การวางแผนตารางเวลางานแบบลีนสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง
Lean Location-based Scheduling for High-Rise Building Project

สมบัติ โพชนา[1], และ ไพจิตร ผาวัน[2*]

[1] *นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร*
[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร*
**Corresponding author; E-mail address: paijit.pa@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการวางแผนตารางเวลางานแบบลีนสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบตารางเวลางานที่สอดคล้องกับลักษณะงานและพฤติกรรมการทำงานของแรงงานก่อสร้างไทย โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์กิจกรรมสายงานวิกฤต ร่วมกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมระหว่างเวลากับค่าใช้จ่าย ภายใต้การจัดสรรกลุ่มแรงงานให้มีระยะเวลาการทำงานในแต่กลุ่มงานเท่ากัน ของงานระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง อาคารคอนโดมิเนียม โดยแบ่งกิจกรรมออกเป็น 20 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมย่อยสามารถ จัดแบ่งออกได้เป็นกลุ่มงาน และ กลุ่มแรงงานตามลักษณะงานที่ซ้ำ ๆ กัน ด้วยการกำหนดระยะเวลาก่อสร้าง 4 วัน 5 วัน 6 วัน 7 วัน และ 8 วัน ต่อชั้น พบว่าระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมที่สุด คือ 5 วันต่อชั้น (แบ่งกิจกรรรมย่อยออกเป็น 5 กลุ่มงาน แต่ละกลุ่มงานใช้ระยะเวลาทำงาน 1 วัน) มีค่าใช้จ่ายทางตรงเท่ากับ 114,844 บาท และค่าใช้จ่ายทางอ้อมเท่ากับ 138,250 บาท รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 253,094 บาท ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นวางแผนตารางเวลางานที่เหมาะสมกับการก่อสร้างอาคารที่มีลักษณะซ้ำ

คำสำคัญ: การวางแผนตารางเวลางานแบบลีน, โครงการก่อสร้างอาคารสูง, ความเหมาะสมระหว่างเวลากับค่าใช้จ่าย

Abstract

This paper presents a Lean Location-Base Scheduling for high-rise construction projects. The objective is to develop a work schedule format that is consistent with the job characteristics and working behavior of Thai construction workers. Based on the principle of analyzing critical activities together with the time-cost optimization. Under the allocation of labor groups to have the same working duration in each work group. Post-tension system of Condominium buildings were used in the study. The activities are divided into 20 activities, each sub-activity can be divided into work groups and labor groups according to the nature of repetitive construction. Setting the duration of work groups are 4 days, 5 days, 6 days, 7 days and 8 days per floor. It was found that the optimal duration and cost was 5 days per floor (Divide the activities into 5 workgroups, each work group takes 1 day). Direct cost are 114,844 baht and indirect cost are 138,250 baht, including total cost are 253,094 baht. Show that the Lean Location-Base Scheduling suitable for the construction of repetitive buildings.

Keywords: Lean Location-Based Scheduling, High-Rise Building, Time-Cost Optimization

1. คำนำ

โครงการก่อสร้างอาคารสูง เช่น คอนโมมิเนียม จัดเป็นการทำงานที่มีลักษณะกิจกรรมที่ซ้ำๆ กัน (Repetitive construction) การวางแผนงานปัจจุบันมักจะใช้วิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method : CPM) โดยเน้นการคำนวณหากิจกรรมวิกฤตต่าง ๆ จากการกำหนดโครงสร้างรายการงาน (Work Breakdown Structure : WBS) ค่าผลิตภาพ (Productivity) และจำนวนแรงงาน (Man power) เพื่อพิจารณาสายงานที่ยาวที่สุดของโครงการ (Project Duration) [1] แล้วนำไปใช้ในวิเคราะห์ต้นทุน และการควบคุมงาน

แต่อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาของกิจกรรม (Activity Duration) แต่ละกิจกรรมที่ไม่เท่ากัน จะส่งผลให้เกิดการรอคอยในการทำงาน [2] หากผู้วางแผนนำหลักการก่อสร้างแบบลีน (Lean Construction) มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนก็จะทำให้การจัดการกระบวนการ ทรัพยากร และมาตรการต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม โดยพยายามให้เกิดความสูญเสียน้อยที่สุด หรือมีส่วนเกินที่ไม่จำเป็นน้อยที่สุด และลดตัวแปรต่างๆ ที่เป็นปัญหาต่อกระบวนการ เพื่อให้มีการดำเนินงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ (Workflow) [3] เช่น การลดเวลาการรอคอย โดยหลักการจัดสรรทรัพยากร (Resource Allocation) ด้วยการกำหนดแรงงานในกิจกรรม หรือกลุ่มกิจกรรมให้มีระยะเวลาเท่ากัน เพื่อความเหมาะสมระหว่างเวลากับค่าใช้จ่ายโครงการ

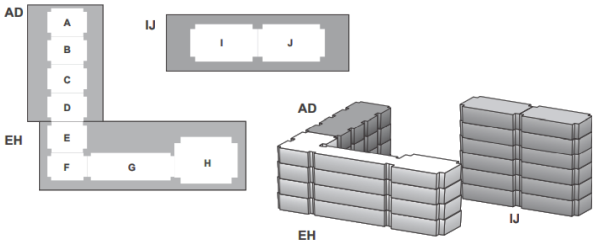
โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อจัดกลุ่มกิจกรรมย่อยให้มีระยะเวลาของกิจกรรมเท่ากัน
2. เพื่อพัฒนาแผนกำหนดเวลางานแบบลีนสำหรับโครงการก่อสร้าง
3. เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมระหว่างเวลากับค่าใช้จ่ายในโครงการ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

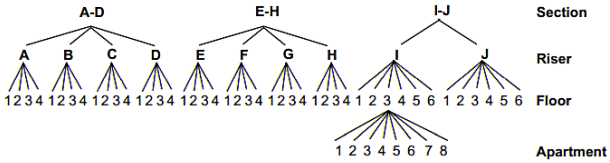
2.1 การวางแผนตารางเวลาแบบลีน

แผนตารางเวลาแบบลีน (Lean Location-Based Scheduling) เป็นการวางแผน โดยคำนึงถึงโครงสร้างรายการตำแหน่งพื้นที่การทำงาน (Location Breakdown Structure : LBS) ร่วมกับบัญชีรายการปริมาณ (Bill Of Quantity : BOQ) และแรงงานที่ใช้ในการดำเนินการกิจกรรมที่มีอยู่ของโครงการ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ลักษณะแบบเบื้องต้นอาคารพักอาศัย
(ที่มา : Russell and Kenley and Olli Seppanen)

จากแบบอาคารพักอาศัย 4 ชั้น ดังรูปที่ 1 สามารถแบ่งโครงสร้างแสดงตำแหน่งพื้นที่การทำงานได้ ดังรูปที่ 2



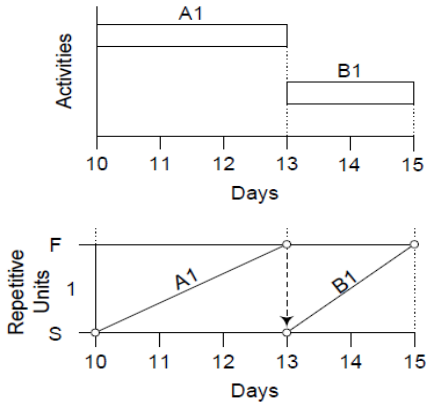
รูปที่ 2 โครงสร้างรายการตำแหน่งพื้นที่ทำงาน (LBS)
(ที่มา : Russell and Kenley and Olli Seppanen)

จะเห็นได้ว่าการแบ่งโครงสร้างรายการตำแหน่งพื้นที่การทำงาน (LBS) พิจารณาเป็นขั้น ๆ เริ่มจากแบ่งส่วนพื้นที่ (Section) และแบ่งย่อยตามความสูงในแนวดิ่ง (Riser) โดยพิจารณาเป็นชั้น (Floor) ตามลักษณะของอาคาร (Apartment) [4]

2.2 การวางแผนตารางเวลาที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กัน

การวางแผนงานด้วยแผนตารางเวลาที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กัน (Repetitive Scheduling Method : RSM) คือ การวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานโดยอาศัยกราฟเส้นแทนการทำงานของกิจกรรม แกนนอนแทนด้วยเวลา และแกนตั้งแทนด้วยหน่วยก่อสร้าง ความชันของเส้นกราฟเทียบได้กับอัตราการทำงาน โดยกิจกรรมที่มีการทำงานเร็ว หรือใช้เวลาในการทำงานต่อหน่วยน้อย เส้นกราฟจะมีความชันมาก ดังรูปที่ 3

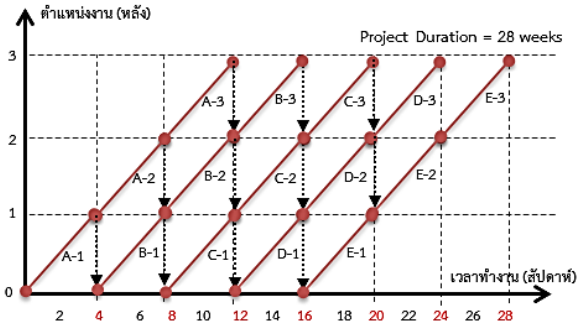
การวางแผนด้วยวิธีนี้จะประกอบไปด้วย 3 ความสัมพันธ์ ได้แก่ 1. กิจกรรมที่ตามมาจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าแล้วเสร็จ (Finish-to-Start : FTS) 2. กิจกรรมที่ตามมาจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าเริ่มต้นไปก่อนแล้วระยะหนึ่ง (Start-to-Start : STS) และ 3. กิจกรรมที่ตามมาจะแล้วเสร็จหลังจากที่กิจกรรมก่อนหน้าแล้วเสร็จไปแล้วไม่น้อยกว่าระยะเวลาหนึ่ง (Finish-to-Finish : FTF) [5]



รูปที่ 3 การวางแผนตารางเวลาที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กัน
(ที่มา : Russell Robert B. and Photios G. Ioannou)

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟ ไม่เท่ากัน เนื่องจากกิจกรรม A1 มีระยะเวลา 3 วัน กิจกรรม B1 มีระยะเวลา 2 วัน หากผู้วางแผนปรับเวลากิจกรรมให้เท่ากัน ก็จะทำให้ลดเวลาการรอคอยได้

การวางแผนโดยวิธีการก่อสร้างให้ไหลอย่างสม่ำเสมอ (Even Flow Construction : EFC) คือการปรับอัตราการทำงานของทุกกิจกรรมให้เท่ากันหรือทำให้การทำงานเกิดความสมดุล [6] เป็นการนำเอาข้อดีด้านประสิทธิภาพของการทำงานตามแนวทางการผลิตแบบแรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ในงานก่อสร้าง โดยจะดำเนินไปด้วยอัตราที่คงที่มีความแม่นยำแน่นอน และมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 4

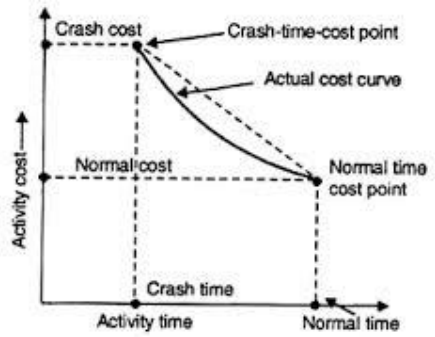


รูปที่ 4 การวางแผนแบบการก่อสร้างให้ไหลอย่างสม่ำเสมอ (EFC)

2.3 ความเหมาะสมระหว่างระยะเวลากับต้นทุน

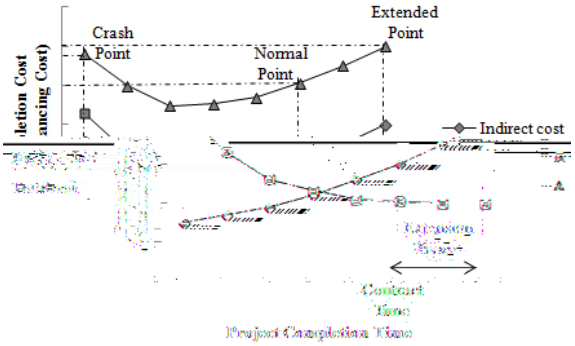
การวางแผนโดยวิธีการพิจารณาความเหมาะสมของระยะเวลากับต้นทุน (Time Cost Trade Off : TCT) คือการกำหนดหาต้นทุนของโครงการที่น้อยที่สุดสำหรับค่าระยะเวลาหนึ่งของโครงการตามที่ต้องการ [7] โดยมีสมมติฐานเบื้องต้น คือ กิจกรรมก่อสร้างใด ๆ สามารถมีวิธีการ

ดำเนินงาน (Execution methods) ได้หลายทางเลือก (Options) โดยทางเลือกปกติจะมีระยะเวลาปกติ (Normal duration) และต้นทุนปกติ (Normal cost) การเร่งรัดการทำกิจกรรมใด ๆ ให้แล้วเสร็จเร็วกว่าปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นเป็นค่าทรัพยากรพิเศษที่นำมาใช้ ได้แก่ การเพิ่มแรงงาน การเพิ่มแรงงานเชี่ยวชาญ การใช้เครื่องจักรหรือการใช้เทคโนโลยีที่ดี ซึ่งจะทำให้ได้ระยะเวลาเร่งรัด (Crash duration) และต้นทุนเร่งรัด (Crash cost) ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรมในแบบปกติและแบบเร่งรัด อาจถูกกำหนดให้เป็นแบบต่อเนื่อง (continuous) ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรม

ต้นทุนของโครงการก่อสร้างนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ต้นทุนทางตรง (Direct cost) และต้นทุนทางอ้อม (Indirect cost) โดยที่ต้นทุนทางตรงมีลักษณะที่แปรผันตามกับปริมาณเนื้องานก่อสร้างที่ทำได้และทรัพยากรที่ใช้ไป หรือเป็นต้นทุนแปรผัน (Variable cost) แต่ต้นทุนทางอ้อม หมายถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่มีลักษณะโดยรวมที่ไม่แปรผันไปตามปริมาณเนื้องานก่อสร้างที่ทำได้ หรือเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ที่ต้องจ่ายตามกำหนดเวลา คือแปรผันตามระยะเวลาของโครงการ [8] ซึ่งจะส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับระยะเวลาของโครงการก่อสร้าง กล่าวคือ ต้นทุนทางตรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาโครงการถูกเร่งรัดให้สั้นลง แต่ต้นทุนทางอ้อมอาจลดลงได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่ต้นทุนโครงการที่ต่างกับระยะเวลาโครงการ ที่สั้นสามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน สำหรับค่าระยะเวลาโครงการค่าหนึ่งจะสามารถหาต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุดได้ ดังรูปที่ 6



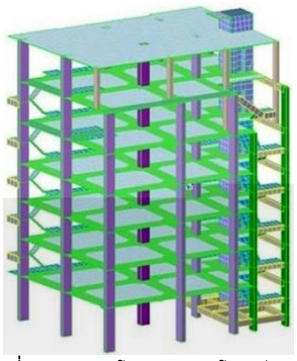
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนทางตรงกับต้นทุนทางอ้อม

ดังนั้นหากกำหนดค่าระยะเวลาโครงการหลาย ๆ ค่าจะทำให้ได้ต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุดสำหรับแต่ละค่าระยะเวลาโครงการ และจุดเหล่านี้จึงเป็นคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุด

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษารูปแบบอาคารที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแบบโครงการคอนโดมิเนียม สูง 8 ชั้น และศึกษาเฉพาะในส่วนของกิจกรรมงานก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-tension) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แบบ 3D โครงการคอนโดมิเนียม 8 ชั้น

การศึกษาเริ่มจากกำหนดระยะเวลาก่อสร้าง สำหรับการวิเคราะห์ คือ 4 วันต่อชั้น 5 วันต่อชั้น 6 วันต่อชั้น 7 วันต่อชั้น และ 8 วันต่อชั้น

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลปฏิบัติงาน

การศึกษานี้ได้ศึกษาการทำงานก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. กำหนดโครงสร้างรายการตำแหน่งพื้นที่การทำงาน (LBS)
2. กำหนดโครงสร้างรายการงาน (WBS) จากแบบโครงการ
3. หาปริมาณงานของแต่ละกิจกรรมจาก BOQ ของโครงการ
4. หาอัตราผลผลิต (Productivity) ของโครงการ
5. หาระยะเวลาการทำงานของกิจกรรม (Duration) จากสมการที่ 1

$$\text{เวลางานก่อสร้าง (วัน)} = \frac{\text{ปริมาณงาน (หน่วย)}}{\text{ผลิตภาพ (หน่วย/คน-วัน)} \times \text{จำนวนช่าง (คน)}} \quad (1)$$

จากรูปแบบอาคารและลักษณะของโครงการ สามารถแบ่งพื้นที่การทำงาน และกลุ่มกิจกรรมที่ต้องทำงานได้ทั้งหมด 20 กิจกรรม แสดงในตารางที่ 1

3.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในโครงการ

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายทางตรง และค่าใช้จ่ายทางอ้อม

1. เก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost) คือค่าใช้จ่ายที่จ่ายเป็นประจำในทุก ๆ เดือน ได้แก่ ค่าเงินเดือนพนักงาน ค่าเครื่องจักร ค่าที่พักคนงาน เป็นต้น

2. เก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Cost) คือค่าใช้จ่ายที่ของวัสดุอุปกรณ์ และค่าแรงงานที่ใช้จริงในกิจกรรมนั้น ๆ

สำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น จะทำการแบ่งพื้นที่การทำงานในแต่ละกลุ่มงาน และจะถูกกำหนดพื้นที่ไว้เป็นโซน (Zone) โดยมีทั้งหมด 4 โซน เพื่อจัดการให้แรงงานแต่ละกลุ่ม สามารถแบ่งกลุ่มย่อยทำงานให้แล้วเสร็จภายใน 1 วัน ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 ผังการแบ่งพื้นที่การทำงานแต่ละชั้น

4. การพัฒนาแผนตารางเวลางานแบบลีน

การพัฒนาแผนตารางเวลางานแบบลีน จะทำการการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมกับระยะเวลาโครงการ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรง (ค่าแรงงาน) ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มเวลางาน (Work Group Duration) ได้แก่ 4, 5, 6, 7, และ 8 วัน/ชั้น สำหรับ กลุ่มเวลางาน 4 วัน/ชั้น ประกอบด้วยกลุ่มงาน (Work Group) 4 กลุ่มงาน ได้แก่ กลุ่มงานที่ 1. (G1) ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย (Activity) 4 กิจกรรม คือ 1.งานตีเส้นวางแนวเสา 2. งานผูกเหล็กเสริมเสา 3. งานแบบหล่อเสา และ 4. งานเทคอนกรีตเสา กลุ่มงานที่ 2. (G2) ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย 7 กิจกรรม คือ 1.งานรื้อแบบหล่อเสา 2. งานเตรียมเหล็กเสริมเสา 3. งานผนังรับแรงเฉือน 4. งานตั้งนั่งร้านพร้อมปูไม้อัด 5. งานตีเส้นวางแนวพื้น 6. งานแบบข้างพื้น และ 7. งานเหล็กเสริมล่าง กลุ่มงานที่ 3. (G3) ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย 6 กิจกรรม คือ 1.งานวางระบบ M&E 2. งานสลิงระบบอัดแรง 3. งานวางเหล็กเสริมบน 4. งานติดตั้งแบบหล่อลดระดับพื้น 5. งานทำความสะอาดแบบหล่อพื้น และ 6. งานเทคอนกรีตพื้น และ กลุ่มงานที่ 4. (G4) ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม คือ 1.งานดึงลวดสลิงระบบพื้นอัดแรง 2. งานรื้อนั่งร้านและแบบหล่อพื้น และ 3. งานทำความสะอาดเตรียมส่งมอบ สำหรับการแบ่งกลุ่มเวลางาน 5 วัน/ชั้น กลุ่มเวลางาน 6 วัน/ชั้น กลุ่มเวลางาน 7 วัน/ชั้น และกลุ่มเวลางาน 8 วัน/ชั้น พิจารณาได้จากตารางที่ 1 ซึ่งในบทความนี้ จะนำเสนอขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรง เฉพาะกลุ่มเวลางาน 4 วัน/ชั้น ดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.1)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มเวลางาน 4 วัน/ชั้น ประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมย่อย (G.1) 4 กิจกรรม ได้แก่ 1. งานตีเส้นวางแนวเสา 2. งานผูกเหล็กเสริมเสา 3. งานแบบหล่อเสา และ 4. งานเทคอนกรีตเสา โดยมีปริมาณงาน แรงงาน และค่าใช้จ่ายทางตรง ดังตารางที่ 2

4.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.2)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มเวลางาน (G.2) ประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมย่อย 7 กิจกรรม ได้แก่ 1. งานรื้อแบบหล่อเสา 2. งานเตรียมเหล็กเสริมเสา 3. งานผนังรับแรงเฉือน 4. งานตั้งนั่งร้านพร้อมปูไม้อัด 5. งานตีเส้นวางแนวพื้น 6. งานแบบข้างพื้น และ 7. งานวางเหล็กเสริมล่าง โดยมีปริมาณงาน แรงงาน และค่าใช้จ่ายทางตรง ดังตารางที่ 3

4.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.3)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มงานที่ 3 ประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมย่อย (G.3) 6 กิจกรรม ได้แก่ 1. งานวางระบบ M&E 2. งานวางสลิงระบบอัดแรง 3. งานวางเหล็กเสริมบน 4. งานติดตั้งแบบหล่อลดระดับพื้น 5. งานทำความสะอาดแบบหล่อพื้น และ 6. งานเทคอนกรีตพื้น โดยมีปริมาณงาน แรงงาน และค่าใช้จ่ายทางตรง ดังตารางที่ 4

4.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.4)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มงานที่ 4 ประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมย่อย (G.4) 3 กิจกรรม ได้แก่ 1. งานดึงลวดสลิงระบบพื้นอัดแรง 2. งานรื้อพื้นนั่งร้านและแบบหล่อพื้น และ 3. งานทำความสะอาดเตรียมส่งมอบ โดยมีปริมาณงาน แรงงาน และค่าใช้จ่ายทางตรง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มงานทั้ง 4 กลุ่มงาน ที่ระยะเวลาในการก่อสร้างงานพื้นระบบคอนกรีตอัดแรง พบว่า กลุ่มงานที่ 1 ใช้แรงงาน 60 คน ค่าใช้จ่ายทางตรง 44,625 บาท กลุ่มงานที่ 2 ใช้แรงงาน 80 คน ค่าใช้จ่ายทางตรง 59,500 บาท กลุ่มงานที่ 3 ใช้แรงงาน 5

ตารางที่ 7 ค่าใช้จ่ายทางอ้อมของโครงการฯ

ค่าใช้จ่ายทางอ้อม (บาท/วัน)	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง (บาท/ชั้น)				
	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน	8 วัน
27,650	110,600	138,250	165,900	193,550	221,200

4.6 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวม

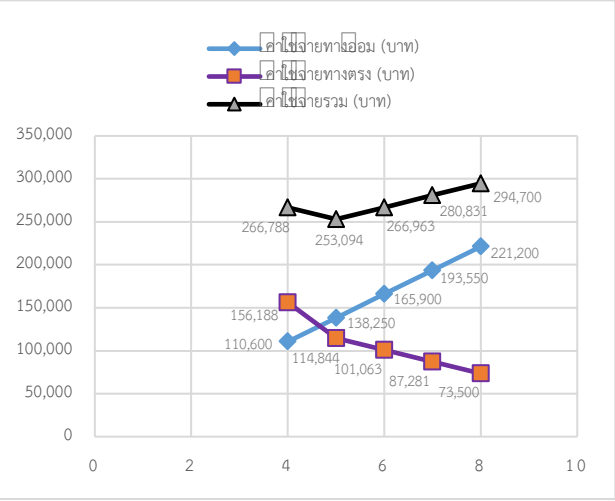
การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost) คือการรวมกันระหว่างค่าใช้จ่ายทางตรง ได้แก่ ค่าแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง กับ ค่าใช้จ่ายทางอ้อม ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่จ่ายเป็นประจำในทุก ๆ เดือน เช่น ค่าเงินเดือนพนักงาน ค่าเครื่องจักร ค่าที่พักคนงาน ค่าขนส่งแรงงาน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าใช้จ่ายรวมในการก่อสร้างโครงสร้างระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง

ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง (บาท/ชั้น)				
	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน	8 วัน
ค่าใช้จ่ายทางอ้อม	110,600	138,250	165,900	193,550	221,200
ค่าใช้จ่ายทางตรง	156,188	114,844	101,063	87,281	73,500
ค่าใช้จ่ายรวม	**266,788**	**253,094**	**266,963**	**280,831**	**294,700**

4.7 การวิเคราะห์ความเหมาะสมระหว่างระยะเวลากับค่าใช้จ่าย

การวิเคราะห์ความเหมาะสม เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของแต่ละกลุ่มงาน (4 วัน 5 วัน 6 วัน 7 วัน และ 8 วันต่อชั้น) กับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างงานโครงสร้างระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง เพื่อค่าค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ดังรูปที่ 8

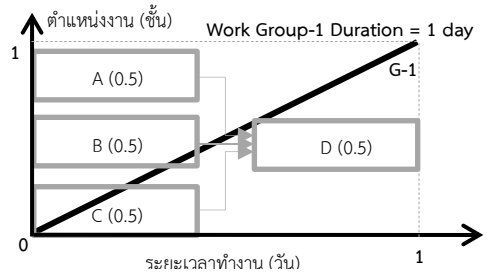


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างระยะเวลาของกลุ่มงานกับค่าใช้จ่าย

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดในการก่อสร้างโครงสร้างระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง มีค่าเท่ากับ 253,094 บาท โดยใช้เวลาในการก่อสร้าง 5 วันต่อชั้น เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

4.8 แผนตารางเวลางานแบบลีน

จากขั้นตอนการดำเนินการและการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางตรงกลุ่มงานที่ 1. (4 วันต่อชั้น) ของชั้นที่ 1 สามารถพัฒนาเป็นแผนตารางเวลางานแบบลีน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนตารางเวลางานแบบลีนของกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.1)

5. บทสรุป

จากการวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ ดังนี้

1. ผลการศึกษาพบว่า การก่อสร้างโครงสร้างพื้นระบบคอนกรีตอัดแรง ประกอบด้วยกิจกรรมที่ต้องดำเนินการอย่างเหมาะสม ทั้งหมด 20 กิจกรรม โดยทุกกิจกรรมมีลักษณะการก่อสร้างที่ซ้ำๆ กันในแต่ละชั้น

2. จากการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายทางอ้อม และค่าใช้จ่ายทางตรง เพื่อหาระยะเวลาในการก่อสร้างที่ให้ค่าค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ของการก่อสร้างงานโครงสร้างระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง ที่ 5 วันต่อชั้น เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการก่อสร้างอาคารคอนโดมิเนียมนี้

3. การจัดกลุ่มกิจกรรมเป็นกลุ่มงาน โดยคำนึงถึงโครงสร้างรายการตำแหน่งพื้นที่การทำงาน (Location Breakdown Structure : LBS) และวิธีการก่อสร้างให้ไหลอย่างสม่ำเสมอ (Even Flow Construction : EFC) มีค่าใช้จ่าย ต่าง ๆ ดังนี้

กลุ่มงานที่ 1 กำหนดระยะเวลาการทำงาน 4 วันต่อชั้น มีค่าใช้จ่ายทางอ้อม 110,600 บาท ค่าใช้ทางตรง 156,188 บาท และค่าใช้จ่ายรวม 266,788 บาท

กลุ่มงานที่ 2 กำหนดระยะเวลาการทำงาน 5 วันต่อ มีค่าใช้จ่ายทางอ้อม 138,250 บาท ค่าใช้ทางตรง 114,844 บาท และค่าใช้จ่ายรวม 253,094 บาท

กลุ่มงานที่ 3 กำหนดระยะเวลาการทำงาน 6 วันต่อชั้น มีค่าใช้จ่ายทางอ้อม 165,900 บาท ค่าใช้ทางตรง 101,063 บาท และค่าใช้จ่ายรวม 266,963 บาท

กลุ่มงานที่ 4 กำหนดระยะเวลาการทำงาน 7 วันต่อชั้น มีค่าใช้จ่ายทางอ้อม 193,550 บาท ค่าใช้ทางตรง 87,281 บาท และค่าใช้จ่ายรวม 280,831 บาท

กลุ่มงานที่ 5 กำหนดระยะเวลาการทำงาน 8 วันต่อชั้น มีค่าใช้จ่ายทางอ้อม 221,200 บาท ค่าใช้ทางตรง 73,500 บาท และค่าใช้จ่ายรวม 294,700 บาท

ตารางที่ 1 กำหนดโครงสร้างรายการตำแหน่งพื้นที่การทำงานและกลุ่มเวลางา

ตำแหน่งที่ทำงาน (LBS)	กลุ่มเวลางาน (วัน/ชั้น) (Work Group Duration)					โครงสร้างรายการงาน (WBS)	ปริมาณงาน		ผลิตภาพ	จำนวนแรงงาน	เวลาทำงาน
	4	5	6	7	8		(จำนวน)	(หน่วย)	(หน่วย/คน-วัน)	(คน)	(วัน)
เสา	G.1	G.1	G.1	G.1	G.1	1. งานตีเส้นวางแนวเสา	845	ม^2	150	5	1
						2. งานผูกเหล็กเสริมเสา	4,750	กก.	200	20	1
						3. งานแบบหล่อเสา	1,220	ม^2	60	20	1
						4. งานเทคอนกรีตเสา	32	ม^3	2	15	1
	G.2	G.2	G.2	G.2	G.2	5. งานรื้อแบบหล่อเสา	1,220	ม^2	125	10	1
						6. งานเตรียมเหล็กเสา	11,875	กก.	600	20	1
						7. งานผนังรับแรงเฉือน	230	ม^2	15	15	1
พื้น			G.3			8. งานตั้งนั่งร้านพร้อมปูไม้อัด	845	ม^2	70	12	1
				G.3	G.3	9. งานตีเส้นวางแนวพื้น	845	ม^2	150	5	1
						10. งานแบบข้างพื้น	120	ม^2	40	3	1
						11. งานวางเหล็กเสริมล่าง	5,600	กก.	350	15	1
	G.3	G.3	G.4	G.4	G.4	12. งานวางระบบ M&E	80	จุด	8	10	1
						13. งานวางสลิงระบบอัดแรง	845	ม^2	-	-	1
				G.5	G.5	14. งานวางเหล็กเสริมบน	2,850	กก.	200	15	1
		G.4	G.5			15. งานติดตั้งแบบหล่อลดระดับพื้น	150	ม^2	30	5	1
				G.6	G.6	16. งานทำความสะอาดแบบหล่อพื้น	845	ม^2	150	5	1
						17. งานเทคอนกรีตพื้น	185	ม^3	12	15	1
	G.4	G.5	G.6	G.7	G.7	18. งานดึงลวดสลิงระบบพื้นอัดแรง	845	ม^2	-	-	1
					G.8	19. งานรื้อนั่งร้านและแบบหล่อพื้น	845	ม^2	80	10	1
						20. งานทำความสะอาดเตรียมส่งมอบ	845	ม^2	80	10	1

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.1)

ตำแหน่งที่ทำงาน (LBS)	กลุ่มงานที่ (Work Group)	โครงสร้างรายการงาน (WBS)	ปริมาณงาน		ผลิตภาพ (หน่วย/คน-วัน)	จำนวนแรงงาน (คน)	เวลาทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรง (บาท)
			(จำนวน)	(หน่วย)				
เสา	กลุ่มงานที่ 1. (G.1)	1. งานตีเส้นวางแนวเสา	845	ม^2	150	5	6	3,719
		2. งานผูกเหล็กเสริมเสา	4,750	กก.	200	20	6	14,875
		3. งานแบบหล่อเสา	1,220	ม^2	60	20	6	14,875
		4. งานเทคอนกรีตเสา	32	ม^3	2	15	6	11,156
					รวมค่าแรงกลุ่มงานที่ 1.	60	24	44,625

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.2)

ตำแหน่งที่ทำงาน (LBS)	กลุ่มงานที่ (Work Group)	โครงสร้างรายการงาน (WBS)	ปริมาณงาน		ผลิตภาพ (หน่วย/คน-วัน)	จำนวนแรงงาน (คน)	เวลาทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรง (บาท)
			(จำนวน)	(หน่วย)				
เสา	กลุ่มงานที่ 2.	1. งานรื้อแบบหล่อเสา	1,220	ม^2	125	10	6	7,438
		2. งานเตรียมเหล็กเสา	11,875	กก.	600	20	6	14,875
		3. งานผนังรับแรงเฉือน	230	ม^2	15	15	6	11,156
		4. งานตั้งนั่งร้านพร้อมปูไม้อัด	845	ม^2	70	12	6	8,925
		5. งานตีเส้นวางแนวพื้น	845	ม^2	150	5	6	3,719
		6. งานแบบข้างพื้น	120	ม^2	40	3	6	2,231
		7. งานวางเหล็กเสริมล่าง	5,600	กก.	350	15	6	11,156
					รวมค่าแรงกลุ่มงานที่ 2.	80	42	59,500

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.3)

ตำแหน่งที่ทำงาน (LBS)	กลุ่มงานที่ (Work Group)	โครงสร้างรายการงาน (WBS)	ปริมาณงาน (จำนวน)	ปริมาณงาน (หน่วย)	ผลิตภาพ (หน่วย/คน-วัน)	จำนวนแรงงาน (คน)	เวลาทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรง (บาท)
พื้น	กลุ่มงานที่ 3.	1. งานวางระบบ M&E	80	จุด	8	10	6	7,438
		2. งานวางสลิงระบบอัดแรง	845	$ม^2$	-	-	-	-
		3. งานวางเหล็กเสริมบน	2,850	กก.	200	15	6	11,156
		4. งานติดตั้งแบบหล่อลดระดับพื้น	150	$ม^2$	30	5	6	3,719
		5. งานทำความสะอาดแบบหล่อพื้น	845	$ม^2$	150	5	6	3,719
		6. งานเทคอนกรีตพื้น	185	$ม^3$	12	15	6	11,156
					รวมค่าแรงกลุ่มงานที่ 3.	50	30	37,188

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายทางตรงของกลุ่มเวลางาน 4 วันต่อชั้น (G.4)

ตำแหน่งที่ทำงาน (LBS)	กลุ่มงานที่ (Work Group)	โครงสร้างรายการงาน (WBS)	ปริมาณงาน (จำนวน)	ปริมาณงาน (หน่วย)	ผลิตภาพ (หน่วย/คน-วัน)	จำนวนแรงงาน (คน)	เวลาทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)	ค่าแรง (บาท)
พื้น	กลุ่มงานที่ 4.	1. งานดึงลวดสลิงระบบพื้นอัดแรง	845	$ม^2$	-	-	-	-
		2. งานรื้อนั่งร้านและแบบหล่อพื้น	845	$ม^2$	80	10	6	7,438
		3. งานทำความสะอาดเตรียมส่งมอบ	845	$ม^2$	80	10	6	7,438
					รวมค่าแรงกลุ่มงานที่ 4.	20	12	14,875

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณทีมงาน บริษัทแสงฟ้าก่อสร้าง จำกัด ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการศึกษารูปแบบการวางแผน และข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น

เอกสารอ้างอิง

[1] Mohammad A. Ammar. (2012). LOB and CPM Integrated Method for Scheduling Repetitive Projects. *Construction Engineering and Management*, 139, pp. 44-50.

[2] Hegazy, T., O. Moselhi and P. Fazio. (1993). BAL: An Algorithm for Scheduling and Control of Linear Projects. *AACE international transactions*, 8. pp. 1-14.

[3] Lucky Agung Pratama and Carrie Sturts Dossick. (2020). A Critical Review of Visual Aid Implementation in Lean Construction Scheduling Process. *Construction Engineering and Management*, Online on May 2, 2020. pp. 455-465.

[4] Russell K, and Olli S. (2010). *Location-Based Management for Construction Planning, Scheduling and Control*. Spon Press, pp.125-143.

[5] อธิวัฒน์ บุญเจริญ และสุนีรัตน์ กุศลาศัย. (2552). โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับกำหนดแผนการทำงานของคนงานสำหรับโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะงานซ้ำ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา*, 13-15 พฤษภาคม 2552, หน้า 50-58.

[6] Howard H. Bashford, Anil Sawhney, Kenneth D. Walsh, and Kunal Kot. (2016). Implication of Even Flow Production Methodology for U.S. Housing Industry. *Construction Engineering and Management*, 129, pp. 330-337.

[7] John M. and Cengiz H. (2004). Flexible Model for Time/Cost Tradeoff Problem. *Construction Engineering and Management*, 130, pp. 307-314.

[8] เฉลิมพล พรมทอง และไพจิตร ผาวัน. (2561). วิธีกำหนดเวลางานแบบลูปสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23, นครนายก,* 18-20 กรกฎาคม 2561, หน้า 1-8.