 23		Unit 24		Unit 25		Unit 26		Unit 27		Unit 28		Unit 29		Unit 30		Unit 31		Unit 32		Unit 33		Unit 34		Unit 35		Unit 36		Unit 37		Unit 38	
22	23	23	24	24	25	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	38
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.
255.4	259.0	259.4	263.0	275.3	278.9	279.3	282.9	295.3	298.9	299.3	302.9	315.3	318.9	319.3	322.9	335.2	338.8	339.2	342.8	355.2	358.8	359.2	362.8	375.2	378.8	379.2	382.8	395.1	398.7	399.1	402.7
259.0	262.9	263.0	266.9	278.9	282.9	282.9	286.9	298.9	302.8	302.9	306.8	318.9	322.8	322.9	326.8	338.8	342.8	342.8	346.8	358.8	362.7	362.8	366.7	378.8	382.7	382.8	386.7	398.7	402.7	402.7	406.7
278.9	282.9	294.9	298.9	298.9	302.9	314.9	318.9	318.9	322.9	334.8	338.8	338.8	342.8	354.8	358.8	358.8	362.8	374.8	378.8	378.8	382.8	394.7	398.7	398.7	402.7	414.7	418.7	418.7	422.7	434.7	438.7
313.5	316.2	316.2	318.9	333.5	336.2	336.2	338.8	353.4	356.1	356.1	358.8	373.4	376.1	376.1	378.8	393.4	396.1	396.1	398.7	413.3	416.0	416.0	418.7	433.3	436.0	436.0	438.7	453.3	456.0	456.0	458.6
316.2	326.2	326.2	336.2	336.2	346.1	346.1	356.1	356.1	366.1	366.1	376.1	376.1	386.1	386.1	396.1	396.1	406.0	406.0	416.0	416.0	426.0	426.0	436.0	436.0	446.0	446.0	456.0	456.0	465.9	465.9	475.9
326.2	326.8	336.2	336.7	346.1	346.7	356.1	356.7	366.1	366.7	376.1	376.7	386.1	386.7	396.1	396.6	406.0	406.6	416.0	416.6	426.0	426.6	436.0	436.6	446.0	446.6	456.0	456.5	465.9	466.5	475.9	476.5
326.8	329.6	336.7	339.6	346.7	349.5	356.7	359.5	366.7	369.5	376.7	379.5	386.7	389.5	396.6	399.5	406.6	409.4	416.6	419.4	426.6	429.4	436.6	439.4	446.6	449.4	456.5	459.4	466.5	469.3	476.5	479.3

Unit 39		Unit 40		Unit 41		Unit 42		Unit 43		Unit 44		Unit 45		Unit 46		Unit 47		Unit 48		Unit 49		Unit 50		Unit 51		Unit 52		Unit 53		Unit 54		Unit 55		Unit 56		Unit 57	
38	39	39	40	40	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.3	78.33
415.1	418.7	419.1	422.7	435.1	438.7	439.1	442.7	455.0	458.6	459.0	462.6	475.0	478.6	479.0	482.6	495.0	498.6	499.0	502.6	514.9	518.5	518.9	522.5	534.9	538.5	538.9	542.5	554.9	558.5	558.9	562.5	574.8	578.4	578.8	582.4	594.8	598.4
418.7	422.6	422.7	426.6	438.7	442.6	442.7	446.6	458.6	462.6	462.6	466.6	478.6	482.5	482.6	486.5	498.6	502.5	502.6	506.5	518.5	522.5	522.5	526.5	538.5	542.4	542.5	546.4	558.5	562.4	562.5	566.4	578.4	582.4	582.4	586.4	598.4	602.3
438.7	442.7	454.6	458.6	458.6	462.6	474.6	478.6	478.6	482.6	494.6	498.6	498.6	502.6	514.5	518.5	518.5	522.5	534.5	538.5	538.5	542.5	554.5	558.5	558.5	562.5	574.4	578.4	578.4	582.4	594.4	598.4	598.4	602.4	614.4	618.4	618.4	622.4
473.2	475.9	475.9	478.6	493.2	495.9	495.9	498.6	513.2	515.9	515.9	518.5	533.1	535.8	535.8	538.5	553.1	555.8	555.8	558.5	573.1	575.8	575.8	578.4	593.0	595.7	595.7	598.4	613.0	615.7	615.7	618.4	633.0	635.7	635.7	638.3	652.9	655.6
475.9	485.9	485.9	495.9	495.9	505.9	505.9	515.9	515.9	525.8	525.8	535.8	535.8	545.8	545.8	555.8	555.8	565.8	565.8	575.8	575.8	585.7	585.7	595.7	595.7	605.7	605.7	615.7	615.7	625.7	625.7	635.7	635.7	645.6	645.6	655.6	655.6	665.60
485.9	486.5	495.9	496.5	505.9	506.5	515.9	516.4	525.8	526.4	535.8	536.4	545.8	546.4	555.8	556.4	565.8	566.4	575.8	576.3	585.7	586.3	595.7	596.3	605.7	606.3	615.7	616.3	625.7	626.3	635.7	636.2	645.6	646.2	655.6	656.2	665.6	666.18
486.5	489.3	496.5	499.3	506.5	509.3	516.4	519.3	526.4	529.2	536.4	539.2	546.4	549.2	556.4	559.2	566.4	569.2	576.3	579.2	586.3	589.1	596.3	599.1	606.3	609.1	616.3	619.1	626.3	629.1	636.2	639.1	646.2	649.0	656.2	659.0	666.2	669.00

ภาพที่ ค-1 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีเฉลี่ย (RSM-S-A)

ตารางคำนวณแผนงาน Repetitive Scheduling Method (RSM)

ปริมาณงาน	2,197.50	ตร.ม.	จำนวนหน่วยงานซ้ำ (N)	138	หน่วย
ระยะห่าง Joint	4.5	ม.	กำหนดงานซ้ำ 1 หน่วย	8	ลบ.ม.ต่อหน่วย (คอนกรีต 1 คันรถ)
ความกว้าง	5	ม.	การวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U)	16	ตร.ม.ต่อหน่วย
ความหนา	0.5	ม.			

งานปูผิวทางคอนกรีตโดยใช้ Slip-Form Paver

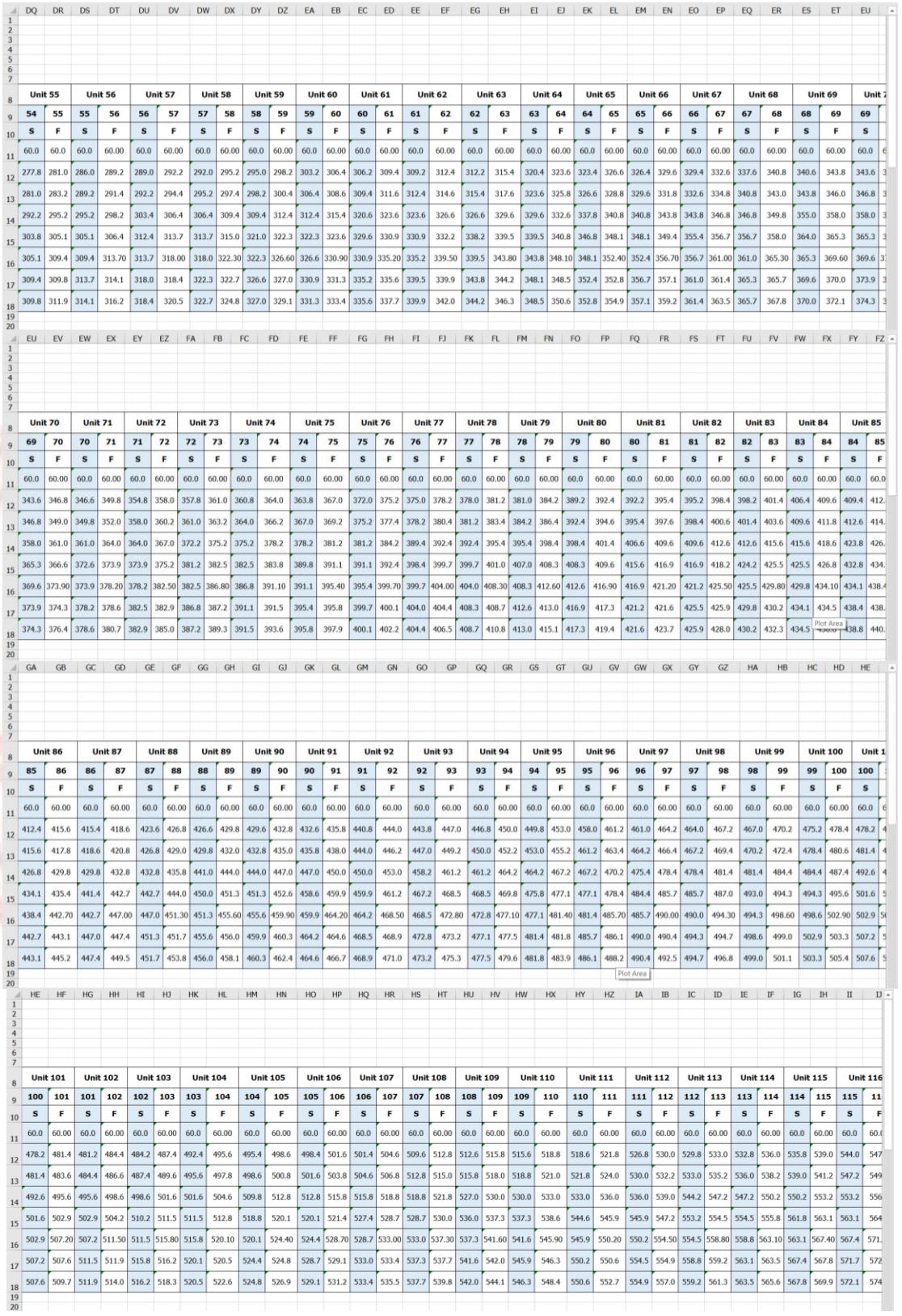
Activity Description			Predecessors				Durations (t, min)			a(i)	UPR	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4		Unit 5		Unit 6		Unit 7
No.	Activity	Description	P(1)	Lag(1)	P(2)	Lag(2)	a	m	b			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
												S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
1	A4	เตรียมความพร้อม					60.0	80.0	90.0	60.0		60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
2	A5	โหลดคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	A4	0			3.2	3.6	4.0	3.2	0.31	60.0	63.2	63.2	66.4	66.4	69.6	69.6	72.8	72.8	76.0	76.0	79.2	79.2
3	A6	ขนส่ง	A5	0			2.2	4.0	5.4	2.2	0.45	63.2	65.4	66.4	68.6	69.6	71.8	72.8	75.0	76.0	78.2	79.2	81.4	82.4
4	A7	เทคอนกรีต	A6	0			3.0	4.0	5.0	3.0	0.33	65.4	68.4	68.6	71.6	71.8	74.8	75.0	78.0	78.2	81.2	81.4	84.4	84.6
5	A8	ปูผิวทาง	A7	0			1.3	2.1	6.4	1.3	0.77	71.6	72.9	72.9	74.2	80.2	81.5	81.5	82.8	88.8	90.1	90.1	91.4	97.4
6	A9	แต่งผิวหน้าเรียบ	A8	0			4.3	10.7	12.8	4.3	0.23	72.9	77.2	77.2	81.5	81.5	85.8	85.8	90.1	90.1	94.4	94.4	98.7	98.7
7	A10	กรีดหน้าลายแอสฟัลท์น้ำยาบ่ม	A9	0			0.4	0.6	0.7	0.4	2.50	77.2	77.6	81.5	81.9	85.8	86.2	90.1	90.5	94.4	94.8	98.7	99.1	103.0
8	A11	คลุมผิว	A10	0			2.1	2.8	3.6	2.1	0.48	77.6	79.7	81.9	84.0	86.2	88.3	90.5	92.6	94.8	96.9	99.1	101.2	103.4

Unit 7		Unit 8		Unit 9		Unit 10		Unit 11		Unit 12		Unit 13		Unit 14		Unit 15		Unit 16		Unit 17		Unit 18		Unit 19		Unit 20		Unit 21		Unit 22	
6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
79.2	82.4	82.4	85.6	85.6	88.8	88.8	92.0	92.0	95.2	96.8	100.0	99.8	103.0	102.8	106.0	105.8	109.0	114.0	117.2	117.0	120.2	120.0	123.2	123.0	126.2	131.2	134.4	134.2	137.4	137.2	140.4
82.4	84.6	85.6	87.8	88.8	91.0	92.0	94.2	95.2	97.4	100.0	102.2	103.0	105.2	106.0	108.2	109.0	111.2	117.2	119.4	120.2	122.4	123.2	125.4	126.2	128.4	134.4	136.6	137.4	139.6	140.4	142.6
84.6	87.6	87.8	90.8	97.0	100.0	100.0	103.0	103.0	106.0	106.0	109.0	114.2	117.2	117.2	120.2	120.2	123.2	123.2	126.2	131.4	134.4	134.4	137.4	137.4	140.4	140.4	143.4	148.6	151.6	151.6	154.6
97.4	98.7	98.7	100.0	106.0	107.3	107.3	108.6	114.6	115.9	115.9	117.2	123.2	124.5	124.5	125.8	131.8	133.1	133.1	134.4	140.4	141.7	141.7	143.0	149.0	150.3	150.3	151.6	157.6	158.9	158.9	160.2
98.7	103.0	103.0	107.3	107.3	111.6	111.6	115.9	115.9	120.2	120.2	124.5	124.5	128.8	128.8	133.1	133.1	137.4	137.4	141.7	141.7	146.0	146.0	150.3	150.3	154.6	154.6	158.9	158.9	163.2	163.2	167.5
103.0	103.4	107.3	107.7	111.6	112.0	115.9	116.3	120.2	120.6	124.5	124.9	128.8	129.2	133.1	133.5	137.4	137.8	141.7	142.1	146.0	146.4	150.3	150.7	154.6	155.0	158.9	159.3	163.2	163.6	167.5	167.9
103.4	105.5	107.7	109.8	112.0	114.1	116.3	118.4	120.6	122.7	124.9	127.0	129.2	131.3	133.5	135.6	137.8	139.9	142.1	144.2	146.4	148.5	150.7	152.8	155.0	157.1	159.3	161.4	163.6	165.7	167.9	170.0

Unit 23		Unit 24		Unit 25		Unit 26		Unit 27		Unit 28		Unit 29		Unit 30		Unit 31		Unit 32		Unit 33		Unit 34		Unit 35		Unit 36		Unit 37		Unit 38	
22	23	23	24	24	25	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	38
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
140.2	143.4	148.4	151.6	151.4	154.6	154.4	157.6	157.4	160.6	165.6	168.8	168.6	171.8	171.6	174.8	174.6	177.8	182.8	186.0	185.8	189.0	188.8	192.0	191.8	195.0	200.0	203.2	203.0	206.2	206.0	209.2
143.4	145.6	151.6	153.8	154.6	156.8	157.6	159.8	160.6	162.8	168.8	171.0	171.8	174.0	174.8	177.0	177.8	180.0	186.0	188.2	189.0	191.2	192.0	194.2	195.0	197.2	203.2	205.4	206.2	208.4	209.2	211.4
154.6	157.6	157.6	160.6	165.8	168.8	168.8	171.8	171.8	174.8	174.8	177.8	183.0	186.0	186.0	189.0	189.0	192.0	192.0	195.0	200.2	203.2	203.2	206.2	206.2	209.2	209.2	212.2	217.4	220.4	220.4	223.4
166.2	167.5	167.5	168.8	174.8	176.1	176.1	177.4	183.4	184.7	184.7	186.0	192.0	193.3	193.3	194.6	200.6	201.9	201.9	203.2	209.2	210.5	210.5	211.8	217.8	219.1	219.1	220.4	226.4	227.7	227.7	229.0
167.5	171.8	171.8	176.1	176.1	180.4	180.4	184.7	184.7	189.0	189.0	193.3	193.3	197.6	197.6	201.9	201.9	206.2	206.2	210.5	210.5	214.8	214.8	219.1	219.1	223.4	223.4	227.7	227.7	232.0	232.0	236.3
171.8	172.2	176.1	176.5	180.4	180.8	184.7	185.1	189.0	189.4	193.3	193.7	197.6	198.0	201.9	202.3	206.2	206.6	210.5	210.9	214.8	215.2	219.1	219.5	223.4	223.8	227.7	228.1	232.0	232.4	236.3	236.7
172.2	174.3	176.5	178.6	180.8	182.9	185.1	187.2	189.4	191.5	193.7	195.8	198.0	200.1	202.3	204.4	206.6	208.7	210.9	213.0	215.2	217.3	219.5	221.6	223.8	225.9	228.1	230.2	232.4	234.5	236.7	238.8

Unit 39		Unit 40		Unit 41		Unit 42		Unit 43		Unit 44		Unit 45		Unit 46		Unit 47		Unit 48		Unit 49		Unit 50		Unit 51		Unit 52		Unit 53		Unit 54	
38	39	39	40	40	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
209.0	212.2	217.2	220.4	220.2	223.4	223.2	226.4	226.2	229.4	234.4	237.6	237.4	240.6	240.4	243.6	243.4	246.6	251.6	254.8	254.6	257.8	257.6	260.8	260.6	263.8	268.8	272.0	271.8	275.0	274.8	278.0
212.2	214.4	220.4	222.6	223.4	225.6	226.4	228.6	229.4	231.6	237.6	239.8	240.6	242.8	243.6	245.8	246.6	248.8	254.8	257.0	257.8	260.0	260.8	263.0	263.8	266.0	272.0	274.2	275.0	277.2	278.0	280.2
223.4	226.4	226.4	229.4	234.6	237.6	237.6	240.6	240.6	243.6	243.6	246.6	251.8	254.8	254.8	257.8	257.8	260.8	260.8	263.8	269.0	272.0	272.0	275.0	275.0	278.0	278.0	281.0	286.2	289.2	289.2	292.2
235.0	236.3	236.3	237.6	243.6	244.9	244.9	246.2	252.2	253.5	253.5	254.8	260.8	262.1	262.1	263.4	269.4	270.7	270.7	272.0	278.0	279.3	279.3	280.6	286.6	287.9	287.9	289.2	295.2	296.5	296.5	297.8
236.3	240.6	240.6	244.9	244.9	249.2	249.2	253.5	253.5	257.8	257.8	262.1	262.1	266.4	266.4	270.7	270.7	275.0	275.0	279.3	279.3	283.6	283.6	287.9	287.9	292.2	292.2	296.5	296.5	300.8	300.8	305.1
240.6	241.0	244.9	245.3	249.2	249.6	253.5	253.9	257.8	258.2	262.1	262.5	266.4	266.8	270.7	271.1	275.0	275.4	279.3	279.7	283.6	284.0	287.9	288.3	292.2	292.6	296.5	296.9	300.8	301.2	305.1	305.5
241.0	243.1	245.3	247.4	249.6	251.7	253.9	256.0	258.2	260.3	262.5	264.6	266.8	268.9	271.1	273.2	275.4	277.5	279.7	281.8	284.0	286.1	288.3	290.4	292.6	294.7	296.9	299.0	301.2	303.3	305.5	307.6

ภาพที่ ค-2 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) ส่วนที่ 1



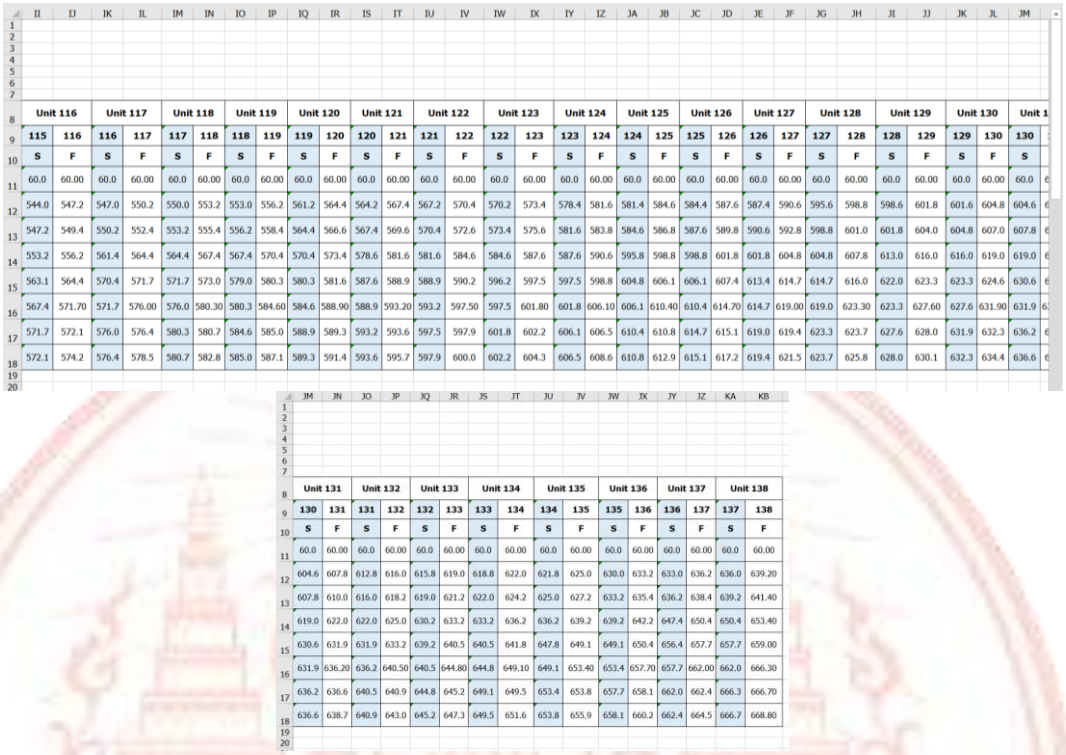
Unit 55		Unit 56		Unit 57		Unit 58		Unit 59		Unit 60		Unit 61		Unit 62		Unit 63		Unit 64		Unit 65		Unit 66		Unit 67		Unit 68		Unit 69		Unit 7
54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	
60.0	60.0	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	6
277.8	281.0	286.0	289.2	289.0	292.2	292.0	295.2	295.0	298.2	303.2	306.4	306.2	309.4	309.2	312.4	312.2	315.4	320.4	323.6	323.4	326.6	326.4	329.6	329.4	332.6	337.6	340.8	340.6	343.8	343.6	3
281.0	283.2	289.2	291.4	292.2	294.4	295.2	297.4	298.2	300.4	306.4	308.6	309.4	311.6	312.4	314.6	315.4	317.6	323.6	325.8	326.6	328.8	329.6	331.8	332.6	334.8	340.8	343.0	343.8	346.0	346.8	3
292.2	295.2	295.2	298.2	303.4	306.4	306.4	309.4	309.4	312.4	312.4	315.4	320.6	323.6	323.6	326.6	326.6	329.6	329.6	332.6	337.8	340.8	340.8	343.8	343.8	346.8	346.8	349.8	355.0	358.0	358.0	3
303.8	305.1	305.1	306.4	312.4	313.7	313.7	315.0	321.0	322.3	322.3	323.6	329.6	330.9	330.9	332.2	338.2	339.5	339.5	340.8	346.8	348.1	348.1	349.4	355.4	356.7	356.7	358.0	364.0	365.3	365.3	3
305.1	309.4	309.4	313.70	313.7	318.00	318.0	322.30	322.3	326.60	326.6	330.90	330.9	335.20	335.2	339.50	339.5	343.80	343.8	348.10	348.1	352.40	352.4	356.70	356.7	361.00	361.0	365.30	365.3	369.60	369.6	3
309.4	309.8	313.7	314.1	318.0	318.4	322.3	322.7	326.6	327.0	330.9	331.3	335.2	335.6	339.5	339.9	343.8	344.2	348.1	348.5	352.4	352.8	356.7	357.1	361.0	361.4	365.3	365.7	369.6	370.0	373.9	3
309.8	311.9	314.1	316.2	318.4	320.5	322.7	324.8	327.0	329.1	331.3	333.4	335.6	337.7	339.9	342.0	344.2	346.3	348.5	350.6	352.8	354.9	357.1	359.2	361.4	363.5	365.7	367.8	370.0	372.1	374.3	3

Unit 70		Unit 71		Unit 72		Unit 73		Unit 74		Unit 75		Unit 76		Unit 77		Unit 78		Unit 79		Unit 80		Unit 81		Unit 82		Unit 83		Unit 84		Unit 85	
69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.0
343.6	346.8	346.6	349.8	354.8	358.0	357.8	361.0	360.8	364.0	363.8	367.0	372.0	375.2	375.0	378.2	378.0	381.2	381.0	384.2	389.2	392.4	392.2	395.4	395.2	398.4	398.2	401.4	406.4	409.6	409.4	412.
346.8	349.0	349.8	352.0	358.0	360.2	361.0	363.2	364.0	366.2	367.0	369.2	375.2	377.4	378.2	380.4	381.2	383.4	384.2	386.4	392.4	394.6	395.4	397.6	398.4	400.6	401.4	403.6	409.6	411.8	412.6	414.
358.0	361.0	361.0	364.0	364.0	367.0	372.2	375.2	375.2	378.2	378.2	381.2	381.2	384.2	389.4	392.4	392.4	395.4	395.4	398.4	398.4	401.4	406.6	409.6	409.6	412.6	412.6	415.6	415.6	418.6	423.8	426.
365.3	366.6	372.6	373.9	373.9	375.2	381.2	382.5	382.5	383.8	389.8	391.1	391.1	392.4	398.4	399.7	399.7	401.0	407.0	408.3	408.3	409.6	415.6	416.9	416.9	418.2	424.2	425.5	425.5	426.8	432.8	434.
369.6	373.90	373.9	378.20	378.2	382.50	382.5	386.80	386.8	391.10	391.1	395.40	395.4	399.70	399.7	404.00	404.0	408.30	408.3	412.60	412.6	416.90	416.9	421.20	421.2	425.50	425.5	429.80	429.8	434.10	434.1	438.4
373.9	374.3	378.2	378.6	382.5	382.9	386.8	387.2	391.1	391.5	395.4	395.8	399.7	400.1	404.0	404.4	408.3	408.7	412.6	413.0	416.9	417.3	421.2	421.6	425.5	425.9	429.8	430.2	434.1	434.5	438.4	438.
374.3	376.4	378.6	380.7	382.9	385.0	387.2	389.3	391.5	393.6	395.8	397.9	400.1	402.2	404.4	406.5	408.7	410.8	413.0	415.1	417.3	419.4	421.6	423.7	425.9	428.0	430.2	432.3	434.5	[illegible]	438.8	440.

Unit 86		Unit 87		Unit 88		Unit 89		Unit 90		Unit 91		Unit 92		Unit 93		Unit 94		Unit 95		Unit 96		Unit 97		Unit 98		Unit 99		Unit 100		Unit 1
85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	90	91	91	92	92	93	93	94	94	95	95	96	96	97	97	98	98	99	99	100	100	
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	
60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	6
412.4	415.6	415.4	418.6	423.6	426.8	426.6	429.8	429.6	432.8	432.6	435.8	440.8	444.0	443.8	447.0	446.8	450.0	449.8	453.0	458.0	461.2	461.0	464.2	464.0	467.2	467.0	470.2	475.2	478.4	478.2	4
415.6	417.8	418.6	420.8	426.8	429.0	429.8	432.0	432.8	435.0	435.8	438.0	444.0	446.2	447.0	449.2	450.0	452.2	453.0	455.2	461.2	463.4	464.2	466.4	467.2	469.4	470.2	472.4	478.4	480.6	481.4	4
426.8	429.8	429.8	432.8	432.8	435.8	441.0	444.0	444.0	447.0	447.0	450.0	450.0	453.0	458.2	461.2	461.2	464.2	464.2	467.2	467.2	470.2	475.4	478.4	478.4	481.4	481.4	484.4	484.4	487.4	492.6	4
434.1	435.4	441.4	442.7	442.7	444.0	450.0	451.3	451.3	452.6	458.6	459.9	459.9	461.2	467.2	468.5	468.5	469.8	475.8	477.1	477.1	478.4	484.4	485.7	485.7	487.0	493.0	494.3	494.3	495.6	501.6	5
438.4	442.70	442.7	447.00	447.0	451.30	451.3	455.60	455.6	459.90	459.9	464.20	464.2	468.50	468.5	472.80	472.8	477.10	477.1	481.40	481.4	485.70	485.7	490.00	490.0	494.30	494.3	498.60	498.6	502.90	502.9	5
442.7	443.1	447.0	447.4	451.3	451.7	455.6	456.0	459.9	460.3	464.2	464.6	468.5	468.9	472.8	473.2	477.1	477.5	481.4	481.8	485.7	486.1	490.0	490.4	494.3	494.7	498.6	499.0	502.9	503.3	507.2	5
443.1	445.2	447.4	449.5	451.7	453.8	456.0	458.1	460.3	462.4	464.6	466.7	468.9	471.0	473.2	475.3	477.5	479.6	481.8	483.9	486.1	488.2	490.4	492.5	494.7	496.8	499.0	501.1	503.3	505.4	507.6	5

Unit 101		Unit 102		Unit 103		Unit 104		Unit 105		Unit 106		Unit 107		Unit 108		Unit 109		Unit 110		Unit 111		Unit 112		Unit 113		Unit 114		Unit 115		Unit 116	
100	101	101	102	102	103	103	104	104	105	105	106	106	107	107	108	108	109	109	110	110	111	111	112	112	113	113	114	114	115	115	11
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.0
478.2	481.4	481.2	484.4	484.2	487.4	492.4	495.6	495.4	498.6	498.4	501.6	501.4	504.6	509.6	512.8	512.6	515.8	515.6	518.8	518.6	521.8	526.8	530.0	529.8	533.0	532.8	536.0	535.8	539.0	544.0	547
481.4	483.6	484.4	486.6	487.4	489.6	495.6	497.8	498.6	500.8	501.6	503.8	504.6	506.8	512.8	515.0	515.8	518.0	518.8	521.0	521.8	524.0	530.0	532.2	533.0	535.2	536.0	538.2	539.0	541.2	547.2	549
492.6	495.6	495.6	498.6	498.6	501.6	501.6	504.6	509.8	512.8	512.8	515.8	515.8	518.8	518.8	521.8	527.0	530.0	530.0	533.0	533.0	536.0	536.0	539.0	544.2	547.2	547.2	550.2	550.2	553.2	553.2	556
501.6	502.9	502.9	504.2	510.2	511.5	511.5	512.8	518.8	520.1	520.1	521.4	527.4	528.7	528.7	530.0	536.0	537.3	537.3	538.6	544.6	545.9	545.9	547.2	553.2	554.5	554.5	555.8	561.8	563.1	563.1	564
502.9	507.20	507.2	511.50	511.5	515.80	515.8	520.10	520.1	524.40	524.4	528.70	528.7	533.00	533.0	537.30	537.3	541.60	541.6	545.90	545.9	550.20	550.2	554.50	554.5	558.80	558.8	563.10	563.1	567.40	567.4	571.
507.2	507.6	511.5	511.9	515.8	516.2	520.1	520.5	524.4	524.8	528.7	529.1	533.0	533.4	537.3	537.7	541.6	542.0	545.9	546.3	550.2	550.6	554.5	554.9	558.8	559.2	563.1	563.5	567.4	567.8	571.7	572
507.6	509.7	511.9	514.0	516.2	518.3	520.5	522.6	524.8	526.9	529.1	531.2	533.4	535.5	537.7	539.8	542.0	544.1	546.3	548.4	550.6	552.7	554.9	557.0	559.2	561.3	563.5	565.6	567.8	569.9	572.1	574

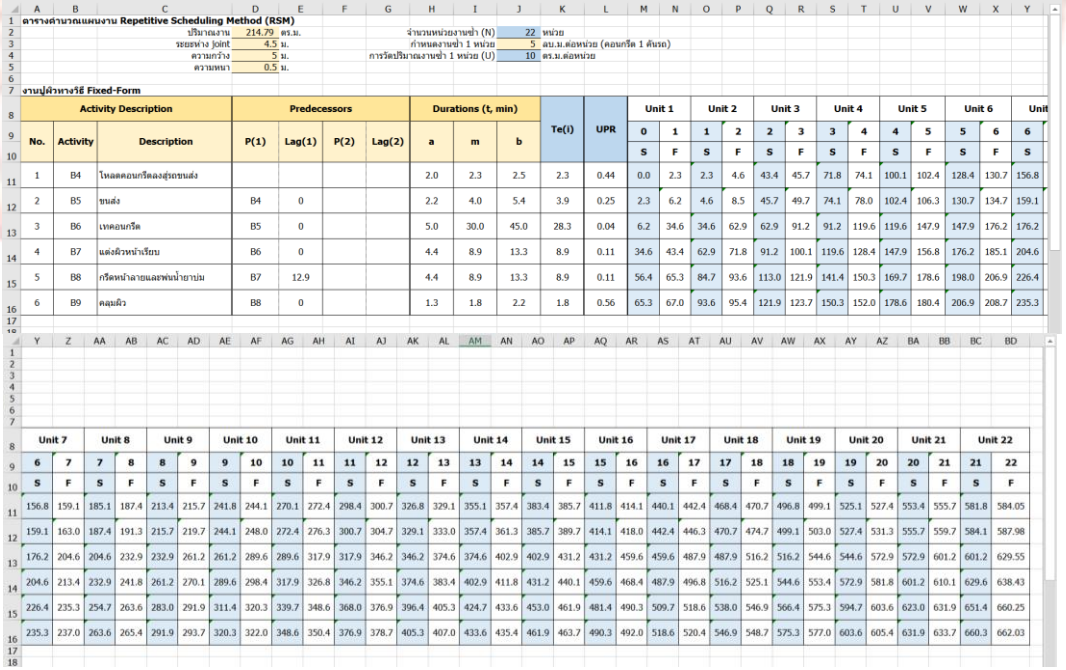
ภาพที่ ค-3 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) ส่วนที่ 2



Unit 116		Unit 117		Unit 118		Unit 119		Unit 120		Unit 121		Unit 122		Unit 123		Unit 124		Unit 125		Unit 126		Unit 127		Unit 128		Unit 129		Unit 130		Unit 1
115	116	116	117	117	118	118	119	119	120	120	121	121	122	122	123	123	124	124	125	125	126	126	127	127	128	128	129	129	130	130
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0
544.0	547.2	547.0	550.2	550.0	553.2	553.0	556.2	561.2	564.4	564.2	567.4	567.2	570.4	570.2	573.4	578.4	581.6	581.4	584.6	584.4	587.6	587.4	590.6	595.6	598.8	598.6	601.8	601.6	604.8	604.6
547.2	549.4	550.2	552.4	553.2	555.4	556.2	558.4	564.4	566.6	567.4	569.6	570.4	572.6	573.4	575.6	581.6	583.8	584.6	586.8	587.6	589.8	590.6	592.8	598.8	601.0	601.8	604.0	604.8	607.0	607.8
553.2	556.2	561.4	564.4	564.4	567.4	567.4	570.4	570.4	573.4	578.6	581.6	581.6	584.6	584.6	587.6	587.6	590.6	595.8	598.8	598.8	601.8	601.8	604.8	604.8	607.8	613.0	616.0	616.0	619.0	619.0
563.1	564.4	570.4	571.7	571.7	573.0	579.0	580.3	580.3	581.6	587.6	588.9	588.9	590.2	596.2	597.5	597.5	598.8	604.8	606.1	606.1	607.4	613.4	614.7	614.7	616.0	622.0	623.3	623.3	624.6	630.6
567.4	571.70	571.7	576.00	576.0	580.30	580.3	584.60	584.6	588.90	588.9	593.20	593.2	597.50	597.5	601.80	601.8	606.10	606.1	610.40	610.4	614.70	614.7	619.00	619.0	623.30	623.3	627.60	627.6	631.90	631.9
571.7	572.1	576.0	576.4	580.3	580.7	584.6	585.0	588.9	589.3	593.2	593.6	597.5	597.9	601.8	602.2	606.1	606.5	610.4	610.8	614.7	615.1	619.0	619.4	623.3	623.7	627.6	628.0	631.9	632.3	636.2
572.1	574.2	576.4	578.5	580.7	582.8	585.0	587.1	589.3	591.4	593.6	595.7	597.9	600.0	602.2	604.3	606.5	608.6	610.8	612.9	615.1	617.2	619.4	621.5	623.7	625.8	628.0	630.1	632.3	634.4	636.6

Unit 131		Unit 132		Unit 133		Unit 134		Unit 135		Unit 136		Unit 137		Unit 138	
130	131	131	132	132	133	133	134	134	135	135	136	136	137	137	138
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00	60.0	60.00
604.6	607.8	612.8	616.0	615.8	619.0	618.8	622.0	621.8	625.0	630.0	633.2	633.0	636.2	636.0	639.20
607.8	610.0	616.0	618.2	619.0	621.2	622.0	624.2	625.0	627.2	633.2	635.4	636.2	638.4	639.2	641.40
619.0	622.0	622.0	625.0	630.2	633.2	633.2	636.2	636.2	639.2	639.2	642.2	647.4	650.4	650.4	653.40
630.6	631.9	631.9	633.2	639.2	640.5	640.5	641.8	647.8	649.1	649.1	650.4	656.4	657.7	657.7	659.00
631.9	636.20	636.2	640.50	640.5	644.80	644.8	649.10	649.1	653.40	653.4	657.70	657.7	662.00	662.0	666.30
636.2	636.6	640.5	640.9	644.8	645.2	649.1	649.5	653.4	653.8	657.7	658.1	662.0	662.4	666.3	666.70
636.6	638.7	640.9	643.0	645.2	647.3	649.5	651.6	653.8	655.9	658.1	660.2	662.4	664.5	666.7	668.80

ภาพที่ ค-4 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางด้วย Slip-Form Paver กรณีดีที่สุด (RSM-S-B) ส่วนที่ 3



ตารางคำนวณแผนงาน **Repetitive Scheduling Method (RSM)**

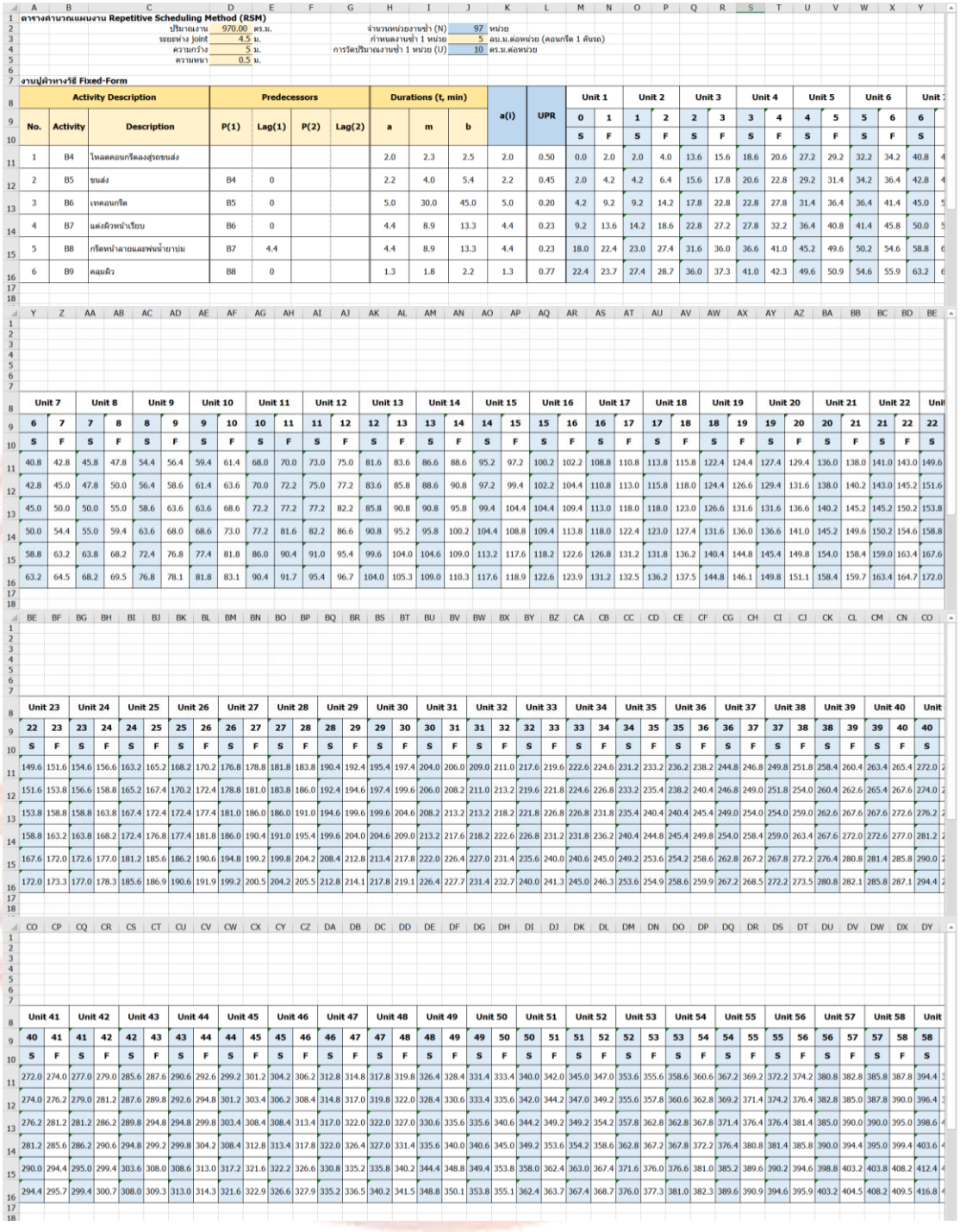
ปริมาณงาน	214.79	ตร.ม.	จำนวนหน่วยงานซ้ำ (N)	22	หน่วย
ระยะห่าง Joint	4.5	ม.	กำหนดงานซ้ำ 1 หน่วย	5	ตร.ม.ต่อหน่วย (คอนกรีต 1 คันรถ)
ความกว้าง	5	ม.	การวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U)	10	ตร.ม.ต่อหน่วย
ความหนา	0.5	ม.			

งานปูผิวทางวิธี **Fixed-Form**

Activity Description			Predecessors				Durations (t, min)			Te(i)	UPR	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4		Unit 5		Unit 6		Unit
No.	Activity	Description	P(1)	Lag(1)	P(2)	Lag(2)	a	m	b			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
												S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
1	B4	โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง					2.0	2.3	2.5	2.3	0.44	0.0	2.3	2.3	4.6	43.4	45.7	71.8	74.1	100.1	102.4	128.4	130.7	156.8
2	B5	ขนส่ง	B4	0			2.2	4.0	5.4	3.9	0.25	2.3	6.2	4.6	8.5	45.7	49.7	74.1	78.0	102.4	106.3	130.7	134.7	159.1
3	B6	เทคอนกรีต	B5	0			5.0	30.0	45.0	28.3	0.04	6.2	34.6	34.6	62.9	62.9	91.2	91.2	119.6	119.6	147.9	147.9	176.2	176.2
4	B7	แต่งผิวหน้าเรียบ	B6	0			4.4	8.9	13.3	8.9	0.11	34.6	43.4	62.9	71.8	91.2	100.1	119.6	128.4	147.9	156.8	176.2	185.1	204.6
5	B8	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	B7	12.9			4.4	8.9	13.3	8.9	0.11	56.4	65.3	84.7	93.6	113.0	121.9	141.4	150.3	169.7	178.6	198.0	206.9	226.4
6	B9	คลุมผิว	B8	0			1.3	1.8	2.2	1.8	0.56	65.3	67.0	93.6	95.4	121.9	123.7	150.3	152.0	178.6	180.4	206.9	208.7	235.3

Unit 7		Unit 8		Unit 9		Unit 10		Unit 11		Unit 12		Unit 13		Unit 14		Unit 15		Unit 16		Unit 17		Unit 18		Unit 19		Unit 20		Unit 21		Unit 22	
6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
156.8	159.1	185.1	187.4	213.4	215.7	241.8	244.1	270.1	272.4	298.4	300.7	326.8	329.1	355.1	357.4	383.4	385.7	411.8	414.1	440.1	442.4	468.4	470.7	496.8	499.1	525.1	527.4	553.4	555.7	581.8	584.05
159.1	163.0	187.4	191.3	215.7	219.7	244.1	248.0	272.4	276.3	300.7	304.7	329.1	333.0	357.4	361.3	385.7	389.7	414.1	418.0	442.4	446.3	470.7	474.7	499.1	503.0	527.4	531.3	555.7	559.7	584.1	587.98
176.2	204.6	204.6	232.9	232.9	261.2	261.2	289.6	289.6	317.9	317.9	346.2	346.2	374.6	374.6	402.9	402.9	431.2	431.2	459.6	459.6	487.9	487.9	516.2	516.2	544.6	544.6	572.9	572.9	601.2	601.2	629.55
204.6	213.4	232.9	241.8	261.2	270.1	289.6	298.4	317.9	326.8	346.2	355.1	374.6	383.4	402.9	411.8	431.2	440.1	459.6	468.4	487.9	496.8	516.2	525.1	544.6	553.4	572.9	581.8	601.2	610.1	629.6	638.43
226.4	235.3	254.7	263.6	283.0	291.9	311.4	320.3	339.7	348.6	368.0	376.9	396.4	405.3	424.7	433.6	453.0	461.9	481.4	490.3	509.7	518.6	538.0	546.9	566.4	575.3	594.7	603.6	623.0	631.9	651.4	660.25
235.3	237.0	263.6	265.4	291.9	293.7	320.3	322.0	348.6	350.4	376.9	378.7	405.3	407.0	433.6	435.4	461.9	463.7	490.3	492.0	518.6	520.4	546.9	548.7	575.3	577.0	603.6	605.4	631.9	633.7	660.3	662.03

ภาพที่ ค-5 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีเฉลี่ย (RSM-F-A)



ตารางคำนวณแผนงาน Repetitive Scheduling Method (RSM)

ปริมาณงาน	970.00	ตร.ม.	
ระยะห่าง Joint	4.5	ม.	
ความกว้าง	5	ม.	
ความหนา	0.5	ม.	
จำนวนหน่วยงานซ้ำ (N)	97	หน่วย	
กำหนดงานซ้ำ 1 หน่วย	5	ลบ.ม.ต่อหน่วย (คอนกรีต 1 คันรถ)	
การวัดปริมาณงานซ้ำ 1 หน่วย (U)	10	ตร.ม.ต่อหน่วย	

งานปูผิวทางวิธี Fixed-Form

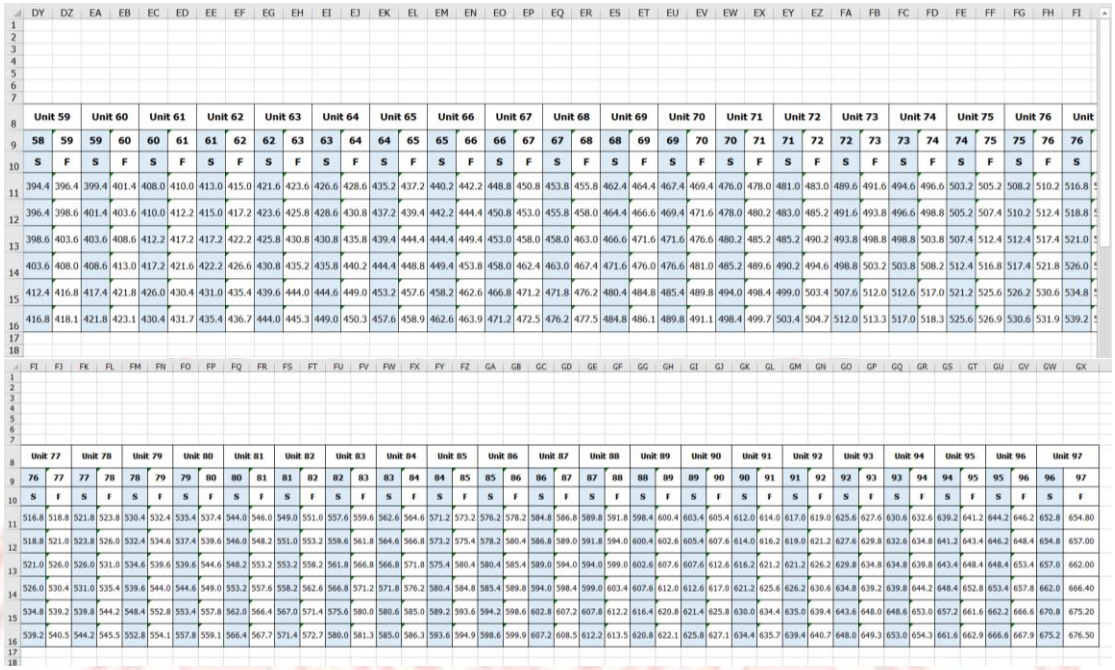
Activity Description			Predecessors				Durations (t, min)			a(i)	UPR	Unit 1		Unit 2		Unit 3		Unit 4		Unit 5		Unit 6		Unit 7	
No.	Activity	Description	P(1)	Lag(1)	P(2)	Lag(2)	a	m	b			0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
												S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
1	B4	โหลดคอนกรีตลงสู่รถขนส่ง					2.0	2.3	2.5	2.0	0.50	0.0	2.0	2.0	4.0	13.6	15.6	18.6	20.6	27.2	29.2	32.2	34.2	40.8	42.8
2	B5	ขนส่ง	B4	0			2.2	4.0	5.4	2.2	0.45	2.0	4.2	4.2	6.4	15.6	17.8	20.6	22.8	29.2	31.4	34.2	36.4	42.8	45.0
3	B6	เทคอนกรีต	B5	0			5.0	30.0	45.0	5.0	0.20	4.2	9.2	9.2	14.2	17.8	22.8	22.8	27.8	31.4	36.4	36.4	41.4	45.0	50.0
4	B7	แต่งผิวหน้าเรียบ	B6	0			4.4	8.9	13.3	4.4	0.23	9.2	13.6	14.2	18.6	22.8	27.2	27.8	32.2	36.4	40.8	41.4	45.8	50.0	54.6
5	B8	กรีดหน้าลายและพ่นน้ำยาบ่ม	B7	4.4			4.4	8.9	13.3	4.4	0.23	18.0	22.4	23.0	27.4	31.6	36.0	36.6	41.0	45.2	49.6	50.2	54.6	58.8	63.2
6	B9	คลุมผิว	B8	0			1.3	1.8	2.2	1.3	0.77	22.4	23.7	27.4	28.7	36.0	37.3	41.0	42.3	49.6	50.9	54.6	55.9	63.2	64.5

Unit 8		Unit 9		Unit 10		Unit 11		Unit 12		Unit 13		Unit 14		Unit 15		Unit 16		Unit 17		Unit 18		Unit 19		Unit 20		Unit 21		Unit 22		Unit 23	
7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
42.8	45.8	47.8	54.4	56.4	59.4	61.4	68.0	70.0	73.0	75.0	81.6	83.6	86.6	88.6	95.2	97.2	100.2	102.2	108.8	110.8	113.8	115.8	122.4	124.4	127.4	129.4	136.0	138.0	141.0	143.0	149.6
45.0	47.8	50.0	56.4	58.6	61.4	63.6	70.0	72.2	75.0	77.2	83.6	85.8	88.6	90.8	97.2	99.4	102.2	104.4	110.8	113.0	115.8	118.0	124.4	126.6	129.4	131.6	138.0	140.2	143.0	145.2	151.6
45.0	50.0	50.0	55.0	58.6	63.6	63.6	68.6	72.2	77.2	77.2	82.2	85.8	90.8	90.8	95.8	99.4	104.4	104.4	109.4	113.0	118.0	118.0	123.0	126.6	131.6	131.6	136.6	140.2	145.2	145.2	150.2	153.8
50.0	54.4	55.0	59.4	63.6	68.0	68.6	73.0	77.2	81.6	82.2	86.6	90.8	95.2	95.8	100.2	104.4	108.8	109.4	113.8	118.0	122.4	123.0	127.4	131.6	136.0	136.6	141.0	145.2	149.6	150.2	154.6	158.8
58.8	63.2	63.8	68.2	72.4	76.8	77.4	81.8	86.0	90.4	91.0	95.4	99.6	104.0	104.6	109.0	113.2	117.6	118.2	122.6	126.8	131.2	131.8	136.2	140.4	144.8	145.4	149.8	154.0	158.4	159.0	163.4	167.6
63.2	64.5	68.2	69.5	76.8	78.1	81.8	83.1	90.4	91.7	95.4	96.7	104.0	105.3	109.0	110.3	117.6	118.9	122.6	123.9	131.2	132.5	136.2	137.5	144.8	146.1	149.8	151.1	158.4	159.7	163.4	164.7	172.0

Unit 24		Unit 25		Unit 26		Unit 27		Unit 28		Unit 29		Unit 30		Unit 31		Unit 32		Unit 33		Unit 34		Unit 35		Unit 36		Unit 37		Unit 38		Unit 39		Unit 40		Unit 41	
23	24	24	25	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	38	38	39	39	40	40	41
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
151.6	154.6	156.6	163.2	165.2	168.2	170.2	176.8	178.8	181.8	183.8	190.4	192.4	195.4	197.4	204.0	206.0	209.0	211.0	217.6	219.6	222.6	224.6	231.2	233.2	236.2	238.2	244.8	246.8	249.8	251.8	258.4	260.4	263.4	265.4	272.0
153.8	156.6	158.8	165.2	167.4	170.2	172.4	178.8	181.0	183.8	186.0	192.4	194.6	197.4	199.6	206.0	208.2	211.0	213.2	219.6	221.8	224.6	226.8	233.2	235.4	238.2	240.4	246.8	249.0	251.8	254.0	260.4	262.6	265.4	267.6	274.0
158.8	163.8	163.8	168.2	172.4	176.8	177.4	181.8	186.0	190.4	191.0	195.4	199.6	204.0	204.6	209.0	213.2	217.6	218.2	222.6	226.8	231.2	231.8	236.2	240.4	244.8	245.4	249.8	254.0	258.4	259.0	263.4	267.6	272.0	272.6	277.0
167.6	172.6	172.6	177.0	181.2	185.6	186.2	190.6	194.8	199.2	199.8	204.2	208.4	212.8	213.4	217.8	222.0	226.4	227.0	231.4	235.6	240.0	240.6	245.0	249.2	253.6	254.2	258.6	262.8	267.2	267.8	272.2	276.4	280.8	281.4	285.8
173.3	177.0	178.3	185.6	186.9	190.6	191.9	199.2	200.5	204.2	205.5	212.8	214.1	217.8	219.1	226.4	227.7	231.4	232.7	240.0	241.3	245.0	246.3	253.6	254.9	258.6	259.9	267.2	268.5	272.2	273.5	280.8	282.1	285.8	287.1	294.4

Unit 42		Unit 43		Unit 44		Unit 45		Unit 46		Unit 47		Unit 48		Unit 49		Unit 50		Unit 51		Unit 52		Unit 53		Unit 54		Unit 55		Unit 56		Unit 57		Unit 58		Unit 59	
41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
274.0	277.0	279.0	285.6	287.6	290.6	292.6	299.2	301.2	304.2	306.2	312.8	314.8	317.8	319.8	326.4	328.4	331.4	333.4	340.0	342.0	345.0	347.0	353.6	355.6	358.6	360.6	367.2	369.2	372.2	374.2	380.8	382.8	385.8	387.8	394.4
276.2	279.0	281.2	287.6	289.8	292.6	294.8	301.2	303.4	306.2	308.4	314.8	317.0	319.8	322.0	328.4	330.6	333.4	335.6	342.0	344.2	347.0	349.2	355.6	357.8	360.6	362.8	369.2	371.4	374.2	376.4	382.8	385.0	387.8	390.0	396.4
281.2	281.2	286.2	289.8	294.8	294.8	299.8	303.4	308.4	308.4	313.4	317.0	322.0	322.0	327.0	330.6	335.6	335.6	340.6	344.2	349.2	349.2	354.2	357.8	362.8	362.8	367.8	371.4	376.4	376.4	381.4	385.0	390.0	390.0	395.0	398.6
285.6	286.2	290.6	294.8	299.2	299.8	304.2	308.4	312.8	313.4	317.8	322.0	326.4	327.0	331.4	335.6	340.0	340.6	345.0	349.2	353.6	354.2	358.6	362.8	367.2	367.8	372.2	376.4	380.8	381.4	385.8	390.0	394.4	395.0	399.4	403.6
294.0	295.0	299.4	303.6	308.0	308.6	313.0	317.2	321.6	322.2	326.6	330.8	335.2	335.8	340.2	344.4	348.8	349.4	353.8	358.0	362.4	363.0	367.4	371.6	376.0	376.6	381.0	385.2	389.6	390.2	394.6	398.8	403.2	403.8	408.2	412.4
295.7	299.4	300.7	308.0	309.3	313.0	314.3	321.6	322.9	326.6	327.9	335.2	336.5	340.2	341.5	348.8	350.1	353.8	355.1	362.4	363.7	367.4	368.7	376.0	377.3	381.0	382.3	389.6	390.9	394.6	395.9	403.2	404.5	408.2	409.5	416.8

ภาพที่ ค-6 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B) ส่วนที่ 1



Unit 59		Unit 60		Unit 61		Unit 62		Unit 63		Unit 64		Unit 65		Unit 66		Unit 67		Unit 68		Unit 69		Unit 70		Unit 71		Unit 72		Unit 73		Unit 74		Unit 75		Unit 76		Unit
58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
394.4	396.4	399.4	401.4	408.0	410.0	413.0	415.0	421.6	423.6	426.6	428.6	435.2	437.2	440.2	442.2	448.8	450.8	453.8	455.8	462.4	464.4	467.4	469.4	476.0	478.0	481.0	483.0	489.6	491.6	494.6	496.6	503.2	505.2	508.2	510.2	516.8
396.4	398.6	401.4	403.6	410.0	412.2	415.0	417.2	423.6	425.8	428.6	430.8	437.2	439.4	442.2	444.4	450.8	453.0	455.8	458.0	464.4	466.6	469.4	471.6	478.0	480.2	483.0	485.2	491.6	493.8	496.6	498.8	505.2	507.4	510.2	512.4	518.8
398.6	403.6	403.6	408.6	412.2	417.2	417.2	422.2	425.8	430.8	430.8	435.8	439.4	444.4	444.4	449.4	453.0	458.0	458.0	463.0	466.6	471.6	471.6	476.6	480.2	485.2	485.2	490.2	493.8	498.8	498.8	503.8	507.4	512.4	512.4	517.4	521.0
403.6	408.0	408.6	413.0	417.2	421.6	422.2	426.6	430.8	435.2	435.8	440.2	444.4	448.8	449.4	453.8	458.0	462.4	463.0	467.4	471.6	476.0	476.6	481.0	485.2	489.6	490.2	494.6	498.8	503.2	503.8	508.2	512.4	516.8	517.4	521.8	526.0
412.4	416.8	417.4	421.8	426.0	430.4	431.0	435.4	439.6	444.0	444.6	449.0	453.2	457.6	458.2	462.6	466.8	471.2	471.8	476.2	480.4	484.8	485.4	489.8	494.0	498.4	499.0	503.4	507.6	512.0	512.6	517.0	521.2	525.6	526.2	530.6	534.8
416.8	418.1	421.8	423.1	430.4	431.7	435.4	436.7	444.0	445.3	449.0	450.3	457.6	458.9	462.6	463.9	471.2	472.5	476.2	477.5	484.8	486.1	489.8	491.1	498.4	499.7	503.4	504.7	512.0	513.3	517.0	518.3	525.6	526.9	530.6	531.9	539.2

Unit 77		Unit 78		Unit 79		Unit 80		Unit 81		Unit 82		Unit 83		Unit 84		Unit 85		Unit 86		Unit 87		Unit 88		Unit 89		Unit 90		Unit 91		Unit 92		Unit 93		Unit 94		Unit 95		Unit 96		Unit 97	
76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	90	91	91	92	92	93	93	94	94	95	95	96	96	97
S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
516.8	518.8	521.8	523.8	530.4	532.4	535.4	537.4	544.0	546.0	549.0	551.0	557.6	559.6	562.6	564.6	571.2	573.2	576.2	578.2	584.8	586.8	589.8	591.8	598.4	600.4	603.4	605.4	612.0	614.0	617.0	619.0	625.6	627.6	630.6	632.6	639.2	641.2	644.2	646.2	652.8	654.80
518.8	521.0	523.8	526.0	532.4	534.6	537.4	539.6	546.0	548.2	551.0	553.2	559.6	561.8	564.6	566.8	573.2	575.4	578.2	580.4	586.8	589.0	591.8	594.0	600.4	602.6	605.4	607.6	614.0	616.2	619.0	621.2	627.6	629.8	632.6	634.8	641.2	643.4	646.2	648.4	654.8	657.00
521.0	526.0	526.0	531.0	534.6	539.6	539.6	544.6	548.2	553.2	553.2	558.2	561.8	566.8	566.8	571.8	575.4	580.4	580.4	585.4	589.0	594.0	594.0	599.0	602.6	607.6	607.6	612.6	616.2	621.2	621.2	626.2	629.8	634.8	634.8	639.8	643.4	648.4	648.4	653.4	657.0	662.00
526.0	530.4	531.0	535.4	539.6	544.0	544.6	549.0	553.2	557.6	558.2	562.6	566.8	571.2	571.8	576.2	580.4	584.8	585.4	589.8	594.0	598.4	599.0	603.4	607.6	612.0	612.6	617.0	621.2	625.6	626.2	630.6	634.8	639.2	639.8	644.2	648.4	652.8	653.4	657.8	662.0	666.40
534.8	539.2	539.8	544.2	548.4	552.8	553.4	557.8	562.0	566.4	567.0	571.4	575.6	580.0	580.6	585.0	589.2	593.6	594.2	598.6	602.8	607.2	607.8	612.2	616.4	620.8	621.4	625.8	630.0	634.4	635.0	639.4	643.6	648.0	648.6	653.0	657.2	661.6	662.2	666.6	670.8	675.20
539.2	540.5	544.2	545.5	552.8	554.1	557.8	559.1	566.4	567.7	571.4	572.7	580.0	581.3	585.0	586.3	593.6	594.9	598.6	599.9	607.2	608.5	612.2	613.5	620.8	622.1	625.8	627.1	634.4	635.7	639.4	640.7	648.0	649.3	653.0	654.3	661.6	662.9	666.6	667.9	675.2	676.50

ภาพที่ ค-7 ผลการคำนวณแบบจำลอง RSM กระบวนการปูผิวทางวิธี Fixed-Form กรณีดีที่สุด (RSM-F-B) ส่วนที่ 2

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายพงศธร ชินบุตร
ชื่อวิทยานิพนธ์	การจำลองกระบวนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงผลิตภาพ : กรณีศึกษากระบวนการปูผิวทางคอนกรีตแบบเลื่อน
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ประวัติ	เกิดวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2538 การศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาเตรียมวิศวกรรมโยธา โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2555 ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2559