ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

.....

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา ..... วิศวกรรมโยธา .....

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง ผลกระทบของขนาดการผลิตในงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน

Effect of Batch Size in Repetitive Construction

นามผู้วิจัย นางสาวชยาภรณ์ ขุนชำนาญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนีรัตน์ กุศลาศัย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ยอดสุดใจ, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของขนาดการผลิตในงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน

Effect of Batch Size in Repetitive Construction

โดย

นางสาวชยาภรณ์ ขุนชำนาญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชยาภรณ์ ขุนชำนาญ 2556: ผลกระทบของขนาดการผลิตในงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนีรัตน์ กุศลาศัย, Ph.D. 109 หน้า

งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างที่มีรูปแบบการทำงานซ้ำกันมักกำหนดสมมติฐานให้ทุกกิจกรรมมีหน่วยก่อสร้างที่เหมือนกัน แต่ในการทำงานจริงพบว่า แต่ละกิจกรรมอาจมีหน่วยก่อสร้างที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น งานก่อสร้างทาวเฮ้าส์หนึ่งแปลงประกอบด้วยบ้านหลายหลังที่มีโครงสร้างบางอย่างร่วมกัน งานตอกเสาเข็มและงานโครงหลังคามักถูกกำหนดให้ดำเนินการในคราวเดียวกันทั้งแปลง แต่งานทาสีและงานติดตั้งสุขภัณฑ์จะถูกดำเนินการทีละ 1 หลัง ดังนั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีแบบเดิมจึงอาจไม่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของขนาดการผลิตที่มีต่อการดำเนินงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน โดยจะพิจารณาผลกระทบที่มีต่อระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time) ระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP) เมื่อทุกกิจกรรมมีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ Finish to Start โดยอาศัยโครงข่ายสมมติเพื่อทำการเปรียบเทียบ 4 กรณีคือ 1) อัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน 2) อัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน 3) อัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน และ 4) อัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า กรณีกิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากัน กระบวนการทำงานที่มีขนาดการผลิตที่เล็กกว่าจะมีระยะเวลาโครงการและระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่สั้นกว่า การลดขนาดการผลิตของบางกิจกรรมอาจไม่สามารถทำให้ระยะเวลาดังกล่าวลดลงแต่อาจเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ในกรณีที่อัตราการทำงานไม่เท่ากัน ระยะเวลาโครงการถูกกำหนดจากระยะเวลาที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดใช้ในการทำงาน ซึ่งระยะเวลาการผลิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน และในกรณีนี้จะเกิดการรอคอยของกลุ่มคนงาน นอกจากนี้งานวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อช่วยคำนวณหาผลกระทบของขนาดการผลิตสำหรับโครงข่ายที่ซับซ้อนแสดงในโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์

_____ _____ ___ / ___ / ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chayaporn Khunchumnan 2013: Effect of Batch Size in Repetitive Construction. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Suneerat Kusalasai, Ph.D. 109 pages.

Most research work related to repetitive construction assume that all activities have an identical construction unit. In reality, different activities often have different construction units. For example, the construction of a townhouse block consisting of several units sharing certain structures maybe performed all together in one time whereas, certain activities such as: painting and installing sanitary wares, are performed one house at a time. This thus, make traditional construction planning method inconsistent with the actual operations.

This research aims to study and analyze the impacts of batch size on the construction throughput time, project duration, production and their relationship; and ultimately to develop a simulation model that could calculate the effects of batch size in a complex activity network for use in townhouse construction projects. The impacts of production rates and batch sizes from Finish-to-Start (FTS) was studied by comparing four sample cases where conditions of construction activities were varied. The conditions of the construction activities studied in the sample cases were as follows: (1) equal production rate and batch sizes; (2) equal production rate and different batch sizes; (3) different production rate and equal batch sizes; and (4) different production rate and batch sizes. The result show that in case of activity with equal production rate and batch size, the process with smaller batch size requires shorter project duration and batch throughput time. Reducing batch size of certain activities may not shorten project duration and batch throughput time. Besides, it actually cause longer waiting period between processes. In case where production rate not equal, project duration would depend on the production rate duration of the slowest activity in the process, suggesting that batch throughput time would then be increased every cycle.

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สุนีรัตน์ กุศลาศัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยอย่างดียิ่ง พร้อมทั้งสอนให้ความรู้ ให้แนวคิด ตลอดทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดที่ข้าพเจ้าได้เรียนมา

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อฉัตรชัย ขุนชำนาญ และคุณแม่ไพบูลย์ ขุนชำนาญ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจอันดียิ่งเสมอมา รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการศึกษาวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ชยาภรณ์ ขุนชำนาญ

เมษายน 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	105
สรุป	105
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	107
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	109

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สถานการณ์ทั้ง 12 สถานการณ์ในกรณีศึกษา	15
2	การเปลี่ยนแปลงและเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่อนำหลักการของลีนมาใช้	15
3	ปริมาณงานในแต่ละหน่วยของทุกกิจกรรม	17
4	อัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม	18
5	ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมและปริมาณงานทั้งหมด	21
6	รายละเอียดของแต่ละกิจกรรมที่ใช้ในการก่อสร้างทาวเฮ้าส์	88
7	ระยะเวลาโครงการจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์ เมื่อจำนวนแปลงแตกต่างกัน	91
8	ระยะเวลาว่างงานทั้งหมดจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์ เมื่อจำนวนแปลงของโครงการแตกต่างกัน	93
9	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์	94
10	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์เมื่อจำนวนแปลงของโครงการแตกต่างกัน	95
11	รายละเอียดที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละกิจกรรม เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง	98
12	ระยะเวลาโครงการจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง	99
13	ระยะเวลาว่างงานทั้งหมดจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง	101
14	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง	102
15	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง	103

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงข่าย CPM สำหรับหน่วยซ้ำกัน 3 หน่วย	4
2	การวางแผนงานก่อสร้างโดยวิธี Repetitive Scheduling Method (RSM)	6
3	ผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตใน RSM	7
4	การวางแผนงานแบบ LSM	8
5	การวางแผนงานแบบ LOB	10
6	โครงข่ายSTROBOSCOPE ของแบบจำลองก่อสร้างเขื่อน	12
7	โครงข่าย CPM สำหรับโครงการก่อสร้างร้านอาหาร	13
8	แผนภาพ RSM สำหรับโครงการ 6 หน่วย	14
9	โครงข่ายแบบจำลองวิธีการทำงานแบบ Single form	19
10	โครงข่ายแบบจำลองวิธีการทำงานแบบ multiple forms	20
11	การจัดสรรทรัพยากรแบบ Dedicated Resource Assignment	22
12	การจัดสรรทรัพยากรแบบ Pooled Resource Assignment	23
13	โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน	25
14	โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน	25
15	โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน	25
16	โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน	26
17	ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน	29
18	ระยะเวลาโครงการเมื่อขนาดการผลิตไม่เท่ากัน (a) ขนาดการผลิต 12 หน่วย (b) ขนาดการผลิต 6 หน่วย	32
19	ตัวอย่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิต	33
20	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตกรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน	34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	การเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากัน (a) ขนาดการผลิต 12 หน่วย (b) ขนาดการผลิต 6 หน่วย	36
22	แผนการทำงานกรณีบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน ทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	38
23	ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากันการผลิตของกิจกรรมตนเอง	40
24	ระยะเวลาโครงการเมื่อขนาดการผลิตในแต่ละกิจกรรมไม่เท่ากัน (a) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย (b) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 12 และ 6 หน่วย	43
25	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน	45
26	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน เมื่อแต่ละกิจกรรมมีขนาดการผลิตไม่เท่ากัน (a) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย (b) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 12 และ 6 หน่วย	46
27	ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากันสำหรับกิจกรรมติดกันไม่เป็นตัวประกอบกัน	48
28	แผนการทำงานกรณีกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันเมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย ตามลำดับ (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	51
29	ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน	54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	แผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากัน เมื่อขนาดการผลิตแตกต่างกัน (a) ขนาดการผลิต 12 หน่วย (b) ขนาดการผลิต 6 หน่วย	56
31	แผนการทำงานเมื่ออัตราการทำงานแตกต่างกัน (a) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 0.5, 2, 1 และ 1.5 หน่วย/วัน (b) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 1, 0.5, 2 และ 1.5 หน่วย/วัน (c) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วัน	57
32	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน	61
33	แผนการทำงานกรณีบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันเมื่ออัตราการทำงานของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	63
34	ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน	66
35	แผนการทำงานเมื่อลดขนาดการผลิตในตำแหน่งที่แตกต่างกัน และกิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับ (a) กิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย (b) กิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 12 และ 6 หน่วย	67
36	แผนการทำงานเมื่ออัตราการทำงานแตกต่างกัน ขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 3 และ 3 หน่วยตามลำดับ (a) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 0.5, 2, 1 และ 1.5 หน่วย/วัน (b) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 1, 0.5, 2 และ 1.5 หน่วย/วัน (c) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วัน	68
37	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน	72
38	การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE	75
39	แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย	76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย	76
41	การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	77
42	การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	78
43	การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	79
44	แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE กรณีบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันเมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน และขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน	80
45	แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน และขนาดการผลิตกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วยตามลำดับ	81
46	แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย	82
47	แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและกิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 3 และ 3 หน่วยตามลำดับ	85
48	โครงข่ายความสัมพันธ์ของกิจกรรมกรณีโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์	89
49	โครงข่ายความสัมพันธ์ในแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์	90
50	ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์จำนวน 30 แปลง	92

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

51 ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง 100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลกระทบของขนาดการผลิตในงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน

Effect of Batch Size in Repetitive Construction

คำนำ

ในหลายปีที่ผ่านมาผู้ประกอบการได้นำเทคนิคการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้างที่มีรูปแบบการทำงานซ้ำกันมีลักษณะการทำงานที่เหมือนสายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม โดยโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันจะแบ่งงานออกเป็นหน่วยก่อสร้างย่อยที่มีขั้นตอนการทำงานเหมือนกันหรือคล้ายกันและต้องใช้ทรัพยากรในการทำงานเหมือนกันจากหน่วยแรกไปยังหน่วยสุดท้าย ตัวอย่างเช่น โครงการบ้านจัดสรร งานคอนโดมิเนียม งานถนน งานวางท่อ เป็นต้น โครงการในลักษณะนี้ กิจกรรมส่วนใหญ่หรือทั้งหมดดำเนินงานซ้ำกันจากหน่วยหนึ่งไปยังอีกหน่วยหนึ่งโดยใช้คนงานเหมือนกัน แผนการทำงานจำเป็นต้องมีความต่อเนื่องเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบการทำงานซ้ำกันกรณีหน่วยก่อสร้างแบ่งได้อย่างชัดเจน (Discrete Unit) เช่น งานก่อสร้างบ้านจัดสรร คอนโดมิเนียมและอาคารสูง มักกำหนดให้แต่ละกิจกรรมดำเนินงานทีละหน่วยก่อสร้างเช่น งานก่อสร้างบ้านจัดสรรอาจมีหน่วยการทำงานเป็นหลัง งานก่อสร้างคอนโดมีหน่วยการทำงานเป็นชั้น แต่ในการก่อสร้างจริงพบว่ากิจกรรมก่อสร้างมีขนาดการผลิต (Batch Size) ที่แตกต่างกันตัวอย่างเช่น งานก่อสร้างทาวเฮ้าส์หนึ่งแปลงจะประกอบด้วยบ้านหลายหลังที่มีโครงสร้างบางอย่างร่วมกัน การดำเนินงานตอกเข็ม งานเทพื้น งานประปา รวมทั้งงานโครงหลังคามักจะดำเนินงานทั้งแปลงเนื่องจากเป็นอาคารที่ติดกัน ในส่วนของงานทาสี งานติดฝ้าจะดำเนินงานทีละ 1 หลัง ซึ่งการนำวิธีการบริหารจัดการตามสมมติฐานแบบเดิมมาประยุกต์ใช้กับโครงการที่มีการดำเนินงานลักษณะนี้ อาจทำให้ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตที่มีต่อกระบวนการทำงานโดยการพิจารณาความสัมพันธ์เส้นกราฟ/แผนภาพรวมถึงการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์หาผลกระทบดังกล่าวในโครงการตัวอย่าง

ขอบเขตการศึกษา

วิเคราะห์ผลกระทบของโครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบการทำงานซ้ำกันที่มีต่อระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production) ในกรณีที่กิจกรรมมีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ FTS (Finish to Start) และแต่ละกิจกรรมเริ่มต้นได้เร็วที่สุด (Early Start)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การวางแผนงานก่อสร้าง

การวางแผนงานก่อสร้างเป็นการกำหนดเวลาของโครงการให้ดำเนินงานเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งในการวางแผนงานก่อสร้างจะต้องวางแผนให้สอดคล้องกับการทำงานจริง เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละกิจกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ทรัพยากรที่ใช้ในการทำงาน เป็นต้น เทคนิคที่ใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างสามารถแบ่งกลุ่มออกได้เป็นแบบโครงข่าย เช่น Critical Path Method (CPM), Program Evaluation and Review Technique, (PERT), Linear Scheduling Method (LSM), Repetitive Scheduling Method (RSM) เป็นต้น และไม่เป็นแบบโครงข่าย เช่น Bar chart, Matrix Schedule เป็นต้น ซึ่งในการวางแผนงานจะใช้แบบใดก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมของงาน

1. Critical Path Method (CPM)

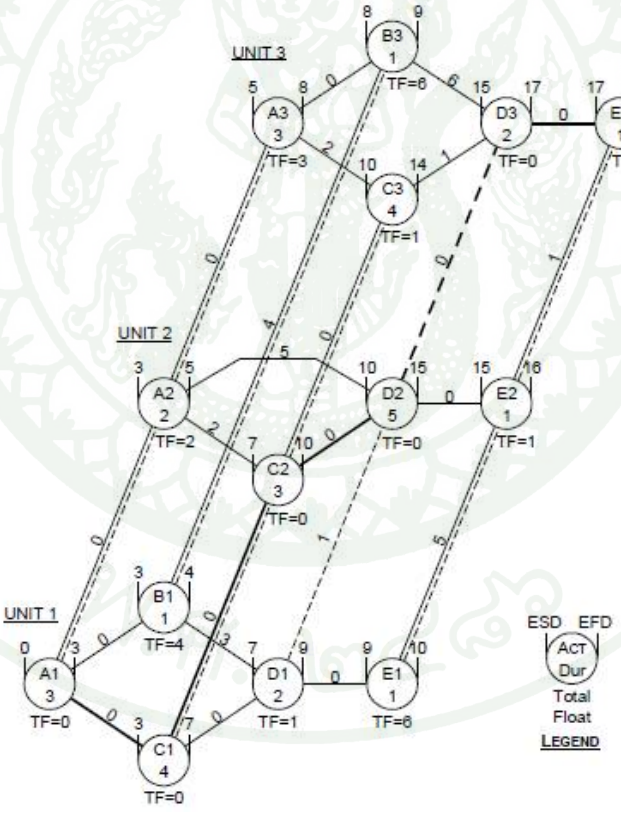
วิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่รู้จักกันทั่วไปและนิยมใช้ คือ Critical Path Method (CPM) โดยโครงข่าย CPM แสดงกิจกรรมต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม มีการเชื่อมโยงกันระหว่างกิจกรรมเป็นโครงข่าย สามารถวิเคราะห์หากำหนดเวลาเริ่มต้น กำหนดเวลาแล้วเสร็จของกิจกรรม กิจกรรมวิกฤติและลอยตัว รวมถึงระดับของทรัพยากรที่ต้องการในแต่ละวัน (Martinez and Ioannou, 1996a)

งานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันสามารถวางแผนโดยใช้เทคนิค CPM ได้ โดยการเชื่อมโยงกิจกรรมในแต่ละหน่วย และเชื่อมโยงกิจกรรมที่เหมือนกันจากหน่วยหนึ่งไปยังอีกหน่วยหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นโครงข่ายที่มีจำนวนหน่วยก่อสร้างจำนวน 3 หน่วย โดยแต่ละหน่วยมีขั้นตอนการก่อสร้างที่คล้ายกัน มีการกำหนดความสัมพันธ์ลำดับการทำงานก่อนหลังและกำหนดความพร้อมของทรัพยากร จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าหน่วยที่ 1 และ 3 มีจำนวน 5 กิจกรรม แต่หน่วยที่ 2 ไม่มีกิจกรรมที่ 2 มีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 18 วัน และมีกิจกรรมอยู่ในสายงานวิกฤติ คือ A1, C1, C2, D2, D3 และ E3 หน่วยที่ซ้ำกันจะมีกิจกรรมและระยะเวลาที่เหมือนกัน ความต่อเนื่องของทรัพยากรไม่สามารถกำหนดได้โดยตรงใน CPM จากภาพจะเห็นได้ว่ากิจกรรม A และ C มีการใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทรัพยากรอย่างต่อเนื่อง แต่กิจกรรม B, D และ E มีการใช้ทรัพยากรไม่ต่อเนื่องทำให้งานเกิดการหยุดชะงัก

วิธีการวางแผนงานแบบ CPM แสดงการเชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมที่เหมือนกันจากหน่วยหนึ่งไปยังอีกหน่วยหนึ่ง หากจำนวนของการเชื่อมโยงและจำนวนของกิจกรรมมีปริมาณมากจะทำให้เกิดโครงข่ายขนาดใหญ่ซึ่งจะทำให้เกิดความซับซ้อนมากขึ้นและง่ายต่อการเกิดความผิดพลาด (Harris and Ioannou,1998) แต่วิธีการวางแผนงานแบบนี้ไม่สามารถกำหนดให้ทรัพยากรทำงานแบบต่อเนื่อง และไม่สามารถระบุความก้าวหน้าของกิจกรรมได้ ไม่สามารถแสดงแผนงานที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างถูกต้อง ไม่สามารถให้ข้อมูลโครงการในขณะที่กำลังดำเนินงานอยู่ (Mattila and Park, 2003)



ภาพที่ 1 โครงข่าย CPM สำหรับหน่วยซ้ำกัน 3 หน่วย

ที่มา: Harris and Ioannou (1998)

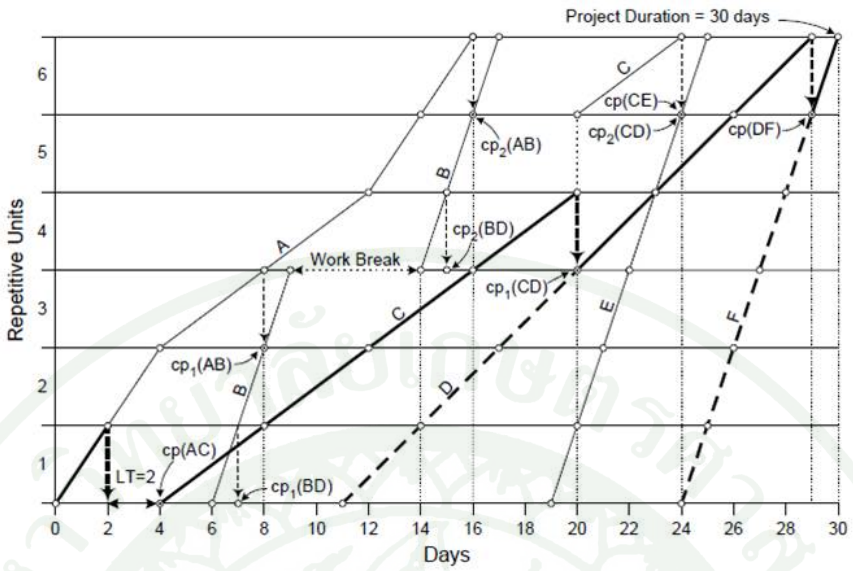
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. Repetitive Scheduling Method (RSM)

Repetitive Scheduling Method (RSM) เป็นเทคนิคการวางแผนงานก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำกันหลายหน่วย เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นการลดระยะเวลาว่างงานของทรัพยากรและแสดงให้เห็นถึงเส้นทางวิกฤติอย่างชัดเจน วิธีการวางแผนงานแบบนี้ใช้ได้กับโครงการก่อสร้างทั้งแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งจะแสดงโดยการเขียนกราฟ X-Y โดยแกนหนึ่งจะแสดงจำนวนหน่วยก่อสร้าง อีกแกนหนึ่งจะแสดงเวลา โดยปกติแล้วสายการผลิตทรัพยากรแสดงในกราฟที่เป็นเส้นตรงต่อเนื่อง หากปริมาณงานในหน่วยซ้ำไม่เหมือนกันจะทำให้เส้นกิจกรรมมีความชันที่แตกต่างกัน มีการกำหนดจุดควบคุม (control point) และใช้หลักการจัดลำดับควบคุม (controlling sequence) จะกำหนดให้ทรัพยากรในแต่ละกิจกรรมเหมือนกันในทุกๆ หน่วยที่ซ้ำกัน (Harris and Ioannou,1998)

จุดควบคุม (control point, CP) เป็นจุดที่ควบคุมตำแหน่งการวางแผนของสายการผลิต มีความสำคัญในการกำหนดระยะเวลาของโครงการ และใช้จุดนี้ในการหมุนสำหรับสายการผลิตที่มีอัตราการทำงานของทรัพยากรเพิ่มขึ้นหรือลดลง ส่วนการจัดลำดับควบคุม (controlling sequence) เป็นห่วงโซ่หรือลำดับของกิจกรรมที่ทำให้มีระยะเวลาของโครงการน้อยที่สุด ซึ่งสามารถหาโดยการติดตามไปตามสายการผลิตในแต่ละกิจกรรมโดยผ่านจุดควบคุม (control point) ที่เปลี่ยนลำดับจากสายการผลิตหนึ่งไปยังอีกสายการผลิตหนึ่ง (Harris and Ioannou, 1998)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

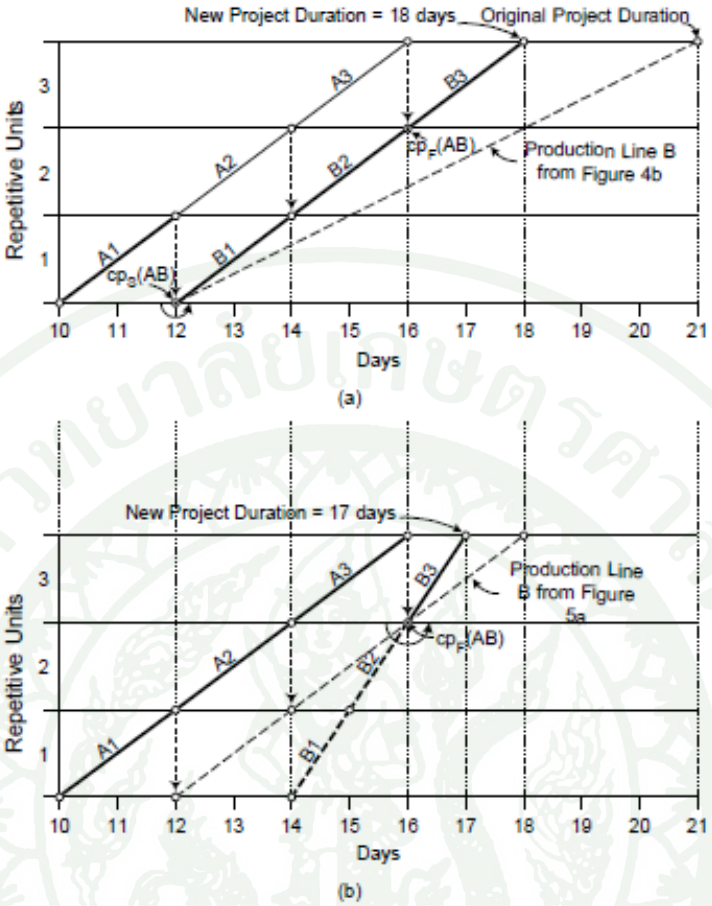


ภาพที่ 2 การวางแผนงานก่อสร้างโดยวิธี Repetitive Scheduling Method (RSM)

ที่มา: Harris and Ioannou (1998)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของแต่ละกิจกรรม จะทำให้ความชันของกิจกรรมเปลี่ยนแปลงซึ่งจะใช้จุดควบคุม (control point,CP) เป็นจุดในการหมุนสายการผลิต จากภาพที่ 3(a) เป็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของกิจกรรม B ให้เท่ากับกิจกรรม A จะหมุนจุดควบคุม $CP_S(AB)$ ซึ่งจะได้จุดควบคุมใหม่ คือ $CP_F(AB)$ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาโครงการลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการผลิตของกิจกรรม B เป็น 2 เท่าของภาพที่ 3(a) สายการผลิตของกิจกรรม A และ B จะเบนเข้าหากัน จะเปลี่ยนไปหมุนจุดควบคุม $CP_F(AB)$ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาโครงการลดลงจากภาพที่ 3(a)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตใน RSM

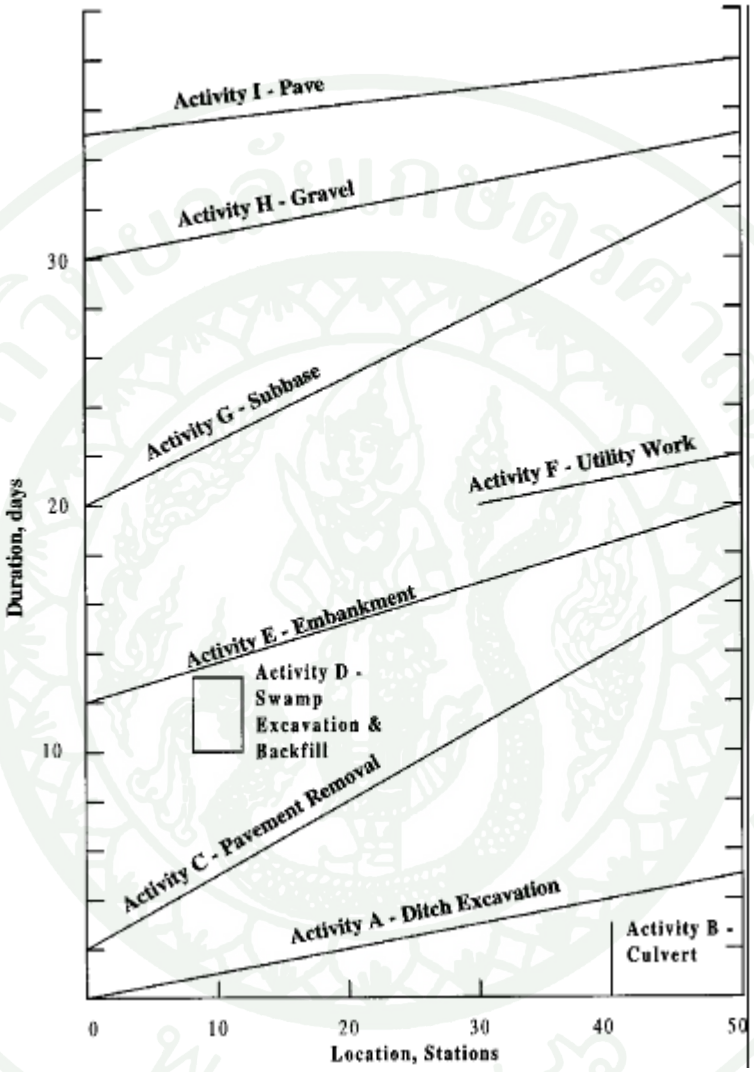
ที่มา: Harris and Ioannou (1998)

3. Linear Scheduling Method (LSM)

Linear Scheduling Method (LSM) เป็นวิธีการวางแผนงานโครงการที่มีลักษณะซ้ำกัน มีอัตราการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้กราฟ X-Y ในการวางแผน โดยแกน X เป็นหน่วยของพื้นที่ก่อสร้าง ส่วนแกน Y เป็นหน่วยของระยะเวลา (Mattila and Park, 2003) ข้อดีของ LSM จะให้ข้อมูลอัตราการทำงานและระยะเวลาในรูปแบบของกราฟที่อธิบายได้ง่าย LSM เป็นการวางแผนงานสำหรับโครงการก่อสร้างในรูปแบบเชิงเส้นที่สามารถก่อสร้างได้ง่าย (Jiang *et al.*, 2006) เมื่อวางแผนกำหนดการใช้งานอย่างต่อเนื่องหรือซ้ำกัน กิจกรรมจะไม่หยุดชะงัก ทรัพยากรสามารถทำงานอย่างต่อเนื่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวางแผนงาน LSM เป็นวิธีที่ไม่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากยังไม่มีแนวทางสร้างสายงานวิกฤติ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดระยะเวลาการก่อสร้าง (Mattila and Park, 2003)



ภาพที่ 4 การวางแผนงานแบบ LSM

ที่มา: Mattila and Park (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

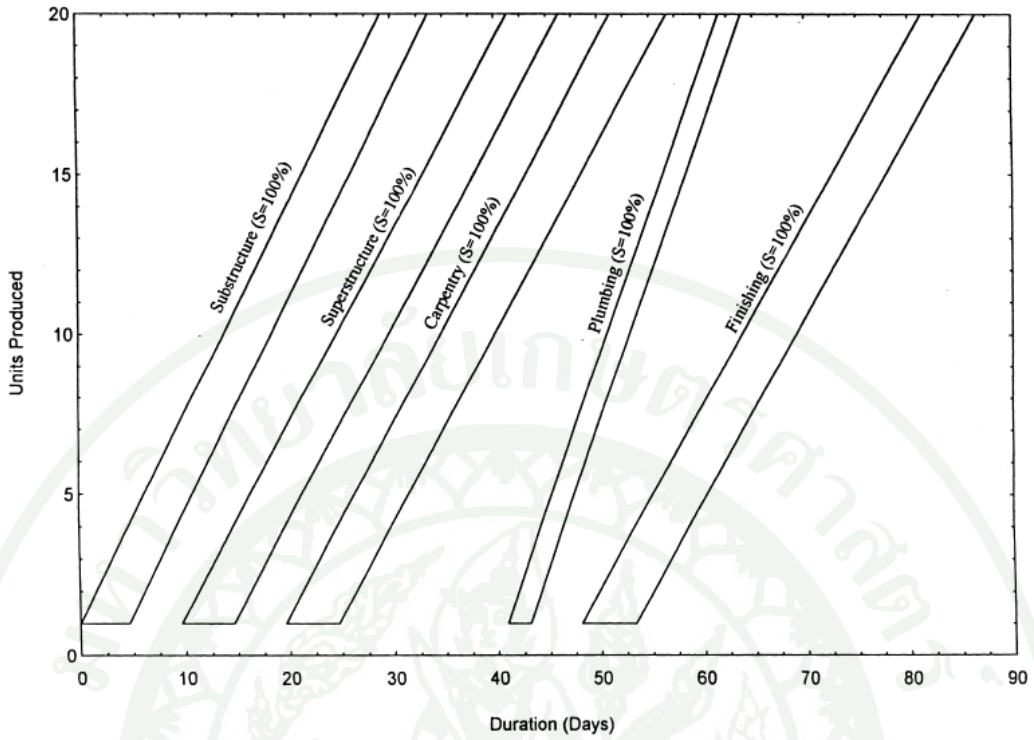
4. Line-of-Balance (LOB)

Line-of-Balance (LOB) เป็นวิธีการวางแผนงานที่เริ่มต้นจากบริษัท Goodyear ในช่วงทศวรรษ 1940 จากนั้นได้พัฒนาเขียนโปรแกรมและควบคุมทั้งโครงการที่ซ้ำกันและไม่ซ้ำกันโดย US Navy ในช่วงทศวรรษ 1950 ได้มีการนำ LOB มาประยุกต์ครั้งแรกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตและควบคุมการผลิต (Arditi, Tokdemir and Sur, 2001)

เทคนิค Line-of-Balance (LOB) เป็นการสมมติอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรมอย่างสม่ำเสมอหรืออัตราการทำงานของกิจกรรมที่เป็นเส้นตรง โดยจะให้เวลาอยู่ในแกนนอน และจำนวนหน่วยของกิจกรรมอยู่ในแกนตั้ง อัตราการทำงานของกิจกรรมอยู่ในรูปของความชัน แต่ละกิจกรรมจะเขียนเป็น 2 เส้นเอียงขนานกันตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นของแต่ละกิจกรรมในทุกหน่วยตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนเสร็จสิ้นโครงการ

การวางแผนงาน LOB สามารถดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อนำแนวความคิดของ LOB รวมกับเทคโนโลยีโครงข่าย ซึ่งปกติแผนภาพโครงข่ายหนึ่งจะถูกเตรียมไว้และรวบรวมไปสู่การวางแผนงาน LOB (Arditi, Tokdemir and Sur, 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 การวางแผนงานแบบ LOB

ที่มา: Arditi, Tokdemir and Sur (2001)

การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นการสร้างสถานการณ์สมมติที่เสมือนจริงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วยเพื่อทดลองตัดสินใจแก้ไขปัญหา และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริงต่อไป

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) ช่วยจำลองการทำงานที่ซับซ้อน ช่วยให้สามารถวิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบ และช่วยหาแนวทางหรือทางเลือก (Scenario) ที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้กับการปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาดหรือความล้มเหลวได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาได้อีกด้วย การจำลองสถานการณ์ สามารถนำไปประยุกต์ได้หลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมในโรงงาน การขนส่ง การกระจายสินค้า อุตสาหกรรมการก่อสร้าง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประเภทของแบบจำลองมี 5 ประเภท คือ

1. แบบจำลองทางกายภาพ (Physical or Iconic Model) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเหมือนระบบงานจริง โดยมีขนาดเท่ากับของจริงหรือมีขนาดที่เล็กกว่าหรือใหญ่กว่า (Scaled Model) อาจเป็นแบบจำลองในมิติใดมิติหนึ่งหรือ 3 มิติ

2. แบบจำลองอนาลอก (Analog Model) เป็นแบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริง แต่อาจมีรูปลักษณะไม่เหมือนกับระบบงานจริง

3. เกมการบริหาร (Management Games) เป็นแบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Model) ในกิจการต่างๆ เช่น ธุรกิจ การลงทุน สงคราม ฯลฯ เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงผลเปรียบเทียบเมื่อมีการตัดสินใจในแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ

4. แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Model) เป็นแบบจำลองที่อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

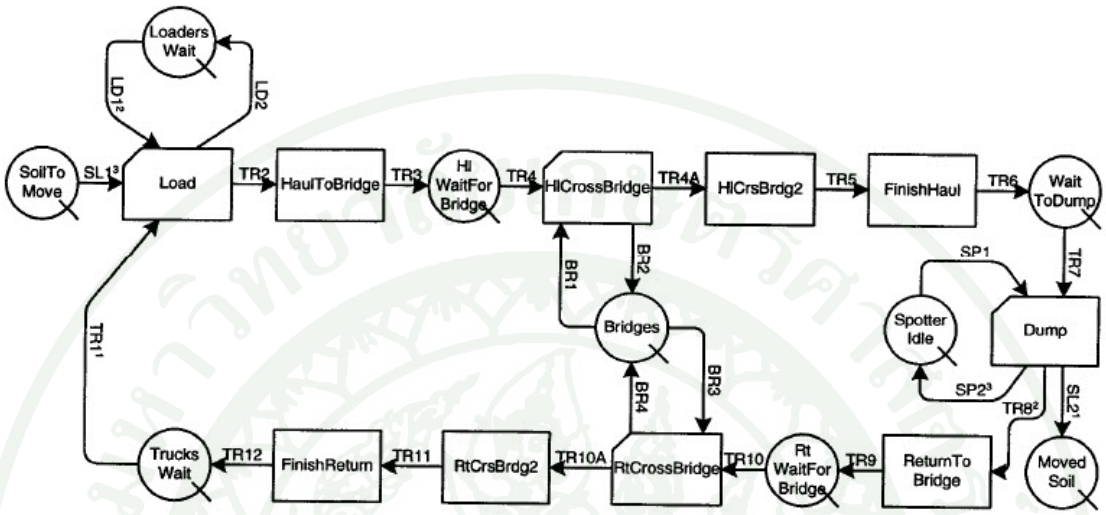
5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบจริง เช่น X แทนค่าใช้จ่ายในการผลิต Y แทนจำนวนสินค้าที่ผลิตและแทนค่าลงในสูตรการคำนวณต่างๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Martinez and Ioannou (1996a) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Simulation of Complex Construction Process ในการใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE จำลองเหตุการณ์ที่ไม่ต่อเนื่องหรือเป็นเหตุการณ์ที่มีกระบวนการซับซ้อน เพื่อวางแผนการเคลื่อนย้ายดินในการก่อสร้างเขื่อนที่ต้องการเคลื่อนย้ายดิน 200,000 ลบ.ม. ใช้รถตัก 3 คัน และรถขนดิน 11 คัน โดยมีสะพาน 2 ประเภทจะต้องตัดสินใจในการเลือกก่อสร้างและเลือกใช้โดยประเภทที่ 1 รถสามารถขับได้คันเดียว ประเภทที่ 2 สามารถรับน้ำหนักรถบรรทุก 6 คันในเวลาเดียวกันได้ แต่ราคาในการก่อสร้างประเภทที่ 1 ถูกกว่าประเภทที่ 2 โดยผลจากแบบจำลองกำหนดประเภทและจำนวนของสะพานที่ให้ต้นทุนของโครงการต่ำที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าใช้จ่ายและเวลาที่โครงการเสร็จสิ้น ผลจากแบบจำลองพบว่าเลือกใช้สะพานประเภทที่ 1 จำนวน 2 สะพาน ทำให้เกิดต้นทุนของโครงการน้อยที่สุดและระยะเวลาของโครงการสั้นที่สุด

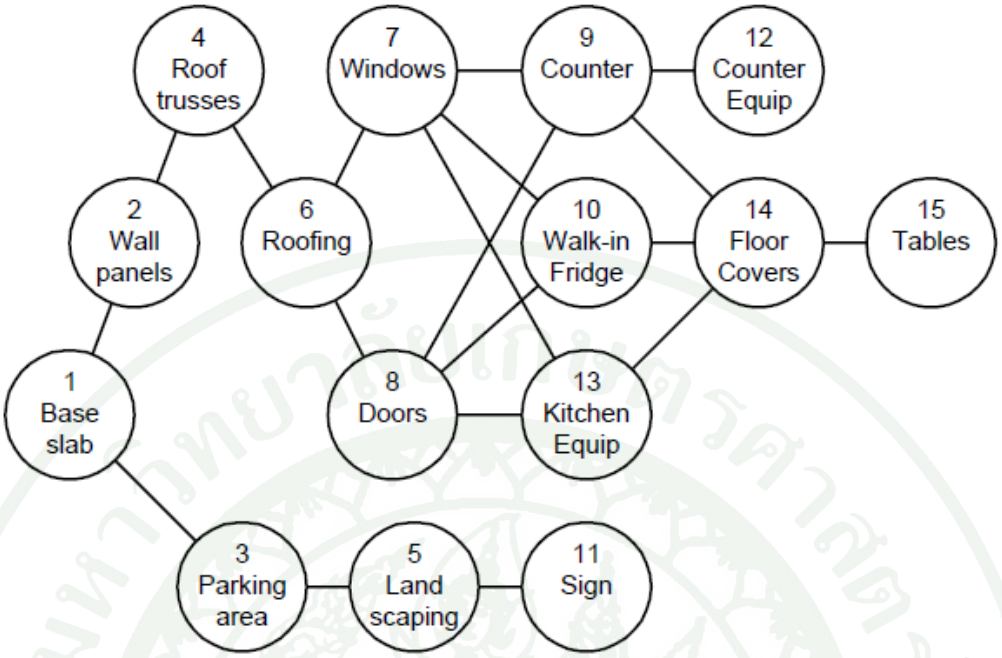


ภาพที่ 6 โครงข่ายSTROBOSCOPE ของแบบจำลองก่อสร้างเขื่อน

ที่มา: Martinez and Ioannou (1996a)

Martinez and Ioannou (1996b) ศึกษางานวิจัยเรื่อง State-Based Probabilistic Scheduling Using STROBOSCOPE's CPM Add-On แสดงการวางแผนงานก่อสร้างแบบ CPM โดยใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE กำหนดความน่าจะเป็นของระยะเวลาที่ขึ้นอยู่กับสถานะของโครงการและกระบวนการอื่นๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมกัน จากตัวอย่างโครงการก่อสร้างร้านอาหาร มีกิจกรรมทั้งหมด 15 กิจกรรม เมื่อกำหนดระยะเวลาแต่ละกิจกรรมแบบ PERT ทำการทดลองซ้ำ 1,000 ครั้ง ผลจากการศึกษาพบว่ามีระยะเวลาโครงการเฉลี่ย 44.95 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ความมั่นใจ 90% มีระยะเวลาโครงการอยู่ในช่วง 44.78 วัน ถึง 45.11 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

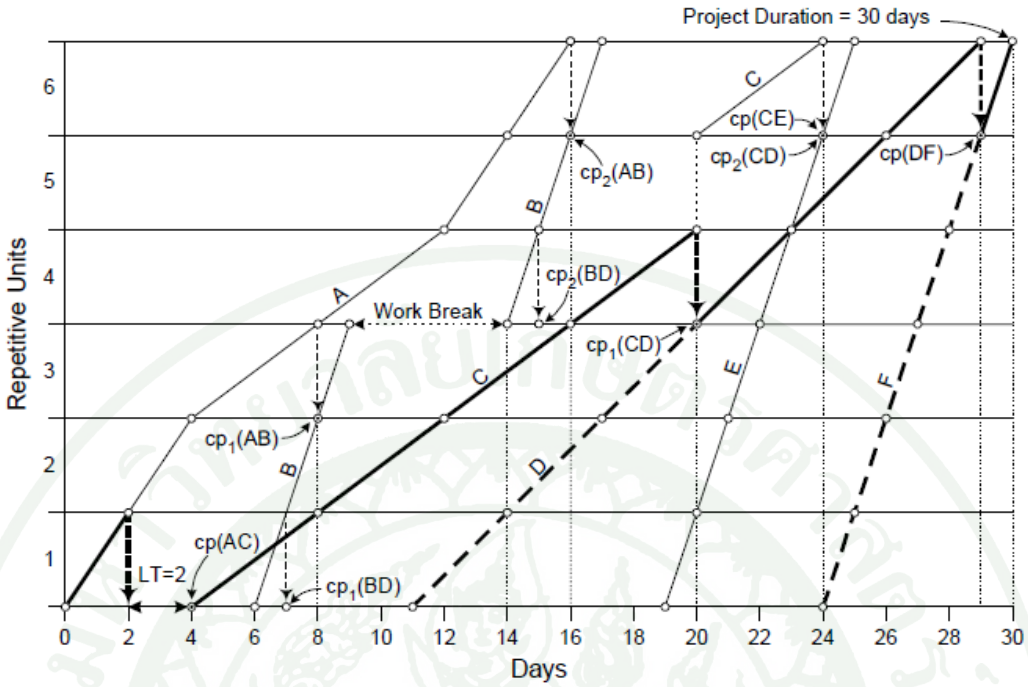


ภาพที่ 7 โครงข่าย CPM สำหรับโครงการก่อสร้างร้านอาหาร

ที่มา: Martinez and Ioannou (1996b)

Harris and Ioannou (1998) ศึกษางานวิจัยเรื่อง Scheduling Project with Repeating Activities แสดงการวางแผนโครงการด้วยวิธี Repetitive Scheduling Method (RSM) และการลดระยะเวลาโครงการ โดยการเพิ่มอัตราการผลิตต่อหน่วยในสายการผลิต โครงการที่ศึกษาเป็นโครงการมีหน่วยซ้ำจำนวน 6 หน่วย แต่ละหน่วยมี 6 กิจกรรม โดยแต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากัน จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาของโครงการลดลงจาก 30 วัน เหลือ 27 วัน และมีสายงานวิกฤติเพิ่มขึ้นเป็น 2 เส้นทาง แต่การเพิ่มอัตราการผลิตต่อหน่วยไม่ได้ลดระยะเวลาของโครงการเสมอไป อาจจะทำให้เพิ่มระยะเวลาของโครงการได้ ทั้งนี้เกิดจากจุดควบคุม(control point) ที่ใช้หมุนสายการผลิตที่มีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แผนภาพ RSM สำหรับโครงการ 6 หน่วย

ที่มา: Harris and Ioannou (1998)

Al-Sudairi *et al.* (1999) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Simulation of Construction Processes : Traditional Practices Versus Lean Principle เพื่อศึกษาการนำหลักการของลีนมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ มีการสมมติสถานการณ์ 12 สถานการณ์ และปัจจัยการตัดสินใจ 3 อย่างคือ 1. ขนาดของ Buffer แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ใหญ่ กลาง และเล็ก 2. การออกแบบกระบวนการที่ประกอบด้วย 2 วิธีคือ วิธีปกติและวิธีตามหลักการของลีน 3. การประสานงานแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ การประสานงานที่สอดคล้องกับงานและการประสานงานที่ไม่สอดคล้องกับงาน แสดงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อนำสถานการณ์ทั้ง 12 สถานการณ์จัดรูปแบบใหม่ให้เป็นไปตามหลักการของลีน ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ากระบวนการจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อมีการใช้หลักการทั้งหมดพร้อมกัน เมื่อกระบวนการมี Buffer เท่ากับ 0 จะเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องและกระบวนการมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 สถานการณ์ทั้ง 12 สถานการณ์ในกรณีศึกษา

SCENARIO	DECISION		
	BUFFER SIZE	PROCESS DESIGN	COORDINATION
1 (Base)	Big	Traditional	Weak
2	Big	Traditional	Strong
3	Big	Lean	Weak
4	Big	Lean	Strong
5	Medium	Traditional	Weak
6	Medium	Traditional	Strong
7	Medium	Lean	Weak
8	Medium	Lean	Strong
9	Small	Traditional	Weak
10	Small	Traditional	Strong
11	Small	Lean	Weak
12	Small	Lean	Strong

ที่มา: Al-Sudairi *et al*. (1999)

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงและเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่อนำหลักการของลีนมาใช้

PRINCIPLE	CHANGES TO "AS IS" MODEL	IMPROVEMENTS	REMAINING WASTE
1. Specify Value	Materials were specified by BAYS instead of LEVELS.	Cycle time by 1.3% Productivity by 1.67% Utilization by 0.53% Throughput by 1.29%	30.29%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

PRINCIPLE	CHANGES TO "AS IS" MODEL	IMPROVEMENTS	REMAINING WASTE
2. Eliminate Muda	Reduce contributory activities by combining unload activities to shake out activities.	Cycle time by 9.79% Productivity by 9.17% Utilization by 9.4% Throughput by 10.86%	21.76%
3. Rethink Your Operating Methods	Buffer size is changed from big to medium.	Cycle time by 4.68% Productivity by 6.67% Utilization by 6.56% Throughput by 4.91%	26.88%
4. Focus on Actual objects from beginning to completion	Similar to changes in principle-1, the difference is that value is observed within erection process witg small buffer size and strong coordination.	Cycle time by 11.76% Productivity by 12.5% Utilization by 7.14% Throughput by 11.77%	17.41%
5. Release Resources for delivery just when needed	Materials are pulled from fabricator yard at the right time in the right quantity to the erection site.	Cycle time by 13.96% Productivity by 20.41% Utilization by 21.95% Throughput by 16.24%	11.35%
6. Form a Picture of Perfection	All the aforementioned changes besides that unload and shake out activities were eliminated and rework rate was assumed to be zero.	Cycle time by 31.45% Productivity by 37.17% Utilization by 59.17% Throughput by 45.88%	~0.00%

ที่มา: Al-Sudairi *et.al* (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ioannou and Srisuwanrat (2006) งานวิจัยเรื่อง Sequence Step Algorithm for Continuous Resource Utilization in Probabilistic Repetitive Project เพื่อลดระยะเวลาว่างงานของคนงานด้วยวิธีลำดับขั้นตอน (Sequence Step Algorithm) โดยใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE หาวันเริ่มต้นการทำงานในแต่ละกิจกรรมเพื่อให้คนงานทำงานอย่างต่อเนื่องในโครงการที่มีรูปแบบซ้ำกัน ซึ่งโครงการประกอบด้วย 4 หน่วยก่อสร้าง แต่ละหน่วยก่อสร้างมี 7 กิจกรรมที่เหมือนกันแต่มีปริมาณงานไม่เท่ากัน และอัตราการทำงานของคนงานแตกต่างกัน ในการประยุกต์ใช้วิธีลำดับขั้นตอน (Sequence Step Algorithm) จะวิเคราะห์ทีละลำดับ (Sequence) ตามลำดับ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) หาระยะเวลาการว่างงานของคนงานในแต่ละกิจกรรม 2) ปรับวันเริ่มของกิจกรรมโดยเลือกระดับความมั่นใจที่ต้องการสำหรับระยะเวลาว่างงานของคนงานทั้งกิจกรรม รวมกับระยะเวลาที่เริ่มต้นได้เร็วที่สุดในแต่ละกิจกรรม ในการปรับวันเริ่มของกิจกรรมจะเรียงตามลำดับขั้นตอน (Sequence Step, SQS) จนครบทุก SQS ผลจากการศึกษาพบว่าวันเริ่มต้นการทำงานในแต่ละกิจกรรมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีระยะเวลาว่างงานของคนงาน แต่จะทำให้ระยะเวลาเฉลี่ยของโครงการเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ปริมาณงานในแต่ละหน่วยของทุกกิจกรรม

หน่วย	กิจกรรม						
	A	B	C	D	E	F	G
1	100	150	200	150	100	150	50
2	250	100	150	200	150	250	200
3	150	200	50	100	50	50	50
4	200	150	200	150	100	100	150

ที่มา: Ioannou and Srisuwanrat (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

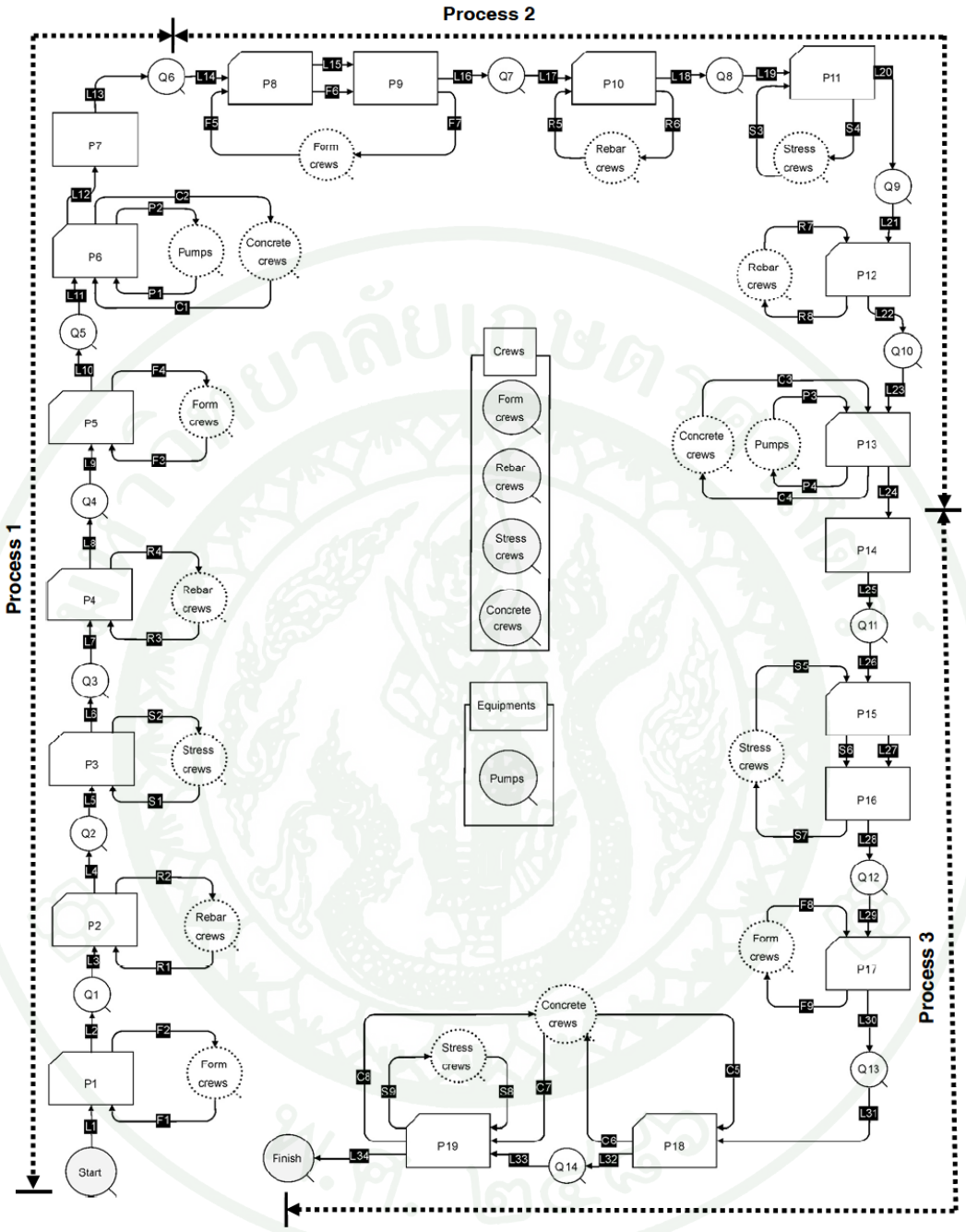
ตารางที่ 4 อัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
A	10	1.0
B	20	2.0
C	15	1.5
D	15	1.5
E	25	2.5
F	15	1.5
G	20	2.0

ที่มา: Ioannou and Srisuwanrat (2006)

Marzouk, El-Dein and El-Said (2007) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Application of Computer Simulation to Construction of Incremental Launching Bridges ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถช่วยผู้รับเหมาในการวางแผนติดตั้งชิ้นส่วนสะพานวิธี Incremental Launching โดยใช้ STROBOSCOPE เป็นเครื่องมือในการจำลองสถานการณ์นำมาใช้ในการทำงานทั้งแบบ Single form และแบบ Multiple forms ซึ่งวิธีการทำงานแบบ Single form จะมีกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ Bottom flange and web fabrication, Top flange and web fabrication และ Incremental launching ส่วนวิธีการทำงานแบบ Multiple forms มีกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ Deck prefabrication และ Incremental launching จากตัวอย่างได้ทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ เมื่อมีการทดลองซ้ำจำนวน 1000 ครั้ง เพื่อคำนวณหาระยะเวลาของโครงการก่อสร้างสะพานพบว่า ระยะเวลาของการทำงานแบบ Multiple forms น้อยกว่าการทำงานแบบ Single form

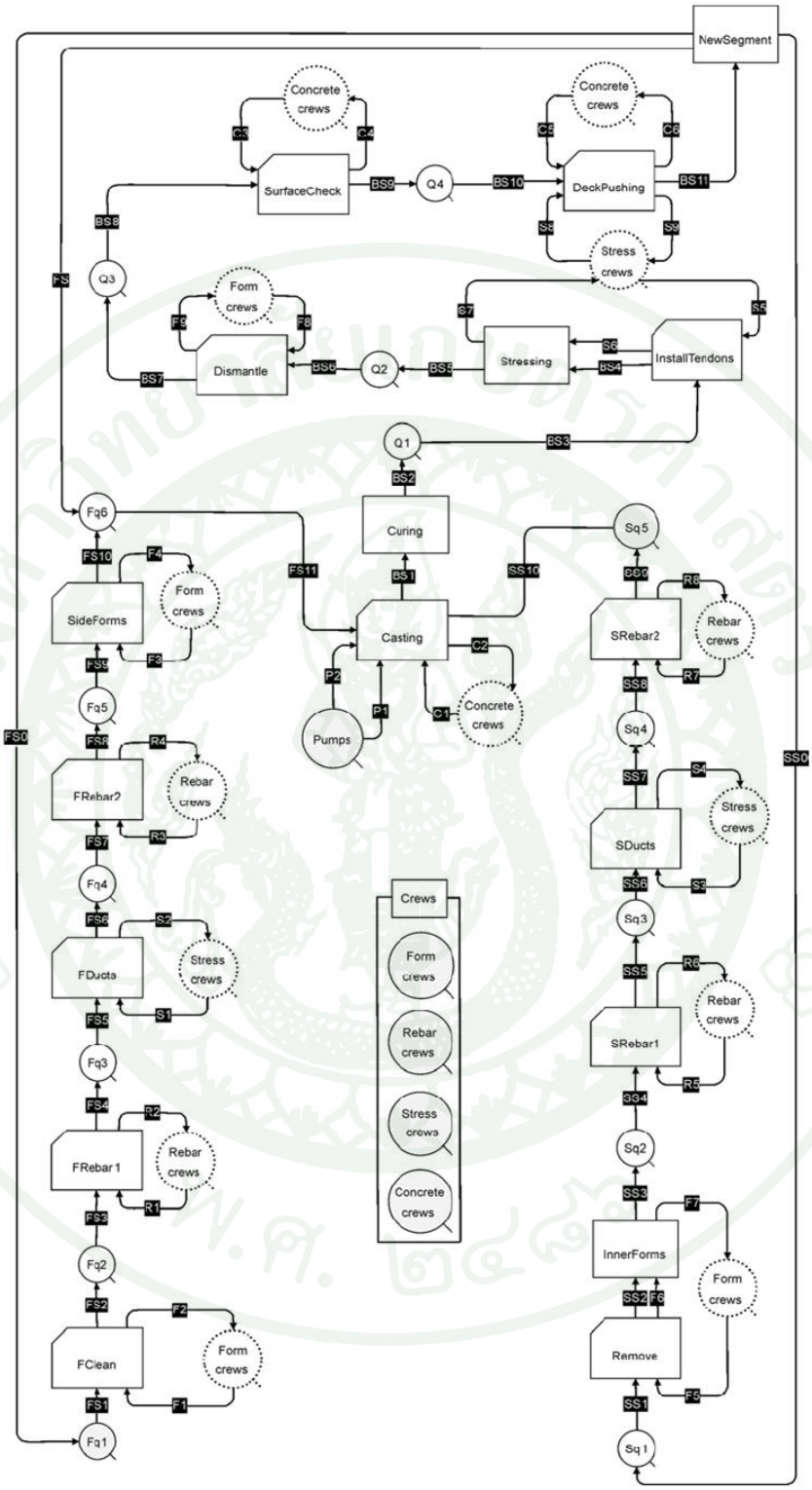
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 โครงข่ายแบบจำลองวิธีการทำงานแบบ Single form

ที่มา: Marzouk, El-Dein and El-Said (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 โครงข่ายแบบจำลองวิธีการทำงานแบบ multiple forms

ที่มา: Marzouk, El-Dein and El-Said (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Srisuwanrat and Ioannou (2007) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง The Investigation of Lead-Time Buffering Under Uncertainty Using Simulation and Cost Optimization ศึกษาการหา Lead-Time Buffer เพื่อกำหนดวันเริ่มต้นทำงานของสายการผลิตในแต่ละกิจกรรม โดยที่การทำงานไม่มีการหยุดชะงัก ในการหา Lead-Time Buffer จะใช้ 2 วิธีที่แตกต่างกันภายใต้ความไม่แน่นอนและความแปรปรวน คือ Sequence step algorithm (SQS-AL) และวิธี Complete unit algorithm (CU-AL) โดยใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE และหลักการ genetic algorithm วิธี SQS-AL และวิธี CU-AL มีความแตกต่างกัน คือ วิธี SQS-AL จะหา Lead-Time Buffer โดยการรวมระยะเวลาการว่างงาน (idle time) ในแต่ละกิจกรรม ส่วนวิธี CU-AL จะหา Lead-Time Buffer จากค่าเฉลี่ยวันเริ่มของแต่ละกิจกรรม โดยวันเริ่มของกิจกรรมที่ตามหลังจะเท่ากับวันที่กิจกรรมก่อนหน้าเสร็จสิ้น จากตัวอย่างการศึกษาประกอบด้วย 5 กิจกรรม ก่อสร้างซ้ำกันจำนวน 10 หน่วย จะใช้ระยะเวลาและปริมาณงานดังในตารางที่ 5 จากการศึกษาพบว่า การหา Lead-Time Buffer วิธี SQS-AL ใช้ระยะเวลาของโครงการน้อยกว่าและให้ผลกำไรมากกว่าวิธี CU-AL

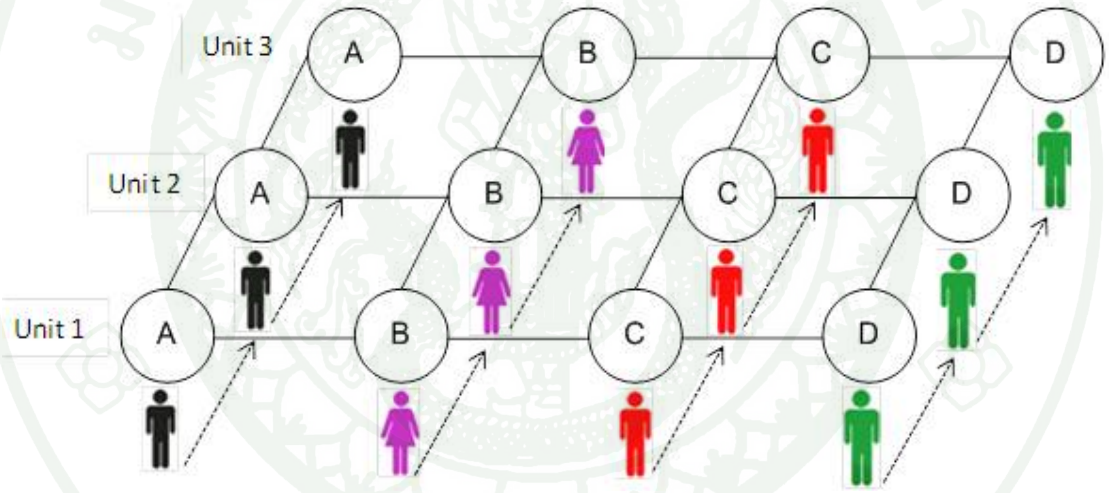
ตารางที่ 5 ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมและปริมาณงานทั้งหมด

Activity	Mean	SD	Unit									
			1	2	3	4	5	6	7	**8**	**9**	**10**
			Work Amouts									
A	10	1.0	300	250	150	200	200	250	200	250	300	150
B	20	2.0	150	100	200	150	150	200	100	150	200	200
C	15	1.5	200	150	50	200	50	100	200	200	150	100
D	15	1.5	150	200	100	150	150	150	100	100	100	150
E	25	2.5	100	150	50	100	200	150	50	50	100	200

ที่มา: Srisuwanrat and Ioannou (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

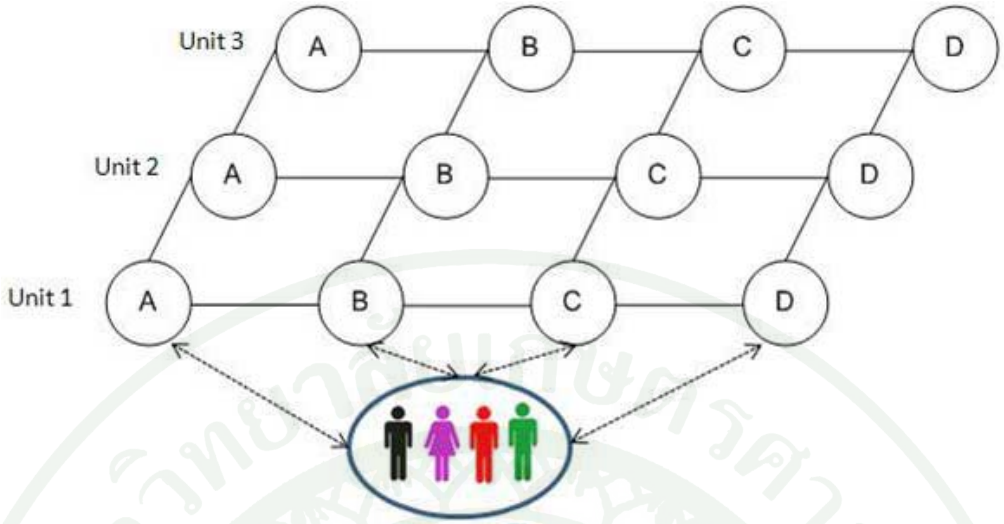
อัครวิทย์ และ สุนีรัตน์ (2553) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบกลุ่มคนงานเฉพาะ (Dedicated Resource Assignment) และวิธีการใช้คนงานร่วมกัน (Pooled Resource Assignment) สำหรับโครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำกัน โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบของอัตราการผลิตที่มีต่อระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลารอคอยของคนงานระหว่างกิจกรรม (Waiting Time) และผลิตภัณฑ์ระหว่างก่อสร้าง (Work In Process) ได้ทำการแบ่งรูปแบบออกเป็น 2 กรณี คือ อัตราการทำงานกิจกรรมที่ตามมามีค่ามากกว่า และอัตราการทำงานกิจกรรมที่ตามมามีค่าน้อยกว่า ผลการศึกษาพบว่าการจัดสรรทรัพยากรแบบ Pooled Resource Assignment ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการจัดสรรทรัพยากรแบบ Dedicated Resource Assignment เนื่องจากทำให้มีระยะเวลาของโครงการลดลง ไม่เกิดระยะเวลาการรอคอยระหว่างกิจกรรมและผลิตภัณฑ์ระหว่างการก่อสร้าง



ภาพที่ 11 การจัดสรรทรัพยากรแบบ Dedicated Resource Assignment

ที่มา: อัครวิทย์ และ สุนีรัตน์ (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 การจัดสรรทรัพยากรแบบ Pooled Resource Assignment

ที่มา: อัครวิทย์ และ สุนีรัตน์ (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window XP
3. โปรแกรม Microsoft Office Visio 2007
4. โปรแกรมแบบจำลอง STROBOSCOPE
5. โปรแกรม Microsoft Excel
6. โปรแกรม Microsoft Word
7. เครื่องพิมพ์

วิธีการ

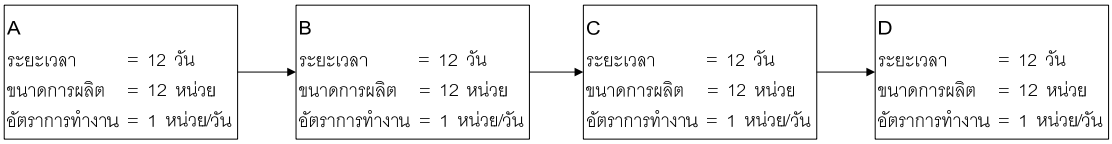
ขั้นตอนในการวิจัยสามารถอธิบายรายละเอียดในขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมสรุปข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานโครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำกันซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองสถานการณ์

2. วิเคราะห์ผลของอัตราการทำงานและขนาดการผลิตโดยอาศัยโครงข่ายสมมติของงานที่มีรูปแบบซ้ำกัน ในกรณีนี้สมมติให้เป็นการสร้างบ้านทาวเฮ้าส์ที่ 1 แปลงประกอบไปด้วยบ้านที่มีลักษณะเหมือนกัน 12 หลัง (ด้านละ 6 หลังหันหน้าเข้าหากัน) กำหนดให้แต่ละหน่วยมีกิจกรรมทำงานจำนวน 4 กิจกรรม คือ A, B, C และ D ใช้ทรัพยากรในการทำงานของแต่ละกิจกรรมเหมือนกันตั้งแต่หน่วยแรกไปยังหน่วยสุดท้าย ได้ทำการจัดกลุ่มโครงข่ายออกเป็น 4 กรณี คือ

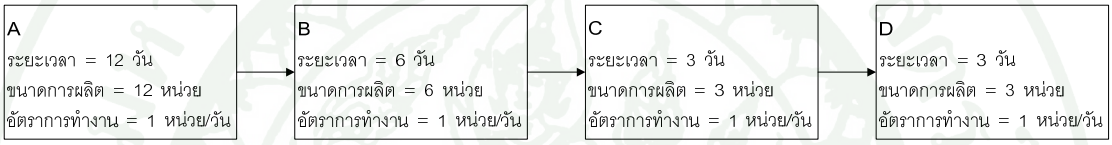
2.1 กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากัน ขนาดการผลิตเท่ากัน ตัวอย่างเช่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



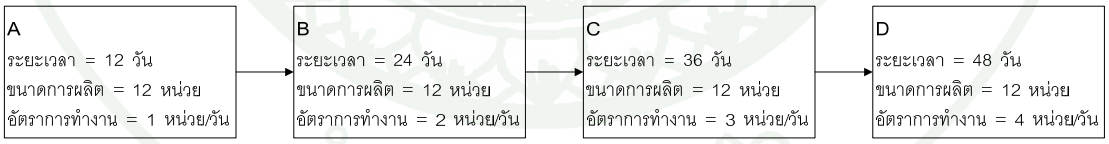
ภาพที่ 13 โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน

2.2 กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากัน ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น



ภาพที่ 14 โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

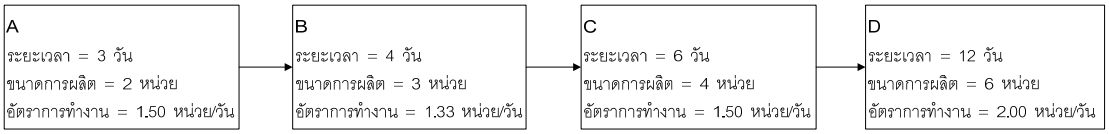
2.3 กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน ตัวอย่างเช่น



ภาพที่ 15 โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน

2.4 กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น

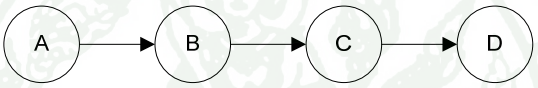
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



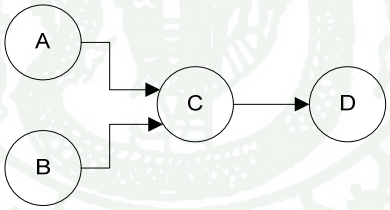
ภาพที่ 16 โครงข่ายสมมติที่กำหนดให้แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

จากการแบ่งกลุ่มโครงข่ายที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ในแต่ละกลุ่มโครงข่ายสามารถแบ่งแผนการทำงานของแต่ละกิจกรรมออกเป็น 4 รูปแบบความสัมพันธ์ ดังนี้

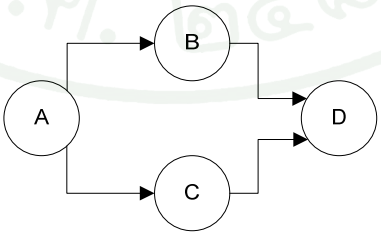
- แต่ละกิจกรรมดำเนินการทีละกิจกรรม



- กิจกรรมเริ่มต้นดำเนินการมากกว่า 1 กิจกรรม

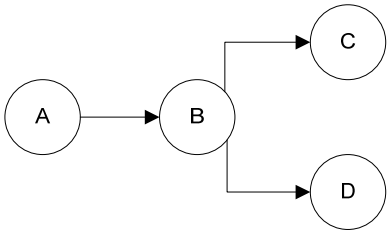


- กิจกรรมเริ่มต้นและกิจกรรมสิ้นสุดดำเนินการอย่างละกิจกรรม



- กิจกรรมสิ้นสุดดำเนินการมากกว่า 1 กิจกรรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



3. วิเคราะห์ผลจากการคำนวณของโครงข่ายกิจกรรมในแบบจำลอง STROBOSCOPE และพัฒนาคำสั่งในการวิเคราะห์หา

- แผนการทำงานของแต่ละกิจกรรม
- ระยะเวลาโครงการ (Project Duration)
- ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time)
- ระยะเวลาว่างงาน (Idle time)
- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production)

4. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การรายงานผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 กรณีคือ 1) อัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน 2) อัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน 3) อัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน 4) อัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ในส่วนแรกของผลงานวิจัยจะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบโดยการพิจารณาความสัมพันธ์เส้นกราฟ/แผนภาพสำหรับกรณีที่ 1-3 ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบเดียวกันนี้โดยอาศัยแบบจำลอง STROBOSCOPE เป็นเครื่องมือในการคำนวณ ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องในทั้ง 4 กรณีและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง STROBOSOPE

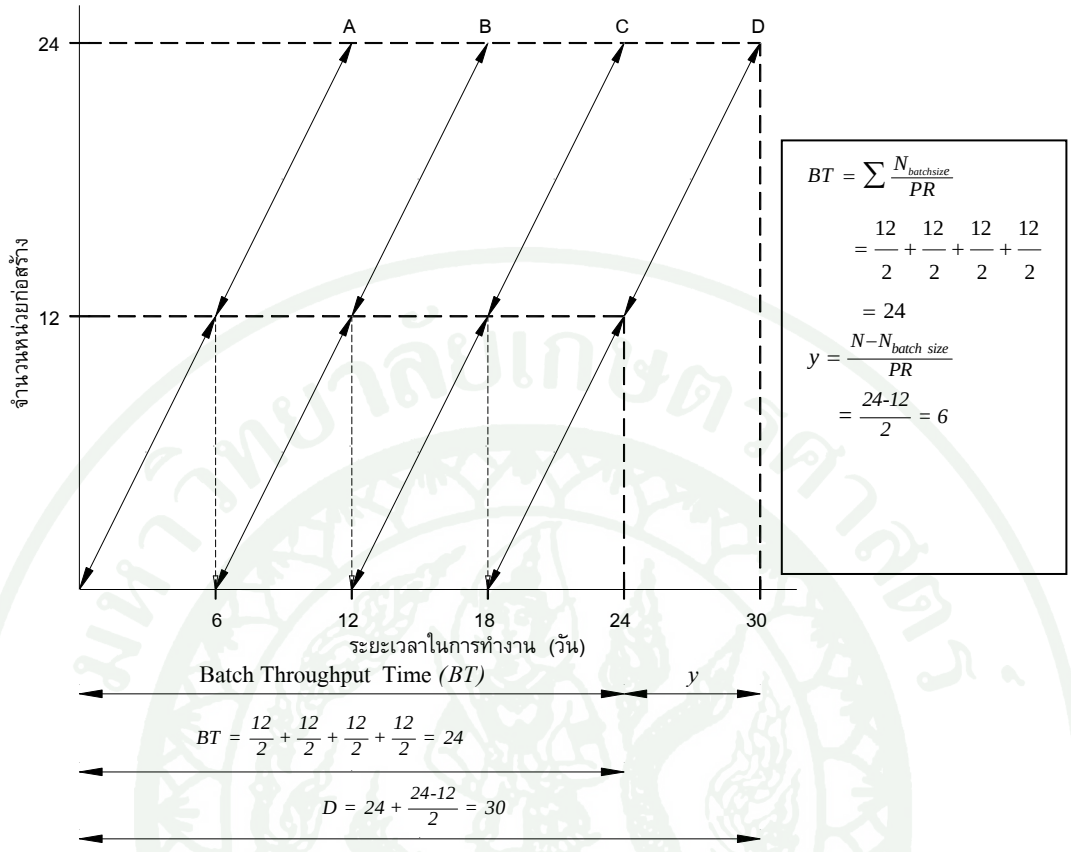
1. การวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตจากการพิจารณาความสัมพันธ์เส้นกราฟ/แผนภาพ

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตสำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันสามารถพิจารณาจากเส้นกราฟ/แผนภาพที่พล็อตจากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหน่วยก่อสร้างและระยะเวลาซึ่งจะมีตัวชี้วัดผลกระทบทั้งหมด 4 ตัวชี้วัดได้แก่ ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time) ระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production) โดยการพิจารณาได้แบ่งกลุ่มโครงข่ายสมมติทั้ง 4 กรณีได้ดังต่อไปนี้

1.1 กรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน

ภาพที่ 17 แสดงตัวอย่างโครงการก่อสร้างที่ประกอบด้วย 4 กิจกรรม คือ A B C และ D มีความสัมพันธ์แบบ Finish to Start ทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตรอบละ 12 หน่วย โครงการก่อสร้างมีหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 24 หน่วย จากภาพแกนตั้งแสดงจำนวนหน่วยก่อสร้างและแกนนอนแสดงระยะเวลาในการทำงาน (วัน) สังเกตได้ว่าเมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการผลิตเท่ากัน เส้นการทำงานของกิจกรรมเหล่านั้นจะขนานกันและเนื่องจากในกรณีนี้ทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตที่เท่ากัน ระยะห่างระหว่างเส้นกิจกรรมจึงเท่ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน

ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time, BT)

ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time, BT) คือระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานในแต่ละรอบการผลิตตั้งแต่กิจกรรมแรกจนเสร็จสิ้นกิจกรรมสุดท้าย จากตัวอย่างในภาพที่ 17 เมื่ออัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากัน ระยะเวลาการผลิตของทุกรอบมีค่าเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 24 วัน หากพิจารณารอบการทำงานที่ 1 ระยะเวลาการผลิตคำนวณได้จากผลบวกของระยะเวลาการทำงานทุกกิจกรรมตั้งแต่กิจกรรมแรกจนถึงกิจกรรมสุดท้าย สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$BT =$ ระยะเวลาการทำงานทุกกิจกรรมตั้งแต่กิจกรรมแรกจนถึงกิจกรรมสุดท้าย

$$= \sum \frac{N_{batch\ size}}{PR} \qquad (1)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ BT = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

PR = อัตราการทำงาน (หน่วย/วัน)

ภาพที่ 17 เมื่อกำหนดให้ทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย ดังนั้นแต่ละกิจกรรมจะใช้เวลาทำงาน 6 วันสำหรับ 1 รอบการทำงาน ($\frac{N_{batch\ size}}{PR}$ = 6 วัน) แทนค่าในสมการ (1) จะได้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 เท่ากับ $\frac{12}{2}+\frac{12}{2}+\frac{12}{2}+\frac{12}{2}$ = 24 วัน หากเปรียบระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานของโครงการตัวอย่างในภาพที่ 18(a) และภาพที่ 18(b) จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดการผลิตลดลงจาก 12 เหลือ 6 หน่วยต่อรอบ ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตของทุก 12 หน่วยก่อสร้างลดลงจาก 24 วัน เหลือ 15 วัน เนื่องจากเมื่อลดขนาดการผลิตลง แต่ละกิจกรรมใช้เวลาทำงานในแต่ละรอบการทำงานลดลง ($\frac{N_{batch\ size}}{PR}$ = 3 วัน) และทำให้กิจกรรมที่ตามมาเริ่มทำงานได้เร็วขึ้น ดังนั้นเมื่อลดขนาดการผลิตทำให้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานสั้นลง ซึ่งถือว่าเป็นการลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน

ระยะเวลาโครงการ (Project Duration, D)

ระยะเวลาโครงการ (Project Duration, D) เป็นระยะเวลานับตั้งแต่กิจกรรมแรกของหน่วยก่อสร้างที่หนึ่งเริ่มต้นทำงานจนเสร็จสิ้นทุกกิจกรรมในทุกหน่วยก่อสร้าง จากตัวอย่างโครงการในภาพที่ 17 ระยะเวลาโครงการมีค่าเท่ากับ 30 วัน จากภาพผู้วางแผนสามารถคำนวณหาระยะเวลาโครงการได้จากระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 (BT) รวมกับระยะเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายใช้ในรอบการทำงานถัดไปจนเสร็จสิ้นโครงการ (y) ดังนั้นระยะเวลาโครงการสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

D = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 (BT) + ระยะเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายใช้ในรอบการทำงานถัดไปจนเสร็จสิ้นโครงการ (y)

$$= \sum \frac{N}{PR} + \frac{\left(N - N_{batch\ size}\right)}{PR} \qquad (2)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ D = ระยะเวลาโครงการ (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

N = จำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด (หน่วย)

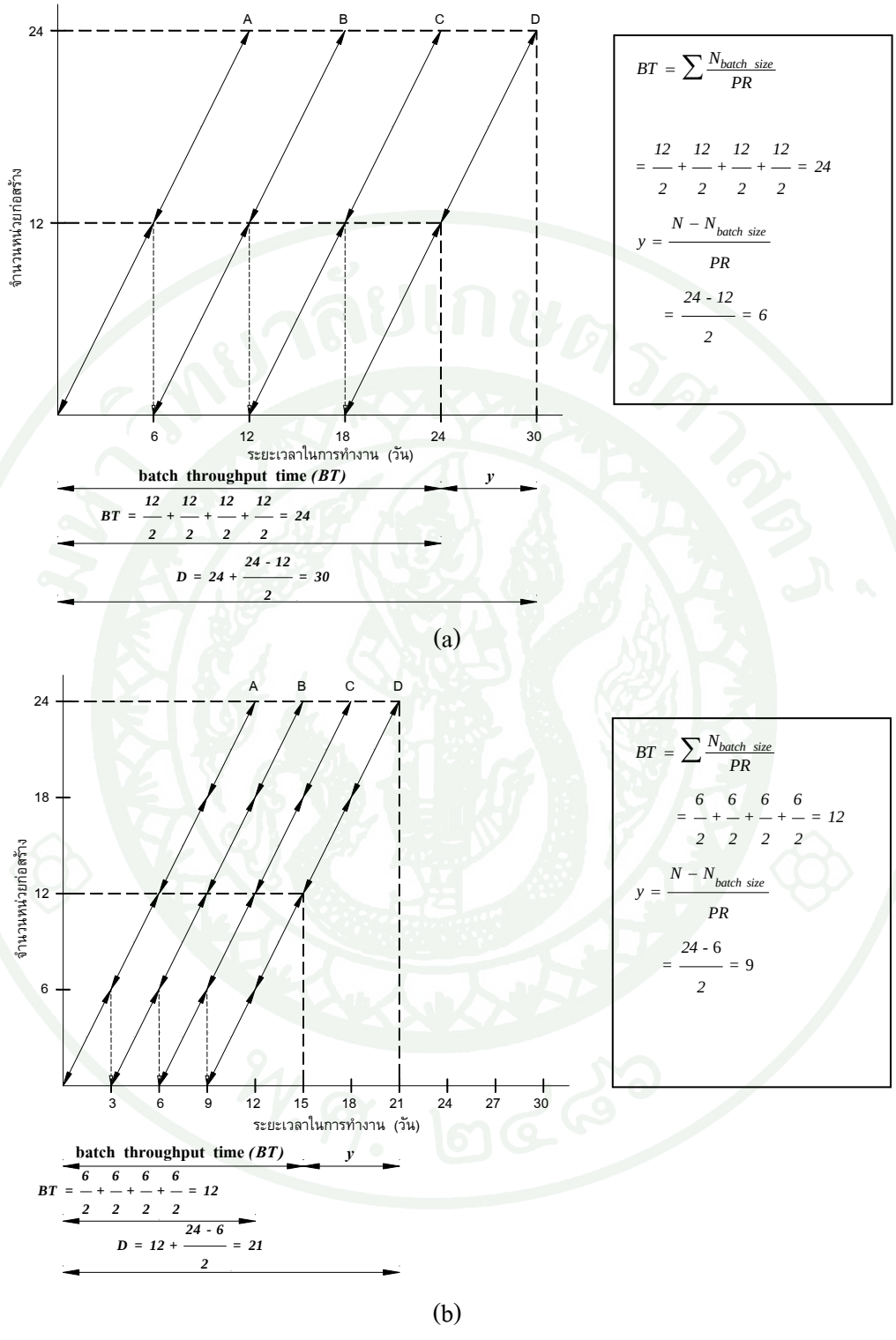
PR = อัตราการทำงาน (หน่วย/วัน)

เมื่อนำข้อมูลของโครงการที่กล่าวไว้ข้างต้นแทนค่าในสมการ (2) จะได้ระยะเวลาโครงการเท่ากับ $\left(\frac{12}{2}+\frac{12}{2}+\frac{12}{2}+\frac{12}{2}\right)+\frac{(24-12)}{2}$ = 30 วัน หากเปรียบเทียบระยะเวลาโครงการของโครงการตัวอย่างในภาพที่ 18(a) และภาพที่ 18(b) ซึ่งเป็นการลดขนาดการผลิตจาก 12 หน่วย เหลือ 6 หน่วย จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดการผลิตลดลงทำให้ระยะเวลาโครงการลดลงจาก 30 วันเหลือ 21 วันซึ่งเป็นผลมาจากแต่ละกิจกรรมใช้เวลาทำงานทำงานในแต่ละรอบการทำงานลดลงทำให้กิจกรรมที่ตามมาสามารถเริ่มต้นงานได้เร็วขึ้น ดังนั้นการลดขนาดการผลิตทำให้ระยะเวลาโครงการสั้นลงเช่นเดียวกับระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน

ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time)

ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) เป็นระยะเวลาที่กลุ่มคนงานของกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งรอคอยระหว่างรอบการผลิตเนื่องจากกิจกรรมก่อนหน้ายังทำงานไม่แล้วเสร็จ ผู้วางแผนสามารถคำนวณระยะเวลาว่างงานได้จากวันที่กลุ่มคนงานทำงานเสร็จสิ้นในรอบก่อนหน้าจนถึงวันที่เริ่มต้นทำงานในรอบการทำงานถัดไป เนื่องจากตัวอย่างในภาพที่ 17 เป็นกระบวนการที่มีอัตราการผลิตและขนาดการผลิตต่อรอบที่เท่ากันทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบและแต่ละกิจกรรมเท่ากัน แผนการทำงานของแต่ละกิจกรรมจึงเป็นเส้นตรงที่ต่อเนื่องและขนานกัน ซึ่งหมายถึงคนงานทำงานโดยไม่มีการหยุดชะงักระหว่างหน่วยการก่อสร้าง และไม่เกิดระยะเวลาว่างงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ระยะเวลาโครงการเมื่อขนาดการผลิตไม่เท่ากัน (a) ขนาดการผลิต 12 หน่วย (b) ขนาดการผลิต 6 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP)

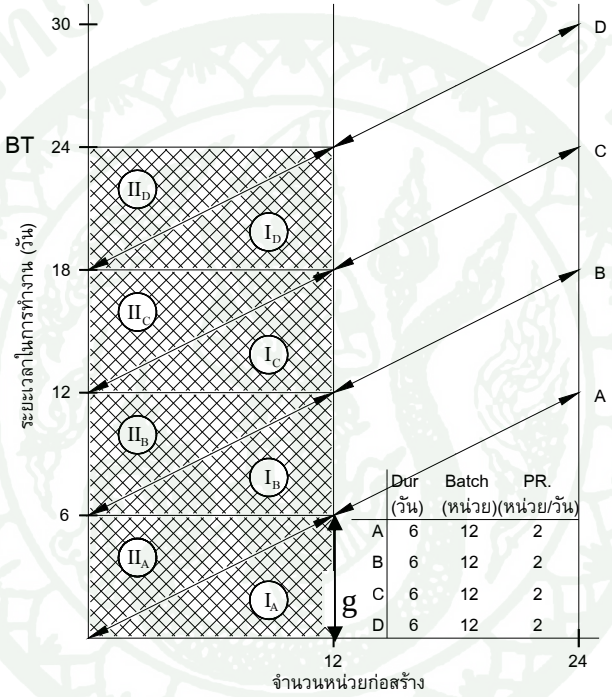
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP) เป็นผลคูณระหว่างจำนวนผลิตภัณฑ์และระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้างของรอบการผลิตใดการผลิตหนึ่งตั้งแต่เริ่มกิจกรรมแรกจนถึงกิจกรรมสุดท้าย ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานเกิดจากผลรวมของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิต (BIP In Process) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน (BIP Waiting Between Processes) ตัวอย่างในภาพที่ 19 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ A และ B มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย จากภาพแสดงสถานภาพการผลิต ณ เวลาที่ขั้นตอน A ผลิตหน่วยที่ 9 ผลิตภัณฑ์หน่วยที่ 10-12 รอคอยในกระบะก่อนดำเนินการผลิตซึ่งจะเรียกปริมาณในช่วงนี้ว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยเพื่อดำเนินการผลิตดังตำแหน่ง (I_A) เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการดำเนินงานในขั้นตอน A จะถูกนำไปวางในกระบะเพื่อรอคอยจนผลิตครบ 12 ชิ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่รอคอยเพื่อให้กิจกรรม A ผลิตครบ 12 ชิ้นเรียกว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยเพื่อให้

ภาพที่ 19 ตัวอย่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิต

ครบขนาดการผลิตดังตำแหน่ง (II_A) ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยเพื่อดำเนินการผลิตเท่ากับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยเพื่อให้ครบขนาดการผลิต เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ครบ 12 ชิ้นกระบะจะถูกส่งไปยังกิจกรรม B หากกิจกรรม B อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการผลิตก่อนหน้า กระบะดังกล่าวจะถูกนำไปพักไว้ยังที่จัดเก็บเพื่อรอกิจกรรม B ดังตำแหน่ง (III_{AB}) เรียกปริมาณรอคอยในสถานที่จัดเก็บนี้ว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ภาพที่ 20 แสดงแผนการทำงานในอีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการสลับแกนระหว่างแกน X และ Y โดยแกน X เป็นจำนวนหน่วยก่อสร้าง ส่วนแกน Y เป็นระยะเวลาในการทำงาน (วัน) ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คอยเพื่อดำเนินการผลิตในขั้นตอน A ของรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับพื้นที่สามเหลี่ยม I_A จะเห็นได้ว่าหน่วยสุดท้ายมีระยะเวลารอคอยเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตจนเสร็จสิ้นซึ่งมีค่าเท่ากับระยะเวลาที่กิจกรรม A ใช้ในการผลิต 1 รอบการทำงานเท่ากับ ระยะ g ในขณะเดียวกันเมื่อผลิตหน่วยที่ 1 เสร็จผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปวางในกระบะเพื่อรอคอยให้ขั้นตอน A ผลิตครบ 12 หน่วย ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยเพื่อให้ครบขนาดการผลิตแสดงในพื้นที่สามเหลี่ยม II_A จะเห็นได้ว่าหน่วยที่ 1 จะใช้ระยะเวลารอคอยขั้นตอน A จนผลิตครบ 12 หน่วยเท่ากับ ระยะ g เช่นเดียวกันซึ่งมีค่าเท่ากับ



ภาพที่ 20 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตกรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน

ระยะเวลาที่กิจกรรม A ใช้ในการผลิตสำหรับ 1 รอบการทำงาน ดังนั้นความสูญเสียที่เกิดจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตในแต่ละรอบการทำงานมีค่าเท่ากับพื้นที่ I รวมกับพื้นที่ II จากภาพที่ 20 จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานเกิดจากผลคูณของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (BT) และขนาดการผลิต ($N_{batch\ size}$) ซึ่งสามารถเขียนสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$BIP = BT \times N_{batch\ size} \qquad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ BIP = ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (หน่วย-วัน)

BT = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

กรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน เมื่อกิจกรรม A ทำงานเสร็จสิ้น กิจกรรม B สามารถเริ่มทำงานได้ทันที ดังนั้นในกรณีนี้จึงไม่เกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน (BIP Waiting Between Processes) แต่เกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิต (BIP in Process) สามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$BIP\ \ In\ \ Process = \sum_{\forall g} BT_g \times N_{batch\ size_j} \quad \text{หรือ}$$

$$= \sum_{j=1}^{n} \frac{N_{batch\ size_j}^2}{PR} \tag{4}$$

โดยที่ $BIP\ \ In\ \ Process$ = ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิต (หน่วย-วัน)

BT_g = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานใดๆ (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

PR = อัตราการทำงานของกิจกรรมใดๆ (หน่วย/วัน)

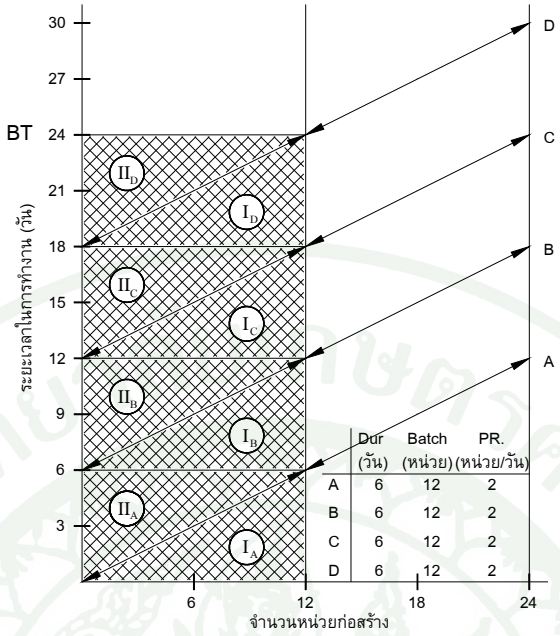
g = รอบการทำงานใดๆ

j = กิจกรรมใดๆ

n = จำนวนกิจกรรมทั้งหมด

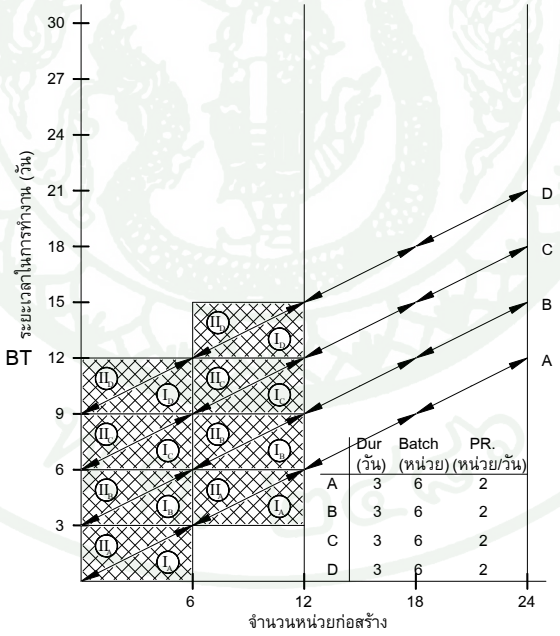
ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบขนาดการผลิตที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้วางแผนลดขนาดการผลิตจาก 12 หน่วยเหลือ 6 หน่วย แต่ละกิจกรรมมีการทำงานถี่ขึ้น ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการผลิตของการผลิต 12 หน่วยลดลงจาก 288 หน่วย-วันเป็น 144 หน่วย-วัน นั่นคือการลดขนาดการผลิตทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



$$\text{BIP In Process} = \sum_{j=1}^{n} \frac{N_{batch\ size_j}^2}{PR_j} = \frac{12^2}{2} + \frac{12^2}{2} + \frac{12^2}{2} + \frac{12^2}{2} = 288 \text{ หน่วย-วัน}$$

(a)



$$\text{BIP In Process} = \sum_{j=1}^{n} \frac{N_{batch\ size_j}^2}{PR_j} = \frac{6^2}{2} + \frac{6^2}{2} + \frac{6^2}{2} + \frac{6^2}{2} = 72 \text{ หน่วย-วัน}$$

(b)

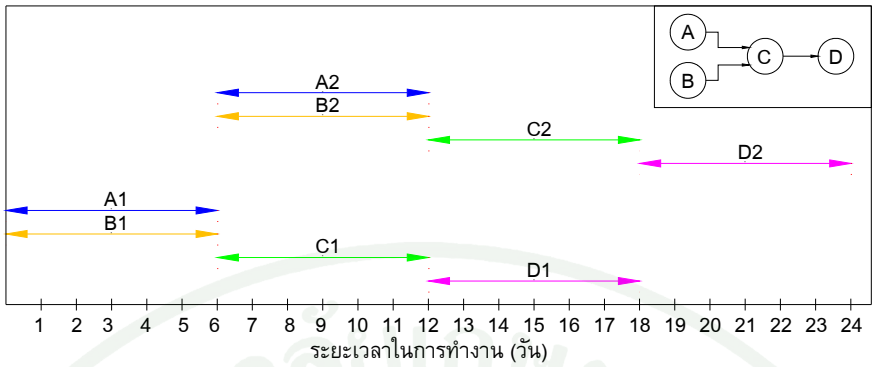
ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากัน (a) ขนาดการผลิต 12 หน่วย (b) ขนาดการผลิต 6 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

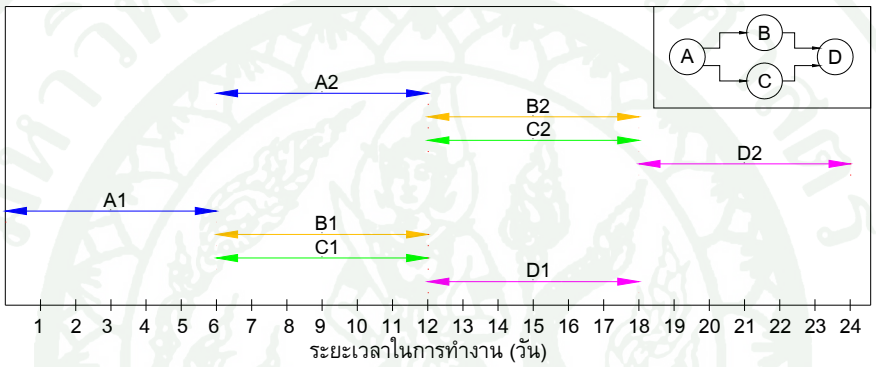
ส่วนที่กล่าวไปข้างต้นเป็นรูปแบบของโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินการเป็นลำดับขั้นตอนต่อเนื่องทีละกิจกรรม แต่ในการดำเนินงานจริงอาจจะมีโครงข่ายลักษณะอื่น เช่น มีกิจกรรมเริ่มต้นมากกว่า 1 กิจกรรมหรือมีบางกิจกรรมดำเนินงานพร้อมกัน ภาพที่ 22 แสดงตัวอย่างโครงการคล้ายกับกรณีที่กิจกรรมดำเนินงานทีละกิจกรรมแต่แตกต่างกันที่กิจกรรมบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน เช่น กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน หรือกิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันซึ่งทำให้มีลำดับขั้นตอนการทำงานน้อยลง ผู้วางแผนสามารถวิเคราะห์ผลกระทบได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาผลกระทบของโครงการตัวอย่างจากแผนงานในภาพที่ 22 ซึ่งเป็นแผนการทำงานที่บางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกัน โดยภาพที่ 22(a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นทำงานพร้อมกัน ภาพที่ 22(b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นทำงานพร้อมกัน ส่วนภาพที่ 22(c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นทำงานพร้อมกัน เมื่อพิจารณาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานและระยะเวลาโครงการในโครงการก่อสร้างที่มีจำนวนหน่วยก่อสร้าง 24 หน่วย ทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 กรณีมีระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานและระยะเวลาโครงการเท่ากัน คือ 18 และ 24 วันตามลำดับ ซึ่งมีระยะเวลาน้อยกว่ากรณีก่อนหน้าในภาพที่ 17 เนื่องจากทั้ง 3 รูปแบบมีบางกิจกรรมดำเนินงานพร้อมกัน ทำให้มีลำดับขั้นตอนการทำงานน้อยกว่ากรณีก่อนหน้า การคำนวณหาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานและระยะเวลาโครงการยังคงสามารถใช้สมการ (1) และ (2) ได้ และเนื่องจากทั้ง 4 กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตที่เท่ากัน จึงทำให้คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องจึงไม่มีระยะเวลาว่างงานของคนงาน และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานจึงเกิดเฉพาะปริมาณความสูญเสียเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกันกับกรณีก่อนหน้า จากที่กล่าวไว้ข้างต้นเมื่อบางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกันทำให้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานลดลงแต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตไม่ได้ลดลงเนื่องจาก ณ เวลาเดียวกันมี 2 กิจกรรมดำเนินการผลิตพร้อมกัน ดังนั้นความสูญเสียเนื่องจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตไม่สามารถคำนวณได้จากสมการ (3) แต่สามารถคำนวณได้จากสมการ (4) ซึ่งปริมาณความสูญเสียนี้จะมีปริมาณเท่ากันกับกรณีที่กระบวนการดำเนินการทำงานทีละกิจกรรม

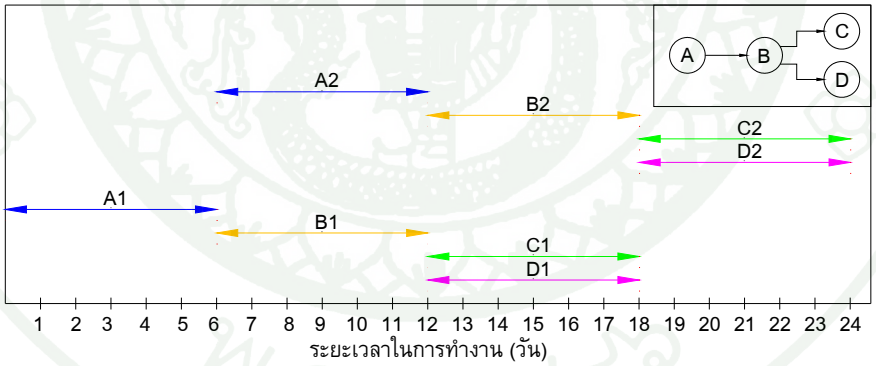
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 22 แผนการทำงานกรณีบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน ทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

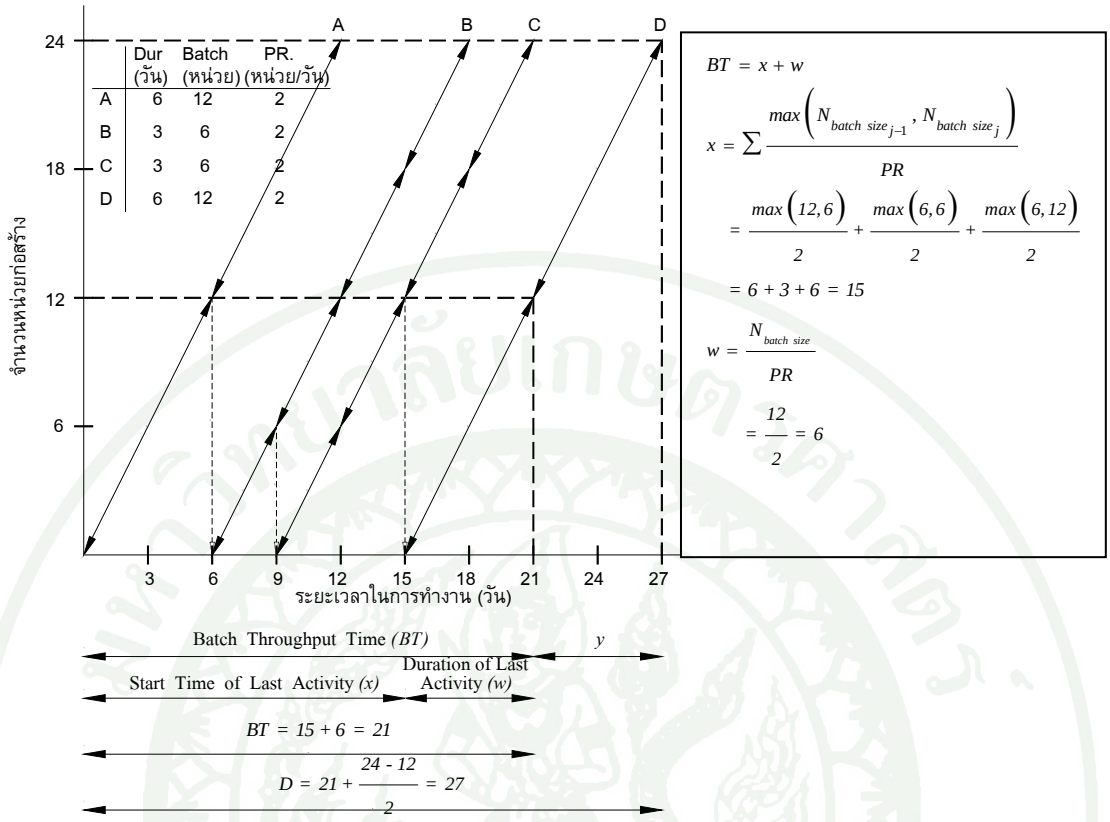
1.2 กรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

ในกรณีที่ 2 นี้กระบวนการผลิตประกอบด้วยกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ภาพที่ 23 แสดงตัวอย่างโครงการที่คล้ายกับโครงการตัวอย่างในกรณีก่อนหน้า โดยโครงการก่อสร้างนี้ประกอบด้วย 4 กิจกรรม มีความสัมพันธ์แบบ Finish to Start แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน มีขนาดการผลิตแต่ละกิจกรรมต่างกันคือ กิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย ตามลำดับ โครงการก่อสร้างมีหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 24 หน่วย ผู้วางแผนโครงการสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการในรูปแบบของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time) ระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production) ได้ดังต่อไปนี้

ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time, BT)

จากภาพที่ 23 กิจกรรม B ซึ่งมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยจะเริ่มต้นทำงานได้ต่อเมื่อกิจกรรม A ดำเนินการผลิตได้อย่างน้อย 6 หน่วย เนื่องจากกิจกรรม A ผลิตได้รอบละ 12 หน่วย กิจกรรม B จึงเริ่มต้นทำงานได้หลังจากที่กิจกรรม A ดำเนินการผลิตรอบที่ 1 เสร็จสิ้น ส่วนกิจกรรม C มีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยจะเริ่มต้นทำงานได้ต่อเมื่อกิจกรรม B ดำเนินการแล้วเสร็จอย่างน้อย 6 หน่วยกิจกรรม C จึงสามารถเริ่มต้นงานได้ทันทีที่กิจกรรม B ดำเนินการรอบการผลิตที่ 1 เสร็จสิ้น สำหรับกิจกรรม D ซึ่งขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วยจะเริ่มต้นทำงานได้เมื่อมีปริมาณผลิตภัณฑ์แล้วเสร็จจากกิจกรรม C อย่างน้อยเท่ากับกิจกรรมของตนเองหรือรอบการผลิตที่ 2 เสร็จสิ้น ในงานก่อสร้างเราอาจพบกรณีเช่นนี้ได้ เช่น โครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์แต่ละแปลงประกอบด้วยบ้าน 12 หลัง (ฝั่งละ 6 หลังชนกัน) ในการดำเนินงานโครงสร้างชั้น 2 จะทำทีละฝั่งหรือ 6 หลังแต่ในการขึ้นโครงสร้างหลังคาจะต้องทำทีละ 12 หลัง งานโครงหลังคาถูกกำหนดให้เริ่มต้นเมื่องานโครงสร้างชั้น 2 ทำงานเสร็จทั้ง 2 ฝั่งก่อนเนื่องจากการใช้เครนช่วยยกอุปกรณ์ต่างๆ ต้องการพื้นที่บริเวณกว้าง จากภาพที่ 23 จะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างการเริ่มต้นของสองกิจกรรมใดๆ ขึ้นอยู่กับขนาดการผลิตของกิจกรรมนั้นและกิจกรรมก่อนหน้า โดยกิจกรรมใดๆ จะเริ่มทำงานได้เมื่อกิจกรรมก่อนหน้าทำงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากันการผลิตของกิจกรรมตนเอง

จากภาพจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการผลิตของทุกรอบการทำงานมีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถหาได้จากระยะเวลานับจากวันเริ่มต้นโครงการจนถึงกำหนดเวลาโครงการที่กิจกรรมสุดท้ายเริ่มต้นทำงาน (ระยะ x) บวกด้วยระยะเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายใช้ในการดำเนินงานสำหรับ 1 รอบ (ระยะ w)

จากภาพที่ 23 ระยะ x เป็นผลรวมของระยะห่างระหว่างการเริ่มต้นของสองกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันและสามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบขนาดการผลิตต่อรอบที่มากที่สุดระหว่างกิจกรรมใดๆ และกิจกรรมก่อนหน้า ดังนั้นสูตรการคำนวณหาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

BT = กำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายจะเริ่มทำงานได้ (x) + ระยะเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายใช้ในการทำงานสำหรับ 1 รอบ (w)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$= \sum_{\forall j} \frac{max\left(N_{batch\ size_i}, N_{batch\ size_j}\right)}{PR} + \frac{N_{max\ batch\ size}}{PR} \quad (5)$$

โดยที่ BT = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (วัน)

$N_{batch\ size_i}$ = ขนาดการผลิตของกิจกรรมก่อนหน้า (หน่วย)

$N_{batch\ size_j}$ = ขนาดการผลิตของกิจกรรมที่พิจารณา (หน่วย)

$N_{max\ batch\ size}$ = ขนาดการผลิตของกิจกรรมที่มีค่ามากที่สุด (หน่วย)

PR = อัตราการทำงาน (หน่วย/วัน)

เมื่อนำข้อมูลโครงการในภาพที่ 24(a) แทนค่าในสมการ (5) จะได้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 $\left(\frac{\max(12,6)}{2} + \frac{\max(6,6)}{2} + \frac{\max(6,12)}{2}\right) + \frac{12}{2} = 21$ วัน ซึ่งมีระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 ในภาพที่ 24(a) น้อยกว่ากรณีที่ 1 ในภาพที่ 17 เนื่องจากการลดขนาดการผลิตในบางกิจกรรมที่ติดกันทำให้กิจกรรมที่ตามมาเริ่มต้นทำงานเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานของขนาดการผลิตที่มากที่สุดในโครงการตัวอย่างในภาพที่ 24(a) แสดงการลดขนาดการผลิตในกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันและภาพที่ 24(b) แสดงการลดขนาดการผลิตในบางกิจกรรมที่ไม่ต่อเนื่องกัน พบว่าระยะเวลาการผลิตของรอบที่ 1 ในภาพที่ 24(b) มีค่ามากกว่าภาพที่ 24(a) ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะเวลาการผลิตของรอบที่ 1 ในกรณีก่อนหน้าดังภาพที่ 17 แสดงให้เห็นได้ว่าระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานในภาพที่ 24(a) มีค่าลดลงจากกรณีที่ 1 ดังนั้นการลดขนาดการผลิตในกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันทำให้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานมีค่าลดลง

ระยะเวลาโครงการ (Project Duration, D)

จากตัวอย่างในภาพที่ 23 งานก่อสร้างบ้าน 24 หน่วยใช้เวลาทั้งสิ้น 27 วัน ซึ่งจากภาพผู้วางแผนสามารถคำนวณหาระยะเวลาโครงการได้จากผลบวกของระยะ BT และ y เช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 โดยระยะ BT สามารถคำนวณได้จากสมการ (5) ส่วนระยะ y สามารถคำนวณเหมือนกรณีก่อนหน้าที่กิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากัน ซึ่งสามารถเขียนสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

D = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 (BT) + ระยะเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายใช้ในรอบการทำงานถัดไปจนเสร็จสิ้นโครงการ (y)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$= \sum_{\forall j} \frac{max\left(N_{batch\ size_i}, N_{batch\ size_j}\right)}{PR} + \frac{N_{max\ batch\ size}}{PR} + \frac{\left(N - N_{max\ batch\ size}\right)}{PR} \quad (6)$$

โดยที่ D = ระยะเวลาโครงการ (วัน)

$N_{batch\ size_i}$ = ขนาดการผลิตของกิจกรรมก่อนหน้า (หน่วย)

$N_{batch\ size_j}$ = ขนาดการผลิตของกิจกรรมที่พิจารณา (หน่วย)

$N_{max\ batch\ size}$ = ขนาดการผลิตของกิจกรรมที่มีค่ามากที่สุด (หน่วย)

N = จำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด (หน่วย)

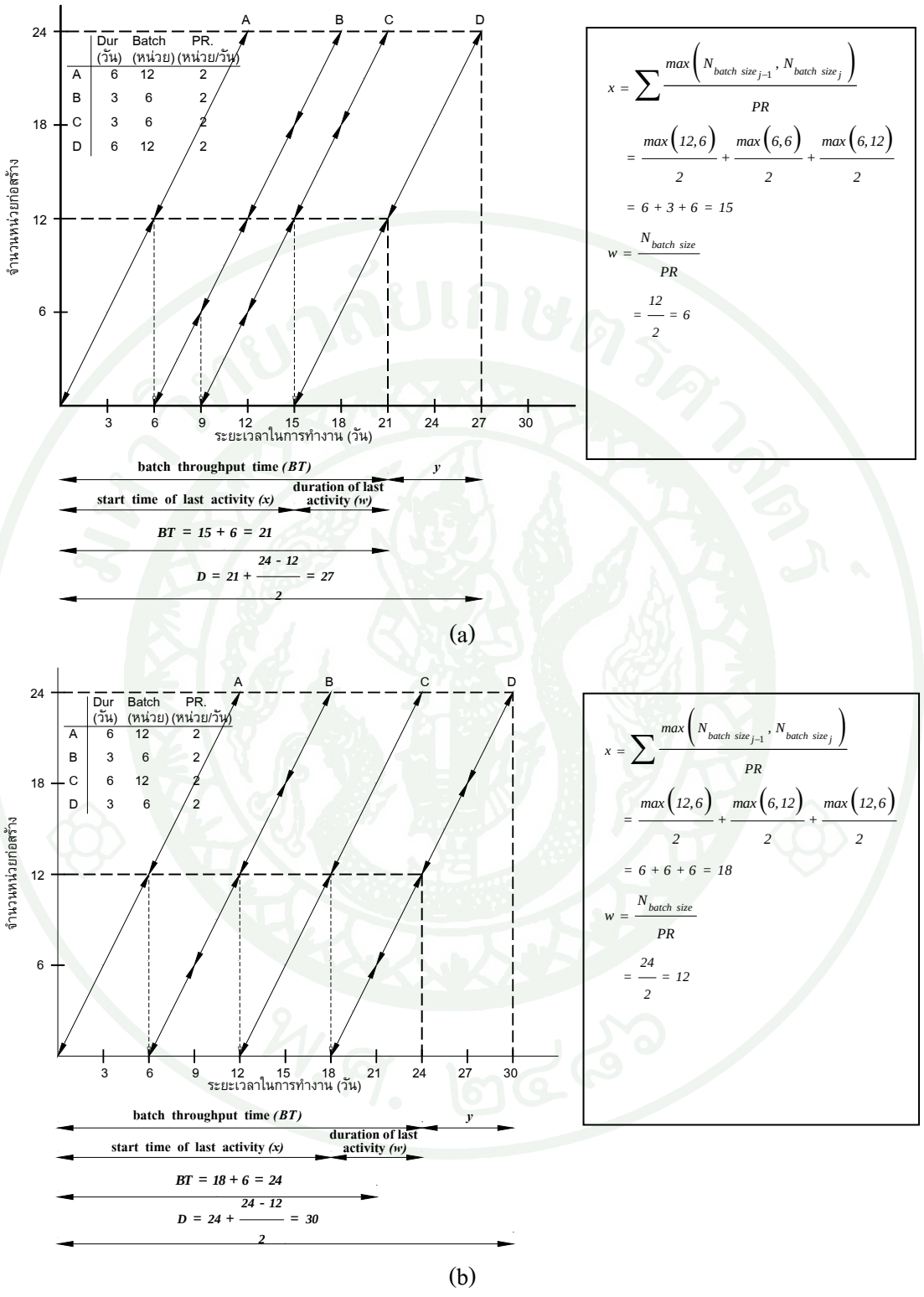
PR = อัตราการทำงาน (หน่วย/วัน)

เมื่อนำข้อมูลของโครงการที่กล่าวไว้ข้างต้นแทนค่าในสมการ (6) จะได้ระยะเวลาโครงการ $\left(\frac{\max(12,6)}{2} + \frac{\max(6,6)}{2} + \frac{\max(6,12)}{2}\right) + \frac{12}{2} + \frac{(24-12)}{2}$ = 27 วัน ซึ่งจะมีระยะเวลาโครงการน้อยกว่ากรณีที่ 1 ในภาพที่ 17 เนื่องจาก ณ กรณีนี้กิจกรรม B และ C ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ติดกันมีขนาดการผลิตที่เล็กกว่า ทำให้กิจกรรม C สามารถเริ่มต้นทำงานได้เร็วขึ้น ภาพที่ 24(a) และภาพที่ 24(b) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของตำแหน่งของกิจกรรมที่มีการลดขนาดการผลิต ตัวอย่างในภาพที่ 24(a) ซึ่งเป็นภาพเดียวกับภาพที่ 23 มีการลดขนาดการผลิตในสองกิจกรรมที่ต่อเนื่องกัน และภาพที่ 24(b) เป็นการลดขนาดการผลิตในสองกิจกรรมที่ไม่ต่อเนื่องกัน จะเห็นได้ว่าภาพที่ 24(b) มีระยะเวลาโครงการมากกว่าภาพที่ 24(a) ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะเวลาโครงการในกรณีที่ 1 ดังภาพที่ 17 ดังนั้นการลดขนาดการผลิตในกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันเท่านั้นที่จะทำให้ระยะเวลาโครงการมีค่าลดลงเช่นเดียวกับระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน

ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time)

จากตัวอย่างโครงการก่อสร้างในภาพที่ 23 แสดงแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ในกรณีนี้คนงานในกิจกรรมตามหลังจะเริ่มทำงานได้เมื่อคนงานในกิจกรรมก่อนหน้าทำงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรมตามหลัง จากภาพจะเห็นได้ว่ากราฟเส้นที่แสดงแผนการทำงานของแต่ละกิจกรรมจะขนานกันอย่างต่อเนื่องซึ่งเกิดจากความชันของเส้นกราฟทุกเส้นมีค่าเท่ากัน นั่นแสดงให้เห็นได้ว่าคนงานทุกกิจกรรมทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการหยุดทำงานระหว่างหน่วยก่อสร้าง ดังนั้นในกรณีนี้คนงานของทุกกิจกรรมไม่มีระยะเวลาว่างงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



$$x = \sum \frac{max\left(N_{batch\ size_{j-1}}, N_{batch\ size_j}\right)}{PR}$$

$$= \frac{max(12,6)}{2} + \frac{max(6,6)}{2} + \frac{max(6,12)}{2}$$

$$= 6 + 3 + 6 = 15$$

$$w = \frac{N_{batch\ size}}{PR}$$

$$= \frac{12}{2} = 6$$

$$x = \sum \frac{max\left(N_{batch\ size_{j-1}}, N_{batch\ size_j}\right)}{PR}$$

$$= \frac{max(12,6)}{2} + \frac{max(6,12)}{2} + \frac{max(12,6)}{2}$$

$$= 6 + 6 + 6 = 18$$

$$w = \frac{N_{batch\ size}}{PR}$$

$$= \frac{24}{2} = 12$$

ภาพที่ 24 ระยะเวลาโครงการเมื่อขนาดการผลิตในแต่ละกิจกรรมไม่เท่ากัน (a) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย (b) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 12 และ 6 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

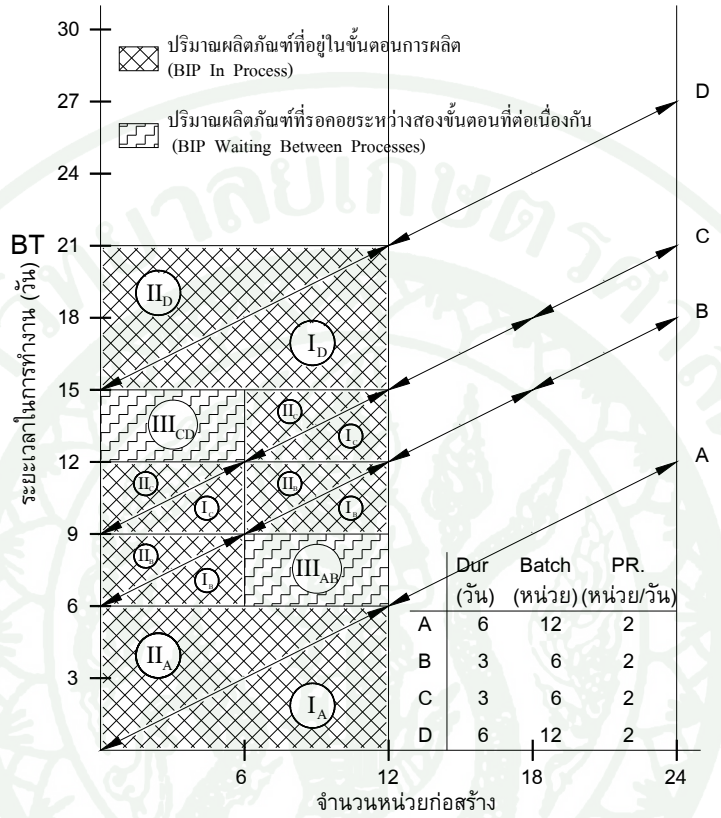
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP)

กรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน กิจกรรม B จะเริ่มทำงานได้เมื่อกิจกรรม A ทำงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรม B แสดงดังกราฟภาพที่ 25 ซึ่งเป็นแผนการทำงานในรูปแบบที่เกิดจากการสลับแกน X และ Y โดยแกน X เป็นจำนวนหน่วยก่อสร้าง ส่วนแกน Y เป็นระยะเวลาในการทำงาน (วัน) ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานเกิดจากผลรวมของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตของทุกกิจกรรมในแต่ละรอบการทำงานและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน จากกราฟจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้เกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิต (BIP In Process) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน (BIP Waiting Between Processes) จากความสัมพันธ์ในสมการ (4) ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตขึ้นอยู่กับขนาดการผลิตและอัตราการผลิตของกิจกรรมนั้นๆ ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการผลิต $= \sum_{j=1}^{n} \frac{N_{batch\ size_j}^2}{PR_j}$ โดยที่ j เป็นกิจกรรมใดๆ และ n เป็นจำนวนกิจกรรมทั้งหมด

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดการผลิตระหว่าง 2 กิจกรรมที่ต่อเนื่องกัน ภาพที่ 26 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของ 2 กรณีเดียวกับที่แสดงในภาพที่ 24 จากภาพที่ 26(a) เมื่อกิจกรรม A ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น กิจกรรม B หน่วยที่ 7-12 ไม่สามารถเริ่มต้นทำงานได้ต้องรอให้หน่วยที่ 1-6 (รอบการทำงานที่ 1) ทำงานแล้วเสร็จ ซึ่งใช้ระยะเวลารอคอยเพื่อเริ่มต้นทำงานเท่ากับ 3 วัน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A-B (III_{AB}) มีค่าเท่ากับระยะเวลารอคอย 3 วันคูณด้วยขนาดการผลิต 6 หน่วย ภาพที่ 26(a) แสดงการเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A-B (III_{AB}) และ C-D (III_{CD}) โดยอธิบายความหมายได้ดังนี้ III_{AB} คือปริมาณการรอคอยของผลิตภัณฑ์หน่วยที่ 7-12 นับตั้งแต่เสร็จสิ้นจากกิจกรรม A ในวันที่ 6 จนถึงกำหนดเวลาที่กิจกรรม B สามารถเริ่มต้นงานในรอบที่ 2 (วันที่ 9) ส่วนภาพที่ 26(b) เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A-B (III_{AB}) B-C (III_{BC}) และ C-D (III_{CD}) ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันสามารถคำนวณได้จากผลคูณของระยะเวลาที่ปริมาณ

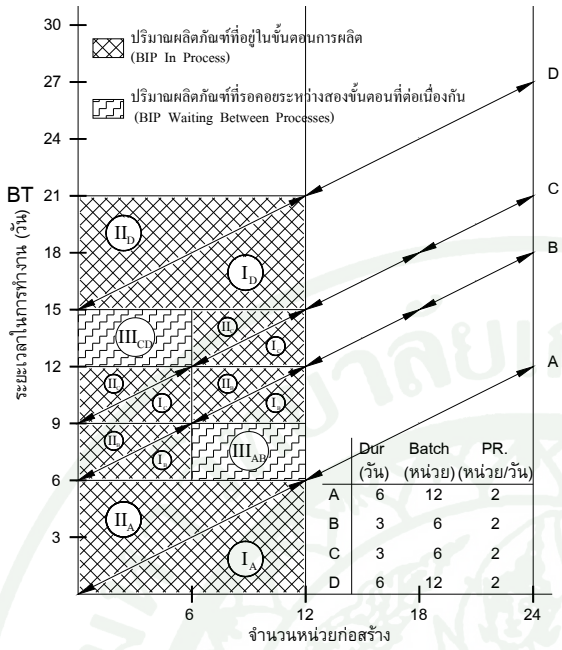
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลิตภัณฑ์รอคอยและขนาดการผลิต โดยระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยพิจารณาจากผลต่างของวันเสร็จสิ้นการทำงานของกิจกรรมก่อนหน้าและวันเริ่มต้นทำงานของกิจกรรมถัดมา



ภาพที่ 25 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



$$\text{BIP (In Process)} = \sum_{j=1}^{n} \frac{N_{batch\ size_j}^2}{PR_j}$$

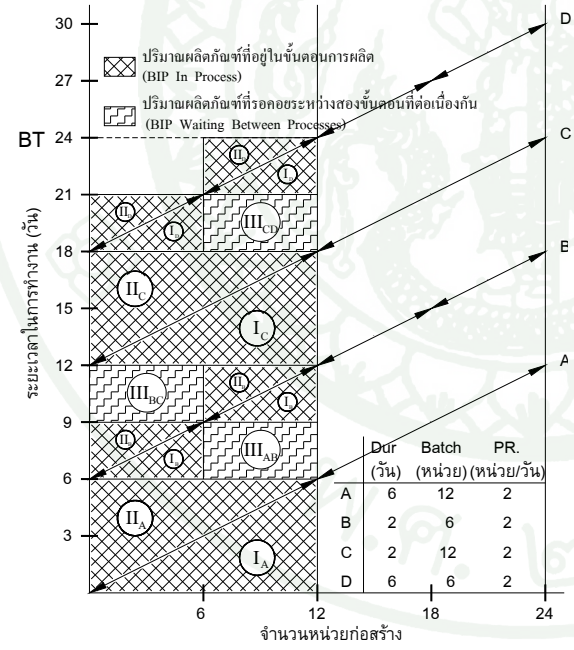
$$= \frac{12^2}{2} + \left(\frac{6^2}{2} \times 2\right) + \left(\frac{6^2}{2} \times 2\right) + \frac{12^2}{2} = 216 \text{ หน่วย-วัน}$$

$$\text{BIP (Waiting Between Processes)} = \left(\frac{12}{2} - \left(\frac{6}{2} \times 1\right)\right) \times 6 \times 2 = 36 \text{ หน่วย-วัน}$$

BIP = BIP(In Process)+BIP(Waiting Between Processes)

= 216+36 = 252 หน่วย-วัน

(a)



$$\text{BIP (In Process)} = \sum_{j=1}^{n} \frac{N_{batch\ size_j}^2}{PR_j}$$

$$= \frac{12^2}{2} + \left(\frac{6^2}{2} \times 2\right) + \frac{12^2}{2} + \left(\frac{6^2}{2} \times 2\right) = 216 \text{ หน่วย-วัน}$$

$$= \left(\frac{12}{2} - \left(\frac{6}{2} \times 1\right)\right) \times 6 \times 3 = 54 \text{ หน่วย-วัน}$$

BIP = BIP(In Process)+BIP(Waiting Between Process)

= 216+54 = 270 หน่วย-วัน

(b)

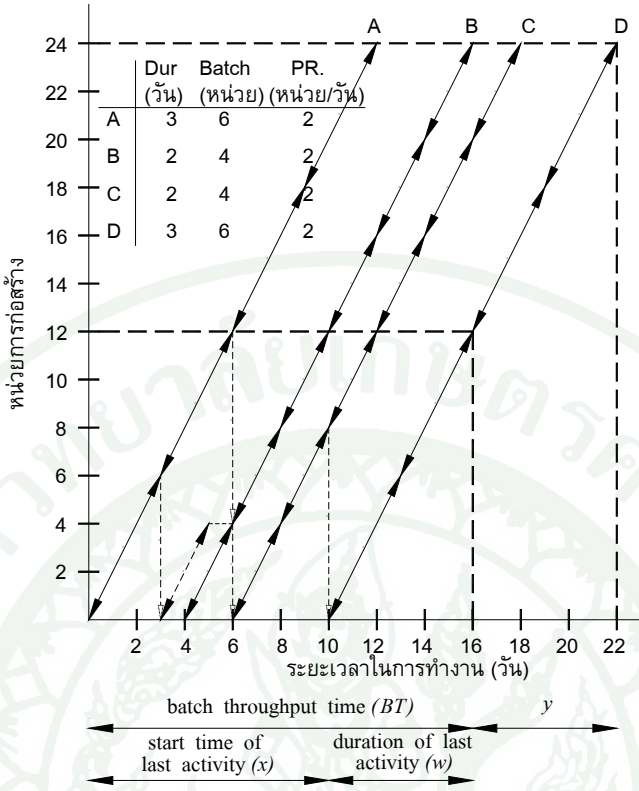
ภาพที่ 26 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน เมื่อแต่ละกิจกรรมมีขนาดการผลิตไม่เท่ากัน (a) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย (b) กิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 12 และ 6 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ได้กล่าวไปข้างต้นจะเป็นกรณีที่กระบวนการผลิต ประกอบด้วยกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานเท่ากันมีขนาดการผลิตแตกต่างกันแต่เป็นตัวประกอบกัน เช่น กิจกรรม A มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วยต่อรอบในขณะที่กิจกรรม B มีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยต่อรอบ ในกรณีที่กิจกรรมติดกันมีขนาดการผลิตที่ไม่เป็นตัวประกอบกันจะมีความแตกต่างจากกรณีก่อนหน้า ภาพที่ 27 แสดงตัวอย่างโครงการคล้ายกับกรณีก่อนหน้าแต่มีขนาดการผลิตแตกต่างกันโดยที่กิจกรรมติดกันมีขนาดการผลิตไม่เป็นตัวประกอบกันคือ กิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 6, 4, 4, 6 หน่วยตามลำดับ ผู้วางแผนสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาภาพที่ 27 กิจกรรม A ซึ่งมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยดำเนินการผลิตรอบที่ 1 เสร็จสิ้นกิจกรรม B รอบที่ 1 สามารถเริ่มต้นดำเนินงานได้ทันทีเนื่องจากมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เพียงพอที่จะเริ่มกระบวนการ (กิจกรรม B มีขนาดการผลิตเท่ากับ 4 หน่วยซึ่งน้อยกว่ากิจกรรม A) เมื่อกิจกรรม B รอบที่ 1 ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นไม่สามารถเริ่มงานรอบที่ 2 ได้ทันทีเนื่องจากจำนวนผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จจากกิจกรรม A ในรอบที่ 1ไม่เพียงพอสำหรับเริ่มกิจกรรม B ในรอบที่ 2 จึงต้องรอให้กิจกรรม A ในรอบที่ 2 ดำเนินการผลิตเสร็จก่อน และหลังจากนั้นการผลิตของทั้งกิจกรรม A และ B จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนถึงรอบการผลิตสุดท้ายแสดงดังภาพที่ 27 การขาดช่วงของกระบวนการผลิตของกิจกรรม B ระหว่างรอบที่ 1 และรอบที่ 2 เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดการผลิตของกิจกรรม A และ B ไม่เป็นตัวประกอบกัน ซึ่งผู้วางแผนสามารถเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มต้นของกิจกรรม B ในรอบการทำงานแรกจากวันที่ 3 เป็นวันที่ 4 เพื่อให้กิจกรรม B และ C ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนกิจกรรม D ในรอบที่ 1 สามารถเริ่มผลิตได้เมื่อกิจกรรม C ในรอบที่ 2 ดำเนินการเสร็จสิ้นเนื่องจากกิจกรรม D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่กิจกรรม C รอบที่ 1 ผลิตเสร็จมีปริมาณน้อยกว่าขนาดการผลิตที่กิจกรรม D ต้องการ จะเห็นได้ว่าในกรณีกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากัน การเริ่มต้นของแต่ละกิจกรรมถูกกำหนดจากการพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จจากกิจกรรมก่อนหน้าว่าเพียงพอสำหรับการเริ่มต้นกิจกรรมที่พิจารณาหรือไม่ จากภาพเมื่อโครงการก่อสร้างมีจำนวน 24 หน่วยจะมีระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานเท่ากับ 16 วันซึ่งไม่เท่ากับ $\left(\frac{\max(6,4)}{2}+\frac{\max(4,4)}{2}+\frac{\max(4,6)}{2}\right)+\frac{12}{2}$ (ในสมการ (5)) ดังนั้นการหาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานและระยะเวลาโครงการกรณีกิจกรรมติดกันมีขนาดการผลิตไม่เป็นตัวประกอบกันไม่สามารถคำนวณได้จากสมการ (5) และ (6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากันสำหรับกิจกรรมติดกันไม่เป็นตัวประกอบกัน

จากที่กล่าวไปข้างต้นเป็นรูปแบบของโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินการเป็นลำดับขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันทีละกิจกรรม แต่หากมีบางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกันจะมีแผนการทำงานที่แตกต่างจากเดิมดังภาพที่ 28 จากภาพเป็นตัวอย่างของแผนการทำงานที่บางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกันดังนี้คือ แบบกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินการมากกว่า 1 กิจกรรม แบบกิจกรรมเริ่มต้นและกิจกรรมสิ้นสุดดำเนินการอย่างละกิจกรรม และแบบกิจกรรมสิ้นสุดดำเนินมากกว่า 1 กิจกรรม ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้จะแตกต่างจากรูปแบบความสัมพันธ์ก่อนหน้าที่ได้กล่าวไว้แล้วที่บางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกันทำให้มีลำดับขั้นตอนน้อยลง ผู้วางแผนสามารถวิเคราะห์ผลกระทบได้ดังต่อไปนี้

จากแผนการทำงานในภาพที่ 28 เป็นตัวอย่างโครงการเดียวกับภาพที่ 23 ซึ่งโครงการก่อสร้างบ้าน 24 หน่วยก่อสร้าง ทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน มีขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วยตามลำดับ จากภาพเป็นแผนการทำงาน

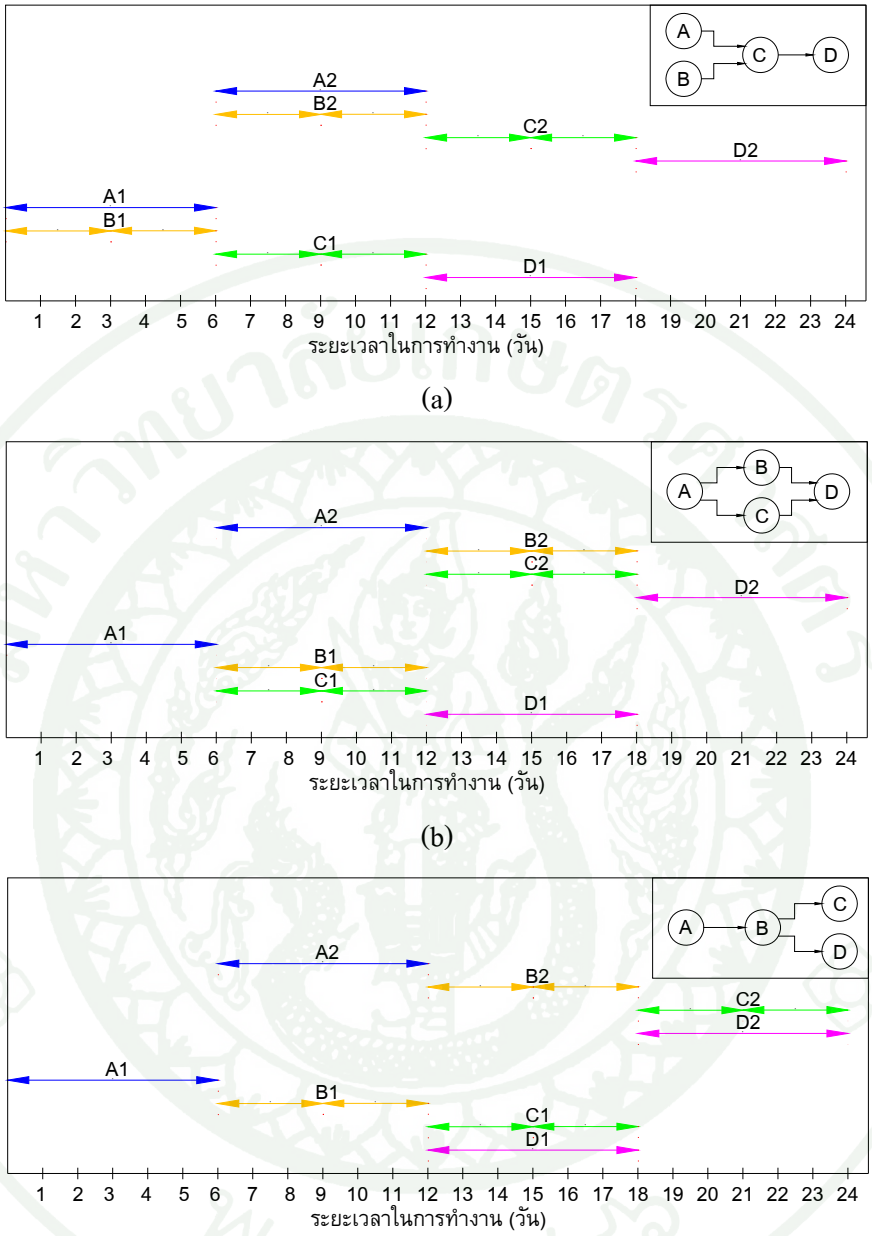
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่บางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกัน โดยภาพที่ 28(a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน ภาพที่ 28(b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน ส่วนภาพที่ 28(c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน จากภาพผู้วางแผนสามารถคำนวณหาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานได้จากผลบวกของระยะ x และระยะ w เช่นเดียวกับรูปแบบความสัมพันธ์ที่กิจกรรมดำเนินทีละกิจกรรม จากภาพที่ 28(a) กิจกรรม A (ขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย) และกิจกรรม B (ขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย) ดำเนินการพร้อมกัน กิจกรรม C จะเริ่มต้นทำงานได้ก็ต่อเมื่อทั้งกิจกรรม A และ B ดำเนินการแล้วเสร็จหรือทั้งสองกิจกรรมมีขนาดการผลิตอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรม C (ขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย) นั่นคือกิจกรรม B จะดำเนินการผลิตครบ 2 รอบการทำงาน ส่วนกิจกรรม D จะต้องรอให้กิจกรรม C ดำเนินการผลิตครบ 12 หน่วยเนื่องจากกิจกรรม D ดำเนินการผลิตรอบการทำงานละ 12 หน่วย (ขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย) จากภาพจะเห็นได้ว่ากิจกรรมใดๆ จะเริ่มต้นทำงานได้เมื่อกิจกรรมก่อนหน้าในลำดับขั้นตอนก่อนหน้าทำงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรมนั้นๆ การหาระยะ x จึงเกิดจากผลรวมของการเปรียบเทียบขนาดการผลิตที่มากสุดระหว่างสองลำดับขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ส่วนระยะ w สามารถคำนวณเหมือนกับกรณีรูปแบบของโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินงานทีละกิจกรรม ดังนั้นในกรณีที่บางกิจกรรมดำเนินงานพร้อมกันเมื่อกิจกรรมติดกันเป็นตัวประกอบกันสามารถหาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานและระยะเวลาโครงการได้จากสมการ (5)และสมการ (6) จากภาพที่ 28 จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 รูปแบบโครงข่ายมีระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานและระยะเวลาโครงการเท่ากันคือ 18 และ 24 วันตามลำดับ ซึ่งมีระยะเวลาน้อยกว่ารูปแบบของโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินการทีละกิจกรรมในภาพที่ 23 เนื่องจากมีบางกิจกรรมดำเนินการพร้อมกัน ทำให้มีลำดับขั้นตอนการทำงานน้อยกว่ากรณีรูปแบบโครงข่ายของกิจกรรมดำเนินการทีละกิจกรรม และเนื่องจากทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันกราฟเส้นที่แสดงแผนการทำงานของแต่ละกิจกรรมขนานกันอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นคนงานของทุกกิจกรรมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องจึงไม่มีระยะเวลาว่างงานระหว่างหน่วยก่อสร้าง และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานจะเกิดปริมาณความสูญเสียเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันเช่นเดียวกับกรณีรูปแบบโครงข่ายของกิจกรรมดำเนินการทีละกิจกรรม ขณะที่บางกิจกรรมเริ่มต้นทำงานพร้อมกันจะทำให้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานลดลง แต่ไม่ได้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตลดลงซึ่งในกรณีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากันทุกกิจกรรมทำให้มีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตเท่ากับกรณีที่กิจกรรมดำเนินการทีละกิจกรรม สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนหรือเกิดขึ้นระหว่างลำดับขั้นตอนก่อนหน้าและลำดับขั้นตอนถัดไป เช่น จากภาพที่ 28(a) เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันระหว่างกิจกรรม A-C (III_{AC}), B-C (III_{BC}) และ C-D (III_{CD}) ส่วนภาพที่ 28(b) เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันระหว่างกิจกรรม A-B (III_{AB}), A-C (III_{AC}), B-D (III_{BD}) และ C-D (III_{CD}) และภาพที่ 28(c) เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันระหว่างกิจกรรม A-B (III_{AB}), B-C (III_{BC}) และ B-D (III_{BD}) จะเห็นได้ว่าโครงข่ายทั้ง 3 รูปแบบเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันในตำแหน่งที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบความสัมพันธ์ของกิจกรรมที่ดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 แผนการทำงานกรณีกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันเมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย ตามลำดับ (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน

สำหรับในกรณีนี้กระบวนการผลิตประกอบด้วยกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากันทุกกิจกรรม ภาพที่ 29 แสดงตัวอย่างโครงการก่อสร้างที่ประกอบด้วย 4 กิจกรรมคือ A, B, C และ D มีความสัมพันธ์แบบ Finish to Start แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานที่แตกต่างกันคือ กิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับ ทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย โครงการก่อสร้างมีหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 24 หน่วย การวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการในรูปแบบของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time) ระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production) ทำได้ดังต่อไปนี้

ระยะเวลาโครงการ (Project Duration, D)

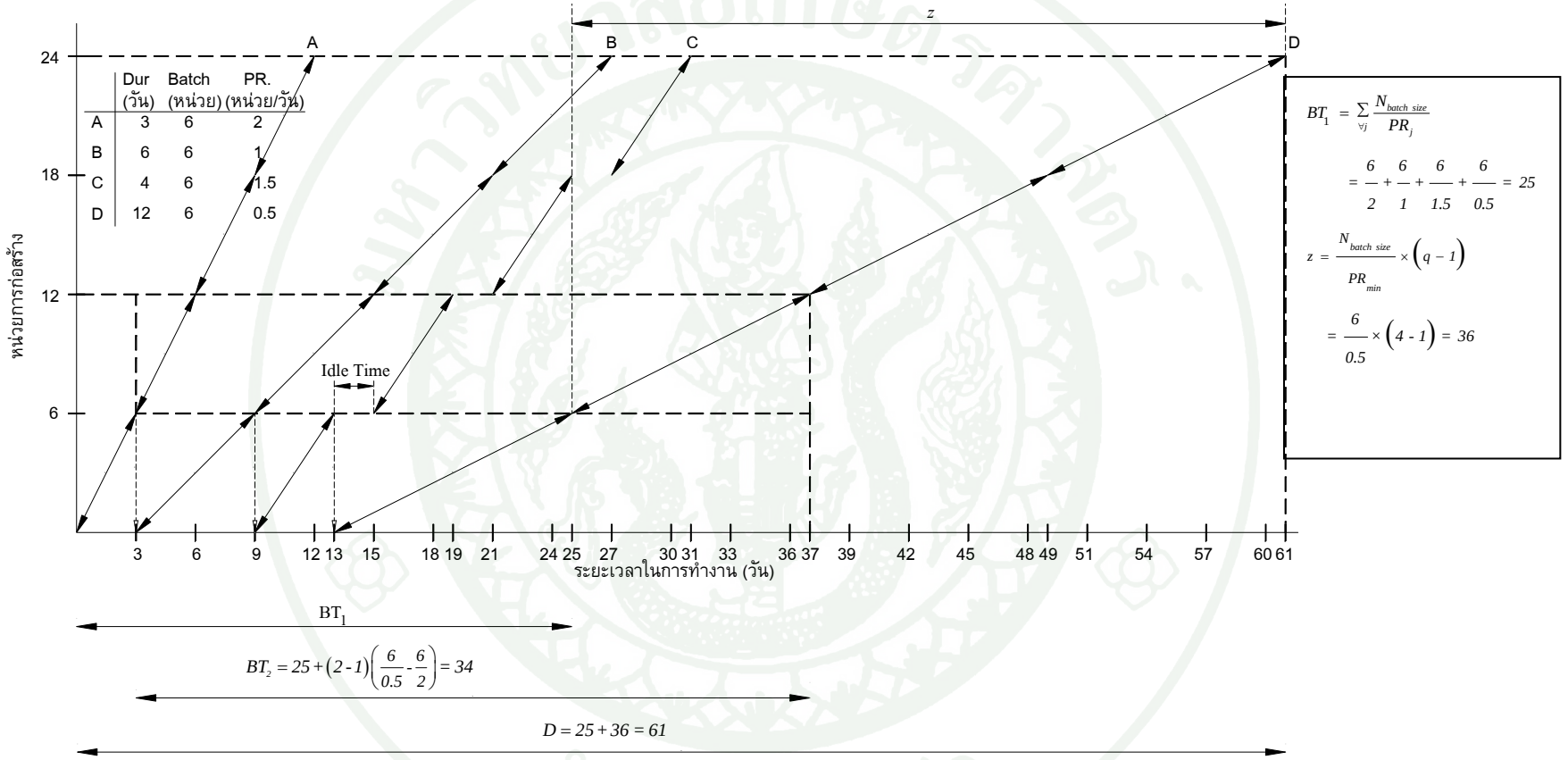
จากตัวอย่างในภาพที่ 29 เส้นกราฟแสดงแผนการทำงานของแต่ละกิจกรรมไม่ขนานกันเนื่องจากอัตราการผลิตหรือระยะเวลาที่ใช้ทำงานของแต่ละกิจกรรมในแต่ละรอบไม่เท่ากัน และในแต่ละรอบการผลิต กำหนดเวลาเริ่มต้นที่เร็วที่สุดของกิจกรรมพิจารณาจากค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง 1) วันแล้วเสร็จของกิจกรรมของรอบการทำงานก่อนหน้าและ 2) วันแล้วเสร็จของกิจกรรมก่อนหน้าของรอบการผลิตเดียวกัน ตัวอย่างเช่น จากภาพจะเห็นได้ว่ากิจกรรม B ในทุกรอบการทำงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องหรือกำหนดเวลาเริ่มต้นของกิจกรรม B ในแต่ละรอบการทำงานถูกกำหนดจากกำหนดเวลาแล้วเสร็จของตนเองในรอบการทำงานก่อนหน้า เนื่องจากกิจกรรม B มีอัตราการทำงาน (1 หน่วย/วัน) ซึ่งช้ากว่ากิจกรรม A (อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน) สำหรับกิจกรรม C ซึ่งตามหลังกิจกรรม B มีอัตราการทำงานเร็วกว่ากิจกรรม B (1.5 หน่วย/วัน) ไม่สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่องในทุกรอบการทำงานเนื่องจากกิจกรรม B ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จนั่นคือกำหนดเวลาเริ่มต้นของกิจกรรม C ถูกกำหนดจากวันแล้วเสร็จของกิจกรรม B ส่วนกิจกรรม D ซึ่งมีอัตราการทำงานเท่ากับ 0.5 หน่วย/วัน สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในทุกรอบการผลิตเนื่องจากกิจกรรม D มีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรม C ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหากกิจกรรมก่อนหน้า (กิจกรรม A) มีอัตราการผลิตที่เร็วกว่ากิจกรรมที่ตามมา (กิจกรรม B) การเริ่มต้นของกิจกรรมที่ตามมา (กิจกรรม B) จะถูกกำหนดจากวันแล้วเสร็จของกิจกรรมตัวเอง (กิจกรรม B) ในรอบการทำงานก่อนหน้า และกิจกรรมที่ตามมานี้จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แต่หากกิจกรรมก่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หน้า (กิจกรรม B) มีอัตราการผลิตที่ช้ากว่ากิจกรรมที่ตามมา (กิจกรรม C) การเริ่มต้นของกิจกรรมที่ตามมา (กิจกรรม C) ในแต่ละรอบการทำงานจะถูกกำหนดจากวันแล้วเสร็จของกิจกรรมก่อนหน้า (กิจกรรม B)

จากภาพที่ 29 ผู้วางแผนสามารถคำนวณหาระยะเวลาโครงการได้จากผลรวมของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานแรก (BT_1) และระยะเวลาของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานช้าที่สุดที่ใช้ทำงานตั้งแต่รอบการทำงานที่ 2 จนครบทุกหน่วยก่อสร้าง (z) ซึ่งระยะ BT_1 เกิดจากผลรวมของระยะเวลาที่ทุกกิจกรรมใช้ในการทำงาน สามารถเขียนสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 29 ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

D = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานแรก (BT_1) + ระยะเวลาของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานช้าที่สุดใช้ทำงานตั้งแต่รอบการทำงานที่ 2 จนเสร็จสิ้นโครงการ (z)

$$= \sum_{\forall j} \frac{N_{batch\ size}}{PR_j} + \left(\frac{N_{batch\ size}}{PR_{min}} \times (q-1) \right) \quad (9)$$

โดยที่ D = ระยะเวลาโครงการ, Project Duration (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

PR_j = อัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม (หน่วย/วัน

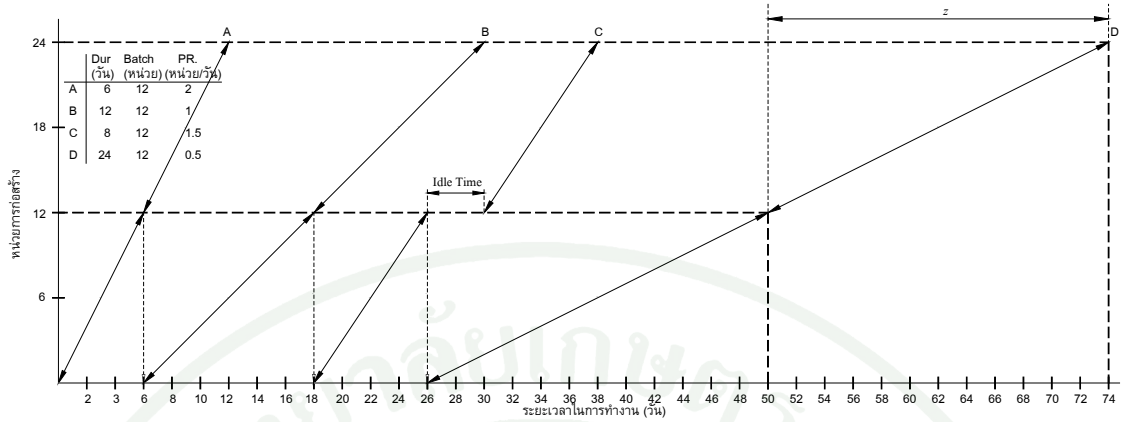
PR_{min} = อัตราการทำงานที่น้อยสุด (หน่วย/วัน)

q = จำนวนรอบการทำงานทั้งหมด = $\frac{N}{N_{batch\ size}}$

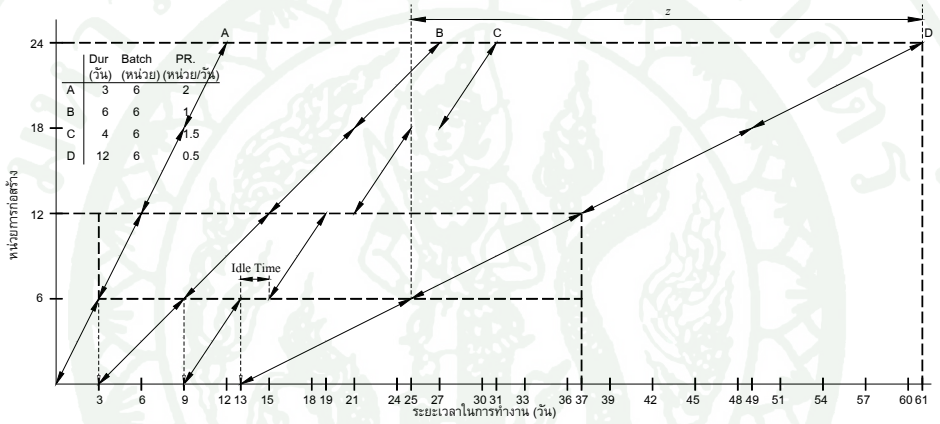
เมื่อนำข้อมูลโครงการตัวอย่างในภาพที่ 29 แทนค่าในสมการ (9) จะได้ระยะเวลาโครงการ $\left(\frac{6}{2} + \frac{6}{1} + \frac{6}{1.5} + \frac{6}{0.5} \right) + \left(\frac{6}{0.5} \times (4-1) \right) = 61$ วัน

ภาพที่ 30 เป็นการเปรียบเทียบ 2 กระบวนการผลิตที่มีอัตราการทำงานเดียวกันแต่มีขนาดการผลิตไม่เท่ากัน โดยภาพที่ 30(a) กระบวนการมีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วยและภาพที่ 30(b) กระบวนการมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อลดขนาดการผลิตจาก 12 หน่วยเหลือ 6 หน่วยทำให้ระยะเวลาโครงการลดลงจาก 74 วันเหลือ 61 วันเนื่องจากเมื่อลดขนาดการผลิตลงกำหนดเวลาเริ่มต้นของแต่ละกิจกรรมสามารถเริ่มต้นทำงานได้เร็วขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(a)

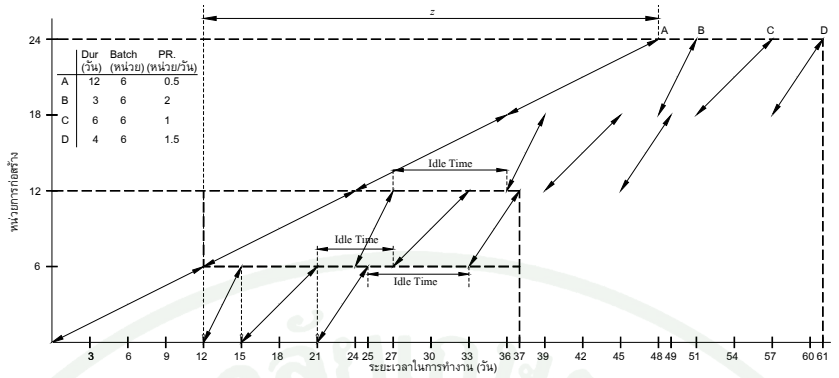


(b)

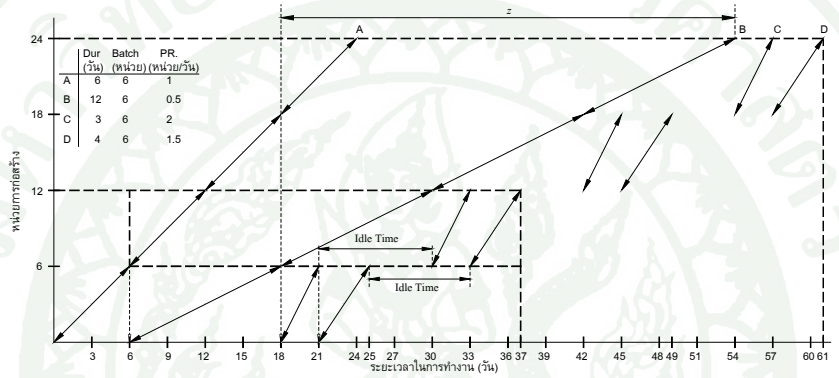
ภาพที่ 30 แผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากัน เมื่อขนาดการผลิตแตกต่างกัน (a) ขนาดการผลิต 12 หน่วย (b) ขนาดการผลิต 6 หน่วย

ภาพที่ 31 เป็นการพิจารณาถึงผลกระทบของตำแหน่งของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานที่แตกต่างกัน โดยภาพที่ 31(a) กิจกรรม B มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุด ภาพที่ 31(b) กิจกรรม C มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุด และภาพที่ 31(c) กิจกรรม D มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุด จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 กรณีมีระยะเวลาโครงการเท่ากัน นั่นคือตำแหน่งของกิจกรรมไม่มีผลต่อระยะโครงการ

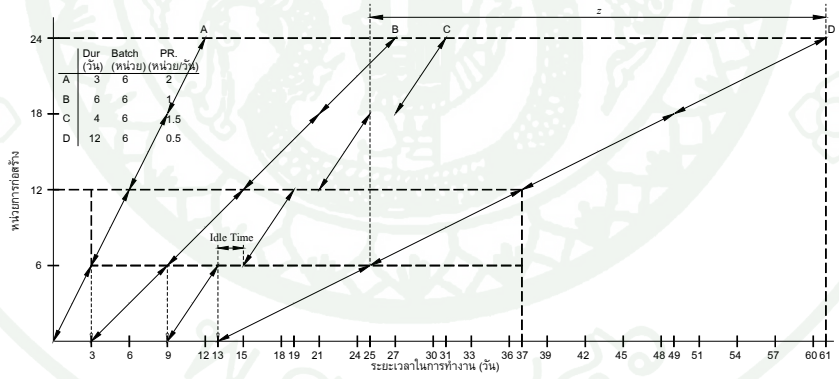
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 31 แผนการทำงานเมื่ออัตราการทำงานแตกต่างกัน (a) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 0.5, 2, 1 และ 1.5 หน่วย/วัน (b) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 1, 0.5, 2 และ 1.5 หน่วย/วัน (c) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time, BT)

จากตัวอย่างในภาพที่ 29 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการผลิตในแต่ละรอบการทำงานมีค่าไม่เท่ากันโดยรอบการผลิตที่ตามมาจะใช้เวลานานกว่าและเพิ่มขึ้นด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานใดๆ คำนวณได้จากผลต่างระหว่างกำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายทำงานเสร็จสิ้นและกำหนดเวลาที่กิจกรรมแรกเริ่มต้นทำงาน โดยกำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายทำงานเสร็จสิ้นในรอบการทำงานใดๆ พิจารณาได้จากสูตรการคำนวณหาระยะเวลาโครงการในสมการ (9) โดยกำหนดให้ q มีค่าเท่ากับรอบการทำงานที่พิจารณา ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 29 การหากำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายทำงานเสร็จสิ้นในรอบการทำงานที่ 2 จะกำหนดให้ q มีค่าเท่ากับ 2 ระยะเวลาโครงการเมื่อเสร็จสิ้นรอบการทำงานที่ 2 เท่ากับ 37 วันลบด้วยวันเริ่มต้นการทำงานของรอบที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 วัน ดังนั้นจะได้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 2 เท่ากับ 34 วัน สามารถเขียนสูตรการคำนวณได้ดังสมการ (10a) หากลดรูปของสมการจะได้ดังสมการ (10b) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการ (10b) ประกอบด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตของรอบการทำงานแรก ($\sum_{\forall j} \frac{N_{batch\ size}}{PR_j}$) และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบการทำงานซึ่งเกิดจากผลต่างระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต 1 รอบการทำงานของกิจกรรมที่ช้าที่สุด (12 วัน) และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต 1 รอบการทำงานของกิจกรรมแรก (3 วัน) จากภาพที่ 29 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25 และ 34 วันตามลำดับจะเห็นได้ว่ารอบที่ 2 มีระยะเวลาการผลิตเพิ่มขึ้นพิจารณาได้จากระยะเวลาทำงานของกิจกรรมที่ช้าที่สุด (12 วัน) ลบด้วยระยะเวลาทำงานของกิจกรรมแรก (3 วัน) และระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 3 จะมากกว่ารอบการทำงานที่ 2 เท่ากับ 9 วันเช่นกัน ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างนี้เรื่อยไปด้วยระยะเวลาที่เท่ากันทุกรอบการทำงาน

BT_n = กำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายทำงานเสร็จสิ้น – กำหนดเวลาที่กิจกรรมแรกเริ่มต้นทำงาน

$$= \left(\sum_{\forall j} \frac{N_{batch\ size}}{PR_j} + \left(\frac{N_{batch\ size}}{PR_{min}} \times (q-1) \right) \right) - \left(\frac{N_{batchsize}}{PR_1} \times (q-1) \right) \quad (10a)$$

$$= \sum_{\forall j} \frac{N_{batch\ size}}{PR_j} + (q-1) \left(\frac{N_{batch\ size}}{PR_{min}} - \frac{N_{batchsize}}{PR_1} \right) \quad (10b)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ BT_n = ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน, Batch Throughput Time (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

PR_j = อัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม (หน่วย/วัน)

PR_{min} = อัตราการทำงานที่น้อยสุด (หน่วย/วัน)

PR_1 = อัตราการทำงานของกิจกรรมแรก (หน่วย/วัน)

q = รอบการทำงานที่พิจารณา

ภาพที่ 30 เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานระหว่างกระบวนการที่มี (a) ขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วยและ (b) ขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย จากภาพจะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิต (a) มีระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 เท่ากับ 50 วันในรอบการทำงานถัดไปจะมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นเท่ากับ 18 วันแต่หากลดขนาดการผลิตเหลือ 6 หน่วย (b) ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตของ 12 หน่วยก่อสร้างแรกมีค่าเท่ากับ 37 วัน ส่วน 12 หน่วยถัดไปจะมีระยะเวลาเพิ่มขึ้น 18 วัน ดังนั้นเมื่อขนาดการผลิตลดลงจาก 12 หน่วยเหลือ 6 หน่วย ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตทุก 12 หน่วยก่อสร้างมีค่าลดลง

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานขึ้นอยู่กับผลต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตระหว่างกิจกรรมแรกและกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุด ดังนั้นตำแหน่งของกิจกรรมมีผลต่อระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน จากภาพที่ 31(a) เมื่อกิจกรรมแรกมีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดทำให้ผลต่างของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ ระยะเวลาการผลิตจะเท่ากันทุกรอบการทำงาน ส่วนในภาพที่ 31(b) และ (c) กิจกรรมแรกไม่ได้มีอัตราการทำงานช้าที่สุดจะทำให้มีระยะเวลาการผลิตเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน

ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time)

จากภาพที่ 29 จะเห็นได้ว่ากลุ่มคนงานของกิจกรรมใดๆ จะเริ่มทำงานได้เมื่อกลุ่มคนงานของกิจกรรมก่อนหน้าทำงานแล้วเสร็จ หากกิจกรรมก่อนหน้ามีอัตราการทำงานที่ช้ากว่าคนงานจะเกิดการว่างงานระหว่างรอบการทำงาน จากภาพเมื่อกลุ่มคนงานของกิจกรรม C ดำเนินงานในรอบการทำงานที่ 1 เสร็จสิ้น แต่ไม่สามารถดำเนินงานผลิตในรอบการทำงานที่ 2 ได้ทันทีเนื่องจากกิจกรรมก่อนหน้า (กิจกรรม B) ในรอบการทำงานเดียวกันยังดำเนินงานไม่แล้วเสร็จ ซึ่งใช้เวลาในการทำงานช้ากว่ากิจกรรมถัดไป (กิจกรรม C) ดังนั้นกลุ่มคนงานของกิจกรรม C จะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกิดการรอคอยระหว่างรอบการทำงาน ผู้วางแผนสามารถคำนวณระยะเวลาว่างงานทั้งหมดของคนงานในกิจกรรมใดๆ ได้จากผลต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของกิจกรรมที่พิจารณาและกิจกรรมก่อนหน้าที่มีอัตราการทำงานช้าที่สุด สามารถเขียนสูตรการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

Idle Time = ระยะเวลาที่มีอัตราการทำงานน้อย - ระยะเวลาที่มีอัตราการทำงานมาก

$$= \left(\frac{N_{batch\ size}}{PR_{min}} - \frac{N_{batch\ size}}{PR_{max}} \right) \times (q-1) \qquad (12)$$

โดยที่ Idle Time = ระยะเวลาว่างงาน (วัน)

$N_{batch\ size}$ = ขนาดการผลิต (หน่วย)

PR_{max} = อัตราการทำงานที่มากระหว่างกิจกรรมก่อนหน้าและกิจกรรมที่ พิจารณา (หน่วย/วัน)

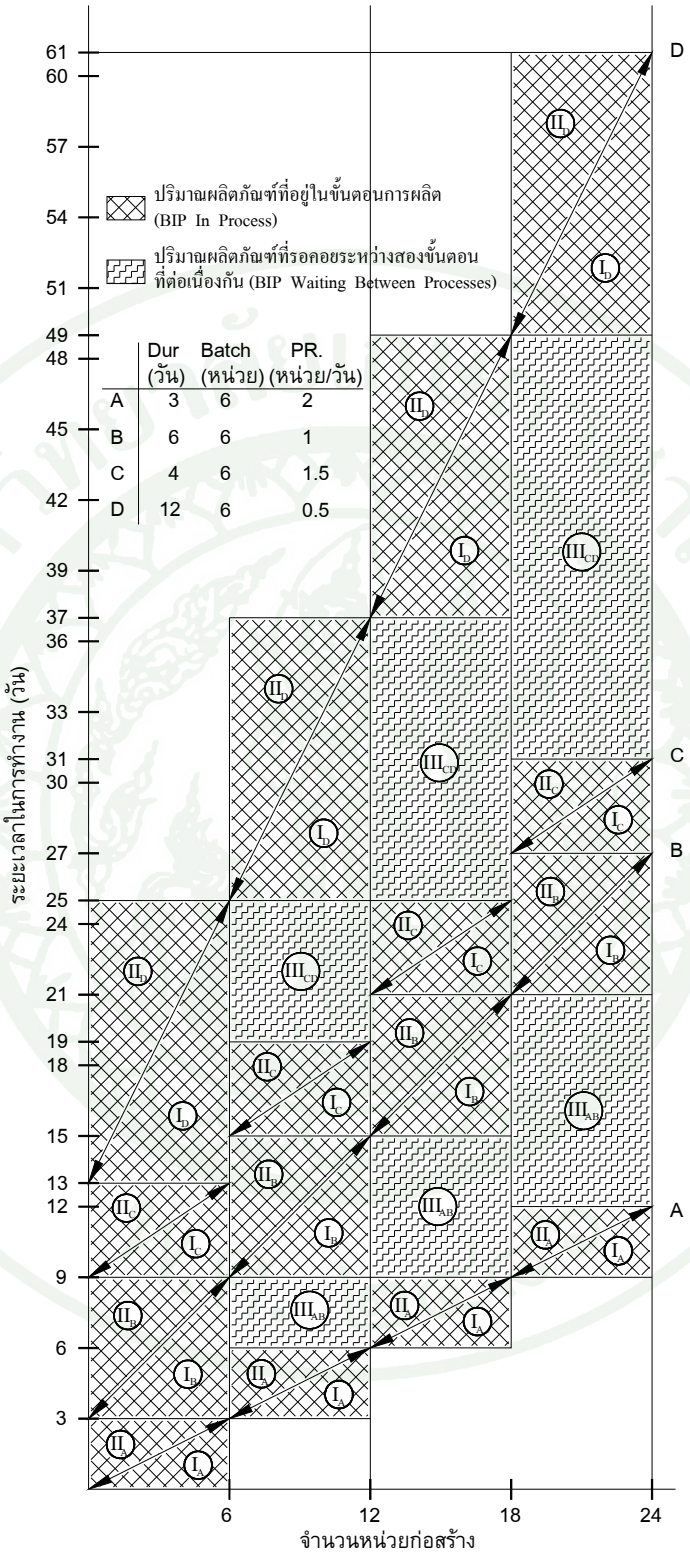
PR_{min} = อัตราการทำงานที่น้อยระหว่างกิจกรรมก่อนหน้าและกิจกรรมที่พิจารณา (หน่วย/วัน)

q = รอบการทำงานทั้งหมด

ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP)

ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานสามารถพิจารณาได้จากกราฟในภาพที่ 32 ซึ่งเป็นแผนการทำงานในรูปแบบที่เกิดจากการสลับแกน X และ Y โดยแกน X เป็นจำนวนหน่วยก่อสร้าง ส่วนแกน Y เป็นระยะเวลาในการทำงาน (วัน) ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานเป็นผลรวมของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตสามารถคำนวณได้ดังสมการ (4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



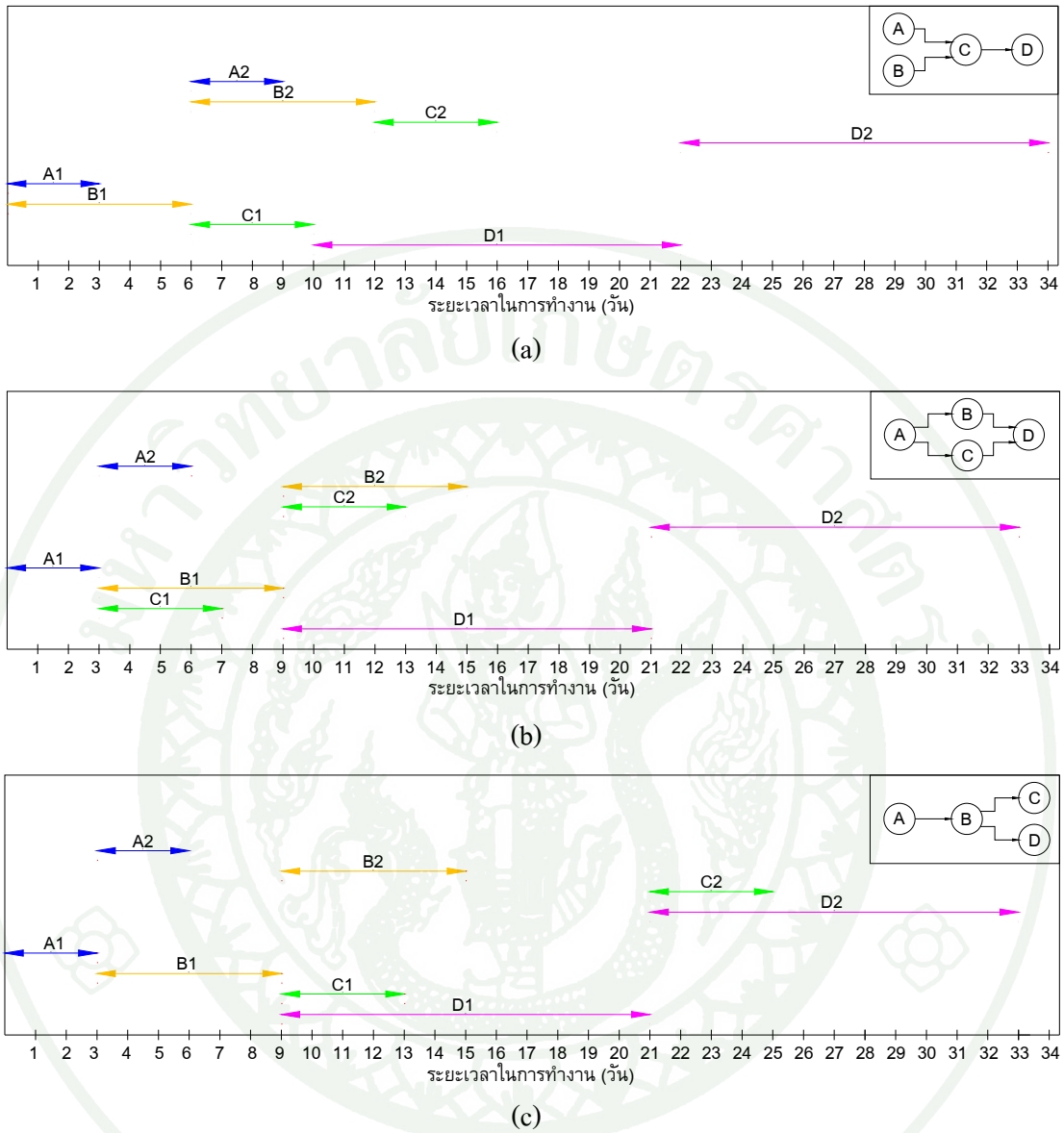
ภาพที่ 32 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันในภาพที่ 32 เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรม A-B และกิจกรรม C-D หรือเมื่อกิจกรรมตามหลังมีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรมก่อนหน้า กิจกรรม B มีอัตราการทำงานเท่ากับ 1 หน่วย/วัน ซึ่งใช้เวลาทำงานช้ากว่ากิจกรรม A (2 หน่วย/วัน) โดยหลังจากกิจกรรม A ของรอบการทำงานใดๆ ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นจะเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยก่อนเริ่มต้นดำเนินการในกิจกรรม B ของรอบการทำงานเดียวกัน เนื่องจากกิจกรรม B ในรอบการทำงานก่อนหน้ายังดำเนินการผลิตไม่แล้วเสร็จซึ่งใช้เวลาดำเนินการผลิตมากกว่ากิจกรรม A จากภาพจะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันสามารถคำนวณได้จากผลคูณของระยะเวลาที่ปริมาณผลิตภัณฑ์รอคอยในรอบการทำงานที่พิจารณาและขนาดการผลิต โดยระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยในรอบการทำงานใดๆ พิจารณาจากผลต่างของวันที่กิจกรรมก่อนหน้าดำเนินการแล้วเสร็จและวันเริ่มต้นทำงานของกิจกรรมถัดมา เช่นระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B ในรอบการทำงานที่ 2 พิจารณาได้จากกำหนดเวลาที่กิจกรรม B เริ่มต้นทำงาน (วันที่ 9) ลบด้วยกำหนดเวลาที่กิจกรรม A ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้น (วันที่ 6) จะได้ระยะเวลารอคอยเท่ากับ 3 วันคูณด้วยขนาดการผลิตรอบละ 6 หน่วย ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B เท่ากับ 18 หน่วย-วัน หากพิจารณารอบการทำงานที่ 3 จะมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B เท่ากับ 36 หน่วย-วัน ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากรอบการทำงานที่ 2 เท่ากับ 18 หน่วย-วัน จากภาพที่ 32 จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน ซึ่งพิจารณาได้จากระยะเวลาทำงานของกิจกรรมที่ทำช้า (6 วัน) ลบด้วยระยะเวลาทำงานของกิจกรรมที่ทำเร็ว (3 วัน) คูณด้วยขนาดการผลิต (6 หน่วย) จะเพิ่มขึ้นอย่างนี้เรื่อยไปทุกรอบการทำงาน

จากที่กล่าวไปข้างต้นเป็นรูปแบบของโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินการเป็นลำดับขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันทีละกิจกรรม หากรูปแบบของโครงข่ายอยู่ในรูปแบบอื่น เช่น มีบางกิจกรรมดำเนินการพร้อมกันคือ กิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานมากกว่า 1 กิจกรรม กิจกรรมเริ่มต้นและกิจกรรมสิ้นสุดดำเนินการอย่างละกิจกรรม และกิจกรรมสิ้นสุดดำเนินการมากกว่า 1 กิจกรรมดังแสดงในภาพที่ 33 รูปแบบโครงข่ายเหล่านี้จะแตกต่างจากรูปแบบโครงข่ายที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นคือเมื่อบางกิจกรรมดำเนินการพร้อมกันจะทำให้มีลำดับขั้นตอนลดลง ผู้วางแผนสามารถวิเคราะห์ผลกระทบได้ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 33 แผนการทำงานกรณีบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันเมื่ออัตราการทำงานของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาผลกระทบของโครงการตัวอย่างจากแผนการทำงานในภาพที่ 33 ซึ่งเป็นแผนการทำงานที่บางกิจกรรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน โดยภาพที่ 33(a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน ภาพที่ 33(b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันและภาพที่ 33(c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน จากภาพเป็นแผนการทำงานโครงการก่อสร้างจำนวน 24 หน่วยก่อสร้าง มีอัตราการทำงานของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย จากภาพผู้วางแผนสามารถคำนวณหาระยะเวลาโครงการได้จากผลรวมของระยะเวลาที่ใช้ทำงานในรอบการทำงานแรก (w) และระยะเวลาของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานน้อยที่สุดที่ใช้ทำงานจนเสร็จสิ้นโครงการ (z) เช่นเดียวกับรูปแบบโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินการทีละกิจกรรม สามารถใช้สูตรการคำนวณได้ดังสมการ (9) ระยะเวลาที่ใช้ทำงานในรอบการทำงานแรกจะเป็นผลรวมของระยะเวลาที่ใช้ทำงานทุกลำดับขั้นตอน หากบางกิจกรรมดำเนินการพร้อมกันจะใช้ระยะเวลาที่กิจกรรมใช้ทำงานมากที่สุดรวมกับระยะเวลาที่ใช้ทำงานในลำดับขั้นตอนถัดไป จากภาพที่ 33(a) กิจกรรม A (อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน) และกิจกรรม B (อัตราการทำงานเท่ากับ 1 หน่วย/วัน) เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันซึ่งจะเสร็จสิ้นในวันที่ 3 และวันที่ 6 ตามลำดับ กิจกรรม C ซึ่งมีอัตราการทำงานเท่ากับ 1.5 หน่วย/วันจะเริ่มต้นดำเนินงานได้ในวันที่ 6 นั่นคือกำหนดเวลาเริ่มต้นของกิจกรม C ถูกกำหนดจากวันแล้วเสร็จของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดในลำดับขั้นตอนก่อนหน้า (กิจกรรม B) แต่กิจกรรม C ในรอบการทำงานถัดไปไม่สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานช้าที่สุดในลำดับขั้นตอนก่อนหน้ายังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ ส่วนกิจกรรม D จะเริ่มทำงานได้เมื่อกิจกรรม C ดำเนินงานผลิตเสร็จสิ้นและสามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่องทุกรอบการทำงาน ดังนั้นจากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันจะมีหลักการในการวางแผนงานเช่นเดียวกับกิจกรรมดำเนินงานเป็นลำดับขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันทีละกิจกรรมคือ หากลำดับขั้นตอนก่อนหน้ามีอัตราการทำงานช้ากว่าลำดับขั้นตอนที่ตามมา การเริ่มต้นทำงานของลำดับขั้นตอนที่ตามมาจะถูกกำหนดจากวันแล้วเสร็จของลำดับขั้นตอนก่อนหน้า หากลำดับขั้นตอนก่อนหน้ามีอัตราการทำงานที่เร็วกว่าลำดับขั้นตอนที่ตามมา การเริ่มต้นการทำงานของลำดับขั้นตอนที่ตามมาจะถูกกำหนดจากวันแล้วเสร็จของลำดับขั้นตอนนั้นในรอบการทำงานก่อนหน้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

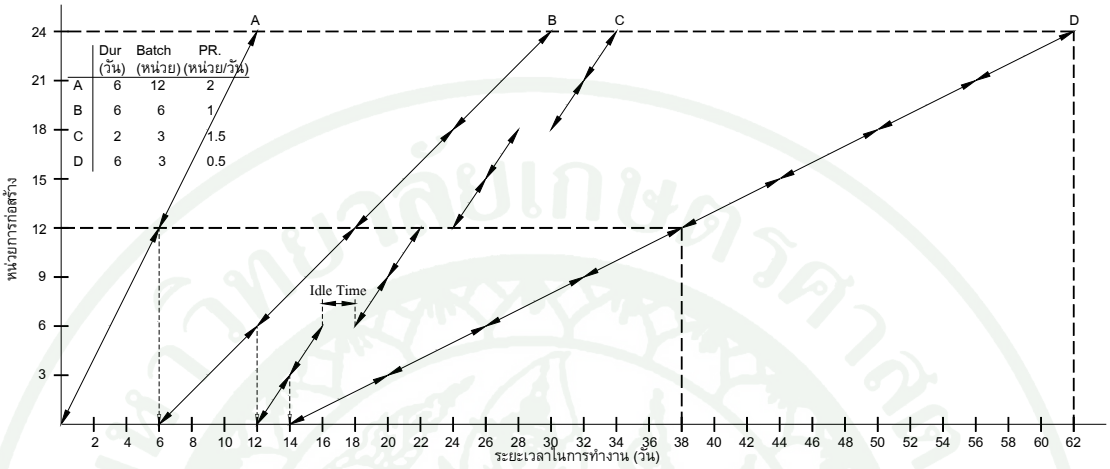
ในกรณีที่กระบวนการผลิตประกอบด้วยกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตไม่เท่ากันตัวอย่างโครงการก่อสร้างแสดงในภาพที่ 34 ซึ่งเป็นแผนการทำงานที่ประกอบด้วย 4 กิจกรรม คือ A, B, C และ D มีความสัมพันธ์แบบ Finish to Start โครงการก่อสร้างมีหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 24 หน่วย แต่ละกิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตที่แตกต่างกัน โดยอัตราการทำงานของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับ และขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 3 และ 3 หน่วย การวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการในรูปแบบของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time) ระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production) ทำได้ดังต่อไปนี้

ระยะเวลาโครงการ (Project Duration)

จากภาพที่ 34 กิจกรรมใดๆ จะเริ่มทำงานได้เมื่อกิจกรรมก่อนหน้าทำงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรมตามหลัง รวมทั้งจะต้องพิจารณาค่าที่มากที่สุดระหว่างวันแล้วเสร็จของกิจกรรมนั้นในรอบการทำงานก่อนหน้าและวันแล้วเสร็จของกิจกรรมก่อนหน้าของรอบการทำงานเดียวกัน จากภาพกิจกรรม B ซึ่งมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยจะเริ่มต้นดำเนินงานได้เมื่อกิจกรรม A ดำเนินการผลิตได้อย่างน้อย 6 หน่วย ซึ่งกิจกรรม A ผลิตได้รอบละ 12 หน่วย ส่วนกิจกรรม C มีขนาดการผลิตเท่ากับ 3 หน่วย เมื่อกิจกรรม B ผลิตรอบการทำงานแรกเสร็จสิ้นกิจกรรม C สามารถเริ่มงานได้ทันทีเนื่องจากกิจกรรม B มีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสิ้นมากกว่าขนาดการผลิตที่กิจกรรม C ต้องการแต่จากภาพเมื่อกิจกรรม C ในรอบการทำงานที่ 2 ดำเนินการเสร็จสิ้นจะไม่สามารถผลิตในรอบที่ 3 ได้ทันทีเนื่องจากกิจกรรม B ในรอบการทำงานที่ 2 ยังดำเนินงานไม่แล้วเสร็จ สำหรับกิจกรรม D ซึ่งมีขนาดการผลิตเท่ากับ 3 หน่วยสามารถเริ่มดำเนินงานได้ทันทีที่กิจกรรม C รอบการทำงานที่ 1 เสร็จสิ้นเนื่องจากมีขนาดการผลิตเท่ากัน ดังนั้นในโครงการตัวอย่างนี้มีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 62 วันหากเปรียบเทียบภาพที่ 34 และภาพที่ 31 ที่อัตราการทำงานเหมือนกันจะเห็นได้ว่ากิจกรรม A ในภาพที่ 34 มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วยใช้เวลาในการทำงาน 6 วันทำให้กิจกรรม B (ขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย) เริ่มต้นทำงานในวันที่ 6 ส่วนกิจกรรม A ในภาพที่ 31 มีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยใช้เวลาในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

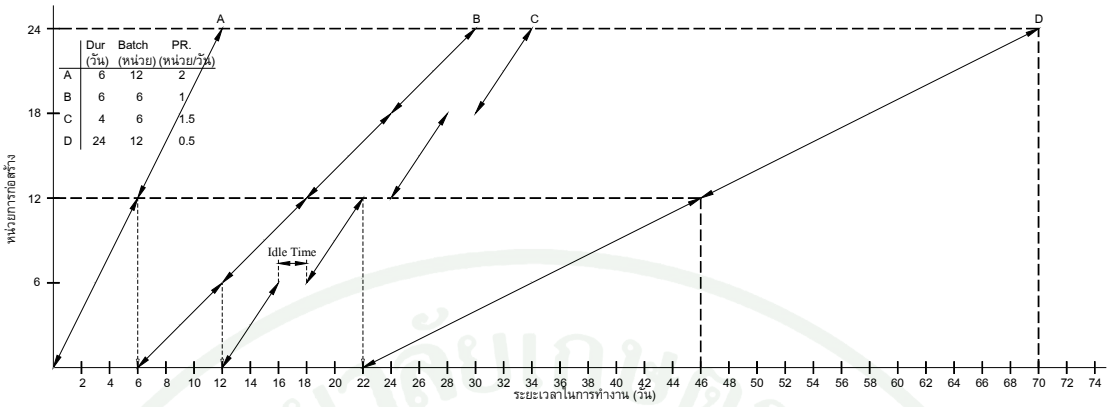
ทำงาน 3 วันทำให้กิจกรรม B ที่ขนาดการผลิตเท่ากับกิจกรรม A เริ่มต้นทำงานในวันที่ 3 ดังนั้น ขนาดการผลิตมีผลต่อการเริ่มต้นทำงานของแต่ละกิจกรรม



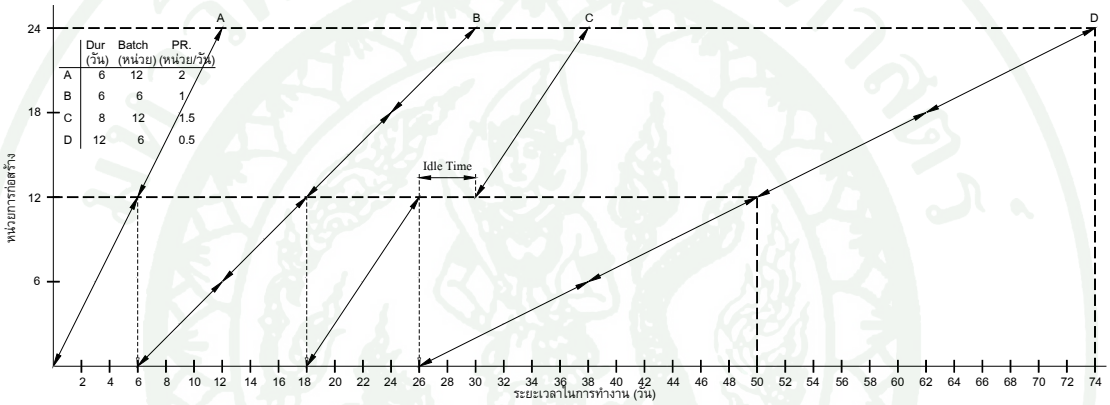
ภาพที่ 34 ตัวอย่างแผนการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

จากภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาโครงการเกิดจากระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานแรก (BT1) บวกด้วยระยะเวลาของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานน้อยที่สุดใช้ทำงานตั้งแต่รอบการทำงานที่ 2 จนเสร็จสิ้นโครงการ ซึ่งระยะเวลาโครงการในกรณีนี้สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน ดังนั้นระยะเวลาโครงการมีค่าเท่ากับ 38 + 24 = 62 วัน ภาพที่ 35 เป็นการพิจารณาผลกระทบของตำแหน่งของกิจกรรมที่มีการลดขนาดการผลิต โดยภาพที่ 35(a) แสดงการลดขนาดการผลิตในตำแหน่งที่ต่อเนื่องกันและภาพที่ 35(b) แสดงการลดขนาดการผลิตในตำแหน่งที่ไม่ต่อเนื่องกัน จะเห็นได้ว่าภาพที่ 35(b) มีระยะเวลาโครงการมากกว่าภาพที่ 35(a) เนื่องจากตำแหน่งของการลดขนาดการผลิตมีผลต่อการเริ่มต้นทำงานในแต่ละกิจกรรม ดังนั้นการลดขนาดการผลิตในตำแหน่งที่ต่อเนื่องกันจะทำให้ระยะเวลาโครงการมีค่าลดลงเช่นเดียวกับกรณีที่อัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



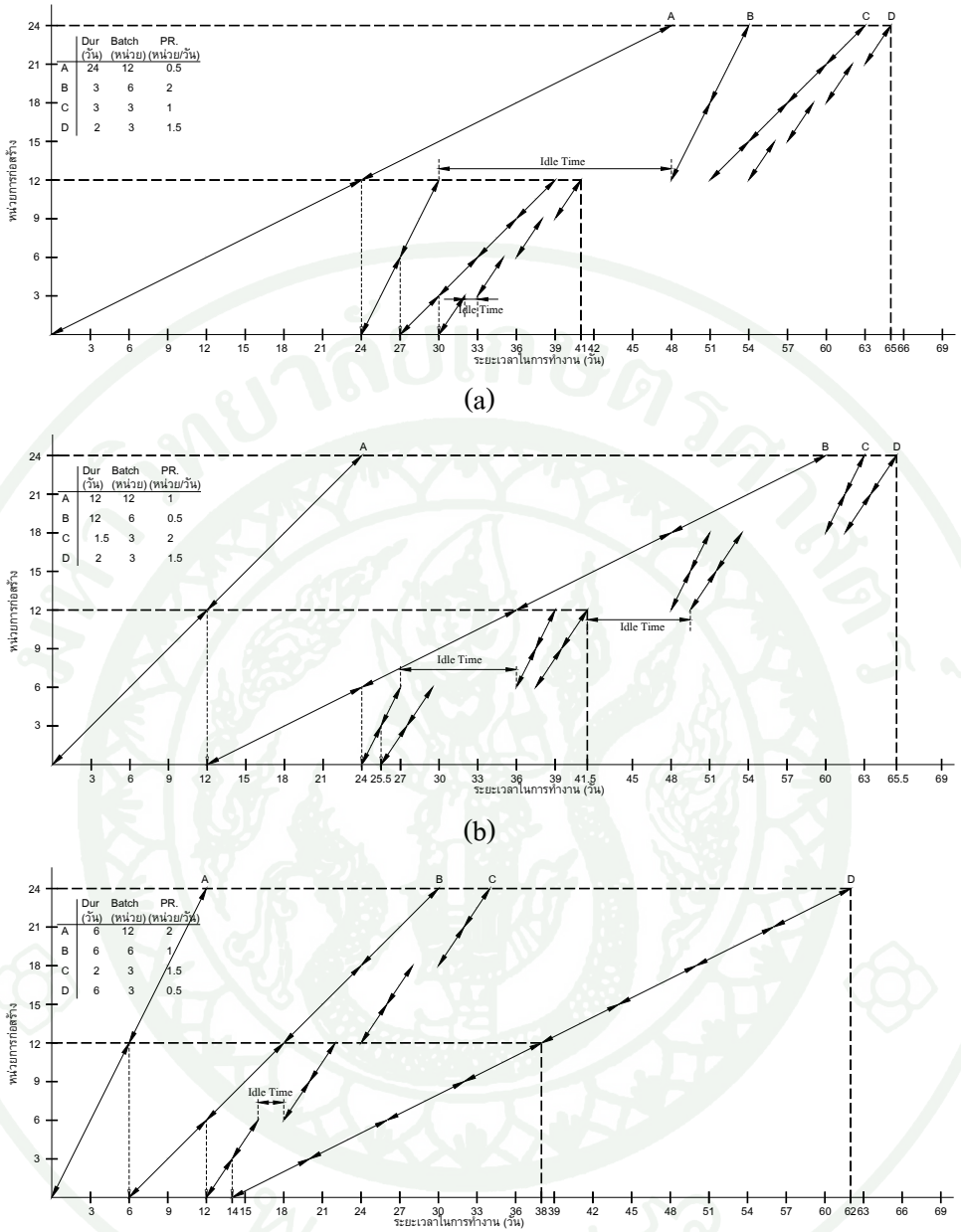
(a)



(b)

ภาพที่ 35 แผนการทำงานเมื่อลดขนาดการผลิตในตำแหน่งที่แตกต่างกัน และกิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับ (a) กิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วย (b) กิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 12 และ 6 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 แผนการทำงานเมื่ออัตราการทำงานแตกต่างกัน ขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 3 และ 3 หน่วยตามลำดับ (a) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 0.5, 2, 1 และ 1.5 หน่วย/วัน (b) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 1, 0.5, 2 และ 1.5 หน่วย/วัน (c) PR_A, PR_B, PR_C และ PR_D เท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time, BT)

จากตัวอย่างในภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานมีค่าไม่เท่ากันทุกรอบการทำงานโดยจะมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน ซึ่งในแต่ละรอบการทำงานสามารถคำนวณระยะเวลาการผลิตได้จากผลต่างระหว่างกำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายทำงานเสร็จสิ้นและกำหนดเวลาที่กิจกรรมแรกเริ่มต้นทำงานเช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้า โดยกำหนดเวลาที่กิจกรรมสุดท้ายทำงานเสร็จสิ้นของรอบการทำงานใดๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน คือระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานแรกบวกด้วยระยะเวลาของกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานที่น้อยที่สุดใช้ทำงานตั้งแต่รอบการทำงานที่ 2 จนถึงรอบการทำงานที่พิจารณา ตัวอย่างเช่นจากภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 38 - 0 = 38 วัน รอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 62 - 6 = 56 วัน ซึ่งมีระยะเวลาการผลิตเพิ่มขึ้น 18 วัน เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของการลดขนาดการผลิตในภาพที่ 35 พบว่าการลดขนาดการผลิตบางกิจกรรมที่ไม่ต่อเนื่องกันในภาพที่ 35(b) มีระยะเวลาการผลิตมากกว่าการลดขนาดการผลิตบางกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันในภาพที่ 35(a) เช่นเดียวกับระยะเวลาโครงการ ดังนั้นการลดขนาดการผลิตในกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันมีผลทำให้ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานสั้นลงเช่นเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

หากพิจารณาตำแหน่งของอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดในภาพที่ 36 จะเห็นได้ว่าหากกิจกรรมแรกมีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดจะทำให้มีระยะเวลาการผลิตเท่ากันทุกรอบการทำงานแสดงดังภาพที่ 36(a) แต่หากกิจกรรมแรกไม่ได้มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุด ระยะเวลาการผลิตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงานแสดงดังภาพที่ 36(b) และ (c) โดยระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเกิดจากผลต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตระหว่างกิจกรรมแรกและกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานน้อยที่สุด ซึ่งเกิดผลเช่นเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน ดังนั้นในกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน ตำแหน่งของอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดมีผลต่อระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time)

จากภาพที่ 34 ซึ่งแสดงแผนการทำงานของโครงการตัวอย่างที่มีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตของกิจกรรมไม่เท่ากัน จะเห็นได้ว่ากลุ่มคนงานในแต่ละกิจกรรมจะเริ่มต้นทำงานได้เมื่อกิจกรรมก่อนหน้าทำงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรมถัดไป ในกรณีนี้จะเกิดระยะเวลาว่างงานเช่นเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากันคือ หากกิจกรรมก่อนหน้ามีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรมถัดไป คนงานของกิจกรรมถัดไปจะเกิดการรอคอยระหว่างรอบการทำงานแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 34 กิจกรรม B มีอัตราการทำงานเท่ากับ 1 หน่วย/วัน ขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยใช้เวลาทำงานเท่ากับ 6 วันกิจกรรม C มีอัตราการทำงานเท่ากับ 1.5 หน่วย/วัน ขนาดการผลิตเท่ากับ 3 หน่วย กลุ่มคนงานของกิจกรรม C สามารถเริ่มทำงานได้ทันทีเมื่อกิจกรรม B ดำเนินงานรอบที่ 1 เสร็จสิ้น ซึ่งกิจกรรม C ต้องดำเนินงาน 2 รอบการทำงานปริมาณผลิตภัณฑ์จึงครบ 6 หน่วยใช้เวลาทำงานเท่ากับ 2 × 2 = 4 วัน เมื่อกิจกรรม C ดำเนินงานรอบที่ 2 เสร็จสิ้น กลุ่มคนงานไม่สามารถเริ่มดำเนินงานรอบที่ 3 ได้ทันทีเนื่องจากกิจกรรม B รอบที่ 2 ยังดำเนินงานไม่แล้วเสร็จ กลุ่มคนงานของกิจกรรม C มีระยะเวลาว่างงานก่อนดำเนินงานรอบการทำงานที่ 3 เท่ากับ 6 - 4 = 2 วัน

ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP)

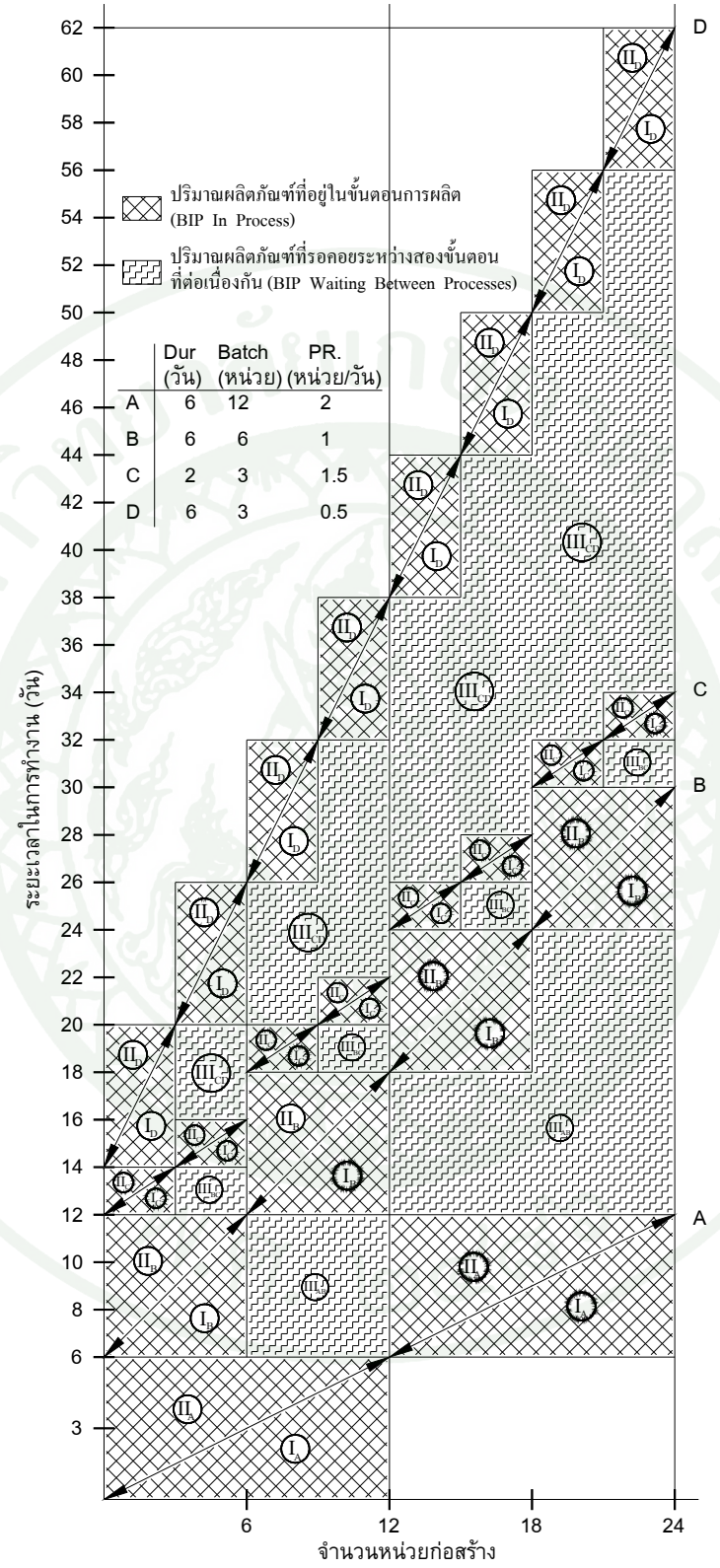
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 37 ซึ่งแสดงแผนการทำงานของโครงการตัวอย่างในรูปแบบที่เกิดจากการสลับแกน X และ Y โดยแกน X เป็นจำนวนหน่วยก่อสร้างและแกน Y เป็นระยะเวลาในการทำงาน (วัน) ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานในกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตไม่เท่ากันสามารถหาได้จากผลรวมของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งในกรณีนี้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 และ 3 โดยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตสามารถคำนวณได้จากสมการ (4) เช่นเดียวกับกรณีที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดการผลิตและอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันในภาพที่ 37 เกิดขึ้นระหว่างกิจกรรม A-B, B-C และ C-D จากภาพจะเห็นได้ว่ากิจกรรม A มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน ส่วนกิจกรรม B มีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย อัตราการทำงานเท่ากับ 1 หน่วย/วัน เมื่อกิจกรรม A ดำเนินงานเสร็จสิ้น จะเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยก่อนเริ่มต้นดำเนินงานในกิจกรรม B เนื่องจากกิจกรรม B ในรอบการทำงานก่อนหน้ายังดำเนินการผลิตไม่เสร็จสิ้น ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม B-C เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับกิจกรรม A-B สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม C-D ทั้ง 2 กิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากัน (3 หน่วย) แต่เนื่องจากกิจกรรม D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 0.5 หน่วย/วันซึ่งช้ากว่ากิจกรรม C (อัตราการทำงานเท่ากับ 1.5 หน่วย/วัน) หลังจากกิจกรรม C ของรอบการทำงานใดๆ ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นจะเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยก่อนเริ่มต้นดำเนินงานในกิจกรรม D ในรอบการทำงานเดียวกันเนื่องจากกิจกรรม D ของรอบการทำงานก่อนหน้ายังดำเนินงานไม่เสร็จสิ้น จากภาพที่ 37 จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A-B และ C-D มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม B-C มีปริมาณเท่ากันทุกรอบการทำงาน ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันสามารถคำนวณได้จากระยะเวลาที่ปริมาณผลิตภัณฑ์รอคอยคูณด้วยขนาดการผลิตเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 และ 3

เนื่องจากกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตไม่เท่ากันมีแผนการทำงานที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นการยุ่งยากและใช้เวลาในการคิดสูตรคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบ ดังนั้นผู้วางแผนจึงใช้โปรแกรม STROBOSCOPE ช่วยในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการ ซึ่งจะแสดงผลในหัวข้อถัดไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานกรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตโดยอาศัยแบบจำลอง STROBOSCOPE

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าแบบจำลองสถานการณ์สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การดำเนินงานก่อสร้างที่มีรูปแบบของกระบวนการทำงานที่ซับซ้อน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการทำงานที่เกิดขึ้น การวิจัยในส่วนนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตจากการพิจารณาความสัมพันธ์เส้นกราฟ/แผนภาพและจากแบบจำลองสถานการณ์โดยอาศัยโครงการตัวอย่างเดียวกันซึ่งประกอบด้วย 4 กรณีคือ 1) กรณีอัตราการทำงานเท่ากัน ขนาดการผลิตเท่ากัน 2) กรณีอัตราการทำงานเท่ากัน ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน 3) กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากัน ขนาดการผลิตเท่ากัน และ 4) กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากัน ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

2.1 กรณีอัตราการทำงานเท่ากันและขนาดการผลิตเท่ากัน

การสร้างโครงข่ายสมมติของโครงการตัวอย่างในแบบจำลองสถานการณ์จะประกอบด้วย 4 กิจกรรม คือ A, B, C และ D ในแบบจำลองผู้วางแผนสามารถกำหนดขนาดการผลิตของแต่ละกิจกรรม ระยะเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมต่อ 1 รอบ สามารถหาได้จากขนาดการผลิตหารด้วยอัตราการทำงาน ($\frac{N_{batch\ size}}{PR}$) และแต่ละกิจกรรมมี 1 กลุ่มคนงาน ทุกกิจกรรมเริ่มต้นงานได้เร็วที่สุด (Early Start) ตามความสัมพันธ์แบบ FTS (Finish to Start) โครงข่ายสมมติของโครงการตัวอย่างที่ประกอบด้วย 4 กิจกรรมที่ต่อเนื่องกันในแบบจำลอง STROBOSCOPE แสดงได้ดังภาพที่ 38 และภาพที่ 39 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลอง เมื่อมีจำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 60 หน่วยก่อสร้าง อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน ขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย นั่นคือมีระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 6 วัน ($\frac{N_{batch\ size}}{PR}$ = 6 วัน) จากภาพจะเห็นได้ว่าโครงการตัวอย่างมีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 48 วัน หากพิจารณาที่จำนวน 24 หน่วยก่อสร้างจะมีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 30 วัน ส่วนระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานมีค่าเท่ากับผลต่างของวันเสร็จสิ้นและวันเริ่มต้นของแต่ละรอบการทำงาน โดยระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 24 - 0 = 24 วันและรอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 30 - 6 = 24 วัน และทุกรอบการทำงานมีระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานเท่ากับ 24 วัน ซึ่งตรงกับผลจากการพิจารณาความสัมพันธ์จากเส้นกราฟ/แผนภาพในภาพที่ 17 จากแผนการทำงานในภาพที่ 39 แต่ละกิจกรรมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่มีเวลาว่างงานระหว่างรอบการทำงานซึ่งสังเกตได้จากกิจกรรม A เริ่มต้นทำงานคือ วัน

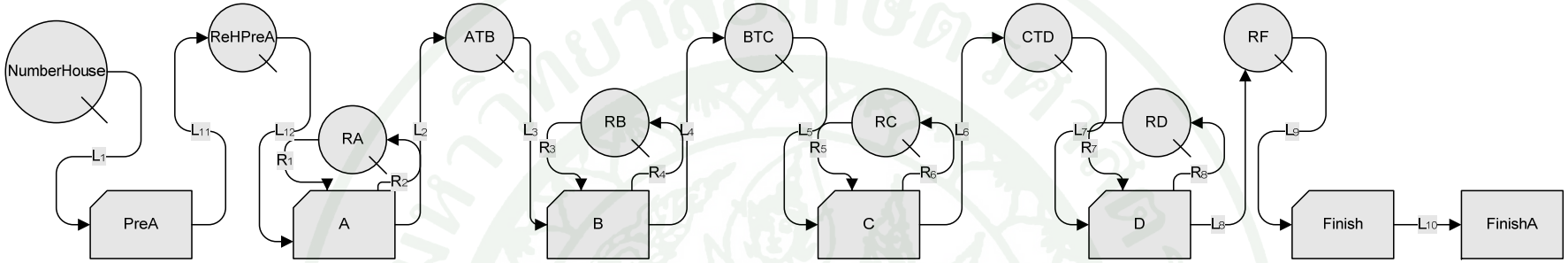
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แรก (start = 0) เสร็จสิ้นในวันที่ 6 และเริ่มต้นทำงานของรอบการทำงานที่ 2 ในวันที่ 6 ทันทีหรือวันเริ่มต้นของกิจกรรมในแต่ละรอบการทำงานมีค่าเท่ากับวันแล้วเสร็จของรอบการทำงานก่อนหน้า ดังนั้นในกรณีที่อัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากันจะไม่มีระยะเวลาว่างงาน (Idle Time)

ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP) จะเกิดเฉพาะปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิต (BIP In Process) ไม่เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน (BIP Waiting Between Processes) ซึ่งสังเกตได้จากในแต่ละรอบการทำงาน วันเริ่มต้นงานของกิจกรรมมีค่าเท่ากับวันแล้วเสร็จของกิจกรรมก่อนหน้า ดังนั้นในแต่ละรอบการทำงานจะเกิดความสูญเปล่าเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตเท่านั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนผลิตภัณฑ์ในกระบวนการและระยะเวลาการทำงานของกิจกรรม ในกรณีนี้จำนวนผลิตภัณฑ์ในแต่ละรอบมีค่าเท่ากับ 12 หน่วย แต่ละกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานเท่ากับ 6 วันจำนวน 4 กิจกรรม ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานมีค่าเท่ากับ $12 \times 16 \times 4 = 288$ หน่วย-วัน ซึ่งมีค่าเท่ากันกับค่าที่คำนวณได้จากภาพที่ 20

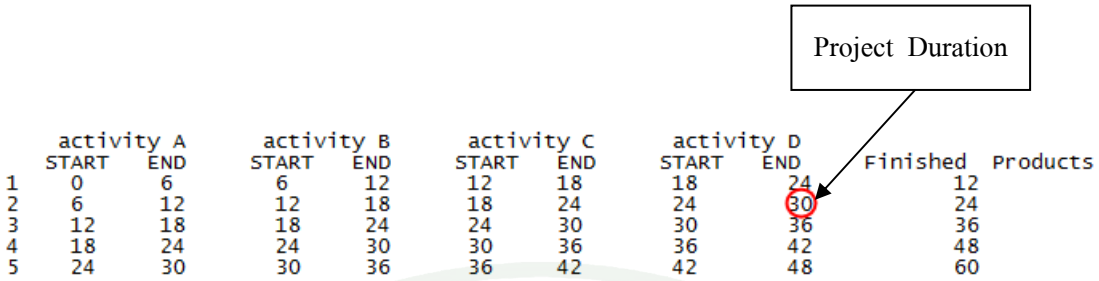
หากลดขนาดการผลิตให้เล็กลงจาก 12 หน่วยเหลือ 6 หน่วย ซึ่งแต่ละกิจกรรมมีการทำงานถี่ขึ้น ผลจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เป็นไปตามแผนการทำงานในภาพที่ 40 ระยะเวลาโครงการเมื่อขนาดการผลิต 6 หน่วยของการผลิต 12 หน่วยก่อสร้างมีค่าเท่ากับ 21 วัน ซึ่งผลจากการใช้แบบจำลองมีค่าเท่ากับผลจากความสัมพันธ์เส้นกราฟ/แผนภาพในภาพที่ 18(b) สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของผลิตภัณฑ์จำนวน 12 หน่วยก่อสร้างที่ได้จากแบบจำลอง STROBOSCOPE กรณีทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิต 6 หน่วย มีระยะเวลาทำงานในแต่ละกิจกรรม 3 วันจำนวน 4 กิจกรรม เมื่อพิจารณาการผลิตทุก 12 หน่วยก่อสร้างจึงมี 2 รอบการทำงาน ดังนั้นจะมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตคิดเป็น $6 \times 3 \times 4 \times 2 = 144$ หน่วย-วัน ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่ากรณีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



	activity A		activity B		activity C		activity D			
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished	Products
1	0	6	6	12	12	18	18	24	12	
2	6	12	12	18	18	24	24	30	24	
3	12	18	18	24	24	30	30	36	36	
4	18	24	24	30	30	36	36	42	48	
5	24	30	30	36	36	42	42	48	60	

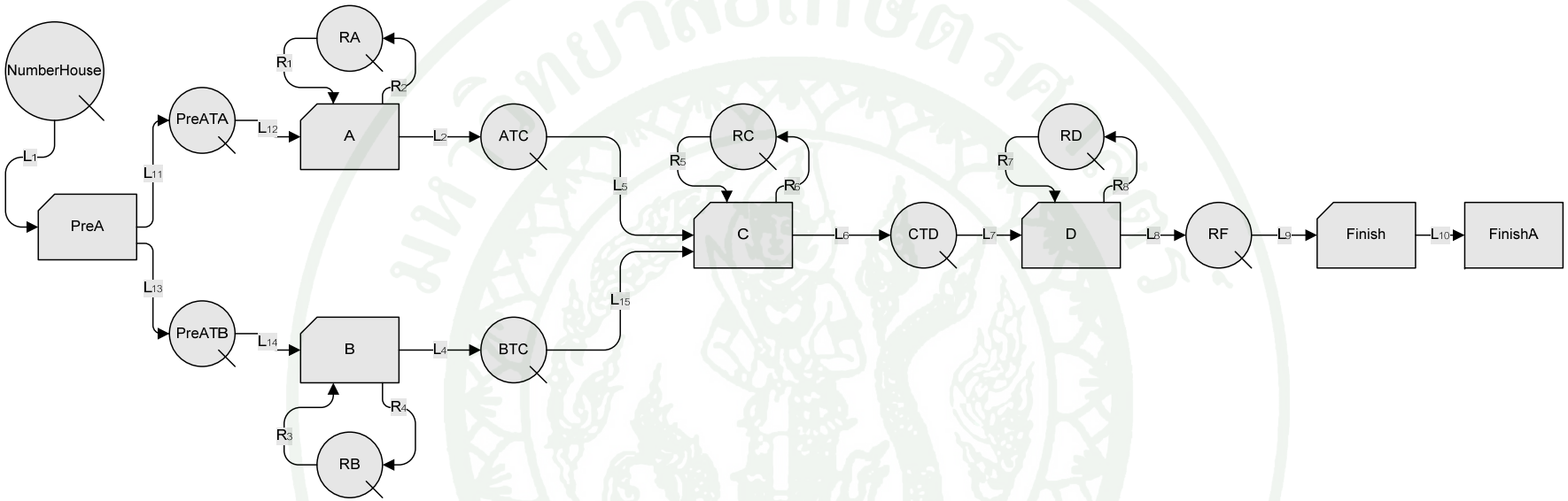
ภาพที่ 39 แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย

	activity A		activity B		activity C		activity D			
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished	Products
1	0	3	3	6	6	9	9	12	6	
2	3	6	6	9	9	12	12	15	12	
3	6	9	9	12	12	15	15	18	18	
4	9	12	12	15	15	18	18	21	24	
5	12	15	15	18	18	21	21	24	30	
6	15	18	18	21	21	24	24	27	36	
7	18	21	21	24	24	27	27	30	42	
8	21	24	24	27	27	30	30	33	48	
9	24	27	27	30	30	33	33	36	54	
10	27	30	30	33	33	36	36	39	60	

ภาพที่ 40 แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย

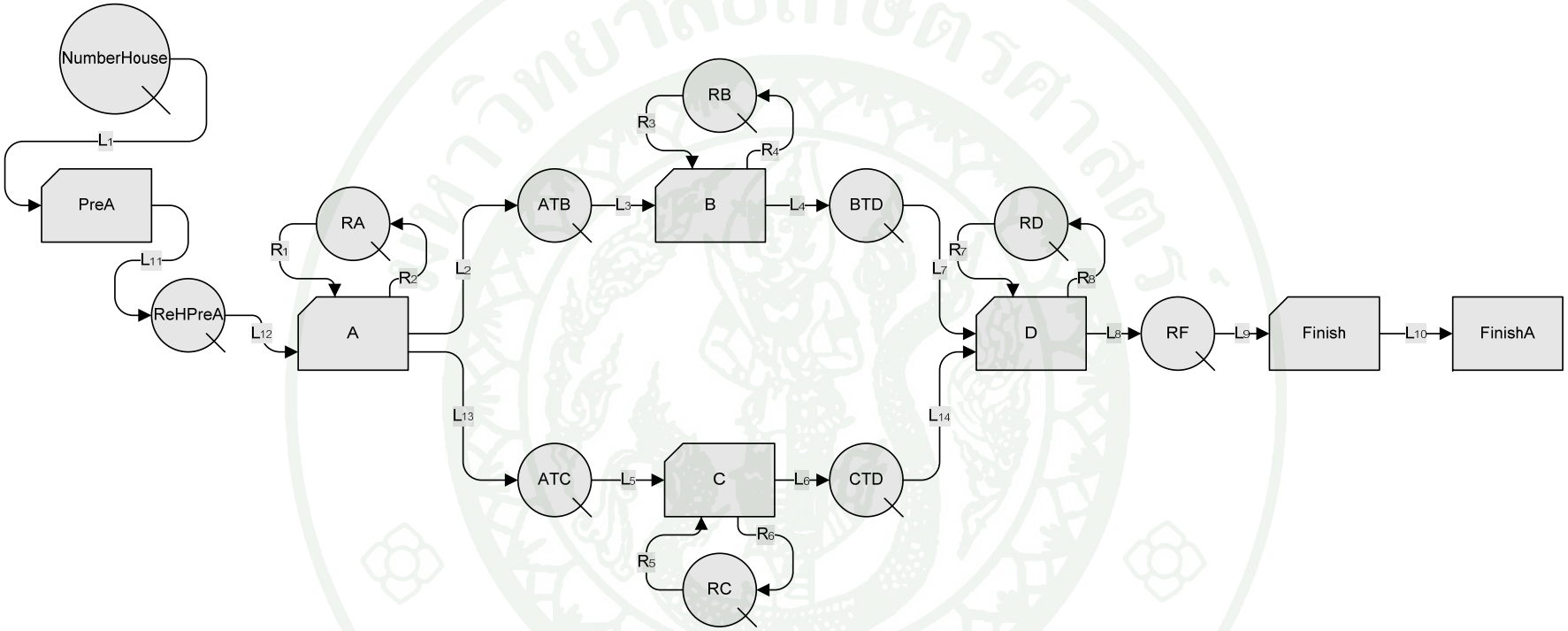
ส่วนที่กล่าวไว้ข้างต้นเป็นรูปแบบโครงข่ายที่กิจกรรมดำเนินงานเป็นลำดับขั้นตอนต่อเนื่องทีละกิจกรรมซึ่งมีรูปแบบโครงข่ายดังภาพที่ 38 หากรูปแบบโครงข่ายอยู่ในรูปแบบอื่นเช่น กิจกรรมเริ่มต้นมากกว่า 1 กิจกรรมหรือบางกิจกรรมดำเนินงานพร้อมกันสามารถแสดงโครงข่ายสมมติจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ได้ดังภาพที่ 41-ภาพที่ 43 โดยภาพที่ 41 กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน ภาพที่ 42 กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน และภาพที่ 43 กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน กำหนดให้แบบจำลองทั้ง 3 โครงข่ายมีจำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 60 หน่วยก่อสร้าง อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน ขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย ผลจากแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 44 จากภาพจะเห็นได้ว่าหากมีจำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 24 หน่วย ทุกกรณีมีระยะเวลาโครงการมีค่าเท่ากับ 24 วันระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานมีค่าเท่ากับ 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



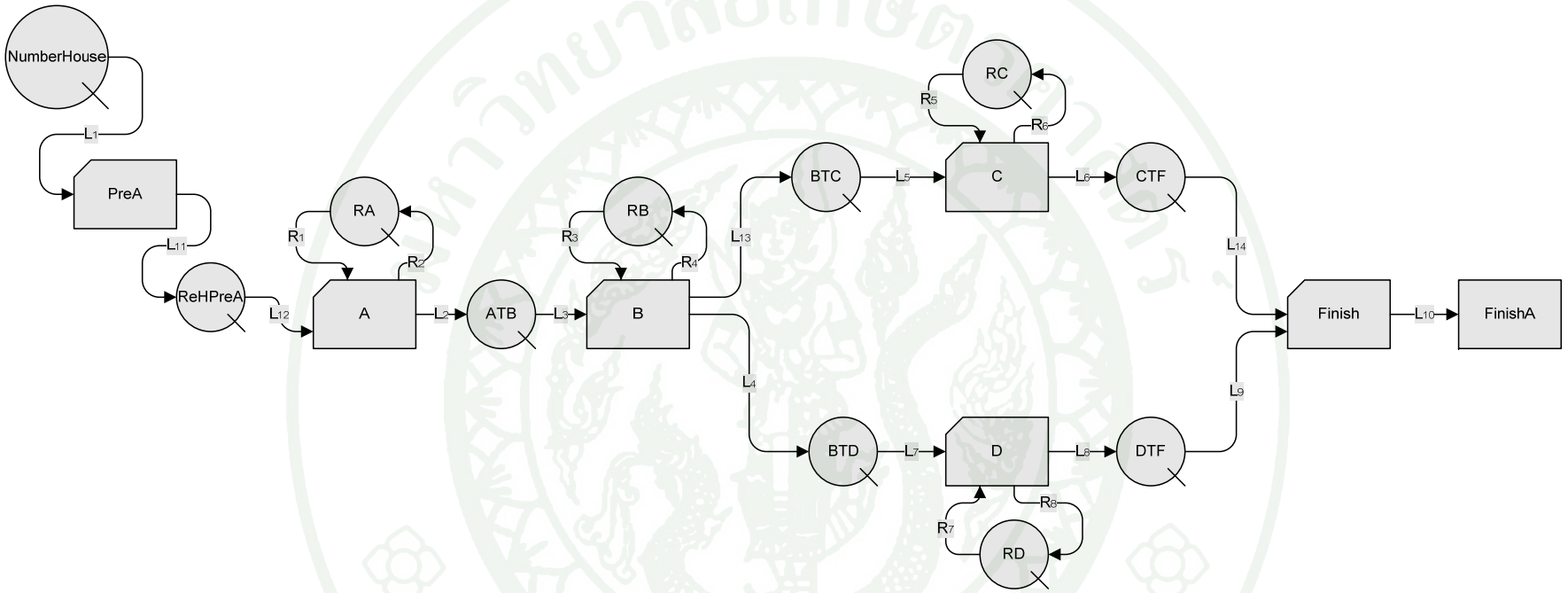
ภาพที่ 41 การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 42 การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 การสร้างโครงข่ายสมมติในแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

	activity A		activity B		activity C		activity D		
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished Products
1	0	6	0	6	6	12	12	18	12
2	6	12	6	12	12	18	18	24	24

(a)

	activity A		activity B		activity C		activity D		
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished Products
1	0	6	6	12	6	12	12	18	12
2	6	12	12	18	12	18	18	24	24

(b)

	activity A		activity B		activity C		activity D		
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished Products
1	0	6	6	12	12	18	12	18	12
2	6	12	12	18	18	24	18	24	24

(c)

ภาพที่ 44 แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE กรณีบางกิจกรรมเริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกันเมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน และขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย (a) กิจกรรม A และ B เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (b) กิจกรรม B และ C เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน (c) กิจกรรม C และ D เริ่มต้นดำเนินงานพร้อมกัน

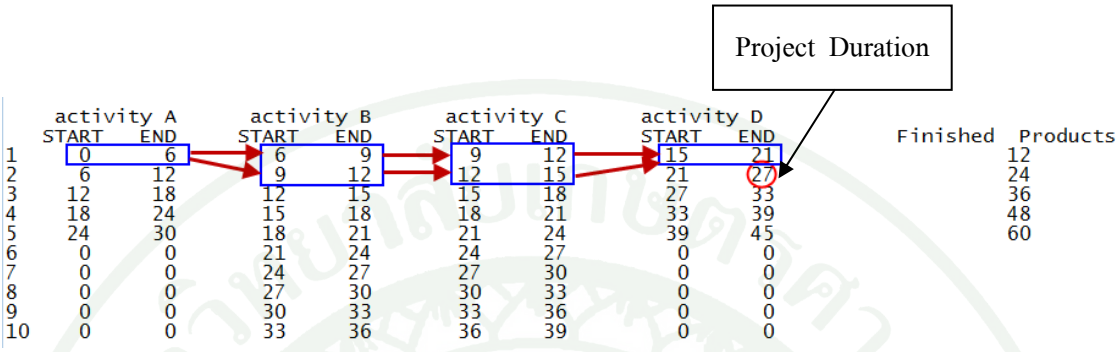
2.2 กรณีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

ในกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน โครงข่ายสมมติดังภาพที่ 38 กำหนดให้ทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน ขนาดการผลิตของกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วยตามลำดับ ผลจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เป็นไปดังภาพที่ 45 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการผลิตของ 24 หน่วยก่อสร้างเท่ากับ 27 วัน ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 21 - 0 = 21 วันและรอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 27 - 6 = 21 วันตามลำดับ จากแผนการทำงานแต่ละกิจกรรมสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีระยะเวลาว่างงานระหว่างรอบการทำงาน ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของผลิตภัณฑ์ 12 หน่วยจะเกิดความสูญเสียเนื่องมาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน โดยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตสามารถคำนวณได้จาก

(ขนาดการผลิตของกิจกรรม A จำนวน 12 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 6 วัน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม B จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 3 วัน × 2 รอบการทำงาน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม C จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระบวนการ 3 วัน × 2 รอบการทำงาน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม D จำนวน 12 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 6 วัน) = 216 หน่วย-วัน



ภาพที่ 45 แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน และขนาดการผลิตกิจกรรม A, B, C และ D เท่ากับ 12, 6, 6 และ 12 หน่วยตามลำดับ

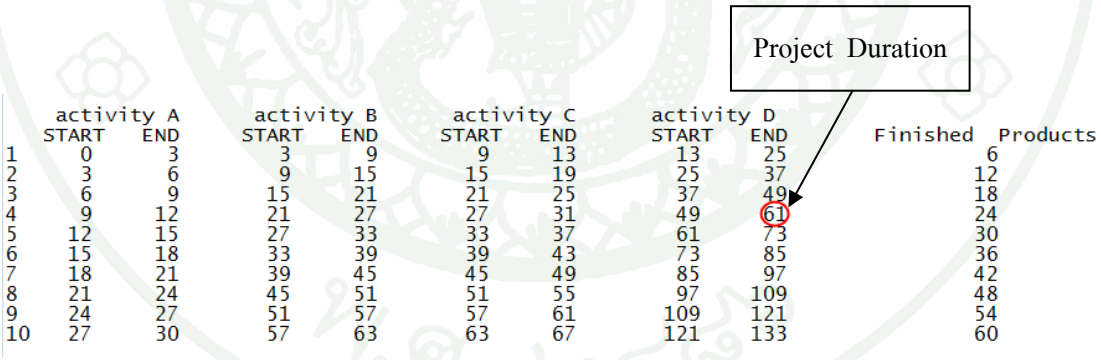
ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันเกิดจากผลิตภัณฑ์ 12 หน่วยที่ถูกดำเนินการเสร็จสิ้นจากกิจกรรม A ไม่สามารถเข้าไปสู่การดำเนินงานในกิจกรรม B ได้ทั้งหมดมีเพียง 6 หน่วยแรกที่สามารถดำเนินการได้ทันที อีก 6 หน่วยที่เหลือจะถูกดำเนินการในรอบการทำงานที่ 2 ซึ่งมีระยะเวลารอคอยเท่ากับ 3 วันคิดเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันเท่ากับ $6 \times 3 = 18$ หน่วย-วัน และเช่นเดียวกันผลิตภัณฑ์ 6 หน่วยแรกที่ถูกดำเนินการเสร็จสิ้นจากกิจกรรม C ไม่สามารถดำเนินการในกิจกรรม D ได้ทันทีเนื่องจากกิจกรรม D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วยจึงจำเป็นต้องรอให้กิจกรรม C ดำเนินการผลิตรอบที่ 2 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ 6 หน่วยแรกรอคอยเป็นเวลา 3 วันคิดเป็น $6 \times 3 = 18$ หน่วย-วัน

ตัวอย่างข้างต้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับกรณีกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันให้ผลตรงกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากแผนภาพความสัมพันธ์ของเส้นการทำงานของกิจกรรมในภาพที่ 23 และภาพที่ 25

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน

กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน โครงข่ายสมมติในภาพที่ 38 ถูกกำหนดให้กิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วัน ตามลำดับ ทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วยเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยเส้นกราฟ/แผนภาพ ผลจากแบบจำลอง STROBOSCOPE แสดงดังภาพที่ 46 หากพิจารณาที่จำนวนหน่วยก่อสร้างเท่ากับ 24 หน่วยก่อสร้างจะมีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 61 วัน ส่วนระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 25 - 0 = 25 วัน รอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 37 - 3 = 34 วัน รอบการทำงานที่ 3 มีค่าเท่ากับ 49 - 6 = 43 วัน หรือระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานเพิ่มขึ้น 9 วันในทุกรอบการทำงาน หากพิจารณาการรอคอยของกลุ่มคนงานจากแผนการทำงานในภาพที่ 46 จะสังเกตได้ว่ากลุ่มคนงานในกิจกรรม C ของรอบการทำงานที่ 1 ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 13 แต่ไม่สามารถดำเนินงานในรอบการทำงานที่ 2 ได้ทันทีเนื่องจากการดำเนินการผลิตของกิจกรรมก่อนหน้า (กิจกรรม B) ของรอบการทำงานเดียวกันเสร็จสิ้นในวันที่ 15 ดังนั้นกลุ่มคนงานจะเกิดการรอคอยเพื่อดำเนินงานในรอบการทำงานถัดไปเป็นเวลา 15 - 13 = 2 วัน ซึ่งโครงการตัวอย่างนี้เกิดระยะเวลาว่างงานทั้งหมดในกิจกรรม C เท่ากับ 18 วัน



	activity A		activity B		activity C		activity D		
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished Products
1	0	3	3	9	9	13	13	25	6
2	3	6	9	15	15	19	25	37	12
3	6	9	15	21	21	25	37	49	18
4	9	12	21	27	27	31	49	61	24
5	12	15	27	33	33	37	61	73	30
6	15	18	33	39	39	43	73	85	36
7	18	21	39	45	45	49	85	97	42
8	21	24	45	51	51	55	97	109	48
9	24	27	51	57	57	61	109	121	54
10	27	30	57	63	63	67	121	133	60

ภาพที่ 46 แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและทุกกิจกรรมมีขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานจะเกิดทั้งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน โดยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับกรณีที่อัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากันดังนี้

(ขนาดการผลิตของกิจกรรม A จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 3 วัน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม B จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 6 วัน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม C จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 4 วัน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม D จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 12 วัน) = 150 หน่วย-วัน

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างสองกิจกรรมเมื่อกิจกรรมที่ตามมามีอัตราการทำงานช้ากว่ากิจกรรมก่อนหน้า ในกรณีนี้คือ 1) ระหว่างกิจกรรม A และ B 2) ระหว่างกิจกรรม C และ D และจะเริ่มจากรอบการทำงานที่ 2 เป็นต้นไปซึ่งพิจารณาได้ดังนี้ กิจกรรม A (อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วัน) ดำเนินการผลิตรอบการทำงานที่ 2 เสร็จสิ้นในวันที่ 6 แต่ผลิตภัณฑ์เริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตในกิจกรรม B ได้ในวันที่ 9 (อัตราการทำงานเท่ากับ 1 หน่วย/วัน) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม B ในรอบการทำงานก่อนหน้ายังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ ซึ่งผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม A จะเกิดการรอคอยเพื่อเริ่มต้นกิจกรรม B เป็นระยะเวลา 9 - 6 = 3 วัน มีผลิตภัณฑ์รอคอยทั้งหมด 6 หน่วย ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B ในรอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ $3 \times 6 = 18$ หน่วย-วัน และเช่นเดียวกันเมื่อผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C (อัตราการทำงานเท่ากับ 1.5 หน่วย/วัน) ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 19 ไม่สามารถดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม D (อัตราการทำงานเท่ากับ 0.5 หน่วย/วัน) ในรอบการทำงานเดียวกันได้ทันที ผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C จำเป็นต้องรอให้กิจกรรม D ในรอบการทำงานก่อนหน้าดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 25 ซึ่งคิดเป็นระยะเวลารอคอย 25 - 19 = 6 วัน ผลิตภัณฑ์รอคอยทั้งหมด 6 หน่วย ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม C และ D ในรอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ $6 \times 6 = 36$ หน่วย-วัน หากพิจารณาแผนการทำงานรอบการทำงานที่ 3 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม A ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 9 แต่ผลิตภัณฑ์เริ่มดำเนินการผลิตในกิจกรรม B ได้ในวันที่ 15 ผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม A จำนวน 6 หน่วยใช้ระยะเวลารอคอยเท่ากับ 15 - 9 = 6 วันดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B ในรอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ $6 \times 6 = 36$ หน่วย-วัน และกิจกรรม C ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 25 แต่ผลิตภัณฑ์เริ่มดำเนินการผลิตในกิจกรรม D ได้ในวันที่ 37 ผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C

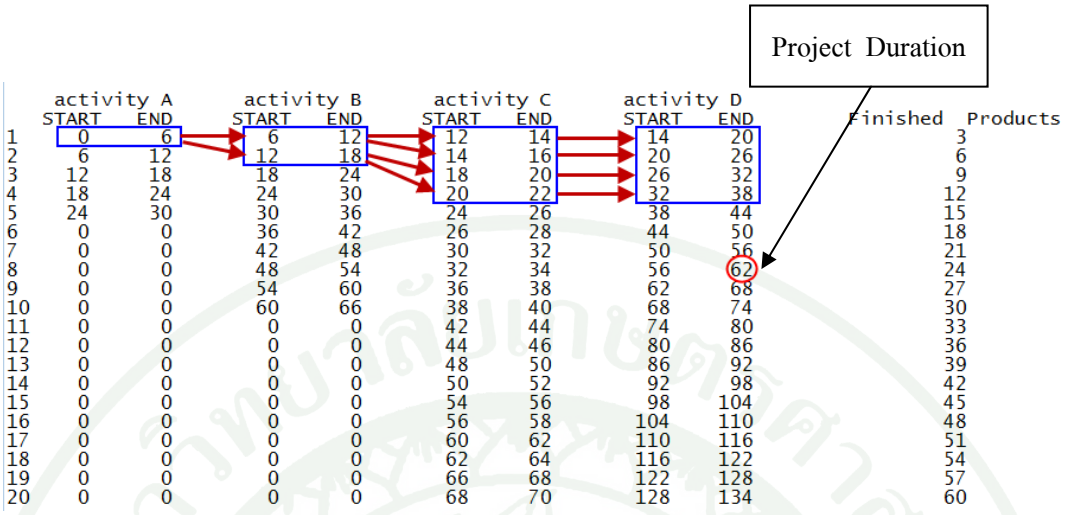
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำนวน 6 หน่วยใช้ระยะเวลารอคอยเท่ากับ 37 - 25 = 12 วัน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม C และ D ในรอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ $12 \times 6 = 72$ หน่วย-วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A-B และระหว่างกิจกรรม C-D มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงานมีค่าเท่ากับ 18 และ 36 หน่วย-วันตามลำดับ

2.4 กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน

จากโครงข่ายสมมติในภาพที่ 38 กรณีอัตราการทำงานไม่เท่ากันและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน เมื่อกำหนดให้กิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและกิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 3 และ 3 หน่วยตามลำดับ เมื่อมีจำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 60 หน่วยก่อสร้าง แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE แสดงในภาพที่ 47 จะเห็นได้ว่าโครงการตัวอย่างนี้มีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 134 วัน หากพิจารณาที่จำนวนหน่วยก่อสร้าง 24 หน่วยก่อสร้างจะมีระยะเวลาโครงการเท่ากับ 62 วันซึ่งมีระยะเวลาโครงการเท่ากันกับผลจากการวิเคราะห์ด้วยเส้นกราฟ/แผนภาพ ส่วนระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 38 - 0 = 38 วัน รอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 62 - 6 = 56 วัน รอบการทำงานที่ 3 มีค่าเท่ากับ 86 - 12 = 74 วัน หรือระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานเพิ่มขึ้น 28 วันในแต่ละรอบการทำงาน หากจะพิจารณาการรอคอยของกลุ่มคนงานพบว่า หากกลุ่มคนงานของกิจกรรมก่อนหน้าใช้ระยะเวลาในการทำงานที่ช้ากว่ากลุ่มคนงานของกิจกรรมที่ตามมาจะเกิดการรอคอย ตัวอย่างเช่น เมื่อกิจกรรม C (ขนาดการผลิตเท่ากับ 3 หน่วย) รอบการทำงานที่ 2 ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 16 กลุ่มคนงานไม่สามารถดำเนินการผลิตในรอบที่ 3 ได้ทันทีโดยจะกลุ่มคนงานจะเริ่มดำเนินการผลิตกิจกรรม C ในรอบที่ 3 เมื่อกิจกรรม B (ขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย) ดำเนินการผลิตรอบที่ 2 เสร็จสิ้นในวันที่ 18 ดังนั้นกลุ่มคนงานจะเกิดการรอคอยเพื่อดำเนินงานในรอบการทำงานถัดไปเป็นเวลา 18 - 16 = 2 วัน ในโครงการตัวอย่างเมื่อมีจำนวนหน่วยก่อสร้างทั้งหมด 60 หน่วยก่อสร้าง กลุ่มคนงานในกิจกรรม C จะมีระยะเวลาว่างงานทั้งหมดเท่ากับ 18 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



	activity A		activity B		activity C		activity D		
	START	END	START	END	START	END	START	END	Finished Products
1	0	6	6	12	12	14	14	20	3
2	6	12	12	18	14	16	20	26	6
3	12	18	18	24	18	20	26	32	9
4	18	24	24	30	20	22	32	38	12
5	24	30	30	36	24	26	38	44	15
6	0	0	36	42	26	28	44	50	18
7	0	0	42	48	30	32	50	56	21
8	0	0	48	54	32	34	56	62	24
9	0	0	54	60	36	38	62	68	27
10	0	0	60	66	38	40	68	74	30
11	0	0	0	0	42	44	74	80	33
12	0	0	0	0	44	46	80	86	36
13	0	0	0	0	48	50	86	92	39
14	0	0	0	0	50	52	92	98	42
15	0	0	0	0	54	56	98	104	45
16	0	0	0	0	56	58	104	110	48
17	0	0	0	0	60	62	110	116	51
18	0	0	0	0	62	64	116	122	54
19	0	0	0	0	66	68	122	128	57
20	0	0	0	0	68	70	128	134	60

ภาพที่ 47 แผนการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อกิจกรรม A, B, C และ D มีอัตราการทำงานเท่ากับ 2, 1, 1.5 และ 0.5 หน่วย/วันตามลำดับและกิจกรรม A, B, C และ D มีขนาดการผลิตเท่ากับ 12, 6, 3 และ 3 หน่วยตามลำดับ

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานเกิดทั้งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้าดังนี้

(ขนาดการผลิตของกิจกรรม A จำนวน 12 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 6 วัน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม B จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 6 วัน × 2 รอบการทำงาน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม C จำนวน 6 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 4 วัน × 2 รอบการทำงาน) + (ขนาดการผลิตของกิจกรรม D จำนวน 12 หน่วย × ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ 24 วัน) = 150 หน่วย-วัน

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันเกิดขึ้นระหว่างสองกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันเมื่อกิจกรรมที่ตามมามีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรมก่อนหน้าจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน โครงการตัวอย่างในภาพที่ 47 นี้จะเกิดขึ้น 1) ระหว่างกิจกรรม A และ B 2) ระหว่างกิจกรรม C และ D เช่นเดียวกับกรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน หากกิจกรรมก่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หน้ามีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรมที่ตามมาจะเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนมีปริมาณเท่ากันทุกรอบการทำงาน ซึ่งในโครงการตัวอย่างเกิดขึ้นระหว่างกิจกรรม B และ C จากแผนการทำงานในภาพที่ 47 กิจกรรม A (อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 12 หน่วย) ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 6 กิจกรรม B (อัตราการทำงานเท่ากับ 1 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 6 หน่วย) ผลิตภัณฑ์หน่วยก่อสร้างที่ 1-6 (รอบการทำงานแรก) สามารถเริ่มต้นดำเนินงานได้ทันทีแต่ผลิตภัณฑ์หน่วยก่อสร้างที่ 7-12 จะต้องรอให้รอบการทำงานแรกดำเนินงานเสร็จสิ้นในวันที่ 12 จึงจะเริ่มดำเนินการผลิตได้ นั่นคือปริมาณผลิตภัณฑ์หลังเสร็จสิ้นกิจกรรม A จำนวน 6 หน่วยรอคอยก่อนเริ่มทำงานในกิจกรรม B เป็นเวลา 12 - 6 = 6 วัน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B ในรอบการทำงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6 × 6 = 36 หน่วย-วัน เมื่อผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม A ในรอบการทำงานที่ 2 ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 12 จะสามารถเริ่มต้นดำเนินการผลิตกิจกรรม B ในรอบการทำงานที่ 3 ได้ในวันที่ 18 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม B ในรอบการทำงานก่อนหน้ายังดำเนินงานไม่แล้วเสร็จ ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เสร็จสิ้นในกิจกรรม A รอบการทำงานที่ 2 (12 หน่วยก่อสร้าง) รอคอยก่อนเริ่มต้นดำเนินงานในกิจกรรม B ของรอบการทำงานที่ 3 เป็นเวลา 18 - 12 = 6 วัน และปริมาณผลิตภัณฑ์ 6 หน่วยที่เหลือรอคอยก่อนเริ่มต้นดำเนินการผลิตกิจกรรม B ในรอบที่ 4 เป็นเวลา 24 - 12 = 12 วัน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B ในรอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ (6 + 12) × 6 = 108 หน่วย-วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม A และ B มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน เมื่อผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม B ดำเนินการผลิตรอบที่ 1 เสร็จสิ้นในวันที่ 12 สามารถเริ่มต้นดำเนินการผลิตกิจกรรม C (อัตราการทำงานเท่ากับ 1.5 หน่วย/วันและขนาดการผลิตเท่ากับ 3 หน่วย) ในรอบการทำงานแรกได้ทันที ส่วนผลิตภัณฑ์ในรอบการทำงานที่ 2 จะเริ่มต้นดำเนินการผลิตได้เมื่อผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C ในรอบการทำงานแรกดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 14 ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ดำเนินงานในกิจกรรม B เสร็จสิ้นรอบการทำงานแรกรอคอยก่อนเริ่มดำเนินงานในกิจกรรม C เป็นระยะเวลา 14 - 12 = 2 วัน จากภาพที่ 47 จะเห็นได้ว่าหลังจากผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม B ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในแต่ละรอบการทำงานจะมีระยะเวลาที่ปริมาณผลิตภัณฑ์รอคอยก่อนเริ่มต้นดำเนินงานในกิจกรรม C เป็นเวลา 2 วันเท่ากันทุกรอบการทำงาน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม B และ C ในแต่ละรอบการทำงานมีค่าเท่ากับ 2 × 3 = 6 หน่วย-วัน เมื่อผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C ในรอบการทำงานแรกดำเนินงานเสร็จสิ้นสามารถเริ่มต้นดำเนินการผลิตในกิจกรรม D ได้ทันทีเนื่องจากมีขนาดการผลิตเท่ากัน (3 หน่วย) แต่เมื่อผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C รอบการทำงานที่ 2 ดำเนินงานเสร็จสิ้นในวันที่ 16 ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเริ่มต้นทำงานในกิจกรรม D ของรอบที่ 2 ได้ทันทีเนื่องจากกิจกรรม D มีอัตราการทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เท่ากับ 0.5 หน่วย/วันซึ่งช้ากว่ากิจกรรม C ดังนั้นผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม D จะเริ่มต้นทำงานในรอบที่ 2 ได้เมื่อรอบที่ 1 ดำเนินการผลิตเสร็จสิ้นในวันที่ 20 จากภาพที่ 47 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ดำเนินงานในกิจกรรม C เสร็จสิ้นของรอบที่ 2 รอคอยเพื่อเริ่มต้นดำเนินงานในกิจกรรม D รอบการทำงานเดียวกันคิดเป็นระยะเวลา 20 - 16 = 4 วัน ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม C และ D ของรอบการทำงานที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4 × 3 = 12 หน่วย-วัน เมื่อพิจารณารอบการทำงานที่ 3 พบว่าผลิตภัณฑ์ของกิจกรรม C ดำเนินการผลิตเสร็จในวันที่ 20 แต่กิจกรรม D เริ่มต้นดำเนินงานวันที่ 26 ซึ่งมีผลิตภัณฑ์รอคอยเป็นระยะเวลาเท่ากับ 26 - 20 = 6 วัน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม C และ D ในรอบการทำงานที่ 3 เท่ากับ 6 × 3 = 18 หน่วย-วัน จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างกิจกรรม C และ D มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE ในงานก่อสร้าง

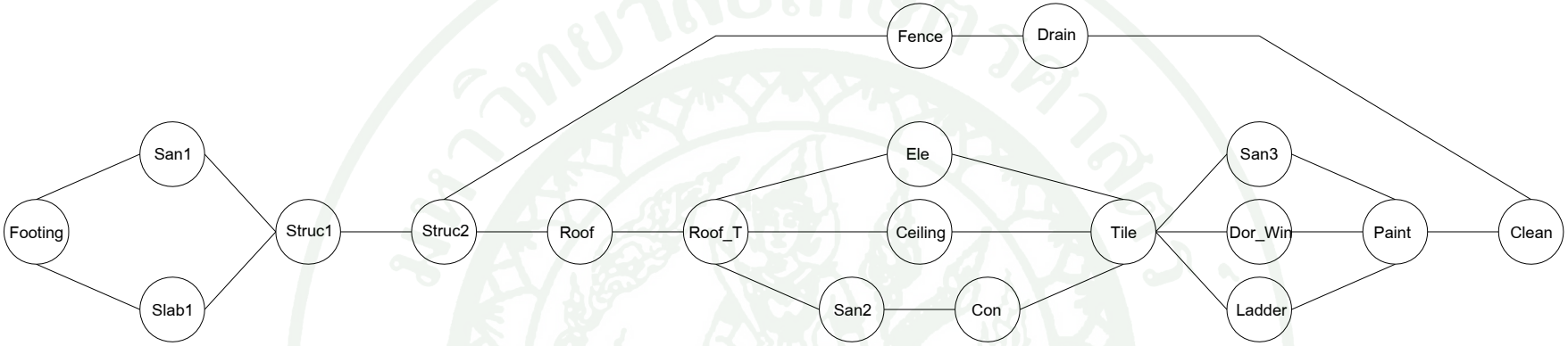
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตสำหรับการก่อสร้างทาวเฮ้าส์ที่ประกอบด้วย 19 กิจกรรม แสดงดังตารางที่ 6 ทุกกิจกรรมเริ่มต้นทำงานได้เร็วที่สุดตามความสัมพันธ์แบบ FTS (Finish to Start) ซึ่งสามารถแสดงโครงข่ายตามความสัมพันธ์และโครงข่ายในแบบจำลอง STROBOSCOPE ได้ดังภาพที่ 48 และภาพที่ 49 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 รายละเอียดของแต่ละกิจกรรมที่ใช้ในการก่อสร้างทาวเฮ้าส์

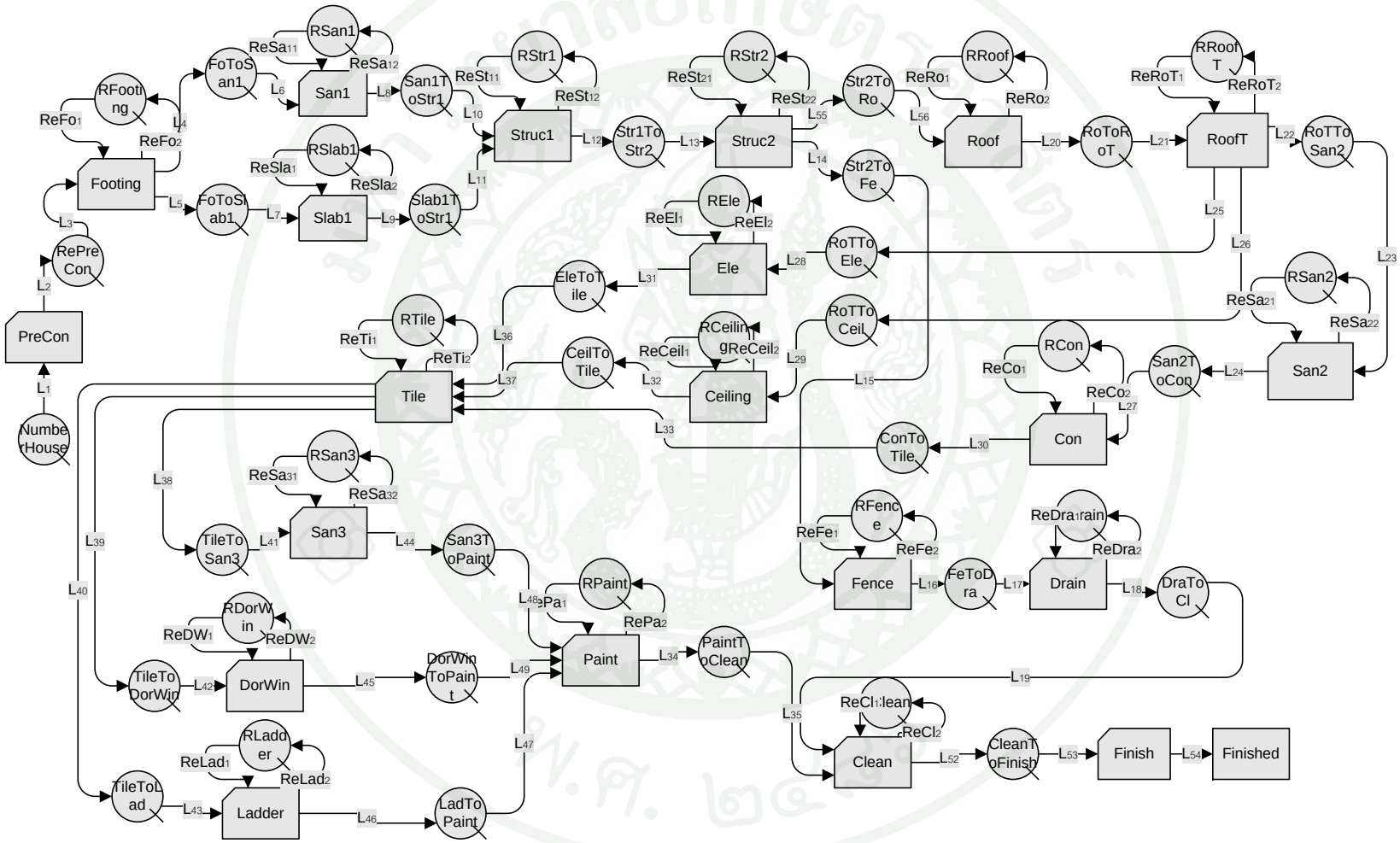
ลำดับ	กิจกรรม	ขนาดการผลิต (หลัง)	อัตราการทำงาน (หลัง/วัน)	ระยะเวลาการทำงาน (วัน/รอบ)	สัญลักษณ์
1	ตอกเสาเข็ม	12	4.00	3	Footing
2	วางระบบท่อพื้นชั้น 1	12	6.00	2	San1
3	เทพื้นชั้น 1	12	3.00	4	Stab1
4	โครงสร้างชั้น 1	2	0.50	4	Struc1
5	โครงสร้างชั้น 2	2	0.50	4	Struc2
6	โครงหลังคาเหล็ก	6	2.00	3	Roof
7	มุงหลังคา	6	2.00	3	Roof_T
8	ระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์	4	2.00	2	Ele
9	ฝ้าเพดาน	3	1.50	2	Ceiling
10	วางระบบท่อประปา	3	3.00	1	San2
11	เก็บรายละเอียดงานปูน	6	2.00	3	Con
12	ปูกระเบื้อง	4	1.33	3	Tile
13	สุขภัณฑ์	12	6.00	2	San3
14	ประตู – หน้าต่าง	4	1.00	4	Dor_Win
15	บันได	12	12.00	1	Ladder
16	ทาสี	4	1.33	3	Paint
17	โครงสร้างรั้ว	6	1.50	4	Fence
18	วางระบบท่อน้ำทิ้ง	12	6.00	2	Drain
19	ทำความสะอาด	12	12.00	1	Clean

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 48 โครงข่ายความสัมพันธ์ของกิจกรรมกรณีโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 โครงข่ายความสัมพันธ์ในแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์

โครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์แต่ละแปลงประกอบด้วยบ้าน 12 หลัง มีขนาดการผลิตและอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรมที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 6 พิจารณาผลจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ในตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนแปลงเพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาโครงการจะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งจากตารางที่ 7 จำนวนแปลงที่เพิ่มขึ้นทุก 10 แปลงจะมีระยะเวลาโครงการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 240 วันหรือทุก 24 วันจะมีบ้านหนึ่งแปลงที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งค่า 24 วันนี้เป็นอัตราการทำงานของกิจกรรมที่ช้าที่สุด (โครงสร้างชั้น 1 และชั้น 2 ซึ่งเท่ากับ 0.5 หลัง/วัน)

ตารางที่ 7 ระยะเวลาโครงการจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์เมื่อจำนวนแปลงแตกต่างกัน

จำนวนแปลง	ระยะเวลาโครงการ (วัน)
10	280
20	520
30	760

หากพิจารณาระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานจากภาพที่ 50 จะเห็นได้ว่าโครงการนี้มีระยะเวลาการผลิตเพิ่มขึ้น 21 วันทุกรอบการทำงาน หากกลุ่มคนงานในกิจกรรมก่อนหน้าใช้เวลาในการทำงานช้ากว่ากลุ่มคนงานของกิจกรรมที่ตามมา กลุ่มคนงานของกิจกรรมที่ตามมาจะเกิดการรอคอยระหว่างรอบการทำงาน ตารางที่ 8 แสดงระยะเวลาว่างงานทั้งหมดของกลุ่มคนงานในแต่ละกิจกรรม เมื่อจำนวนแปลงของโครงการแตกต่างกัน จากภาพจะเห็นได้ว่า กิจกรรมที่ตามหลังกิจกรรมคอขวด (กิจกรรมโครงสร้างหลังคาเหล็กและกิจกรรมมุงหลังคา) จะมีระยะเวลาว่างงานในปริมาณมาก เนื่องจากกิจกรรมคอขวดใช้ระยะเวลาในการทำงานช้าที่สุด กลุ่มคนงานกิจกรรมที่ตามมาจึงเกิดการรอคอย หากพิจารณาจำนวนแปลงที่เพิ่มมากขึ้น กลุ่มคนงานของแต่ละกิจกรรมจะมีระยะเวลาว่างงานเพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่ากันด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Batch	Throughput Time
1	64
2	85
3	106
4	127
5	148
6	169
7	190
8	211
9	232
10	253
11	274
12	295
13	316
14	337
15	358
16	379
17	400
18	421
19	442
20	463
21	484
22	505
23	526
24	547
25	568
26	589
27	610
28	631
29	652
30	673

ภาพที่ 50 ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์จำนวน 30 แปลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ระยะเวลาว่างงานทั้งหมดจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์ เมื่อจำนวนแปลงของโครงการแตกต่างกัน

ลำดับ	กิจกรรม	ระยะเวลาว่างงาน (วัน)		
		10 แปลง	20 แปลง	30 แปลง
1	ตอกเสาเข็ม	0	0	0
2	วางระบบท่อพื้นชั้น 1	9	19	29
3	เทพื้นชั้น 1	0	0	0
4	โครงสร้างชั้น 1	0	0	0
5	โครงสร้างชั้น 2	0	0	0
6	โครงหลังคาเหล็ก	171	351	531
7	มุงหลังคา	171	351	531
8	ระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์	172	352	532
9	ฝ้าเพดาน	152	312	472
10	วางระบบท่อประปา	190	390	590
11	เก็บรายละเอียดงานปูน	171	351	531
12	ปูกระเบื้อง	144	294	444
13	สุขภัณฑ์	198	418	638
14	ประตู - หน้าต่าง	116	236	356
15	บันได	207	437	667
16	ทาสี	135	285	435
17	โครงสร้างรั้ว	152	312	472
18	วางระบบท่อน้ำทิ้ง	198	418	638
19	ทำความสะอาด	207	437	667

เมื่อพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตในตารางที่ 9 ซึ่งเป็นผลจากแบบจำลอง STROBOSCOPE จะเห็นได้ว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตแต่ละแปลงจะมีค่าเท่ากัน จากตารางกิจกรรมเสาเข็มมีขนาดการผลิต 12 หลัง × ระยะเวลาการทำงานในแต่ละรอบเท่ากับ 3 วัน (อัตราการทำงาน 4 หลัง/วัน) ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกิจกรรมตอกเสาเข็มเท่ากับ 36 หลัง-วัน ส่วนกิจกรรมโครงสร้างชั้น 1 มีขนาดการผลิต 2 หลัง × ระยะเวลาการทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เท่ากับ 4 วันต่อรอบ (อัตราการทำงานเท่ากับ 0.5 หลัง/วัน) × 6 รอบการทำงาน ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกิจกรรมโครงสร้างชั้น 1 เท่ากับ 48 หลัง-วัน นั่นคือปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตต่อแปลงขึ้นอยู่กับอัตราการทำงานและขนาดการผลิตของกิจกรรมนั้นๆ

ตารางที่ 9 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตต่อแปลง (หลัง - วัน)
1	ตอกเสาเข็ม	36
2	วางระบบท่อพื้นชั้น 1	24
3	เทพื้นชั้น 1	48
4	โครงสร้างชั้น 1	48
5	โครงสร้างชั้น 2	48
6	โครงหลังคาเหล็ก	36
7	มุงหลังคา	36
8	ระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์	24
9	ฝ้าเพดาน	24
10	วางระบบท่อประปา	12
11	เก็บรายละเอียดงานปูน	36
12	ปูกระเบื้อง	36
13	สุขภัณฑ์	24
14	ประตู - หน้าต่าง	48
15	บันได	12
16	ทาสี	36
17	โครงสร้างรั้ว	48
18	วางระบบท่อน้ำทิ้ง	24
19	ทำความสะอาด	12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์เมื่อจำนวนแปลงของโครงการแตกต่างกัน

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน					
		10 แปลง		20 แปลง		30 แปลง	
		ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)
1	ตอกเสาเข็ม - วางระบบท่อชั้น 1	0	0	0	0	0	0
2	ตอกเสาเข็ม - เทพื้นชั้น 1	45	9	190	19	435	29
3	วางระบบท่อชั้น 1 - โครงสร้างชั้น 1	1,065	211	4,230	421	9,495	631
4	เทพื้นชั้น 1 - โครงสร้างชั้น 1	1,000	200	4,000	400	9,000	600
5	โครงสร้างชั้น 1 - โครงสร้างชั้น 2	0	0	0	0	0	0
6	โครงสร้างชั้น 2 - โครงหลังคาเหล็ก	40	8	80	8	120	8
7	โครงหลังคาเหล็ก - มุงหลังคา	0	0	0	0	0	0
8	มุงหลังคา - ระบบไฟฟ้า	27	12	53	12	80	12
9	มุงหลังคา - ฝ้าเพดาน	10	2	20	2	30	2
10	มุงหลังคา - วางระบบท่อประปา	5	1	10	1	15	1
11	วางระบบท่อประปา - เก็บงานปูน	5	1	10	1	180	1
12	ระบบไฟฟ้า - ปูกระเบื้อง	33	4	67	4	100	4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน					
		10 แปลง		20 แปลง		30 แปลง	
		ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)
13	ฝ้าเพดาน - ปูกระเบื้อง	50	13	100	13	150	13
14	เก็บงานปูน - ปูกระเบื้อง	30	12	60	12	90	12
15	ปูกระเบื้อง - สุขภัณฑ์	60	15	120	15	180	15
16	ปูกระเบื้อง - ประตูหน้าต่าง	3	1	7	1	10	1
17	ปูกระเบื้อง - บันได	60	15	120	15	180	15
18	สุขภัณฑ์ - ทาสี	30	6	60	6	90	6
19	ประตูหน้าต่าง - ทาสี	67	13	133	13	200	13
20	บันได - ทาสี	40	7	80	7	120	7
21	โครงสร้างชั้น 2 - โครงสร้างรั้ว	40	8	80	8	120	8
22	โครงสร้างรั้ว - วางระบบท่อน้ำทิ้ง	60	12	120	12	180	12
23	วางระบบท่อน้ำทิ้ง - ทำความสะอาด	220	22	440	22	660	22
24	ทาสี - ทำความสะอาด	30	6	60	6	90	6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน แสดงผลจากแบบจำลอง STROBOSCOPE ของโครงการก่อสร้างทาวเฮ้าส์ เมื่อโครงการมีจำนวนแปลงที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 10 จากตารางจะเห็นได้ว่า หากกิจกรรมก่อนหน้ามีอัตราการทำงานที่เร็วกว่ากิจกรรมตามหลัง จะเกิดระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยสูงสุดเพิ่มขึ้นทุกแปลง ตัวอย่างเช่น จากตารางกิจกรรมตอกเสาเข็มมีอัตราการทำงานเท่ากับ 4 หลัง/วัน เมื่อดำเนินการผลิตแล้วเสร็จผลิตภัณฑ์จะรอคอยกิจกรรมเทพื้นชั้น 1 ซึ่งมีอัตราการทำงานเท่ากับ 3 หลัง/วัน โครงการก่อสร้างเมื่อมีจำนวน 10 แปลง จะมีระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยมากที่สุดเท่ากับ 9 วัน หากเพิ่มจำนวนแปลงเป็น 20 และ 30 แปลง จะมีระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยเพิ่มมากขึ้นเป็น 19 และ 29 วันตามลำดับ นั่นคือหากกิจกรรมก่อนหน้ามีอัตราการทำงานเร็วกว่ากิจกรรมตามหลังจะเกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนเพิ่มขึ้นทุกรอบการทำงาน

หากกิจกรรมก่อนหน้ามีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรมตามหลังจะเกิดระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยสูงสุดเท่ากันทุกแปลง ตัวอย่างเช่น จากตาราง เมื่อกิจกรรมโครงสร้างชั้น 2 (อัตราการทำงานเท่ากับ 0.5 หลัง/วัน) ดำเนินการผลิตแล้วเสร็จ ผลิตภัณฑ์จะเกิดการรอคอยเพื่อให้ครบขนาดการผลิตที่กิจกรรมโครงหลังคาเหล็กใช้ในการทำงาน (อัตราการทำงานเท่ากับ 2 หลัง/วัน) โครงการก่อสร้างที่มีจำนวนแปลงเท่ากับ 10, 20 และ 30 แปลง จะมีระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์รอคอยเท่ากับ 8 วัน นั่นคือ หากกิจกรรมก่อนหน้ามีอัตราการทำงานที่ช้ากว่ากิจกรรมตามหลังจะเกิดผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนเท่ากันทุกรอบการทำงาน

หากผู้วางแผนต้องการเปลี่ยนรูปแบบการก่อสร้างโครงหลังคาและมุงหลังคาจากดำเนินการก่อสร้างครั้งละ 6 หลังเหลือ 2 หลังโดยอัตราการทำงานของทั้ง 2 กิจกรรมมีค่าเหมือนเดิม สามารถแสดงขนาดการผลิต ระยะเวลาการทำงาน ของแต่ละกิจกรรมได้ดังตารางที่ 11 เมื่อขนาดการผลิตของกิจกรรมโครงหลังคาและมุงหลังคาลดลงจะแสดงระยะเวลาโครงการในตารางที่ 12 ซึ่งมีระยะเวลาโครงการลดลงจากตารางที่ 7 ดังนั้นการลดขนาดการผลิตบางกิจกรรมจะทำให้ระยะเวลาโครงการลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 รายละเอียดที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละกิจกรรม เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง

ลำดับ	กิจกรรม	ขนาดการผลิต (หลัง)	อัตราการทำงาน (หลัง/วัน)	ระยะเวลาการทำงาน (วัน/รอบ)
1	ตอกเสาเข็ม	12	4.00	3
2	วางระบบท่อพื้นชั้น 1	12	6.00	2
3	เทพื้นชั้น 1	12	3.00	4
4	โครงสร้างชั้น 1	2	0.50	4
5	โครงสร้างชั้น 2	2	0.50	4
6	โครงหลังคาเหล็ก	2	2.00	1
7	มุงหลังคา	2	2.00	1
8	ระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์	4	2.00	2
9	ฝ้าเพดาน	3	1.50	2
10	วางระบบท่อประปา	3	3.00	1
11	เก็บรายละเอียดงานปูน	6	2.00	3
12	ปูกระเบื้อง	4	1.33	3
13	สุขภัณฑ์	12	6.00	2
14	ประตู - หน้าต่าง	4	1.00	4
15	บันได	12	12.00	1
16	ทาสี	4	1.33	3
17	โครงสร้างรั้ว	6	1.50	4
18	วางระบบท่อน้ำทิ้ง	12	6.00	2
19	ทำความสะอาด	12	12.00	1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ระยะเวลาโครงการจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง

จำนวนแปลง	ระยะเวลาโครงการ (วัน)
10	275
20	515
30	755

เมื่อขนาดการผลิตของกิจกรรมโครงหลังคาและกิจกรรมมุงหลังคาลดลง แสดงระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานได้จากภาพที่ 51 จากภาพจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานเพิ่มขึ้น 21 วันทุกรอบการทำงาน ดังนั้นการลดขนาดการผลิตของกิจกรรมโครงหลังคาและกิจกรรมมุงหลังคาจะทำให้ระยะเวลาการผลิตลดลงแต่ไม่ได้ทำให้ปริมาณที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบการทำงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาว่างงานทั้งหมดของกลุ่มคนงานในแต่ละกิจกรรมในตารางที่ 8 ซึ่งมีขนาดการผลิตของกิจกรรมโครงสร้างหลังคาและกิจกรรมมุงหลังคาเท่ากับ 6 หลัง และตารางที่ 13 ซึ่งมีขนาดการผลิตของกิจกรรมโครงสร้างหลังคาและกิจกรรมมุงหลังคาเท่ากับ 2 หลังพบว่า เมื่อขนาดการผลิตลดลงจะทำให้กิจกรรมโครงสร้างหลังคา กิจกรรมมุงหลังคาและกิจกรรมที่ตามมา (กิจกรรมระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์ กิจกรรมฝ้าเพดานและกิจกรรมวางระบบท่อประปา) มีระยะเวลาว่างงานของกลุ่มคนงานเพิ่มขึ้น

หากพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตในตารางที่ 14 เมื่อขนาดการผลิตของกิจกรรมโครงสร้างหลังคาและกิจกรรมมุงหลังคาลดลงจาก 6 หลังเหลือ 2 หลัง พบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกิจกรรมโครงหลังคาและกิจกรรมมุงหลังคามีค่าลดลงจาก 36 หลัง-วัน (ตารางที่ 9) เหลือ 12 หลัง-วัน (ตารางที่ 14) จากตารางที่ 15 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน เมื่อลดขนาดการผลิตในกิจกรรมโครงหลังคาเหล็กและกิจกรรมมุงหลังคาพบว่าระยะเวลารอคอยสูงสุดระหว่างกิจกรรมก่อนหน้าและกิจกรรมโครงสร้างหลังคาเหล็กมีค่าลดลงจากตารางที่ 10 และระยะเวลารอคอยสูงสุดระหว่างกิจกรรมมุงหลังคาและกิจกรรมถัดไปมีค่าทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงจากตารางที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Batch	Throughput Time
1	59
2	80
3	101
4	122
5	143
6	164
7	185
8	206
9	227
10	248
11	269
12	290
13	311
14	332
15	353
16	374
17	395
18	416
19	437
20	458
21	479
22	500
23	521
24	542
25	563
26	584
27	605
28	626
29	647
30	668

ภาพที่ 51 ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ระยะเวลาว่างงานทั้งหมดจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง

ลำดับ	กิจกรรม	ระยะเวลาว่างงาน (วัน)		
		10 แปลง	20 แปลง	30 แปลง
1	ตอกเสาเข็ม	0	0	0
2	วางระบบท่อพื้นชั้น 1	9	19	29
3	เทพื้นชั้น 1	0	0	0
4	โครงสร้างชั้น 1	0	0	0
5	โครงสร้างชั้น 2	0	0	0
6	โครงหลังคาเหล็ก	177	357	537
7	มุงหลังคา	177	357	537
8	ระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์	174	354	534
9	ฝ้าเพดาน	154	314	474
10	วางระบบท่อประปา	193	393	593
11	เก็บรายละเอียดงานปูน	171	351	531
12	ปูกระเบื้อง	144	294	444
13	สุขภัณฑ์	198	418	638
14	ประตู - หน้าต่าง	116	236	356
15	บันได	207	437	667
16	ทาสี	135	285	435
17	โครงสร้างรั้ว	152	312	472
18	วางระบบท่อน้ำทิ้ง	198	418	638
19	ทำความสะอาด	207	437	667

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตต่อแปลง (หลัง - วัน)
1	ตอกเสาเข็ม	36
2	วางระบบท่อพื้นชั้น 1	24
3	เทพื้นชั้น 1	48
4	โครงสร้างชั้น 1	48
5	โครงสร้างชั้น 2	48
6	โครงหลังคาเหล็ก	12
7	มุงหลังคา	12
8	ระบบไฟฟ้า + อุปกรณ์	24
9	ฝ้าเพดาน	24
10	วางระบบท่อประปา	12
11	เก็บรายละเอียดงานปูน	36
12	ปูกระเบื้อง	36
13	สุขภัณฑ์	24
14	ประตู - หน้าต่าง	48
15	บันได	12
16	ทาสี	36
17	โครงสร้างรั้ว	48
18	วางระบบท่อน้ำทิ้ง	24
19	ทำความสะอาด	12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันจากแบบจำลอง STROBOSCOPE เมื่อขนาดการผลิตบางกิจกรรมลดลง

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน					
		10 แปลง		20 แปลง		30 แปลง	
		ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)
1	ตอกเสาเข็ม - วางระบบท่อชั้น 1	0	0	0	0	0	0
2	ตอกเสาเข็ม - เทพื้นชั้น 1	45	9	190	19	435	29
3	วางระบบท่อชั้น 1 - โครงสร้างชั้น 1	1,065	211	4,230	421	9,495	631
4	เทพื้นชั้น 1 - โครงสร้างชั้น 1	1,000	200	4,000	400	9,000	600
5	โครงสร้างชั้น 1 - โครงสร้างชั้น 2	0	0	0	0	0	0
6	โครงสร้างชั้น 2 - โครงหลังคาเหล็ก	0	0	0	0	0	0
7	โครงหลังคาเหล็ก - มุงหลังคา	0	0	0	0	0	0
8	มุงหลังคา - ระบบไฟฟ้า	20	4	40	4	60	4
9	มุงหลังคา - ฝ้าเพดาน	20	4	40	4	60	4
10	มุงหลังคา - วางระบบท่อประปา	20	4	40	4	60	4
11	วางระบบท่อประปา - เก็บงานปูน	20	4	40	4	60	4
12	ระบบไฟฟ้า - ปูกระเบื้อง	70	10	140	10	210	10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน					
		10 แปลง		20 แปลง		30 แปลง	
		ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)	ปริมาณทั้งหมด (แปลง - วัน)	ระยะเวลามากสุด (วัน)
13	ฝ้าเพดาน - ปูกระเบื้อง	70	14	140	14	210	14
14	เก็บงานปูน - ปูกระเบื้อง	30	12	60	12	90	12
15	ปูกระเบื้อง - สุขภัณฑ์	60	15	120	15	180	15
16	ปูกระเบื้อง - ประตูหน้าต่าง	3	1	7	1	10	1
17	ปูกระเบื้อง - บันได	60	15	120	15	180	15
18	สุขภัณฑ์ - ทาสี	30	6	60	6	90	6
19	ประตูหน้าต่าง - ทาสี	67	13	133	13	200	13
20	บันได - ทาสี	40	7	80	7	120	7
21	โครงสร้างชั้น 2 - โครงสร้างรั้ว	40	8	80	8	120	8
22	โครงสร้างรั้ว - วางระบบท่อน้ำทิ้ง	60	12	120	12	180	12
23	วางระบบท่อน้ำทิ้ง - ทำความสะอาด	170	17	340	17	510	17
24	ทาสี - ทำความสะอาด	30	6	60	6	90	6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลกระทบของขนาดการผลิตในงานก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำกันโดยอาศัยโครงข่ายสมมติในการวิเคราะห์ซึ่งแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณีคือ 1) กรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตเท่ากัน 2) กรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากันแต่ขนาดการผลิตไม่เท่ากัน 3) กรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานไม่เท่ากันแต่ขนาดการผลิตเท่ากัน และ 4) กรณีที่กิจกรรมมีอัตราการทำงานและขนาดการผลิตไม่เท่ากัน แต่ละกลุ่มโครงข่ายใช้ตัวชี้วัดช่วยในการวิเคราะห์ 4 ตัวชี้วัด ได้แก่ ระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงาน (Batch Throughput Time, BT) ระยะเวลาโครงการ (Project Duration) ระยะเวลาว่างงาน (Idle Time) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงาน (Batch in Production, BIP) ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตจากการพิจารณาความสัมพันธ์เส้นกราฟ/แผนภาพ ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดการผลิตโดยอาศัยแบบจำลอง STROBOSCOPE ซึ่งอาศัยโครงการตัวอย่างเดียวกับการวิเคราะห์ในส่วนแรก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อทุกกิจกรรมมีอัตราการทำงานเท่ากัน เส้นกิจกรรมของแต่ละกิจกรรมจะขนานกัน เมื่อขนาดการผลิตของทุกกิจกรรมเท่ากัน กระบวนการทำงานที่มีขนาดการผลิตที่เล็กกว่าจะมีการดำเนินงานที่ถี่ขึ้น เส้นกิจกรรมจะอยู่ชิดกันมากขึ้น ซึ่งหมายถึงระยะเวลาโครงการและระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานจะลดลง การลดลงของระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานมีผลให้ความสูญเปล่าในรูปของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างดำเนินการผลิตของรอบการทำงานลดลง การลดขนาดการผลิตของบางกิจกรรม (กรณีขนาดการผลิตของกิจกรรมไม่เท่ากัน) อาจไม่สามารถทำให้ระยะเวลาโครงการและระยะเวลาการผลิตของรอบการทำงานลดลงและอาจก่อให้เกิดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่รอคอยระหว่างสองขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเริ่มต้นของกิจกรรมถูกกำหนดจากกิจกรรมก่อนหน้าดำเนินงานเสร็จสิ้นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่แล้วเสร็จอย่างน้อยเท่ากับขนาดการผลิตของกิจกรรมนั้น ในกรณีอัตราการทำงานของกิจกรรมไม่เท่ากัน ระยะเวลาโครงการถูกกำหนดจากระยะเวลาที่กิจกรรมที่มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดในการทำงาน ในกรณีนี้ระยะเวลาการผลิตในแต่ละรอบการทำงานมีค่าไม่เท่ากันโดยรอบการทำงานถัดไปจะมีระยะเวลาการผลิตนานกว่ารอบการทำงานก่อนหน้าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระยะเวลาการทำงานระหว่างกิจกรรมที่มีอัตราการทำงานที่ช้าที่สุดกับกิจกรมเริ่มต้นและด้วยอัตราการทำงานที่ไม่เท่ากันนี้ทำให้เกิดการรอคอยของกลุ่มคนงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระหว่างรอบการทำงาน นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม STROBOSCOPE เพื่อช่วยในการคำนวณหาผลกระทบของขนาดการผลิตสำหรับโครงข่ายที่มีความซับซ้อน โดยแสดงผ่านโครงการตัวอย่างของการก่อสร้างทาวเฮ้าส์

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากขอบเขตของงานวิจัยนี้กำหนดให้ทุกกิจกรรมมีความสัมพันธ์แบบ Finish to Start และแต่ละกิจกรรมเริ่มต้นได้เร็วที่สุด (Early Start) หากผู้วางแผนงานก่อสร้างต้องการวางแผนงานให้กลุ่มคนงานดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้หลักการวางแผนงานวิธีต่างๆ เช่น Repetitive Scheduling Method (RSM) และ Line of Balance (LOB) เป็นต้น รวมถึงกรณีกิจกรรมมีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแตกต่างจากงานวิจัยนี้ ไม่ว่าจะเป็น Finish to Finish, Start to Finish และ Start to Start ย่อมจะได้ผลที่แตกต่าง สามารถเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยในอนาคตได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อัครวิทย์ สุวรรณจันทร์ และสุนีรัตน์ กุศลาศัย. 2554. การจัดสรรทรัพยากรแบบกลุ่มคนงานเฉพาะและการใช้คนงานร่วมกันในงานก่อสร้างที่มีรูปแบบก่อสร้างซ้ำๆ กัน. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา** 21(4): 79-88.

Arditi, D., B. O. Tokdemir and K. Suh. 2001. Effect of learning on line-of-balance scheduling. **International Journal of Project Management** 19: 265-277.

Al-Sudairi,A.A., J.E. Diekmann, Songer A.D. and Brown,H.M. 1999**. Simulation of contruction processes: Traditional practices versus lean principle.** University of California, Berkeley, CA, USA.

Harris, R.B. and P.G. Ioannou. 1998. Scheduling projects with repeating activities. **Journal of Construction Engineering and Management** 124(4): 269-278.

Ioannou, P.G. and C. Srisuwanrat. 2006. Sequence Step Algorithm for Continuous Resource Utilization in Probabilistic Repetitive Projects, pp. 2141-2150. *In* Winter Simulation Conference (Monterey, California, Dec. 2006), L. F. Perrone, F. P. Wieland, J. Liu, B. G. Lawson, D. M. Nicol, and R. M. Fujimoto, eds**. Proceedings of the 2006.** IEEE, Piscataway, NJ.

Jiang, A., B. Cheng, I. Flood and R. Issa. 2006. Modified linear scheduling in scheduling multiple utility line construction projectBAL, pp. 3926-3937. *In* Joint International Conference on Computing and Decition Making in Civil and Building Engineering, 14-16 June 2006, Montreal, Canada.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Martinez, J.C. and P.G. Ioannou. 1996a. Simulation of Complex Construction Processes, pp. 1321-1328. *In* Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference J.M. Charnes, D.J. Morrice, D.T. Brunner and J.J. Swain, eds. **Proceedings of the 2006.** IEEE, Piscataway, NJ.

_____. and _____. 1996b. Start-Based Probabilistic Scheduling Using STROBOSCOPE's CPM Add-On, pp. 438-445. *In* **Proceedings, Construction Congress V, ASCE Stuart D. Anderson**. Minneapolis, MN.

Marzouk, M., H.Z. El-Dein and M. El-Said. 2007. Application of Computer Simulation to Construction of Incremental Launching Bridges. **Journal of Civil Engineering and management** 8(1): 27-36.

Mattila, K.G. and A. Park. 2003. Comparison of Linear Scheduling Model and Repetitive Scheduling Method. **Journal of Construction Engineering and Management.** 129(1): 56-64.

Srisuwanrat C. and P.G. Ioannou. 2007. The Investigation Of Lead-Time Buffering Under Uncertainty Using Simulation and Cost Optimization. *In* **Proceedings of the 15th Conference of the International Group for Lean Construction**. July 2007, Lansing, Michigan, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวชยาภรณ์ ขุนชำนาญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 กรกฎาคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประวัติการทำงาน	-
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์