



การดำเนินงานในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรด้วยรูปแบบการทำงานที่มีลักษณะซ้ำกัน

ตอนที่ 1 การดำเนินงานด้วยกำหนดเวลาการทำงานที่ต่างกันระหว่าง CPM และ RSM

THE CONSTRUCTION OF A HOUSING PROJECT WITH REPETITIVE WORKING PATTERNS

PART 1 WORKING WITH DIFFERENT SCHEDULES BETWEEN CPM AND RSM

กาญจนา จานงกรณ์¹ และสุนิรัตน์ กุศลาศัย²

¹นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์กำหนดเวลาการทำงานของงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน อาทิ โครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีเส้นทางวิกฤต หรือ Critical Path Method (CPM) และวิธี Repetitive Scheduling Method (RSM) เป็นต้น บทความนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการดำเนินงานด้วยกำหนดเวลาที่ต่างกันระหว่าง CPM และ RSM โดยใช้โปรแกรม STROBOSCOPE ในการจำลองการก่อสร้างบ้านจัดสรรจำนวน 40 แปลง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากโครงการก่อสร้างจริง ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์พบว่า การดำเนินงานทั้งสองรูปแบบมีกำหนดเวลาทำงานและกิจกรรมวิกฤตที่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเงื่อนไขที่กำหนดวันเริ่มต้นของกิจกรรมไม่เหมือนกัน CPM กำหนดให้กิจกรรมเริ่มต้นงานในหน่วยก่อสร้างแรกทันทีที่กิจกรรมก่อนหน้านี้แล้วเสร็จ ส่วนกำหนดเวลาเริ่มต้นกิจกรรมตามหลักการ RSM จะเพิ่มเงื่อนไขที่พิจารณาตารางการทำงานของกลุ่มคนงานเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินงานมีความต่อเนื่องโดยการเลื่อนวันเริ่มต้นกิจกรรมให้ช้าออกไป ในกรณีที่การดำเนินงานเป็นไปตามแผน การดำเนินงานตามหลักการ CPM จะมีระยะเวลาโครงการและระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ยที่สั้นกว่า เมื่อเทียบกับการดำเนินงานตามหลักการ RSM อย่างไรก็ตามหากอัตราการทำงานของกิจกรรมขาดความสมดุล ตารางการทำงานของกลุ่มคนงานที่ดำเนินงานตามหลักการ CPM จะเกิดการขาดช่วง ซึ่งเห็นได้จากค่าผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงานที่มีค่าสูงมาก ในขณะที่การดำเนินงานตามหลักการ RSM จะไม่พบการว่างงานของกลุ่มคนงาน หากพิจารณาเงื่อนไขการทำงานจริงที่มักเกิดอุปสรรคที่ก่อให้เกิดความล่าช้าจะพบว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาทำงานของกิจกรรมส่งผลกระทบต่อการทำงานตามหลักการ CPM อย่างชัดเจน ทั้งระยะเวลาโครงการ ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ย และผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงานที่เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว แต่เงื่อนไขดังกล่าวกลับส่งผลกระทบไม่มากหากเลือกรูปแบบการดำเนินงานตามหลักการ RSM ทั้งนี้เนื่องจากดำเนินงานตามหลักการ CPM แบบ early start กิจกรรมจะถูกกำหนดให้เริ่มต้นทันทีที่กิจกรรมก่อนหน้านี้ในหน่วยก่อสร้างเดียวกันและกิจกรรมเดียวกันของหน่วยก่อสร้างก่อนหน้านี้แล้วเสร็จ การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาก่อสร้างจึงส่งผลกระทบต่อกิจกรรมที่ตามมา ในขณะที่การเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มต้นของกิจกรรมให้ช้าออกไปตามหลักการ RSM ทำให้เกิดระยะห่างระหว่างกิจกรรมที่ต่อเนื่องกัน ส่วนการ

ดำเนินงานกรณีที่สามารถกำจัดอุปสรรคที่ควบคุมได้นั้น ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกรณีการดำเนินงานเป็นไปตามแผน เนื่องจากในกรณีศึกษาที่อุปสรรคส่วนใหญ่เป็นอุปสรรคที่ควบคุมได้

คำสำคัญ : งานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน, โครงการบ้านจัดสรร, การวางแผนการทำงานวิธีเส้นทางวิกฤต, การวางแผนสำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน และการจำลองสถานการณ์

ABSTRACT

Repetitive construction such as housing development projects can be scheduled by various methods including Critical Path Method (CPM) and Repetitive Scheduling Method (RSM). This paper presents the effects of using different work schedules between CPM and RSM by using STROBOSCOPE to simulate the construction of 40 housing units based on the data from a real construction project. The result shows that different scheduling criteria result in different activity schedules and critical activities. Given the first scenario which work is performed as planned, CPM schedule has shorter project duration with less average throughput time compared to those of RSM. However, with unbalanced activity production rates, CPM schedule results in work discontinuity leading to high value of total worker idle time, while RSM schedule results no idle time at all. The second scenario is actual work condition. Activity durations are input in the form of density functions based on data collected from field. The result shows that the variations of activities' durations have high impacts on CPM in all aspects. Project duration, average throughput time, and total worker idle time become double. However, these particular work conditions have slight impacts on RSM. This is because, to promote work continuity, the start dates of many activities are delayed, and this creates gaps between two adjacent activities. These gaps turn into time buffers which will alleviate adversity of delay to the successors. In the last scenario, controllable causes of disruption are assumed to be diminished. The results of this scenario are relatively similar to those of the first scenario as, in this case study, most of obstacles are avoidable.

KEYWORD: Repetitive Construction, Housing development projects, Critical Path Method, Repetitive Scheduling Method and Simulation

1. บทนำ

โครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรถูกจัดว่าเป็นงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน (Repetitive Construction) ประเภทหนึ่ง เนื่องจากโครงการประกอบด้วยบ้านที่มีลักษณะคล้ายกันจำนวนหลายหลัง และแต่ละหลังมีขั้นตอนการก่อสร้างที่เหมือนกัน (repetitive units) ซึ่งโครงการก่อสร้างลักษณะนี้ผู้ประกอบการอาจเลือกรูปแบบการดำเนินงานที่มีการกำหนดกลุ่มคนงานหรือกลุ่มทรัพยากรเฉพาะเพื่อดำเนินการก่อสร้างในแต่ละกิจกรรม (Dedicated Resource Assignment) [3] โดยคาดหวังผลผลิตภาพการทำงานที่สูงขึ้นจากทักษะความสามารถของช่างและความชำนาญที่ได้จากการทำซ้ำ การวิเคราะห์กำหนดเวลาการดำเนินงานรูปแบบนี้สามารถทำได้หลายวิธี วิธีเส้นทางวิกฤต (Critical Path Method) เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณกำหนดเวลาทำงาน (วันเริ่มต้นและวันแล้วเสร็จ) ที่เร็วที่สุดและช้าที่สุดของแต่ละกิจกรรม และระบุกิจกรรมวิกฤต

ของโครงการได้ นอกจากวิธี CPM แล้ว ผู้ประกอบการอาจเลือกแนวทางการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน เนื่องจากวิธีการในกลุ่มนี้ถูกออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์กำหนดเวลาสำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน โดยเฉพาะ นอกจากความสัมพันธ์ทางเทคนิคหรือลำดับขั้นตอนการก่อสร้างแล้ว การวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานของเทคนิคในกลุ่มนี้จะพิจารณาเงื่อนไขที่ทำให้ตารางการทำงานของกลุ่มคนงานมีความต่อเนื่อง ไม่เกิดการขาดช่วงหรือการรอคอยที่เกิดจากการขาดสมดุลของอัตราการผลิตของขั้นตอนการทำงานที่มีลำดับต่อกัน

นักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์กำหนดเวลาสำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน ไว้หลายวิธี เช่น Line of Balance (LOB) (Arditi, Tokdemir & Suh, 2002), Linear Scheduling Method (LSM) (Chrzanowski & Johnston, 1986; Hameling & Rowings, 1998) และ Repetitive Scheduling Method (RSM) (Harris & Ioannou, 1998; Ioannou & Srisuwanrat, 2007; Ioannou & Yang, 2016) เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานของวิธีการเหล่านี้จะอาศัยแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานที่ทำได้และเวลา เนื่องจากวิธีการเหล่านี้มีหลักการวิเคราะห์ที่อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ผลการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานที่ได้จึงเหมือนกัน เพียงแต่การแสดงผลในรูปแบบของกราฟนั้นแตกต่างกัน โดย RSM เป็นเพียงวิธีเดียวที่สามารถระบุกิจกรรมวิกฤตได้

ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานที่หลากหลาย งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการเปรียบเทียบกำหนดเวลาทำงานที่ได้จากการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ต่างกัน เช่น Yamin & Harmelink (2001) เปรียบเทียบกำหนดเวลาทำงานที่วิเคราะห์ด้วยวิธี LSM กับ early start schedule ตามหลักการ CPM, Mattila & Park (2003) เปรียบเทียบ LSM กับ RSM และ ชัยยศ และสุนิรัตน์ (2553) เปรียบเทียบ CPM (early start) กับ RSM เป็นต้น ซึ่งการเปรียบเทียบจะอาศัยโครงการสมมติที่ไม่ซับซ้อน แต่ละหน่วยก่อสร้างประกอบด้วยกิจกรรมจำนวนไม่มาก และมีระยะเวลาทำงานที่คงที่ ซึ่งจะให้เห็นถึงความแตกต่างของกำหนดเวลาทำงาน รวมถึงระยะเวลาโครงการ นอกจากนี้หากสังเกตจะพบว่างานวิจัยที่เปรียบเทียบกำหนดเวลาทำงานที่วิเคราะห์ตามหลักการ CPM จะเลือก early start schedule มาเปรียบเทียบกับกำหนดเวลาทำงานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้เนื่องจากโครงการก่อสร้างส่วนใหญ่หากไม่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและ/หรือข้อจำกัดอื่นๆ มักเลือก early start schedule ในการกำหนดแผนการดำเนินงาน เพื่อให้โครงการเกิดความล่าช้าน้อยที่สุด

บทความนี้จะทำการเปรียบเทียบการดำเนินงานด้วยกำหนดเวลาการทำงานที่แตกต่างกันระหว่างวิธี CPM (Early Start) และวิธี RSM ของโครงการก่อสร้างจริง ข้อมูลขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาของกิจกรรมได้จากการเก็บข้อมูลจากสถานที่ก่อสร้าง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลองสถานการณ์ และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ด้วยดัชนีชี้วัด

2. โครงการกรณีศึกษา

กรณีศึกษาของบทความนี้เป็นโครงการก่อสร้างบ้านทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น ที่มีการจัดผังโครงการให้แต่ละแปลงประกอบไปด้วยบ้านจำนวน 7 หลัง จากการสัมภาษณ์วิศวกรโครงการทำให้ทราบถึงขั้นตอนการก่อสร้างบ้านในแต่ละแปลงซึ่งประกอบด้วย 27 กิจกรรม พร้อมระยะเวลาตามแผนของแต่ละกิจกรรม จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการดำเนินงานจริงของการก่อสร้างบ้านจำนวน 14 แปลง รวมใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 116 วัน โดยในแต่ละวันจะทำการบันทึกความก้าวหน้าของแต่ละกิจกรรม รวมทั้งอุปสรรคหากกลุ่มคนงานของกิจกรรมไม่สามารถดำเนินการได้ จากการเก็บข้อมูลจะทำให้ทราบถึง 1. ระยะเวลาทำงานจริง หรือระยะเวลานับตั้งแต่วันที่กลุ่มคนงานเริ่มดำเนินการทำงานจนถึงวันที่แล้วเสร็จของแต่ละกิจกรรม 2. จำนวนวันที่มีการ

ทำงาน ซึ่งจะนับเฉพาะวันที่มีการทำงานเกิดขึ้น และ 3. สาเหตุหรืออุปสรรคที่ทำให้การทำงานเกิดการหยุดชะงัก ไม่สามารถดำเนินการต่อเนื่องให้หน่วยก่อสร้างนั้นๆ แล้วเสร็จ นอกจากนี้ยังได้ทำการจดบันทึกจำนวนคนงานที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม

3. อุปสรรคของการทำงาน

งานวิจัยที่ผ่านมา [1] ได้แบ่งอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานก่อสร้างออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ดังนี้

1. อุปสรรคที่ควบคุมได้ หรืออุปสรรคที่ผู้ประกอบการสามารถป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น โดยอาศัยการวางแผน การเตรียมการ การจัดหา การติดตาม การควบคุม และการตรวจสอบ โดยอุปสรรคในกลุ่มนี้ประกอบด้วย การขาดวัสดุอุปกรณ์ การขาดแคลนคนงาน หรือเครื่องจักร การแข่งขันหรือการเข้างานที่ผิดลำดับ การโยกย้ายชุดคนงานโดยหัวหน้าคนงาน เครื่องจักรเกิดขวางพื้นที่การทำงาน วัสดุและอุปกรณ์เกิดขวางการทำงาน งานก่อนหน้าล่าช้า การแก้ไขงาน งานหยุดชะงักเนื่องจากตรวจคุณภาพไม่ผ่าน พื้นที่การทำงานทับซ้อนกัน และขอบเขตการทำงานไม่ชัดเจน

2. อุปสรรคที่ควบคุมไม่ได้ หรืออุปสรรคที่อยู่เหนือความสามารถในการควบคุมของผู้ประกอบการ ได้แก่ ฝนตก ลมแรง หรืออุปสรรคอื่น ๆ อันเนื่องมาจากสภาพอากาศ รวมทั้งสภาพดินที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงาน

จากข้อมูลการก่อสร้างทั้ง 27 กิจกรรมใน 14 แปลงพบว่ามี 12 กิจกรรมที่เมื่อเริ่มดำเนินการแล้วสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากอุปสรรค ส่วนอีก 15 กิจกรรมที่เมื่อพบว่ามีอุปสรรคช่วงระหว่างการทำงาน โดยส่วนใหญ่พบว่าเกิดจากอุปสรรคที่ควบคุมได้ ส่วนอุปสรรคที่ควบคุมไม่ได้พบในกิจกรรมตอกเสาเข็มและกิจกรรมโครงสร้างพื้นชั้น 1

จากข้อมูลระยะเวลาทำงานสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การทำงานของแต่ละกิจกรรม ดังสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์การทำงาน} = (\text{จำนวนวันที่มีการทำงาน} / \text{ระยะเวลาทำงานจริง}) \times 100 \quad (1)$$

โดยกิจกรรมที่มีเปอร์เซ็นต์การทำงานเท่ากับ 100% หมายความว่ากิจกรรมนั้นมีการบริหารจัดการที่ดี ไม่เกิดอุปสรรคจนถึงขั้นทำให้การทำงานหยุดชะงัก มีจำนวนวันที่มีการทำงานเท่ากับระยะเวลาทำงานจริง ซึ่งจากกิจกรรมทั้งหมด 27 กิจกรรม มีเพียง 2 กิจกรรมที่มีเปอร์เซ็นต์การทำงานน้อยกว่า 80% และเมื่อวิเคราะห์อุปสรรคของทั้ง 2 กิจกรรม พบว่าสาเหตุที่ก่อให้เกิดการหยุดชะงักที่พบบ่อยที่สุด 3 อันดับแรกแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับความถี่ของอุปสรรคที่เกิดขึ้น

กิจกรรม	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การทำงาน	ความถี่ของอุปสรรค		
		1 st	2 nd	3 rd
โครงสร้างพื้นชั้น 1	54.90 %	C	E	A
ฝ้าเพดาน	61.11 %	E	B,C	F

หมายเหตุ: A คือ สภาพอากาศและสภาพดิน, B คือ ขาดวัสดุอุปกรณ์, C คือ ขาดแคลนคนงานหรือเครื่องจักร, E คือ การโยกย้ายชุดคนงาน และ F คือ วัสดุและอุปกรณ์เกิดขวางพื้นที่การทำงาน

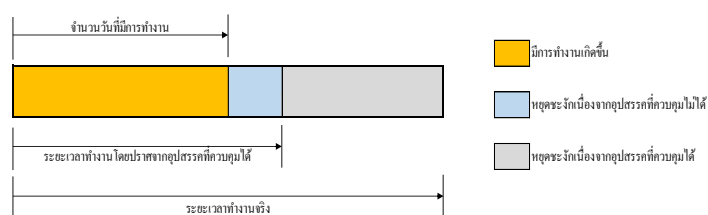
จากตารางที่ 1 พบว่า กิจกรรมที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การทำงานน้อยที่สุดคือ กิจกรรมโครงสร้างพื้นชั้น 1 โดยอุปสรรคการขาดแคลนคนงานหรือเครื่องจักรเกิดขึ้นบ่อยที่สุด รองลงมาคือ อุปสรรคจากการโยกย้ายชุดคนงานระหว่างการก่อสร้างและอุปสรรคอื่นเนื่องมาจากสภาพอากาศและสภาพดินตามลำดับ

จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การทำงานและอุปสรรคของการทำงานสามารถสรุปได้ว่ามีหลายกิจกรรมที่สามารถดำเนินงานได้โดยไม่เกิดการหยุดชะงัก และในส่วนของกิจกรรมที่เกิดการหยุดชะงักนั้นพบว่าส่วนใหญ่เกิดอุปสรรคที่ควบคุมได้

4. ระยะเวลาก่อสร้างของกิจกรรม

จากที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ระยะเวลาการทำงานของแต่ละกิจกรรมที่ได้จากการเก็บข้อมูลการดำเนินงานจริงประกอบด้วย ระยะเวลาหรือจำนวนวันที่กลุ่มคนงานสามารถดำเนินงานให้เกิดความก้าวหน้า (จำนวนวันที่มีการทำงาน) และระยะเวลาที่กลุ่มคนงานไม่สามารถดำเนินงานได้อันเนื่องมาจากอุปสรรคที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ดังแสดงในรูปที่ 1 บทความนี้จะแบ่งการวิเคราะห์ผลกระทบของการเลือกรูปแบบการทำงานออกเป็น 3 กรณีตามประเภทของระยะเวลา ดังนี้

1. กรณีการดำเนินงานเป็นไปตามแผน ซึ่งจะกำหนดให้ระยะเวลาทำงานของกิจกรรมเท่ากับระยะเวลาดำเนินการตามแผน (budgeted duration)
2. กรณีการดำเนินงานเป็นไปตามสภาพการทำงานปัจจุบันที่ไม่มีการควบคุมอุปสรรคใดๆ ระยะเวลาทำงานของกิจกรรมจะเท่ากับระยะเวลาทำงานจริง (actual duration) หรือระยะเวลาที่ได้จากการเก็บข้อมูลการทำงาน of กิจกรรมนับตั้งแต่เริ่มทำงานจนเสร็จสิ้นกิจกรรมนั้นๆ รวมระยะเวลาที่เกิดการหยุดชะงักอันเนื่องมาจากอุปสรรคทุกประเภท
3. กรณีการดำเนินงานที่อุปสรรคที่ควบคุมได้ถูกกำจัดได้หมด ระยะเวลาทำงานของกิจกรรมจะเท่ากับระยะเวลาทำงานที่ปราศจากอุปสรรคที่ควบคุมได้ (actual duration without controllable disruption)

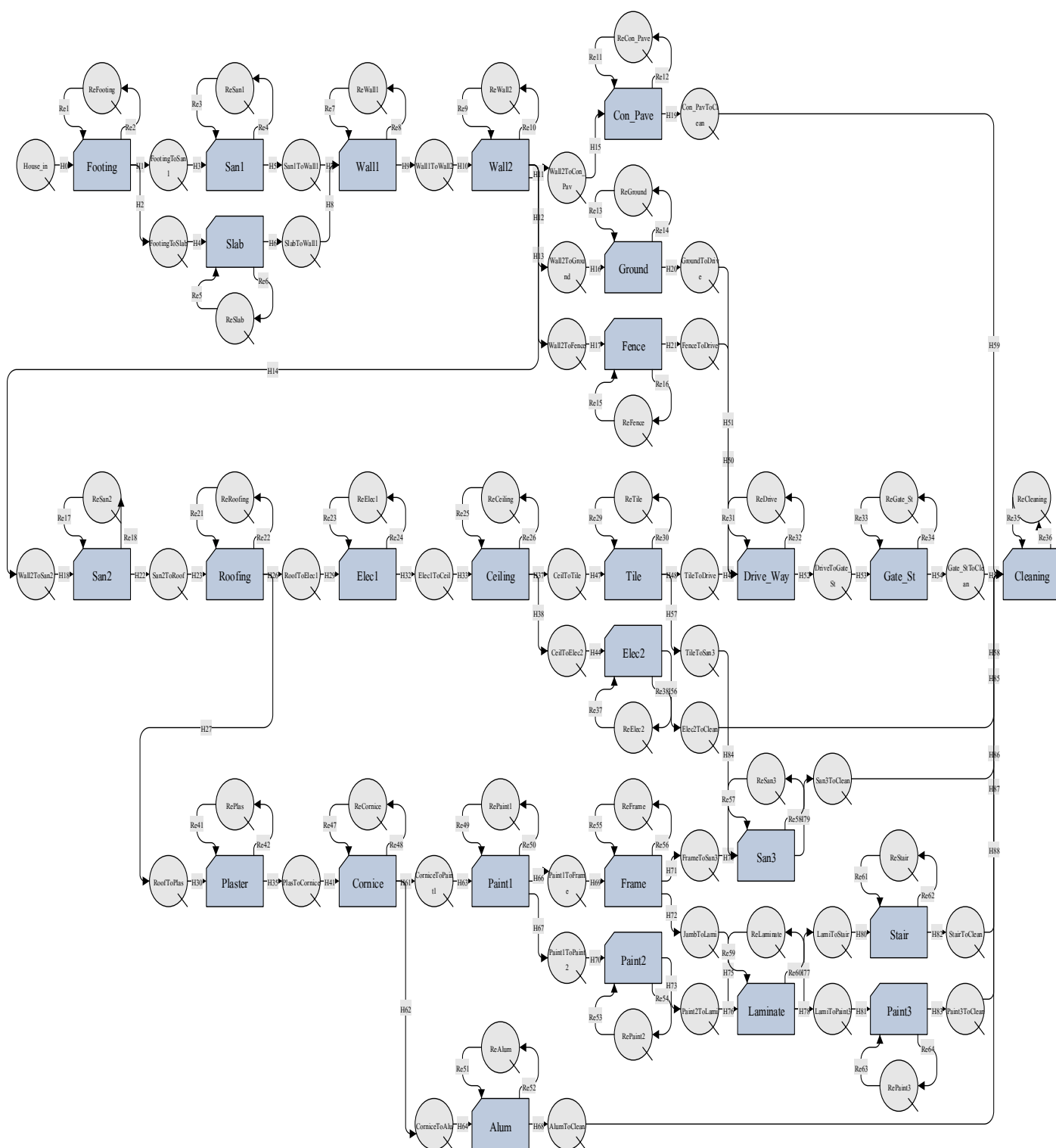


รูปที่ 1 ระยะเวลาการทำงานของกิจกรรม

ตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมในแต่ละกรณี โดยการกระจายตัวของระยะเวลาในกรณีที่ 2 และ 3 ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Arena-Input Analyzer

ตารางที่ 2 กิจกรรม ความสัมพันธ์ และระยะเวลาทำงานของกิจกรรม

กิจกรรม	สัญลักษณ์	กิจกรรม ก่อนหน้า	เปอร์เซ็นต์ การทำงาน (%)	ระยะเวลา (วัน)				
				กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3	
					ค่าเฉลี่ย	การกระจายตัว	ค่าเฉลี่ย	การกระจายตัว
ตอกเสาเข็ม	Footing	-	81.25	13	16.00	Pert[15,16,17]	16.00	Pert[15,16,17]
วางระบบท่อชั้น 1	San1	Footing	100.00	4	4.00	Uniform[2.5, 5.5]	4.00	Uniform[2.5, 5.5]
โครงสร้างพื้นชั้น 1	Slab	Footing	54.90	14	25.50	Pert[18,26,31]	17.00	Pert[14,17,20]
โครงสร้างผนังชั้น 1	Wall1	San1, Slab	83.93	9	9.33	Pert[8,8,16]	7.83	$6.5 + 6 * \text{Beta}[0.828, 1.08]$
โครงสร้างผนังชั้น 2	Wall2	Wall1	97.67	7	7.17	$6.5 + 2 * \text{Beta}[2.51, 4.74]$	7.00	7
วางระบบท่อชั้น 2	San2	Wall2	100.00	4	3.67	$1.5 + 3 * \text{Beta}[1.24, 0.619]$	3.67	$1.5 + 3 * \text{Beta}[1.24, 0.619]$
ปรับพื้น+ลงท่อใยหิน	Ground	Wall2	100.00	3	2.50	Triangular[1.5, 2.5, 3.5]	2.50	Triangular[1.5, 2.5, 3.5]
รั้วหน้าบ้าน	Fence	Wall2	100.00	5	4.33	$3.5 + 3 * \text{Beta}[0.577, 0.722]$	4.33	Pert[4,4,6]
ถนนคอนกรีต	Con_Pave	Wall2	100.00	3	2.33	$1.5 + 3 * \text{Beta}[0.577, 0.722]$	2.33	$1.5 + 3 * \text{Beta}[0.577, 0.722]$
หลังคา	Roofing	San2	97.67	7	7.17	$5.5 + \text{Gamma}[0.761, 2.19]$	7.00	Triangular[5.5, 6.5, 8.5]
เก็บรายละเอียดผนัง	Plas	Roofing	82.50	6	6.67	Pert[5,6,11]	5.50	Triangular[4.5, 5.5, 6.5]
บัวปูน+ฉาบละเอียด	Cornice	Plas	100.00	6	5.00	Triangular[3.5, 5.5, 6.5]	5.00	Triangular[3.5, 5.5, 6.5]
เดินท่อร้อยสายไฟ	Elec1	Roofing	100.00	3	2.50	Triangular[1.5, 2.5, 3.5]	2.50	Triangular[1.5, 2.5, 3.5]
ฝ้าเพดาน	Ceiling	Elec1	61.11	6	9.00	Pert[5,9,13]	5.67	$4.5 + \text{Exponential}[1.67]$
ปูกระเบื้อง	Tile	Ceiling	97.57	7	6.83	Pert[5,7,8]	6.67	Pert[5,7,7]
ลานจอดรถ	Drive	Ground, Fence, Tile	100.00	2	2.00	2	2.00	2
ทาสีรองพื้น	Paint1	Cornice	100.00	6	5.50	$4.5 + 4 * \text{Beta}[0.504, 0.84]$	5.50	$4.5 + \text{Exponential}[1.33]$
ประตู+หน้าต่าง อลูมิเนียม	Alum	Cornice	95.02	4	3.33	$2.5 + 3 * \text{Beta}[0.859, 1.35]$	3.17	Triangular[2.5, 3, 4.5]
วงกบ+บานประตู ภายใน	Frame	Paint1	94.11	6	5.67	Pert[3,5,11]	5.33	Triangular[2.5, 6, 7.5]
สุขภัณฑ์	San3	Tile, Frame	100.00	3	2.17	$1.5 + 2 * \text{Beta}[2.51, 4.74]$	2.17	$1.5 + 2 * \text{Beta}[2.51, 4.74]$
รั้ว+ประตูเหล็ก+ราว กันตก	Gate_St	Drive	93.34	4	5.00	$2.5 + 5 * \text{Beta}[0.564, 0.738]$	4.67	$2.5 + 3 * \text{Beta}[0.722, 0.577]$
ทาสีจริงครั้งที่ 1	Paint2	Paint1	86.48	6	6.17	Pert[5,6,8]	5.33	Pert[5,5,7]
พื้นลามิเนตชั้น 2	Laminate	Frame, Paint2	100.00	3	2.33	$1.5 + 3 * \text{Beta}[0.859, 1.35]$	2.33	$1.5 + 3 * \text{Beta}[0.859, 1.35]$
ไม้บันไดสำเร็จรูป+บัว เชิงผนัง	Stair	Laminate	92.88	3	2.33	$1.5 + 3 * \text{Beta}[0.859, 1.35]$	2.17	Triangular[1.5, 2.5, 3.5]
โคมไฟ+ปลั๊ก+สวิตช์	Elec2	Ceiling	93.32	3	2.50	$1.5 + 4 * \text{Beta}[0.504, 0.84]$	2.33	$1.5 + 3 * \text{Beta}[0.577, 0.722]$
ทาสีจริงครั้งที่ 2	Paint3	Laminate	97.37	7	6.33	$4.5 + \text{Gamma}[0.943, 2.47]$	6.17	Pert[5,6,8]
ทำความสะอาด	Cleaning	Con_Pave, Alum, San3, Gate_St, Stair, Elec2, Paint3	100.00	1	1.00	1	1.00	1



รูปที่ 2 โครงข่ายขั้นตอนการก่อสร้างบ้านทาวน์เฮาส์ในแต่ละแปลงที่พัฒนาขึ้นสำหรับการจำลองสถานการณ์ด้วย

STROBOSCOPE

5. ผลกระทบของการดำเนินงานด้วยกำหนดเวลาทำงานที่ต่างกัน

จากข้อมูลขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาของกิจกรรม สามารถนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการเลือกรูปแบบการทำงานที่ต่างกันระหว่างวิธี CPM (early start) และวิธี RSM ของทั้ง 3 กรณี โดยการวิเคราะห์นี้จะเป็นการจำลองสถานการณ์การก่อสร้างบ้านทาวน์เฮาส์จำนวน 40 แปลง โดยอาศัยโปรแกรม STROBOSCOPE และทำการวิเคราะห์ห้ซ้ำ 1,000 รอบ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดของแต่ละกรณี ซึ่งโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 2

ในการเปรียบเทียบผลกระทบของการเลือกรูปแบบการทำงานที่ต่างกัันนั้นจะอาศัย 3 ตัวชี้วัด โดยการเขียนคำสั่งในการคำนวณค่าลงในโปรแกรม ซึ่งตัวชี้วัดประกอบด้วย

1. ระยะเวลาโครงการ (project duration) คือ ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มก่อสร้างบ้านในแปลงที่ 1 จนเสร็จสิ้นแปลงที่ 40
2. ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ย (average throughput time) คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาก่อสร้างบ้านแต่ละแปลงตั้งแต่เริ่มกิจกรรมแรก (กิจกรรมฐานราก) จนเสร็จสิ้นกิจกรรมสุดท้าย (กิจกรรมทำความสะอาด) ซึ่งระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบที่สั้นกว่าสามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการได้เร็วกว่า
3. ผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงาน (total worker idle time) คือ ผลรวมของระยะเวลาที่คนงานแต่ละคนต้องรอคอยการดำเนินงานของกิจกรรมก่อนหน้า เมื่ออัตราการทำงานของกิจกรรมขาดสมดุล ซึ่งการว่างงานของกลุ่มคนงานนับเป็นความสูญเปล่าที่ทำให้ต้นทุนโครงการเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้ยังได้ทำการเขียนคำสั่งเพื่อให้มีการบันทึกวันเริ่มและวันแล้วเสร็จของแต่ละกิจกรรมในแต่ละแปลง รวมทั้งคำสั่งเพื่อวิเคราะห์หากิจกรรมวิกฤตด้วย

5.1 กรณีการดำเนินงานเป็นไปตามแผน (กรณีที่ 1)

ในกรณีนี้ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมจะเท่ากับระยะเวลาดตามแผนที่ได้จากการสัมภาษณ์ ซึ่งเป็นค่าคงที่ โดยผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์พบว่า การดำเนินงานตามหลักการ CPM มีระยะเวลาโครงการ 635 วัน และมีกิจกรรมวิกฤต 53 กิจกรรม เริ่มต้นตั้งแต่วันแรกของโครงการหรือกิจกรรมแรกในแปลงที่ 1 จนถึงสิ้นสุดกิจกรรมสุดท้ายในแปลงที่ 40 ซึ่งประกอบด้วย กิจกรรมตอกเสาเข็ม (แปลงที่ 1), กิจกรรมโครงสร้างพื้นชั้น 1 (แปลงที่ 1-40), กิจกรรมโครงสร้างผนังชั้น 1 (แปลงที่ 40), กิจกรรมโครงสร้างผนังชั้น 2 (แปลงที่ 40), กิจกรรมวางระบบท่อชั้น 2 (แปลงที่ 40), กิจกรรมหลังคา (แปลงที่ 40), กิจกรรมเก็บรายละเอียดผนัง (แปลงที่ 40), กิจกรรมบัวปูนและฉาบละเอียด (แปลงที่ 40), กิจกรรมทาสีรองพื้น (แปลงที่ 40), กิจกรรมทาสีจริงครั้งที่ 1 (แปลงที่ 40), กิจกรรมมวงกบและบานประตูภายใน (แปลงที่ 40), กิจกรรมติดตั้งพื้นลามิเนตชั้น 2 (แปลงที่ 40), กิจกรรมทาสีจริงครั้งที่ 2 (แปลงที่ 40) และกิจกรรมทำความสะอาด (แปลงที่ 40)

ในขณะที่การดำเนินงานตามหลักการ RSM มีระยะเวลาโครงการ 1,120 วัน มีกิจกรรมวิกฤต 81 กิจกรรม เริ่มต้นที่กิจกรรมลานจอดรถ (แปลงที่ 1) ในวันที่ 957 กิจกรรมติดตั้งรั้ว ประตูเหล็กและราวกันตก (แปลงที่ 1 ถึง 40) และกิจกรรมทำความสะอาด (แปลงที่ 1 ถึง 40) โดยสาขางานวิกฤตมีระยะเวลารวม 146 วัน และหากนำวันเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละกิจกรรมของทั้งสองหลักการมาแสดงในรูปแบบกราฟเส้นที่มีแกน x แสดงระยะเวลา และแกน y แสดงจำนวนหน่วยก่อสร้าง จะได้ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

นอกจากระยะเวลาโครงการที่ได้จะแตกต่างกัน ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ย และผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงานซึ่งเป็นผลจากการทำงานของกลุ่มคนงานที่เกิดการขาดช่วงระหว่างก่อสร้าง โดยพบว่าหากระยะเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมเป็นไปตามแผน การดำเนินงานตามหลักการ CPM จะมีระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ย 108.50 วันต่อแปลง ซึ่งน้อยกว่าการดำเนินงานตามหลักการ RSM ที่มีระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ยถึง 847 วันต่อแปลง

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงานจะพบว่าการดำเนินงานตามหลักการ CPM มีผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงานที่สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของกลุ่มคนงานส่วนใหญ่เกิดการขาดช่วงระหว่างการก่อสร้าง ตารางที่ 4 แสดงผลรวมของจำนวนวันที่แต่ละกลุ่มคนงานเกิดการขาดช่วงระหว่างดำเนินงาน หากสังเกตจะพบว่าในกรณีตัวอย่างนี้มีเพียงกิจกรรมตอกเสาเข็ม (มีระยะเวลาทำงาน 13 วัน) และกิจกรรมโครงสร้างพื้นชั้น 1 (มีระยะเวลาทำงาน 14 วันและเป็นกิจกรรมที่มีระยะเวลานานที่สุด) เท่านั้นที่ไม่มีการขาดช่วงระหว่างการทำงาน กิจกรรมทั้งหมดที่ดำเนินการหลังจากงานโครงสร้างพื้นชั้น 1 จะมีการขาดช่วงเกิดขึ้น ยิ่งกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานที่สั้นมากเท่าใดก็จะมีการขาดช่วงการทำงานเกิดขึ้นมากเป็นสัดส่วนกัน ในขณะที่การดำเนินงานตามหลักการ RSM ไม่มีการว่างงานเกิดขึ้น เนื่องจากวันเริ่มต้นของแต่ละกิจกรรมถูกกำหนดตามหลักการที่คำนึงถึงความต่อเนื่องของกลุ่มคนงาน

5.2 กรณีการดำเนินงานตามสภาพการทำงานปัจจุบัน หรือ ระยะเวลาทำงานของกิจกรรมเท่ากับระยะเวลาทำงานจริง (กรณีที่ 2)

ในกรณีที่ 2 นี้ ระยะเวลาของกิจกรรมในแบบจำลองจะใช้การกระจายตัวของระยะเวลาทำงานที่ได้จากการเก็บข้อมูลการทำงานจริง เมื่อนำผลของทั้ง 3 ตัวชี้วัดที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มาเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 พบว่าการดำเนินงานตามหลักการ CPM มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาทำงานของกิจกรรมโดยเฉพาะกิจกรรมโครงสร้างพื้นชั้น 1 ซึ่งเป็นกิจกรรมวิกฤต การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาทำงานจาก 14 วัน (ระยะเวลาตามแผน) เป็นระยะเวลาทำงานจริงที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.50 วันต่อแปลง ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมที่ตามมาทั้งหมด ทำให้ระยะเวลาโครงการเพิ่มขึ้น 69.92 % (เพิ่มขึ้นจาก 635 วัน เป็น 1,078.99 วัน) อีกทั้งยังทำให้ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ยและผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงานเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่า ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ส่งผลกระทบน้อยมากต่อการดำเนินงานตามหลักการ RSM เนื่องจากการดำเนินงานตามหลักการ RSM นั้น วันเริ่มต้นของแต่ละกิจกรรมถูกกำหนดจากหลักการที่พิจารณาความต่อเนื่องของกลุ่มคนงาน และความสัมพันธ์ทางเทคนิคของกิจกรรมที่ต่อกัน ทำให้วันเริ่มต้นของหลายกิจกรรมถูกเลื่อนออกไป ระยะเวลาทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปของกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งจึงส่งผลกระทบไม่มากนักต่อกำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมที่ตามมา รวมถึงระยะเวลาโครงการ นอกจากนี้ยังพบว่าหากกิจกรรมที่มีลำดับขั้นตอนการทำงานต่อกันและมีระยะเวลาทำงานตามแผนที่ใกล้เคียงกัน เส้นการทำงานตามแผนของกิจกรรมนั้นจะขนานกัน เมื่อดำเนินการก่อสร้างจริง ความผันผวนของระยะเวลาทำงานของกิจกรรมก่อนหน้ามีโอกาาส่งผลกระทบให้กิจกรรมที่ตามมาเกิดการขาดช่วงระหว่างการทำงานได้มากยิ่งขึ้น

5.3 กรณีการจัดอุปสรรคที่ควบคุมได้ทั้งหมด (กรณีที่ 3)

กรณีที่ 3 นี้เป็นกรณีสมมติหากการทำงานของกิจกรรมสามารถดำเนินไปได้โดยไม่เกิดปัญหาหรืออุปสรรคใดๆที่ทำให้งานเกิดความล่าช้า (ยกเว้นอุปสรรคจากสภาพอากาศและสภาพดิน) ระยะเวลาทำงานของกิจกรรมจะเท่ากับระยะเวลาทำงานที่ปราศจาก

อุปสรรคที่ควบคุมได้ ซึ่งจากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของกรณีทั้ง 3 ทั้ง 2 หลักการมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากอุปสรรคส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นอุปสรรคที่ควบคุมได้ และมีเพียง 2 กิจกรรมที่เกิดอุปสรรคที่ควบคุมไม่ได้ จึงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อโครงการมากนัก ดังนั้นในการทำงานจริงหากผู้ประกอบการสามารถกำจัดอุปสรรคที่ทำให้งานเกิดการล่าช้าออกไปได้ จะทำให้งานสามารถดำเนินไปได้ใกล้เคียงกับแผนที่วางไว้ได้

ตารางที่ 3 ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์

วิธีการวางแผนการทำงาน	ระยะเวลากิจกรรม		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
ระยะเวลาโครงการ (วัน)			
CPM	635.00	1,078.99	757.63
RSM	1,120.00	1,135.23	1,132.88
ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ย (วันต่อแปลง)			
CPM	108.50	274.93	108.89
RSM	847.00	788.69	788.52
ผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงาน (คน.วัน)			
CPM	41,301.00	91,374.66	57,362.98
RSM	0.00	21,507.80	1,379.99

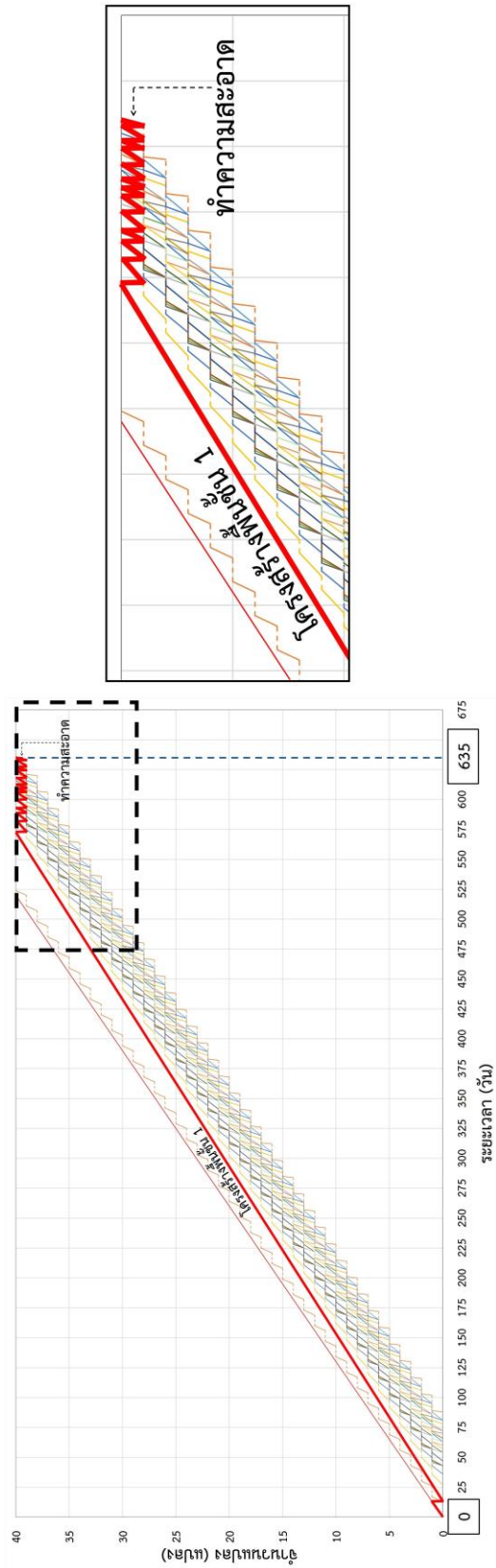
6. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบผลกระทบในการเลือกใช้รูปแบบการดำเนินงานก่อสร้างที่แตกต่างกันระหว่าง CPM แบบ early start และ RSM โดยอาศัยการจำลองสถานการณ์โครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรจำนวน 40 แปลง ซึ่งการเปรียบเทียบได้แบ่งระยะเวลาออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1.กรณีการดำเนินงานเป็นไปตามแผน 2.กรณีการดำเนินงานจริง และ 3.กรณีการดำเนินงานจริงที่สามารถกำจัดอุปสรรคที่ควบคุมได้ทั้งหมด

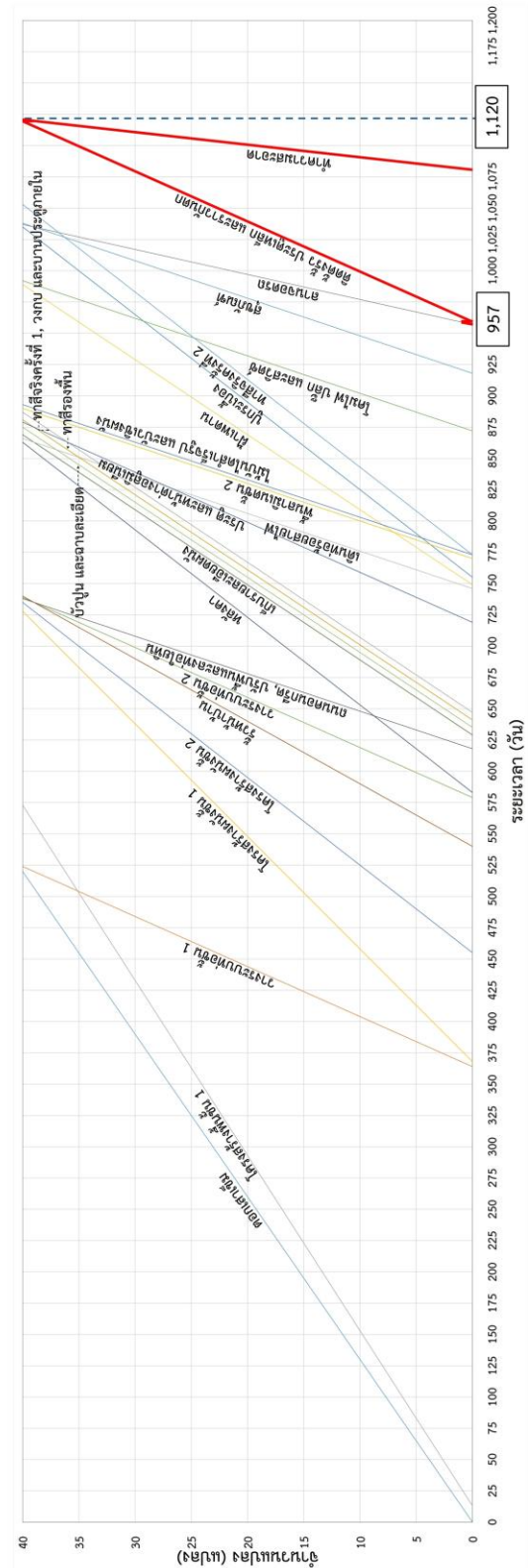
ผลที่ได้พบว่าหากสามารถดำเนินการไปได้ตามแผน การดำเนินงานตามหลักการ CPM แบบ early start มีระยะเวลาโครงการที่สั้นกว่า และมีระยะของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ยน้อยกว่าการดำเนินงานตามหลักการ RSM ซึ่งข้อได้เปรียบนี้ต้องแลกกับการทำงานที่ไม่ต่อเนื่องของกลุ่มคนงานอันเป็นผลมาจากความไม่สมดุลของระยะเวลาทำงานของกิจกรรม ในกรณีการดำเนินงานจริงพบว่าการเปลี่ยนแปลงและความผันผวนของระยะเวลาทำงานของกิจกรรมส่งผลอย่างมากต่อการดำเนินงานตามหลักการ CPM ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาโครงการ ระยะของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ย และผลรวมการว่างงานของกลุ่มคนงาน ในขณะที่ปัจจัยดังกล่าวส่งผลไม่มากนักต่อการดำเนินงานตามหลักการ RSM ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้รูปแบบการดำเนินงานที่แตกต่างกันได้ผลลัพธ์ที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจาก 2 หลักการนี้มีเงื่อนไขในเชิงงานที่ต่างกัน หลักการ CPM จะกำหนดให้กิจกรรมใด ๆ สามารถเริ่มดำเนินการได้ทันทีที่กิจกรรมก่อนหน้าในหน่วยเดียวกันเสร็จสิ้น และกิจกรรมเดียวกันในหน่วยก่อนหน้าเสร็จสิ้น ในขณะที่หลักการ RSM เพิ่มเงื่อนไขการทำงานที่ต่อเนื่องในการกำหนดวันเริ่มต้นงานของแต่ละกิจกรรม เพื่อลดปัญหาการว่างงานของกลุ่มคนงานระหว่างหน่วยก่อสร้าง จึงส่งผลให้การดำเนินงานตามหลักการ RSM มีระยะเวลาโครงการ และระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบเฉลี่ยมากกว่า

ตารางที่ 4 ผลรวมการขาดช่วงระหว่างก่อสร้างของแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	สัญลักษณ์	ระยะเวลา กรณีที่ 1 (วัน)	จำนวน คนงานที่ใช้ (คนต่อวัน)	ผลรวมการขาดช่วงระหว่างก่อสร้าง (วัน)					
				การดำเนินงานตามหลักการ CPM			การดำเนินงานตามหลักการ RSM		
				กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
ตอกเสาเข็ม	Footing	13	4	0	0	0	0	0	0
วางระบบท่อชั้น 1	San1	4	3	351.00	475.05	471.70	0	121.48	123.92
โครงสร้างพื้นชั้น 1	Slab	14	5	0	0	0	0	0	0.98
โครงสร้างผนังชั้น 1	Wall1	9	5	195.00	606.16	295.51	0	301.33	0
โครงสร้างผนังชั้น 2	Wall2	7	6	273.00	686.47	391.43	0	313.55	4.44
วางระบบท่อชั้น 2	San2	4	4	390.00	824.18	526.42	0	340.36	17.56
ปรับพื้น+ลงท่อโยหิน	Ground	3	2	429.00	867.63	565.94	0	333.66	27.88
รั้วหน้าบ้าน	Fence	5	3	351.00	780.72	498.33	0	328.78	30.51
ถนนคอนกรีต	Con_Pave	3	4	429.00	857.28	552.68	0	319.88	11.90
หลังคา	Roofing	7	6	273.00	694.67	392.83	0	211.51	0
เก็บรายละเอียดผนัง	Plas	6	8	312.00	728.81	453.87	0	178.00	11.76
บัวปูน+ฉาบละเอียด	Cornice	6	6	312.00	781.78	468.94	0	232.02	20.50
เดินท่อร้อยสายไฟ	Elec1	3	3	429.00	884.90	568.04	0	219.42	8.71
ฝ้าเพดาน	Ceiling	6	8	312.00	615.32	420.83	0	0	0
ปูกระเบื้อง	Tile	7	8	273.00	713.44	407.82	0	96.94	0
ลานจอดรถ	Drive	2	6	468.00	899.41	591.53	0	94.55	0
ทาสีรองพื้น	Paint1	6	6	312.00	749.91	453.17	0	195.93	7.36
ประตู+หน้าต่างอลูมิเนียม	Alum	4	4	390.00	840.13	533.50	0	201.26	17.75
วงกบ+บานประตูภายใน	Frame	6	4	312.00	751.61	453.87	0	224.25	11.40
สุขภัณฑ์	San3	3	5	429.00	891.32	581.37	0	124.52	16.56
รั้ว+ประตูเหล็ก+ราวกันตก	Gate_St	4	3	390.00	781.63	512.57	0	7.47	0
ทาสีจริงครั้งที่ 1	Paint2	6	6	312.00	738.22	459.43	0	193.39	17.14
พื้นลามิเนตชั้น 2	Laminate	3	4	429.00	874.05	571.72	0	222.76	3.08
ไม้บันไดสำเร็จรูป+บัวเชิงผนัง	Stair	3	5	429.00	879.97	569.46	0	216.54	14.77
โคมไฟ+ปลั๊ก+สวิตช์	Elec2	3	3	429.00	863.38	557.47	0	127.46	3.36
ทาสีจริงครั้งที่ 2	Paint3	7	6	273.00	694.38	426.48	0	50.84	0
ทำความสะอาด	Cleaning	1	2	507.00	938.33	629.64	0	15.13	12.88
รวม (วัน)				9,009.00	19,418.72	12,354.56	0	4,671.03	362.46



รูปที่ 3 การก่อสร้างบ้านจัดสรรจำนวน 40 แปลง ตามหลักการ CPM กรณีการดำเนินงานเป็นไปตามแผน (กรณีที่ 1)



รูปที่ 4 การก่อสร้างบ้านจัดสรรจำนวน 40 แปลง ตามหลักการ RSM กรณีการดำเนินงานเป็นไปตามแผน (กรณีที่ 1)

ในกรณีที่ผู้ประกอบการสามารถกำจัดอุปสรรคที่ควบคุมได้ออกไปจากการดำเนินงานได้ (กรณีที่ 3) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีศึกษาพบว่าอุปสรรคที่ควบคุมไม่ได้ส่งผลต่อการดำเนินงานเพียงบางกิจกรรมเท่านั้น อีกทั้งยังส่งผลไม่มากต่อระยะเวลาการทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากผู้ประกอบการสามารถหาแนวทางหรือมาตรการในการป้องกันอุปสรรคประเภทควบคุมได้ในระหว่างการดำเนินงานจะส่งผลดีต่อโครงการทั้งในแง่ของระยะเวลาโครงการและความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Luksanavilai, C. *Analyzing and Improving the Operation of Repetitive Construction through Simulation: A Case of Housing Project*. Master of Engineering (Civil Engineering) Thesis, Kasetsart University, 2010.
- [2] Luksanavilai, C and Kusalasai, S. The impacts of using CPM vs. RSM as a scheduling method. *Research and Development Journal*, 2010, 21(2), pp. 35-42.
- [3] Suvannajan, A and Kusalasai, S. Dedicated Resource Assignment vs. Pooled Resource Assignment for Repetitive Construction. *Research and Development Journal*, 2010, 21(4), pp. 79-88.
- [4] Arditi, D., Tokdemir, O. B. and Suh K. Challenges in line-of-balance scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2002, 128(6), pp.545-556.
- [5] Harmelink, D. J. and Rowings, J. E. Linear Scheduling Model: Development of Controlling Activity Path. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1998, 124(4), pp.263-268.
- [6] Chrzanowski, E. N. and Johnston, D. W. Application of linear scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1986, 112(4), pp.476-491.
- [7] Martinez, J. C. *STROBOSCOPE State and Resource Based Simulation of Construction Processes*. Ph.D. Thesis, University of Michigan, 1996.
- [8] Martinez, J. C. and Ioannou, P. G. State-based probabilistic scheduling using STROBOSCOPE's CPM add-on. ASCE, *Journal of Construction Engineering and Management*, 1996, pp.279-288.
- [9] Mattila, K. G. and Park, A. Comparison of linear scheduling model and repetitive scheduling method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2003, 129(1), pp.56-64.
- [10] Ioannou, P. G. and Srisuwanrat, C. Probabilistic scheduling for repetitive project. Probabilistic scheduling for repetitive project. In *Proceeding of the 2007 Winter Simulation Conference, Civil and Environmental Engineering Department, University of Michigan*, 2007, pp.354-362
- [11] Ioannou, P. G. and Yang, I. Repetitive Scheduling Method: Requirements, Modeling, and Implementation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2016, 142(5), pp.04016002-1 - 04016002-13.
- [12] Yamin, R. A. and Harmelink, D. J. Comparison of linear model (LSM) and critical path method (CPM). *Journal of Construction Engineering and Management*, 2001, 127(5), pp.374-381.
- [13] Harris, R. B. and Ioannou, P. G. Scheduling Projects with Repeating Activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1998, 124(4), pp.269-278.