บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

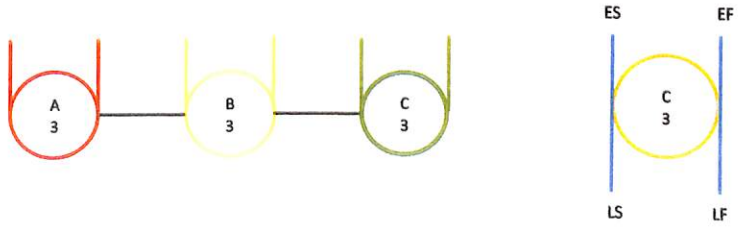
บทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสรุปท้ายบท เกี่ยวกับการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานที่มีลักษณะซ้ำๆ

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

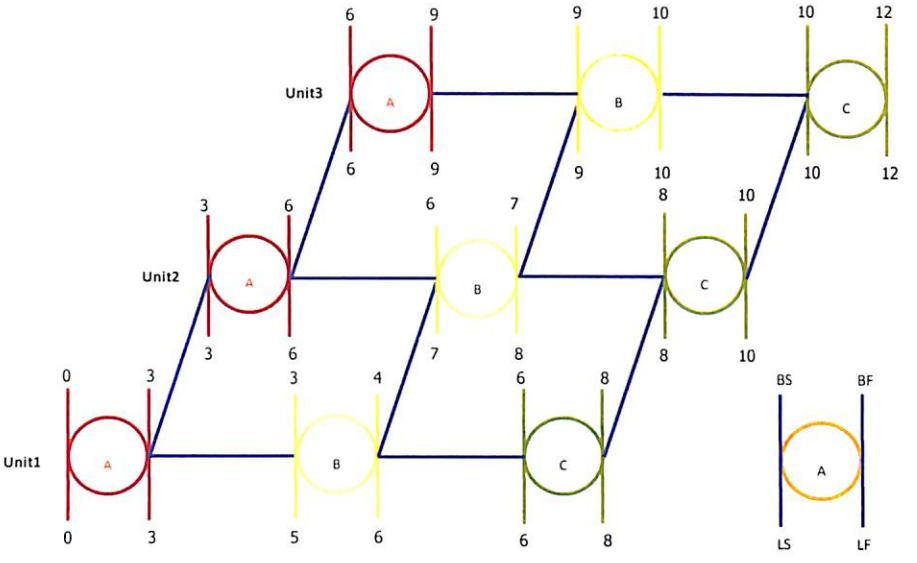
เทคนิคการวิเคราะห์การกำหนดเวลาทำงาน มีอยู่ด้วยกันหลายเทคนิค คือ วิธี Critical Path Method (CPM) วิธี Gantt chart (Bar chart) วิธี Critical Chain Project Management (CCPM) วิธีLine-Of-Balance (LOB) วิธีLinear-Scheduling-Method (LSM) วิธี Repetitive-Scheduling-Method (RSM) และวิธี Time-cost trade-off (TCT) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 วิธี Critical Path Method (CPM) [1] [2] [3]

วิธี CPM มีพัฒนาขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2500 โดย เจ.อี. เคลลี (J.E. Kelly) แห่งบริษัทมิงตัน แรนด์ (Remington rand) ร่วมกับ เอ็ม. อาร์.วอล์กเกอร์ (M.R. Walker) แห่งบริษัทดูปองต์ (Dupont) เพื่อใช้ในโครงการก่อสร้าง และซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานเคมี โดยเน้นในด้านการวางแผนและควบคุมเวลาตลอดจนค่าใช้จ่ายโครงการ การวางแผนงานก่อสร้างที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่วิธีการวางแผนแบบ Critical Path Method (CPM) เมื่อนำมาใช้วางแผนในโครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำๆ กัน โดยการกำหนดให้กลุ่มคนงานก่อสร้างแบ่งแยกหน้าที่อย่างชัดเจนขึ้นตามประเภทของกิจกรรม อาจทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของการทำงานในบางกิจกรรมขึ้น ยกตัวอย่าง โครงการ X ประกอบไปด้วยหน่วยก่อสร้างจำนวน 3 หน่วย ในแต่ละหน่วยแบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรม A B และ C ความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมเป็น แบบ FTS (Finish to Start) และระยะเวลาในการทำงานของแต่ละกิจกรรม (Duration) แสดงในผังวงจรกำหนดก่อน (Precedence Diagram Method : PDM) ดังรูปที่ 2.1 คำนวณวันเริ่มต้นและวันที่แล้วเสร็จของแต่ละกิจกรรมตามวิธีการ วางแผนแบบ CPM โดยการเริ่มงานได้เร็วสุด (Early Start : ES) และการเริ่มงานช้าสุด (Late Start : LS) แสดงดังรูปที่ 2.2

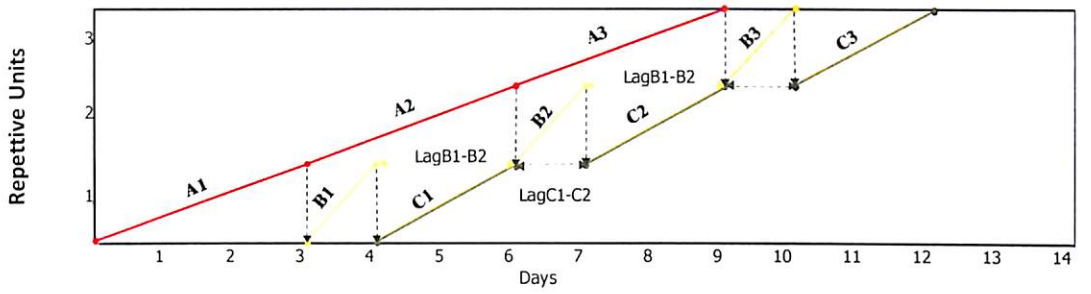


รูปที่ 2.1 ผังวงจรกำหนดก่อนของ 1 หน่วยก่อสร้าง

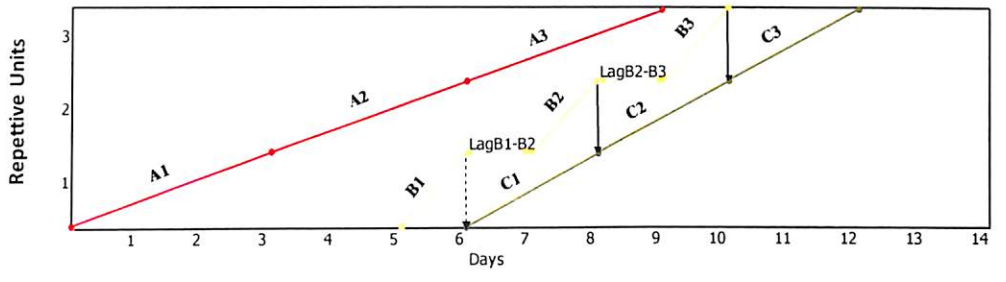


รูปที่ 2.2 การวางแผนแบบ CPM ของโครงการ X

จากความสัมพันธ์และระยะเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรม ในโครงการ X สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบของกราฟเส้น โดยแกนตั้งแสดงปริมาณงานที่ทำได้และแกนนอนเป็นระยะเวลา กิจกรรมก่อสร้างแต่ละกิจกรรมจะถูกแทนด้วย เส้นตรงที่มีความชันแสดงถึงอัตราการทำงานของกลุ่ม คนงานแต่ละกลุ่ม แผนการทำงานตามเงื่อนไขการทำงาน เกิดขึ้นเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Early Start : ES) แสดงได้ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะเห็นความไม่ต่อเนื่องของกิจกรรม B เกิดขึ้น ระหว่างหน่วยการทำงานที่ 1 และ 2 (Lag B1-B2) และ ระหว่างหน่วยการก่อสร้างที่ 2 และ 3 (Lag B2-B3) ส่วน กิจกรรม C เกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้นระหว่างหน่วยก่อสร้างที่ 1 และ 2 (Lag C1-C2) และระหว่างหน่วยก่อสร้างที่ 2 และ 3 (Lag C2-C3) ส่วนการวางแผนด้วยวิธี CPM ภายใต้เงื่องไข การเริ่มงานช้าสุด (Late Start : LS) แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งจากรูปจะพบความไม่ต่อเนื่องของกิจกรรม B ระหว่างหน่วย ก่อสร้างที่ 1 และ 2 (Lag B1-B2) และระหว่างหน่วยก่อสร้าง ที่ 2 และ 3 (Lag B2-B3) จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่า แผนงานที่ได้จากการวางแผนแบบ CPM ภายใต้ทั้งสอง เงื่อนไขอาจก่อให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของการทำงานขึ้น ในกรณีที่ระยะเวลาการทำงานของแต่ละกิจกรรมมีค่าที่เท่ากัน เส้น กราฟที่แสดงถึงอัตราการทำงานของทุกกิจกรรมขนานกันและจะมีความต่อเนื่องในทุกกิจกรรมของการก่อสร้าง



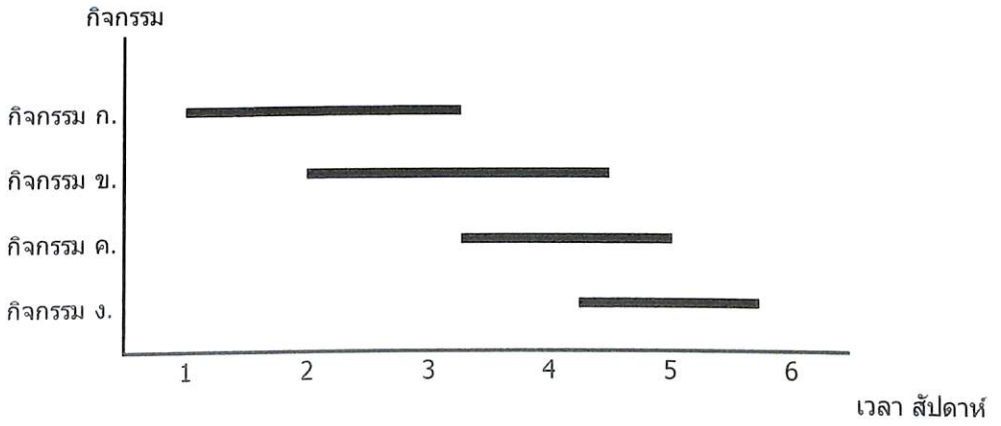
รูปที่ 2.3 การวางแผนแบบ CPM (ES)



รูปที่ 2.4 การวางแผนแบบ CPM (LS)

2.1.2 วิธีแผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) [3] [4] [5]

Gantt chart เป็นเทคนิคที่คิดขึ้นประมาณปี พ.ศ. 2461 โดยเฮนรี่ แอล.แกนต์ (Henry L, Gantt) เพื่อใช้ในการวางแผนเกี่ยวกับเวลา เป็นวิธีที่งานยอมรับและนิยมใช้กันมาก โดยจะใช้เป็นเครื่องมือช่วยการปฏิบัติงานของผู้บริหาร ในการดำเนินการแก้ไขควบคุม การวางแผนที่เหมาะสม เพื่อช่วยสนับสนุนให้การดำเนินงานบรรลุเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ของโครงการ อย่างมีประสิทธิภาพ ผังในลักษณะนี้จะแสดงถึงปริมาณงานและกำหนดเวลาที่จะต้องใช้ เพื่อทำงานนั้นให้ลุล่วง เป็นแผนภูมิในรูปของกราฟแท่งที่ประกอบด้วย แกนหลัก 2 แกน คือ แกนนอนแสดงถึงเวลาในการทำงานตลอดโครงการ และแกนตั้งแสดงถึงงานหรือกิจกรรมที่ต้องทำ แท่งกราฟวางตัวในแนวนอน ความยาวของแท่งกราฟเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาในการทำงาน ดังรูปที่ 2.5

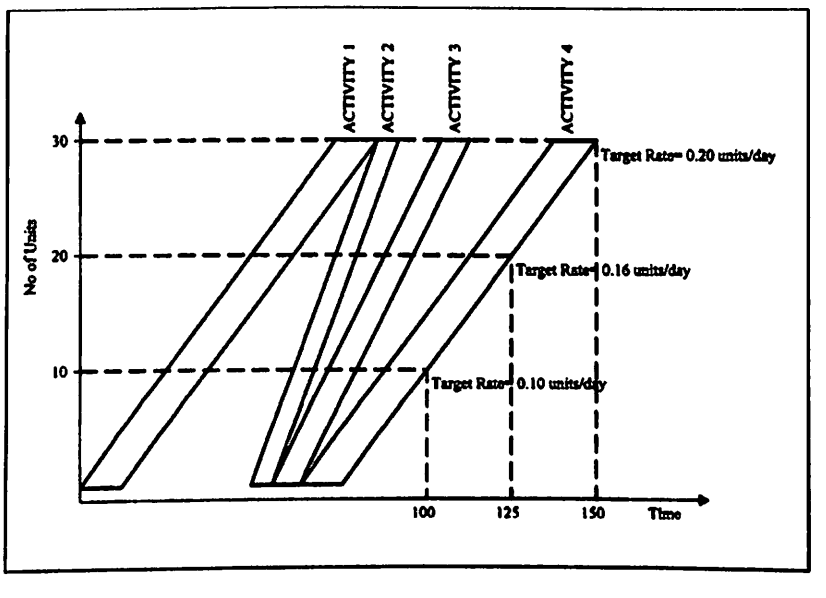


รูปที่ 2.5 การจัดทำแผนกำหนดการแบบแผนภูมิแกนต์

จากแผนภูมิจะเห็นว่า แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้แสดงกิจกรรมแต่ละกิจกรรมนั้น จะบอกถึงระยะเวลาที่ใช้ จุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด ของกิจกรรมแต่ละกิจกรรม เช่น กิจกรรม ก. ใช้เวลาทำงาน 2 สัปดาห์ เริ่มต้นที่ สัปดาห์ที่ 1 และสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้น แต่ Gantt Chart ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆได้อย่างชัดเจน ข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างงานย่อยๆ ต่างๆ จึงบอกไม่ได้ว่ากิจกรรมใดบ้างที่ต้องทำให้เสร็จก่อนจะเริ่มต้นกิจกรรมอื่น กิจกรรมใดสามารถล่าช้าได้เท่าใดโดยไม่กระทบต่อกิจกรรมอื่นหรือต่อความสำเร็จของโครงการและไม่สามารถบอกได้ว่าควรจะใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างไร ให้บริหารโครงการได้มีประสิทธิภาพดังนั้น แผนภูมิแกนต์จึงใช้ทั่วไปในโครงการที่ไม่ซับซ้อนนัก

2.1.3 วิธี Line-Of-Balance (LOB) [5] [6]

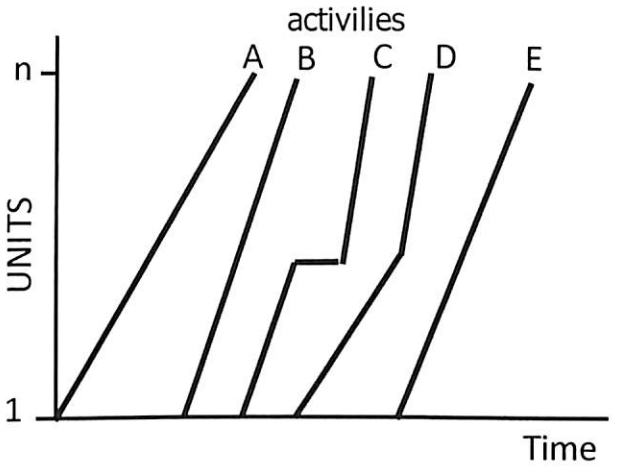
การวางแผนโดยวิธี Line-of-Balandce (LOB) เป็นวิธีการวางแผนงานที่ถูกเริ่มต้นนำมาใช้โดยบริษัท Goodyear ในปี ค.ศ. 1940 จากนั้นในปี ค.ศ. 1950 ทางกองทัพเรือของประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาต่อโดยได้นำไปใช้ในการวางแผนและควบคุมการทำงานซ้ำๆ กัน ในการวางแผนงานก่อสร้างจะใช้เส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม ดังรูปที่ 2.6 โดยใช้แนวความคิดพื้นฐานให้งานมีอัตราการทำงานที่สม่ำเสมอซึ่งจะแสดงในรูปของความชันมีหน่วยเป็นหน่วยการทำงานต่อระยะเวลา โดยข้อดีของ LOB คือ จะแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมใดที่กำลังทำอยู่ ซึ่งทำให้ติดตามความก้าวหน้าได้สะดวกและสามารถทราบถึงปริมาณทรัพยากรที่ต้องใช้ในแต่ละช่วงเพื่อสามารถสร้างงานตามจำนวนที่ต้องการได้ อีกทั้งสามารถเขียนแผนการทำงานของงานที่มีจำนวนมากและหลายกิจกรรมให้มองเห็นในแผนภาพที่ชัดเจนได้ แต่ข้อจำกัดของวิธี LOB คือ การที่ไม่สามารถที่จะแสดงให้เห็นถึงกิจกรรมที่วิกฤติของโครงการได้



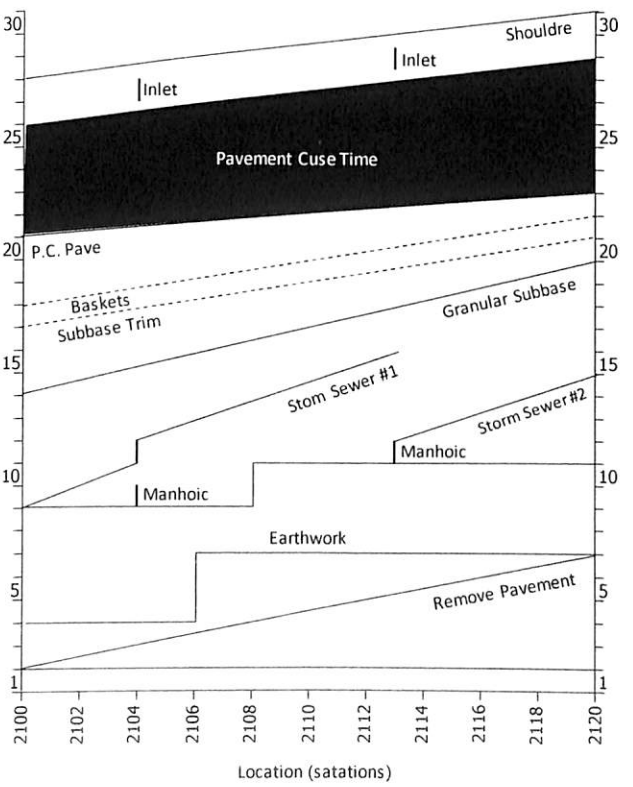
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการวางแผนงานก่อสร้างโดยวิธี LOB

2.1.4 วิธี Linear-Scheduling-Method (LSM) [7] [8]

การวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกันที่อาศัยกราฟเส้น บางครั้งอาจเรียกวิธี linear scheduling-method (LSM) การวางแผนด้วยวิธี LSM มีประโยชน์มากเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างเชิงเส้น (linear construction) อย่างไรก็ตามเนื่องจากเทคนิคการวางแผนนี้จำเป็นต้องอาศัยกราฟฟิคในการวางแผน ดังนั้นจึงยากที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการวางแผนนี้สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ 1. แนวแกนนอนเป็นหน่วยของเวลา แนวแกนตั้งเป็นจำนวนหน่วยก่อสร้าง 2. แนวแกนนอนเป็นพื้นที่ก่อสร้าง แนวแกนตั้งเป็นหน่วยของเวลา [6] ดังรูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8



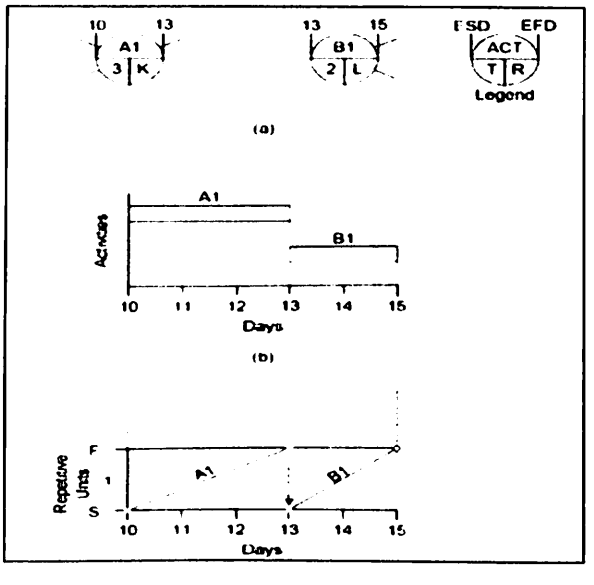
รูปที่ 2.7 การวางแผนโดยวิธี LSM รูปแบบที่ 1



รูปที่ 2.8 รูปแบบการวางแผนโดยวิธี LSM รูปแบบที่ 2

2.1.5 วิธี Repetitive-Scheduling-Method (RSM) [9]

การวางแผนโดยวิธีการ RSM ได้ถูกคิดค้นโดย Robert B. และ Photios G. Ioannou มหาวิทยาลัยมิชิแกน ในปี ค.ศ. 1998 เพื่อใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างที่มีการทำงานที่ซ้ำๆกัน โดยมีวัตถุประสงค์คล้ายๆกับวิธีของ LOB แต่สามารถระบุกิจกรรมวิกฤตได้ แต่เนื่องจากวิธี RSM ใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของหน่วยการทำงาน ณ เวลาใดๆ ตลอดระยะเวลาโครงการ ดังรูปที่ 2.9

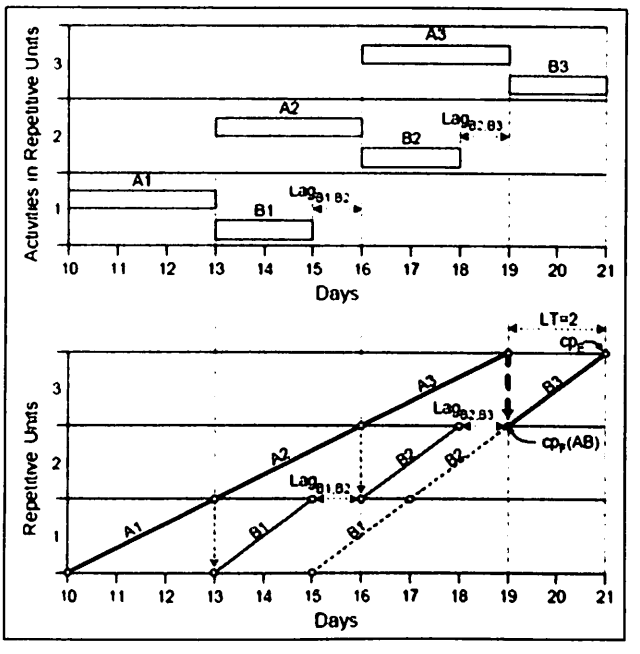


รูปที่ 2.9 การเขียนกราฟแสดงแผนการทำงานที่มีลักษณะซ้ำๆ กันโดยวิธี RSM

แนวความคิดที่ใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างด้วยวิธี RSM คือ การกำหนดจุดควบคุม(control point, CP) และหลักการจัดลำดับควบคุม (controlling sequence) การวางแผนด้วยวิธีนี้จะประกอบไปด้วย 3 ความสัมพันธ์ คือ finish-to-start (FTS), start-to-start (STS) และ finish-to-finish (FTF) **[1]** มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

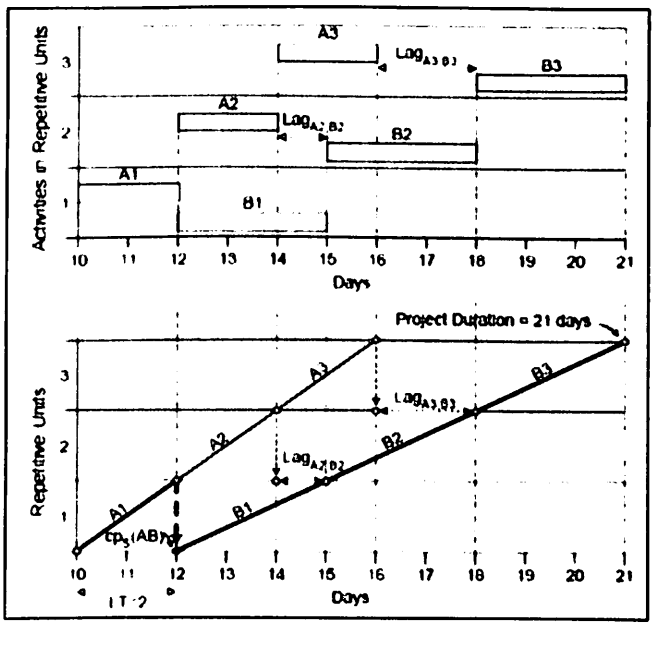
1) ความสัมพันธ์แบบ finish-to-start (FTS) หมายถึง ความสัมพันธ์ที่กิจกรรมตามหลังจะเริ่มทำได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าได้ทำเสร็จสมบูรณ์ โดยในการจัดทรัพยากรสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

- กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงานมากกว่ากิจกรรมตามหลัง ความชันของเส้นกราฟของกิจกรรมก่อนหน้าน้อยกว่ากิจกรรมตามหลัง ส่งผลให้เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่เข้าหากันเมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTS และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน

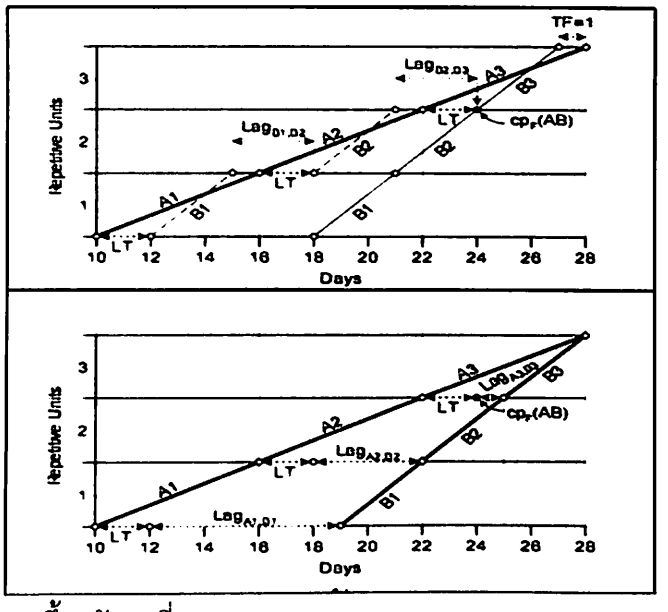
- กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาทำงานน้อยกว่ากิจกรรมตามหลัง ความชันของเส้นกราฟกิจกรรมก่อนหน้ามากกว่ากิจกรรมตามหลัง ส่งผลให้เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่ออกจากกัน เมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTS และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน

2) ความสัมพันธ์แบบ start-to-start (STS) หมายถึง ความสัมพันธ์ที่กิจกรรมตามหลังจะสามารถเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อหน้าได้เริ่มทำงานไปแล้วเท่านั้น โดยในการจัดทรัพยากรสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

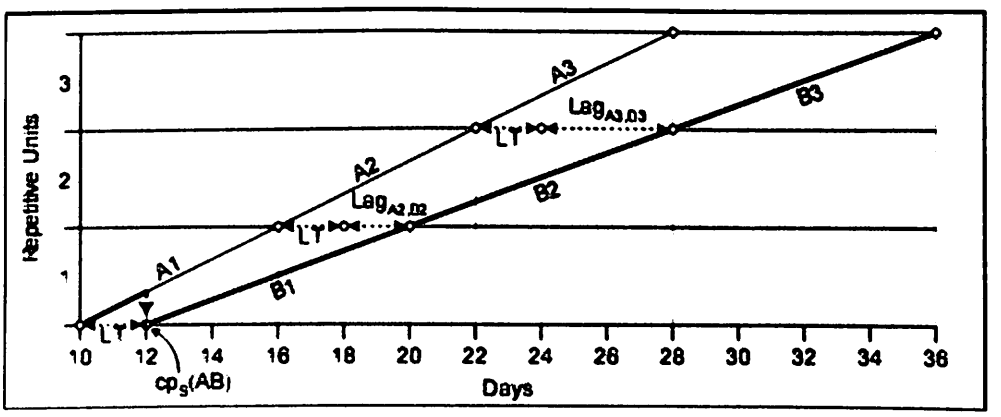
- กรณีกิจกรรมก่อหน้ามีระยะเวลาการทำงานมากกว่ากิจกรรมตามหลัง ความชันของเส้นกราฟของกิจกรรมก่อนหน้าน้อยกว่ากิจกรรมตามหลัง ส่งผลให้เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่เข้าหากัน เมื่อ



จำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.12

รูปที่ 2. 12 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ STS และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน

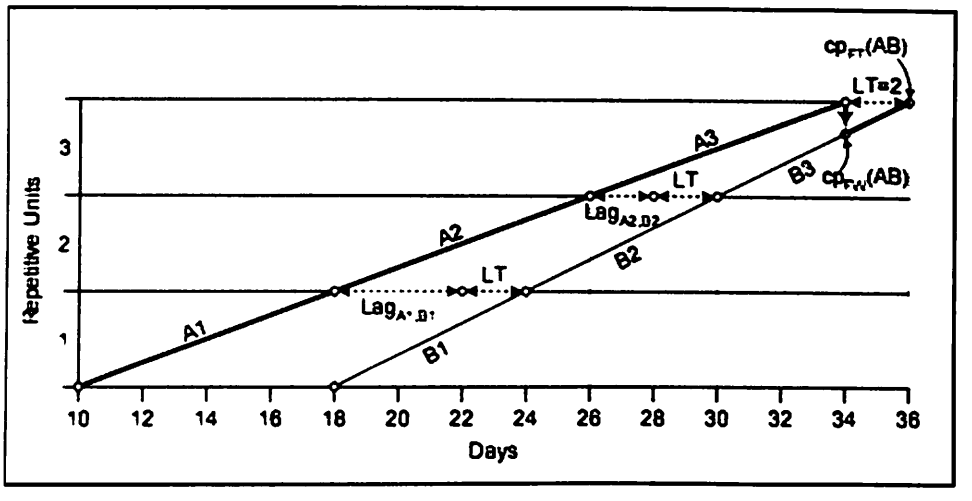
- กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงานน้อยกว่ากิจกรรมตามหลัง ความชันของเส้นกราฟของกิจกรรมก่อนหน้ามากกว่ากิจกรรมตามหลัง ส่งผลให้เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่ออกจากกัน เมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ STS และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน

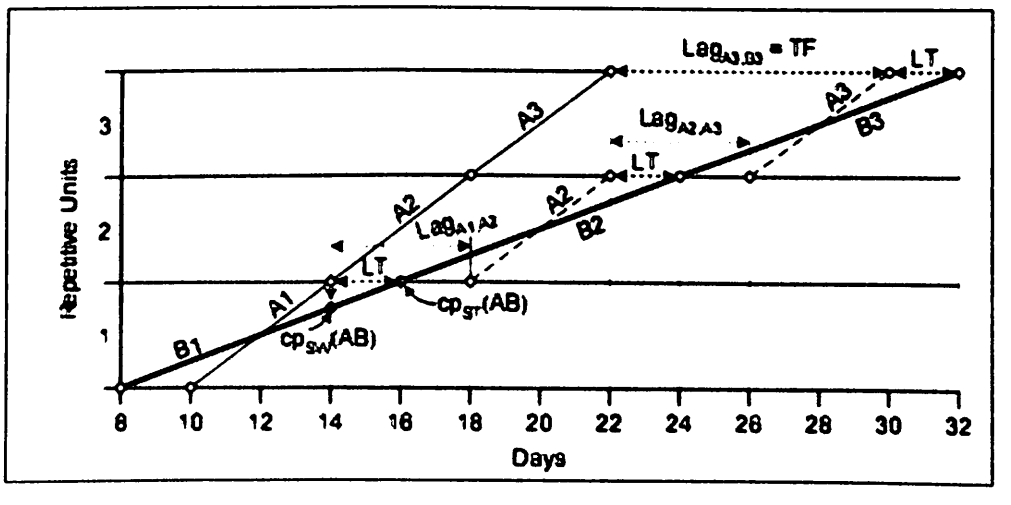
3) ความสัมพันธ์แบบ finish-to-finish (FTF) หมายถึง ความสัมพันธ์ที่กิจกรรมตามหลังจะแล้วเสร็จได้ก็ต่อเมื่อกิจกรรมก่อนหน้าได้ทำเสร็จสมบูรณ์ โดยในการจัดทรัพยากร สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

- กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงานมากกว่ากิจกรรมตามหลัง ความชันของเส้นกราฟของกิจกรรมก่อนหน้าน้อยกว่ากิจกรรมตามหลัง ส่งผลให้เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่เข้าหากันเมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTF และกราฟมีลักษณะลู่เข้าหากัน

- กรณีกิจกรรมก่อนหน้ามีระยะเวลาการทำงานน้อยกว่ากิจกรรมตามหลัง ความชันของเส้นกราฟของกิจกรรมก่อนหน้ามากกว่ากิจกรรมตามหลัง ส่งผลให้เส้นกราฟมีพฤติกรรมลู่ออกจากกัน เมื่อจำนวนหน่วยก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.15

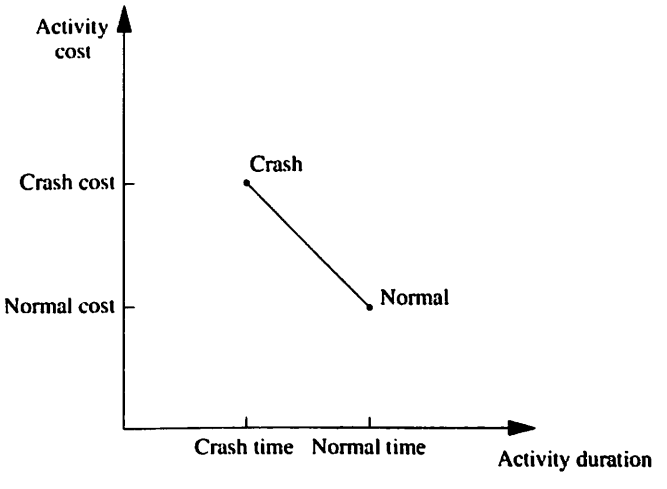


รูปที่ 2.15 การวางแผนโดยวิธี RSM ของความสัมพันธ์แบบ FTF และกราฟมีลักษณะลู่ออกจากกัน

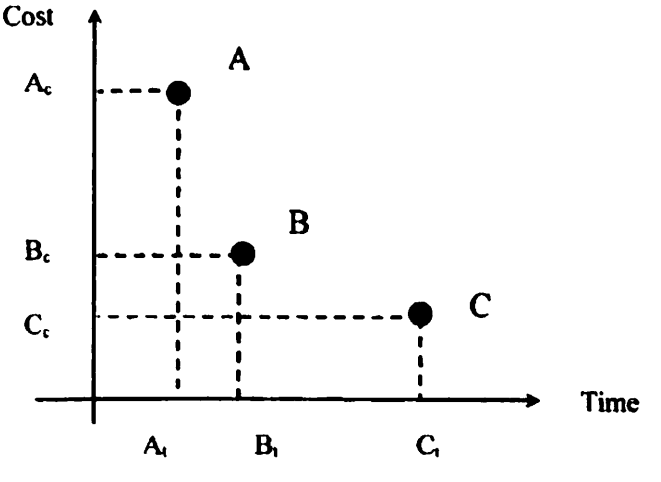
2.1.6 วิธี Time-cost trade-off: TCT [10]

การพิจารณาระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-cost trade-off: TCT) คือปัญหาที่เกี่ยวกับการกำหนดหาต้นทุนของโครงการที่น้อยที่สุดสำหรับค่าระยะเวลาหนึ่งของโครงการตามที่ต้องการ โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นคือ กิจกรรมก่อสร้างใด ๆ สามารถมีวิธีการดำเนินงาน (execution methods) ได้หลายทางเลือก

(Options) โดยทางเลือกปกติจะมีระยะเวลาปกติ (Normal duration) และต้นทุนปกติ (Normal cost) การเร่งรัดการทำ กิจกรรมใดๆให้แล้วเสร็จเร็วกว่าปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นเป็นค่าทรัพยากรพิเศษ ที่นำมาใช้ ได้แก่ การเพิ่มแรงงาน การเพิ่มแรงงานเชี่ยวชาญ การใช้เครื่องจักรหรือการใช้เทคโนโลยีที่ดี ซึ่งจะทำให้ได้ระยะเวลาเร่งรัด (Crash duration) และต้นทุนเร่งรัด (Crash cost) ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรมในแบบ ปกติและแบบเร่งรัดอาจถูกกำหนดให้เป็นแบบต่อเนื่อง (continuous) หรือไม่ต่อเนื่อง (discrete) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 ตามลำดับ เนื่องจากเฉพาะกิจกรรมวิกฤตเท่านั้นที่มีผลต่อระยะเวลาของโครงการ การเร่งรัดกิจกรรมด้วยต้นทุนที่แพงจึงควรเลือกทำกับบางกิจกรรม ในขณะที่กิจกรรมที่ไม่วิกฤตสามารถดำเนินการไปตามปกติที่ใช้ต้นทุนต่ำได้ ผู้วางแผนจึงต้องค้นหาส่วนผสมที่เหมาะสมนั้น



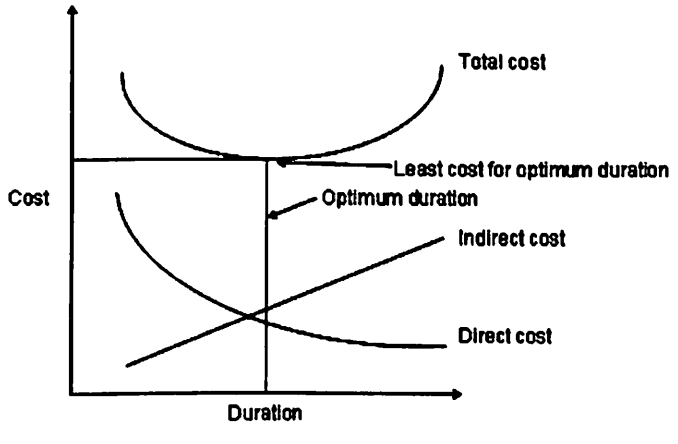
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรมในแบบปกติและแบบเร่งรัด



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์แบบไม่ต่อเนื่องระหว่างต้นทุนกับเวลาของกิจกรรมในแบบปกติ

และแบบเร่งรัด

ต้นทุนของโครงการก่อสร้างนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ต้นทุนทางตรง (Direct cost) และต้นทุนทางอ้อม (Indirect cost) โดยที่ต้นทุนทางตรงมีลักษณะที่แปรผันตามกับปริมาณเนื้อ งานก่อสร้างที่ทำได้และทรัพยากรที่ใช้ไป หรือเป็นต้นทุนแปรผัน (Variable cost) แต่ต้นทุนทางอ้อม หมายถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่มีลักษณะโดยรวมที่ไม่แปรผันไปตามปริมาณเนื้อ งานก่อสร้างที่ทำได้ หรือเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ที่ต้องจ่ายตามกำหนดเวลา คือแปรผันตามระยะเวลาของโครงการจากลักษณะนี้เองที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับระยะเวลาของโครงการก่อสร้างกล่าวคือ ต้นทุนทางตรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาโครงการถูกเร่งรัดให้สั้นลง แต่ต้นทุนทางอ้อมอาจลดลงได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ต้นทุนโครงการที่ต่างกับระยะเวลาโครงการ ที่สั้นสามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน กราฟความสัมพันธ์แสดง ในรูปที่ 2.18 สำหรับค่าระยะเวลาโครงการค่าหนึ่งจะสามารถใช้หาต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุดได้ ดังนั้นหากกำหนดค่าระยะเวลาโครงการหลายๆค่า จะทำให้ได้ต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุดสำหรับแต่ละค่าระยะเวลาโครงการ และจุดเหล่านี้จึงเป็นคำตอบของปัญหาที่คล้ายกับ multi-objective optimization ที่มีเป้าหมายในการหา non-dominated solutions (คือคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับอย่างน้อยหนึ่งobjective) โดยที่ non-dominated solutions เหล่านี้จะเรียงตัวกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่า Pareto front

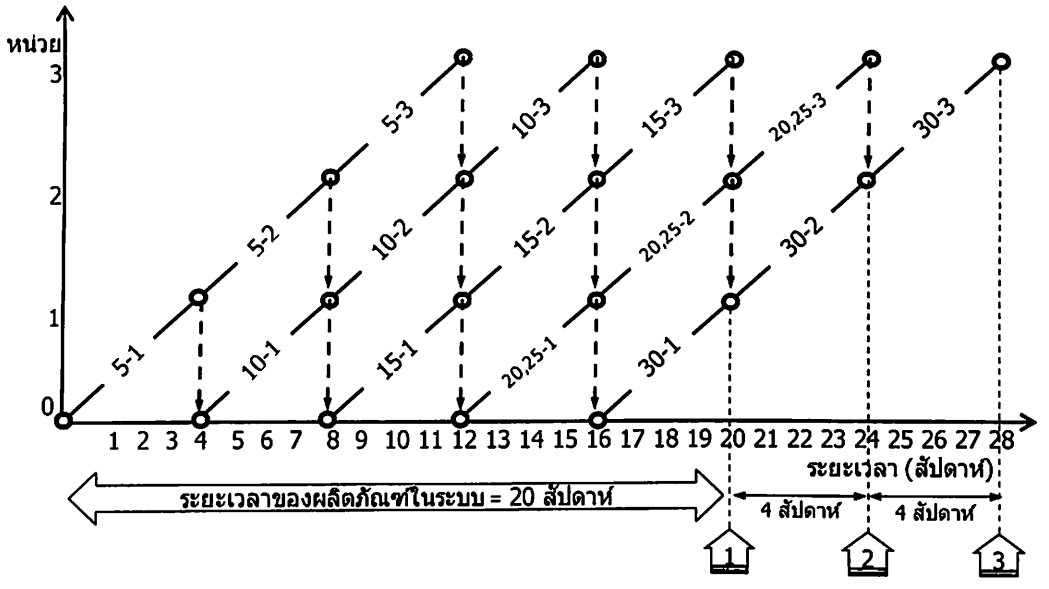


รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนกับเวลาของโครงการ

2.1.7 วิธี Even Flow Construction [11]

วิธี Even Flow Construction เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในวงการผู้รับเหมาก่อสร้างบ้าน (Home builders) ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยหัวใจของหลักการนี้ คือ การปรับอัตราการทำงานของทุกกิจกรรมให้เท่ากันหรือทำให้การทำงานเกิดความสมดุล โดยอธิบายถึงหลักการของ Even Flow Construction ไว้ว่าเป็นการนำเอาข้อดีด้านประสิทธิภาพของการทำงานตามแนวทางการผลิตแบบแรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ในงานก่อสร้าง โดยการจัดสมดุลของระยะเวลาการทำงานในแต่ละกิจกรรมไม่มีความสม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการผลิตที่เหมาะสม งานก่อสร้างจะถูกดำเนินไปด้วยอัตราที่คงที่มีความแน่นอนและแม่นยำ และมีประสิทธิภาพ หลักการ Even Flow Construction ส่วนมากจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้

หลักการนี้กับการก่อสร้างบ้านจำนวนหลายๆ หลัง นอกจากงานก่อสร้างบ้านจัดสรรแล้ว Even Flow Construction ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันประเภทอื่นๆ เช่น งานก่อสร้างอาคารสูง งานวางท่อ งานถนน เป็นต้น สามารถอธิบายหลักผ่านแผนภาพกราฟเส้น แบบเดียวกันกับที่ใช้วิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานด้วยวิธี RSM ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กำหนดเวลาทำงานตามหลักการ even flow construction กรณีทุกกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานเท่ากับ 4 สัปดาห์ต่อหลัง

จากรูปที่ 2.19 แผนภาพกำหนดเวลาเวลาการทำงานของการก่อสร้างตามหลักการ even flow construction กรณีทุกกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานเท่ากับ 4 สัปดาห์ต่อหลังเท่ากันหมด จากรูปจะเห็นว่าเมื่อทุกกิจกรรมมีระยะเวลาทำงานต่อหน่วยเท่ากัน ความชันของเส้นการทำงานจะขนานกันและทำให้ทุกกิจกรรมของทุกหน่วยก่อสร้างเป็นกิจกรรมวิกฤต ผลที่ได้คือ

- ระยะเวลาโครงการ เท่ากับ 28 สัปดาห์ และเพิ่มขึ้น 4 สัปดาห์ทุก 1 หน่วยก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น

- การใช้ประโยชน์ทรัพยากรของทุกกิจกรรมเท่ากับ 100% เนื่องจากกลุ่มคนงานของทุกกิจกรรมดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง

- ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ในระบบ เท่ากับ 20 สัปดาห์ในทุกหน่วยก่อสร้างไม่ว่าจำนวนหน่วยก่อสร้างจะเป็นเท่าไร โดยทั้ง 20 สัปดาห์นี้เป็นระยะเวลาของการดำเนินงานทั้งหมด ไม่มีระยะเวลารอคอย

- เวลาครบรอบ เท่ากับ 4 สัปดาห์ หรือทุก 4 สัปดาห์จะมีบ้านแล้วเสร็จ 1 หลัง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาจอง สุขประเสริฐ [12] ได้ศึกษาการประยุกต์เทคนิค PERT/CPM ในการจัดการกิจกรรมในงานก่อสร้างบ้านจัดสรร วัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค PERT และ CPM ในการวางแผนและควบคุมโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร โดยมุ่งเน้นให้ทราบงานวิกฤติในโครงการ จัดทำโครงสร้างการจัดแบ่งงาน (Work breakdown structure) และรายละเอียดของงาน (Work package) การศึกษาเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลโครงการก่อสร้างจากใบแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ประสบการณ์ของทีมช่าง และผู้วิจัย จากนั้นได้กำหนดลำดับของกิจกรรม ประมาณเวลาของกิจกรรม และจัดทำโครงสร้างการแบ่งงาน จากการวิเคราะห์ CPM พบว่า โครงการมีงานวิกฤตจำนวน 10 งาน จากการวิเคราะห์ PERT พบว่า ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จใน 130 วันมีค่าเท่ากับ 71.81% ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความล่าช้าได้ จึงวิเคราะห์ด้วยการเร่งงาน พบว่า ความน่าจะเป็นที่งานจะแล้วเสร็จเพิ่มขึ้นเป็น 96.02% แต่จะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการเร่งงานเกิดขึ้น และจัดทำรายละเอียดของงาน เพื่อควบคุมความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นและสร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงานก่อสร้าง

อัครวิทย์ สุวรรณจันทร์ และ สุนีรัตน์ กุศลาศัย [13] ได้ศึกษาการจัดสรรทรัพยากรแบบกลุ่มคนงานเฉพาะและการใช้คนงานร่วมกันในงานก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำๆ กัน การวางแผนงานก่อสร้างเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมและบริหารจัดการโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันมีวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่รูปแบบการทำงานซ้ำๆ กันหลายวิธี ได้แก่ วิธี Line of Balance (LOB), วิธี Linear Scheduling Method (LSM) และ วิธี Repetitive Scheduling Method (RSM) ซึ่งวิธีการเหล่านี้มักใช้ร่วมกับการจัดสรรทรัพยากรที่มีการกำหนดกลุ่มคนงานเฉพาะในแต่ละกิจกรรม ส่วนวิธีเส้นทางวิกฤต (CPM) สามารถประยุกต์ร่วมกับวิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบ Dedicated Resource Assignment และการใช้ทรัพยากรร่วมกันแบบ Pooled Resource Assignment โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการจัดสรรทรัพยากรระหว่าง Dedicated Resource Assignment และ Pooled Resource Assignment สำหรับโครงการก่อสร้างที่มีรูปแบบซ้ำๆ กัน เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของอัตราการผลิตที่มีต่อระยะเวลาโครงการ ระยะเวลารอคอยของคนงานระหว่างกิจกรรม และผลิตภัณฑ์ระหว่างก่อสร้าง ผลที่ได้พบว่าการวางแผนงานก่อสร้างที่มีรูปแบบการทำงานซ้ำๆ กัน สามารถขจัดระยะเวลารอคอยของคนงาน แต่อาจก่อให้เกิดระยะเวลารอคอยของผลิตภัณฑ์ระหว่างก่อสร้าง ในขณะที่การวางแผนงานโดยกิจกรรมเริ่มงานได้เร็วที่สุดร่วมกับการจัดสรรทรัพยากรแบบ Dedicated Resource Assignment อาจก่อให้เกิดระยะเวลารอคอยของคนงาน แต่ไม่เกิดระยะเวลารอคอยของผลิตภัณฑ์ระหว่างก่อสร้าง ในทั้งสองกรณี พบว่าเมื่อไม่พิจารณาถึงผลกระทบของการเยนรู้การจัดสรรทรัพยากรแบบ Pooled Resource Assignment ร่วมกับการวางแผนงาน โดยกิจกรรมเริ่มงานได้เร็วที่สุด ให้ระยะเวลาโครงการที่สั้นกว่าและมีอัตราการผลิตที่สูงกว่า

พิเชษฐ์ และ สุนีรัตน์ [14] ได้ทำการประยุกต์ใช้วิธี RSM กับงานก่อสร้างที่กิจกรรมประกอบด้วยกลุ่มคนงานมากกว่า 1 กลุ่ม กรณีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเป็นแบบ finish-to-start (FTS) การพัฒนาแนวทางดังกล่าวได้ทดลองกับตัวอย่างที่ประกอบด้วย 6 หน่วยก่อสร้างที่มี กิจกรรม 3 กิจกรรม ได้แก่กิจกรรมเริ่มต้น กิจกรรมตรงกลาง และกิจกรรมสุดท้าย โดยแต่ละกิจกรรมมีจำนวนกลุ่มคนงานและระยะเวลาทำงานต่อหน่วยที่เท่ากันและแตกต่างกันรวม 729 ตัวอย่าง ซึ่งผลที่ได้พบว่ากำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมก่อสร้างรวมถึงระยะเวลาโครงการขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มคนงาน และระยะเวลาทำงานของกิจกรรมต่อหน่วย อีกทั้งยังพบว่ากรณีงานก่อสร้างที่กิจกรรมประกอบด้วยกลุ่มคนงานมากกว่า 1 กลุ่ม การกำหนดจุดควบคุมไม่เป็นไปตามทฤษฎีการวางแผน RSM

ชัยยศ ลักษณะวิลัย และสุนีรัตน์ กุศลาศัย [15] การวางแผนงานในโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะการทำงานซ้ำๆ กันในทุกหน่วยก่อสร้างด้วยวิธีการวางแผนแบบ CPM อาจทำเกิดให้ความไม่ต่อเนื่องของการทำงานขึ้นไม่ว่าจะเป็นเริ่มงานเร็วสุด (Early Start) หรือการเริ่มงานช้าสุด (Late Start) ส่วนวิธีการวางแผนแบบ RSM เป็นการเลื่อนวันเริ่ม ต้นการทำงานของแต่ละกิจกรรมเพื่อให้การทำงานมีความต่อเนื่อง บทความนี้ได้ยกตัวอย่างโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะการทำงานที่ซ้ำๆ กันตั้งแต่ 5 หน่วย ถึง 100 หน่วยจำลองสถานการณ์ก่อสร้างจากวิธีการวางแผนแบบ CPMและ RSM โดยใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาโครงการจากวิธีการวางแผนทั้งสองแบบที่เพิ่มตามจำนวนหน่วยก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นโดยที่สามารถนำ มาเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการเพื่อคำนวณหาระยะเวลาโครงการได้ เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาโครงการ (Project duration) พบว่าวิธีการวางแผนแบบ RSM ใช้ระยะเวลามากว่าวิธีการวางแผนแบบ CPM แต่เมื่อวิเคราะห์ถึงการขาดช่วงของการทำงานพบว่าระยะเวลาจ่ายค่าแรง (Paid pays) โดยที่วิธีการวางแผนแบบ CPM ใช้ระยะเวลามากกว่าวิธีการวางแผนแบบ RSM ดังนั้นผู้ประกอบการควรพิจารณาเปรียบเทียบระยะเวลาโครงการและระยะเวลาจ่ายค่าแรงทั้งวิธีการวางแผนแบบ CPM และRSM สุด ท้ายบทความนี้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง STROBOSCOPE ในการวิเคราะห์ ผลกระทบที่เกิดจากความแปรปรวนของระยะเวลา การทำงานในแต่ละกิจกรรม ต่อระยะเวลาโครงการก่อสร้างและระยะเวลาจ่าย ค่าแรงพบว่าการวางแผนทั้ง 2 วิธีมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับกรณีที่ระยะเวลาของกิจกรรมมีค่าคงที่

วชรภูมิ เบญจโอฬาร และคณะผู้วิจัย [16] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การวางแผนและควบคุมงานก่อสร้างด้วยการกำหนดเวลาและต้นทุนที่ได้พัฒนาโมเดลบนโปรแกรมสานักงานพื้นฐาน Microsoft Excel ที่สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบ Genetic Algorithms ซึ่งเป็นวิธีประสิทธิภาพดีเหมาะสาหรับโมเดลปัญหาที่ซับซ้อนเช่น ICRPSP นี้ โมเดล ICRPSP ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ได้ถูกนำมาทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบได้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของ ICRPSP ในการนำมาใช้เพื่อช่วยการวางแผนและควบคุมโครงการก่อสร้าง

Hegazy et al. [17] ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับวางแผนงานก่อสร้างตามหลัก LOB มีชื่อว่า BAL สามารถวางแผนและติดตามงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันในรูปแบบ discrete โดยแต่ละกิจกรรมสามารถมีกลุ่มคนงานได้มากกว่าหนึ่งกลุ่ม ซึ่งผู้วางแผนเป็นผู้กำหนดวันเริ่ม-เสร็จของโครงการ ปริมาณงานแต่ละขนาดของกลุ่มคนงาน (crew size) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ จำนวนคนงาน อัตราการทำงานและระยะเวลาที่เหมาะสมของแต่ละกิจกรรมจากระยะเวลาของโครงการ

อธิวัฒน์ และ สุนีรัตน์ [18] ได้ทำการศึกษาแนวทางการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานของโครงการก่อสร้างที่กิจกรรมประกอบด้วยกลุ่มคนงานมากกว่า 1 กลุ่ม ที่ประกอบด้วย 3 ความสัมพันธ์ FTS,FTF และ STS สำหรับกรณี discrete unit ซึ่งพบว่ามีจำนวนรูปแบบมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มคนงาน ระยะเวลาทำงานของกิจกรรมต่อหน่วย และจำนวนหน่วยทั้งหมดที่ต้องการก่อสร้าง ซึ่งการวางแผนด้วยการเขียนเส้นกราฟด้วยมืออาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวางแผนงานซ้ำที่กิจกรรมประกอบด้วยกลุ่มคนงานตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไป ที่มีชื่อว่า KU RCP 1.0 ข้อดีของโปรแกรมนี้คือผู้วางแผนสามารถกำหนดผลิตภาพของแต่ละกลุ่มคนงาน และปริมาณงานของแต่ละหน่วยก่อสร้าง อีกทั้งยังสามารถวางแผนงานของกิจกรรมที่ซ้ำกันและไม่ซ้ำร่วมกันได้ โดยผลที่ได้อยู่มนรูปแบบของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมารงานที่ทำได้กับเวลา รวมถึงตารางแผนการทำงานของแต่ละกลุ่มคนงาน และกำหนดเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมในแต่ละหน่วยก่อสร้างในรูปแบบวันที่ตามปฏิทิน

2.3 สรุปท้ายบท

จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยงข้อง ทำให้เข้าใจการวางแผนงาน โดยเฉพาะการวางแผนงานที่มีลักษณะซ้ำกัน ที่อาศัยกราฟเส้น ได้แก่ การวางแผนโดยวิธี Line-of-Balandce (LOB) เป็นวิธีการวางแผนงานที่ควบคุมการทำงานซ้ำๆ กัน ในการวางแผนงานก่อสร้างจะใช้เส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราการทำงานในแต่ละกิจกรรม โดยใช้แนวความคิดพื้นฐานให้งานมีอัตราการทำงานที่สม่ำเสมอซึ่งจะแสดงในรูปของความชันมีหน่วยเป็นหน่วยการทำงานต่อระยะเวลา โดยข้อดีของ LOB คือ จะแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมใดที่กำลังทำอยู่ ซึ่งทำให้ติดตามความก้าวหน้าได้สะดวกและสามารถทราบถึงปริมาณทรัพยากรที่ต้องใช้ในแต่ละช่วง สำหรับวิธี linear scheduling-method (LSM) เป็นการวางแผนด้วยวิธี LSM มีประโยชน์มากเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างเชิงเส้น เหมือนกับ วิธี Line-of-Balandce (LOB) และการวางแผนโดยวิธีการ RSM ก็เป็นการวางแผนงานก่อสร้างที่มีการทำงานที่ซ้ำๆกัน โดยมีวัตถุประสงค์คล้ายๆกับวิธีของ LOB แต่สามารถระบุกิจกรรมวิกฤตได้ แต่เนื่องจากวิธี RSM ใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าปริมาณสะสมของหน่วยการทำงาน ณ เวลาใด ๆ ตลอดระยะเวลาโครงการ นอกจากนี้ยังมีวิธีที่น่าสนใจ คือวิธี Even Flow Construction เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในวงการผู้รับเหมาก่อสร้างบ้าน (Home builders) ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยหัวใจของหลักการนี้ คือ การปรับอัตราการทำงานของทุกกิจกรรมให้เท่ากันหรือทำให้การทำงานเกิดความสมดุล

โดยอธิบายถึงหลักการของ Even Flow Construction ไว้ว่าเป็นการนำเอาข้อดีด้านประสิทธิภาพของการทำงานตามแนวทางการผลิตแบบแรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ในงานก่อสร้าง โดยการจัดสมดุลของระยะเวลาการทำงานในแต่ละกิจกรรมไม่มีความสม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการผลิตที่เหมาะสม ส่วนเรื่องความเหมาะสมเป็นการพิจารณาระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-cost trade-off: TCT) คือปัญหาที่เกี่ยวกับการกำหนดหาต้นทุนของโครงการที่น้อยที่สุดสำหรับค่าระยะเวลาหนึ่งของโครงการตามที่ต้องการ