



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การพัฒนาระบบควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วย
หน่วยงานย่อยที่เหมือนกันหลายๆหน่วย

โดย ผศ.ดร.สุนีรัตน์ กุศลาศัย (วงศ์วิทย์เดชา) คณะ

ธันวาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การพัฒนาระบบควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วย
หน่วยงานย่อยที่เหมือนกันหลายๆหน่วย

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร.สุนิรัตน์ กุศลาศัย (วงศ์วิทย์เดชา)
2. รศ.ดร.สันติ ชินานุวัตินวงศ์
3. Professor Robert I. Carr

สังกัด

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
University of Michigan (Ann Arbor)

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ.และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

บทคัดย่อ	1
Abstract	2
สรุปย่อ	3
วัตถุประสงค์	6
การดำเนินงานวิจัยและผลการดำเนินงาน	7
ส่วนที่ 1 การศึกษาวิธีการก่อสร้างและเก็บข้อมูลแผนการทำงานในสนาม	8
1.1 การศึกษาวิธีการก่อสร้างถนน	8
1.2 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับแผนการทำงานในสนาม	12
ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยที่ซ้ำๆกัน	22
2.1 การหาค่าความคลาดเคลื่อนต้นทุนก่อสร้าง	23
การทำงานแบบขนาน	24
การทำงานแบบอนุกรม	33
2.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อนและแผนการก่อสร้าง	42
2.3 การหาค่าความคลาดเคลื่อนระยะเวลาการก่อสร้าง	43
2.4 ข้อผิดพลาดในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงาน	44
2.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนและแผนการก่อสร้าง	51
ภาคผนวก	59
ผลงานตีพิมพ์	60

**โครงการ: การพัฒนาระบบควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วย
หน่วยงานย่อยที่เหมือนกันหลาย ๆ หน่วย**

**Development of Project Control Systems for Multi-Unit Projects with Repeating
Activities**

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคนิคการควบคุมโครงการเข้ามาใช้เพื่อประเมินสถานการณ์การทำงานทั้งทางด้านค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยทำการเปรียบเทียบการทำงานที่เกิดขึ้นจริงกับแผนที่วางไว้ เพื่อประเมินว่าโครงการเกิดความล่าช้าหรือเร็วกว่าแผน รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นว่าสูงหรือต่ำกว่างบประมาณที่วางไว้หรือไม่ หากแต่ถ้ามีโครงการก่อสร้างบางประเภท เช่น งานก่อสร้างถนน งานวางท่อ งานก่อสร้างบ้านจัดสรร ที่มีลักษณะที่แตกต่างไปจากงานก่อสร้างปกติทั่วไป โดยที่งานประเภทนี้จะประกอบด้วยหน่วยงานย่อยหลาย ๆ หน่วย ที่มีกิจกรรมก่อสร้างที่เหมือนกัน ต้องการทรัพยากรอย่างเดียวกัน ซึ่งทำให้มีการวางแผนการทำงานที่แตกต่างไปจากงานก่อสร้างทั่วไป งานวิจัยนี้ได้พัฒนาความสัมพันธ์ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนและแผนการทำงานของงานก่อสร้างประเภทนี้ตามรูปแบบการวางแผนที่ใช้ โดยจากเก็บข้อมูลภาคสนามพบว่าแผนการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ การทำงานแบบขนาน และการทำงานแบบอนุกรม อีกทั้งในงานวิจัยนี้ได้ค้นพบข้อผิดพลาดของความสัมพันธ์ในการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานที่มีอยู่เดิม ในกรณีที่ระยะเวลาการทำงานของกิจกรรมที่ทำการประเมินมีค่ามากกว่าระยะเวลาการทำงานตามแผน ท้ายสุดได้นำเสนอตัวอย่างการประเมินสถานการณ์ด้านค่าใช้จ่ายและแผนการก่อสร้างโดยใช้โครงการก่อสร้างถนนเป็นโครงการตัวอย่าง

Development of Project Control Systems for Multi-Unit Projects with Repeating Activities

Abstract

In the past decades, Project Control System has been widely used by many construction companies. This tool helps engineers evaluate project performance in terms of construction cost variances and schedule variances by comparing actual cost incurred and current project progress to those planned. However, some types of construction projects have special characteristics in that they are composed of multiple units with identical sets of construction activities that require identical resources. Therefore, this kind of projects has different patterns of construction schedules. In this research, mathematical models that calculate cost variances and schedule variances for multi-unit projects with repeating construction activities are developed for different patterns of construction schedules. Based on data collected from field, in this research, two patterns of construction schedules are introduced: parallel construction pattern and series construction pattern. In addition, this report explains a new finding of a pitfall in using ordinary mathematical relationships to calculate schedule variances when the work duration since schedules start date is greater than the budgeted duration. At the end, an example of cost variance and schedule variance calculations of a road construction project is illustrated.

รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การพัฒนาระบบควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วย
หน่วยงานย่อยที่เหมือนกันหลาย ๆ หน่วย

Development of Project Control Systems for Multi-Unit Projects with Repeating Activities

สรุปย่อ

การควบคุมราคาและระยะเวลาก่อสร้างรวมทั้งการประเมินความก้าวหน้าของโครงการโดยทั่วไป ผู้รับเหมาสามารถนำระบบควบคุมโครงการก่อสร้าง (Project Control System) มาใช้เพื่อประเมินสถานการณ์การทำงาน ทั้งด้านค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยการเปรียบเทียบการทำงานที่เกิดขึ้นจริงกับแผนการทำงาน (Schedule) ที่วางไว้ว่าเกิดความล่าช้า หรือเร็วกว่าแผนอย่างไร และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (Actual Cost) ว่าสูงกว่าหรือต่ำกว่างบประมาณ (Budget) ที่วางไว้หรือไม่

โครงการวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาถึงการนำหลักการของระบบควบคุมโครงการก่อสร้างมาใช้กับโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะแตกต่างไปจากการก่อสร้างทั่วไป โดยจะศึกษาโครงการก่อสร้างที่ประกอบด้วยการทำงานที่ซ้ำ ๆ กัน ตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จโครงการ อย่างเช่น งานถนน งานท่อ ขุดอุโมงค์ การก่อสร้างบ้านจัดสรร โครงการประเภทนี้จะแตกต่างไปจากโครงการก่อสร้างโดยทั่วไป แต่ละกิโลเมตรของการสร้างถนน การวางท่อ และ งานสร้างอุโมงค์ หรือ โครงการก่อสร้างบ้านบางโครงการ ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่เหมือนกัน ต้องการวัสดุอุปกรณ์ที่เหมือนกัน คนงานก่อสร้างประเภทเดียวกัน ปริมาณงานที่ทำในแต่ละช่วงเวลาของโครงการจะค่อนข้างเสมอกันต่อเนื่องกัน ดังนั้นถ้ามีเหตุการณ์ที่ทำให้ราคาวัสดุ ค่าแรงคนงาน หรือประสิทธิภาพในการทำงานเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อทั้งโครงการ จะเห็นได้ว่าลักษณะของโครงการก่อสร้างดังกล่าวแตกต่างจากงานก่อสร้างโดยทั่วไป และในปัจจุบันยังไม่มีระบบการควบคุมงานก่อสร้างที่เหมาะสมกับการลักษณะพิเศษดังกล่าว

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การศึกษาวิธีการก่อสร้างและเก็บข้อมูลแผนการทำงานในสนามเพื่อให้เกิดความเข้าใจในแผนการทำงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และ 2) การพัฒนาระบบการควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยที่ซ้ำ ๆ กัน

ในส่วนของการศึกษาวิธีการก่อสร้างและเก็บข้อมูลแผนการทำงานในสนาม ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลโครงการก่อสร้างถนนไว้หลายโครงการ โดยพบว่าโครงการส่วนใหญ่มีรูปแบบของแผนการก่อสร้างแบบอนุกรม ซึ่งกลุ่มคนงานจะถูกแบ่งตามงานก่อสร้างแต่ละชั้นของถนน และงานโครงสร้างถนนที่เกิดจากงานย่อย (งานดิน งานลูกรัง งานหินคลุก และงานผิวทาง) ที่ซ้ำ ๆ กันนี้คิดเป็นร้อยละ 60-70 ของมูลค่า

โครงการ ส่วนงานก่อสร้างบ้านจัดสรรมีรูปแบบการวางแผนทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน ขึ้นอยู่กับรูปแบบบ้าน ระบบการจ้างงานผู้รับเหมา และระบบการจัดการอื่นๆ

ในส่วนของการพัฒนาระบบการควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยที่ซ้ำๆกัน ผู้วิจัยได้พัฒนาความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนค่าก่อสร้างของกิจกรรมก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยหลายๆ งาน สำหรับวิธีการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนค่าก่อสร้างซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการก่อสร้าง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยแบ่งรูปแบบของแผนการก่อสร้างออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แผนการก่อสร้างแบบขนาน และแผนการก่อสร้างแบบอนุกรม และได้พัฒนาความสัมพันธ์ที่สามารถใช้ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนค่าก่อสร้างของทั้งสองรูปแบบ นอกจากนั้นจากการวิจัยครั้งนี้ได้พบข้อผิดพลาดของการคำนวณหาความคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ระยะเวลาการทำงานจริงของกิจกรรมที่ทำการประเมินนานกว่าระยะเวลาการทำงานตามแผน และท้ายสุดได้นำเสนอตัวอย่างการนำผลการวิจัยไปใช้ในการประเมินสถานการณ์โครงการก่อสร้าง โดยมีโครงการก่อสร้างถนนเป็นตัวอย่าง

ในส่วนของการเผยแพร่ผลงานวิจัย ผู้วิจัยได้นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนค่าก่อสร้างของกิจกรรมก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยหลายๆ งาน ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จำนวน 2 บทความ

โครงการ: การพัฒนาระบบควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วย หน่วยงานย่อยที่เหมือนกันหลาย ๆ หน่วย

Development of Project Control Systems for Multi-Unit Projects with Repeating Activities

ในโครงการก่อสร้างส่วนใหญ่ต้นทุนและเวลา เป็นกุญแจสำคัญที่ต้องพิจารณาตรวจสอบและติดตามอย่างใกล้ชิดจากผู้รับเหมา เนื่องจากทั้งสองปัจจัยเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อกำไรของผู้รับเหมา โดยระหว่างการก่อสร้างผู้รับเหมาควรต้องมีการควบคุมให้ต้นทุนการก่อสร้างต่ำกว่างบประมาณที่วางไว้ และความก้าวหน้าของโครงการต้องดำเนินไปตามแผนที่วางไว้ โดยทั่วไปแล้วสัญญาก่อสร้างแบบราคาเหมาเบ็ดเสร็จ ผู้รับเหมาจะเป็นผู้แบกรับความเสี่ยงทางการเงินทั้งหมด อย่างไรก็ตามในบางชนิดของสัญญาก่อสร้างเช่น แบบราคาต่อหน่วย (Unit Price Contract) และแบบต้นทุนใช้คืนทั้งหมด (Cost Reimbursable Contract) เจ้าของงานจะมีส่วนในการแบ่งรับความเสี่ยง และร่วมรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนของโครงการด้วย

ไม่เพียงแต่ชนิดของสัญญาก่อสร้างเท่านั้น ประสิทธิภาพของเจ้าของงานและผู้รับเหมาส่งผลโดยตรงต่อการเบี่ยงเบนของต้นทุนและแผนงาน อย่างไรก็ตามผลประโยชน์หรือความเสียหายในเรื่องของระยะเวลาการก่อสร้างที่เบี่ยงเบนไปอาจจะมีความแตกต่างที่มากน้อยแตกต่างกันระหว่างเจ้าของงานและผู้รับเหมา ในมุมมองของเจ้าของงาน ความเบี่ยงเบนของแผนงานที่วางไว้อาจนำไปสู่ความเสียหายในเชิงธุรกิจที่อาจจะต้องล่าช้าออกไป ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการสร้างรายได้หรือกำไร แต่ในมุมมองของผู้รับเหมาถ้าหากทำงานได้เร็วขึ้นกว่าแผนที่วางไว้ อาจจะทำให้มีโอกาสได้รับโบนัสหรือเงินเพิ่มพิเศษจากเจ้าของงานหรือได้ผลประโยชน์ในเชิงธุรกิจอื่นๆ เช่น สามารถเริ่มต้นโครงการต่อไปได้เร็วขึ้น เป็นต้น ในทางกลับกันถ้าโครงการเสร็จล่าช้ากว่าแผนที่วางไว้ ผู้รับเหมาจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าปรับได้

ในการควบคุมราคาและระยะเวลาก่อสร้างรวมทั้งการประเมินความก้าวหน้าของโครงการ โดยทั่วไปผู้รับเหมาสามารถนำระบบควบคุมโครงการก่อสร้าง (Project Control System) มาใช้เพื่อประเมินสถานการณ์การทำงาน ทั้งด้านค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยการเปรียบเทียบการทำงานที่เกิดขึ้นจริงกับแผนการทำงาน (Schedule) ที่วางไว้ว่าเกิดความล่าช้า หรือเร็วกว่าแผนอย่างไร และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (Actual Cost) ว่าสูงกว่าหรือต่ำกว่างบประมาณ (Budget) ที่วางไว้หรือไม่

ตามหลักการของระบบควบคุมโครงการก่อสร้าง ผู้รับเหมาสามารถตรวจวัดสถานการณ์การดำเนินงานก่อสร้างได้จากหลายดัชนี โดยดัชนีดังกล่าวจะบ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างการทำงานจริงกับแผนที่วางไว้ ในระหว่างการก่อสร้างผู้รับเหมาสามารถประเมินสถานการณ์เกี่ยวกับต้นทุนการก่อสร้างจากค่าความแตกต่างระหว่างมูลค่างานที่ทำเสร็จกับค่าใช้จ่ายจริงที่เกิดขึ้น สำหรับความก้าวหน้าโครงการ

ผู้รับเหมาสามารถประเมินจากการเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างปริมาณงานที่ทำได้ทำและปริมาณงานที่ควรทำได้ตามแผน ณ เวลานั้น ๆ

เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมโครงการที่ใช้อย่างแพร่หลายคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่างานสะสมที่ควรทำได้และระยะเวลาโครงการ หรือ รู้จักในนามของ S-curve ซึ่งมูลค่างานสะสมหาได้จากผลรวมของมูลค่างานที่ควรทำได้ในแต่ละวันตั้งแต่เริ่มโครงการ ซึ่งมูลค่าของงานที่ควรทำได้ในแต่ละวันคืองบประมาณของกิจกรรมย่อยตามแผนที่วางไว้ ซึ่งค่าที่ได้เกิดจากการประมาณราคา ระหว่างการก่อสร้างผู้รับเหมาหรือเจ้าของโครงการสามารถเปรียบเทียบมูลค่างานสะสมดังกล่าวนี้กับค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เริ่มโครงการ เพื่อดูว่าใช้จ่ายเกินหรือน้อยกว่างบประมาณที่วางไว้มากน้อยเท่าใด และสามารถเปรียบเทียบมูลค่างานสะสมตามแผนที่วางไว้กับมูลค่างานที่ทำได้จริง เพื่อดูว่าการทำงานช้าหรือเร็วกว่าแผนที่วางไว้

การควบคุมระยะเวลาการก่อสร้างอาจทำได้สองแบบ แบบแรกเป็นการเปรียบเทียบมูลค่าจากการประมาณราคาของงานที่วางแผนไว้ว่าจะแล้วเสร็จ ณ วันใด ๆ เทียบกับ มูลค่าจากการประมาณราคาของงานที่ทำได้จริง ณ วันนั้น หน่วยเปรียบเทียบจะอยู่ในรูปของจำนวนเงิน แบบที่สองเป็นการหาว่าโครงการที่ทำอยู่ได้ล่าช้าหรือเร็วกว่าที่กำหนดไว้ ซึ่งหน่วยจะอยู่ในรูปของจำนวนวัน

จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะเป็นมูลค่างานสะสมที่ควรทำ ค่าใช้จ่ายจริงที่เกิดขึ้น และมูลค่างานที่ทำได้จริงมีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับรูปแบบการทำงาน การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของทั้งค่าใช้จ่ายและแผนการทำงานของระบบควบคุมโครงการที่มีอยู่นั้นถูกพัฒนาจากพื้นฐานการวางแผนสำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไป ซึ่งประยุกต์ใช้ได้ดีกับโครงการที่วางแผนโดยใช้วิธีวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis) เช่น CPM เป็นต้น

โครงการก่อสร้างบางโครงการที่มีการทำงานที่ซ้ำ ๆ กัน ของกิจกรรมก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างถนน งานก่อสร้างบ้านจัดสรร งานวางท่อ ต้องการวิธีการวางแผนที่แตกต่างจากงานก่อสร้างโดยทั่วไป ตรงที่ การวางแผนโครงการในลักษณะนี้ความต่อเนื่องของการใช้ทรัพยากรมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากแผนการทำงานมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงาน และ ต้นทุนค่าก่อสร้าง รูปแบบการทำงานโครงการลักษณะนี้จึงมีความแตกต่างจากระบบการทำงานของโครงการก่อสร้างโดยทั่วไปและมีวิธีการวางแผนที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาถึงการนำหลักการของระบบควบคุมโครงการก่อสร้างมาใช้กับโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะแตกต่างไปจากการก่อสร้างทั่วไป โดยจะศึกษาโครงการก่อสร้างที่ประกอบ ด้วยการทำงานที่ซ้ำ ๆ กัน ตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จโครงการ อย่างเช่น งานถนน งานท่อ ขุดอุโมงค์ โครงการประเภทนี้จะแตกต่างไปจากโครงการก่อสร้างอาคาร แต่ละกิโลเมตรของการสร้างถนน การวางท่อ และ งานสร้างอุโมงค์ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่เหมือนกัน ต้องการวัสดุอุปกรณ์ที่เหมือนกัน คนงานก่อสร้างประเภท

เดียวกัน ปริมาณงานที่ทำในแต่ละช่วงเวลาของโครงการจะค่อนข้างเสมอตันเสมอปลาย ดังนั้นถ้ามีเหตุการณ์ที่ทำให้ราคาวัสดุ ค่าแรงคนงาน หรือประสิทธิภาพในการทำงานเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อเนื่องทั้งโครงการ จะเห็นได้ว่าลักษณะของโครงการก่อสร้างดังกล่าวแตกต่างจากงานก่อสร้างโดยทั่วไป และในปัจจุบันยังไม่มีระบบการควบคุมงานก่อสร้างที่เหมาะสมกับการลักษณะพิเศษดังกล่าว

การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานวิจัย แผนการทำงานแบ่งเป็น

ส่วนที่ 1 การศึกษาวิธีการก่อสร้างและเก็บข้อมูลแผนการทำงานในสนาม

ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบการควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยที่ซ้ำๆ กัน

ส่วนที่ 1 การศึกษาวิธีการก่อสร้างและเก็บข้อมูลแผนการทำงานในสนาม

1.1 การศึกษาข้อมูลการก่อสร้างถนน

ส่วนประกอบหลักของโครงสร้างถนนประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้คือ

1. ชั้นคันทาง (Embankment)
2. ชั้นรองพื้นทาง (Sub-base)
3. ชั้นพื้นทาง (Base)
4. ชั้นผิวทาง (Pavement)

1.1.1 ชั้นคันทาง (Embankment)

ชั้นคันทางเป็นชั้นที่สร้างสำหรับรองรับชั้นรองพื้นทาง และสร้างอยู่บนชั้นดินเดิมที่ทำการบดอัดแน่นดีแล้ว วัสดุที่ใช้จะเป็นพวกดินถมคันทาง ททรายถมคันทาง และหินถมคันทาง

ดินถมคันทาง จะต้องใช้ดินที่มีความแน่นแห้งไม่น้อยกว่า 1,440 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการราดน้ำลงบนพื้นทางให้เปียกชื้นสม่ำเสมอ แล้วทำการเกลี่ยและบดทับ การบดอัดในแต่ละชั้นจะต้องไม่หนาเกิน 15 cm จนกระทั่งได้ความหนาตามกำหนด

ทรายถมคันทาง เริ่มจากการถมทราย เกลี่ย และบดทับ ถ้าทำการก่อสร้างแบบ preload ให้ทำการถมทรายคันทางเป็นชั้น ๆ หนาไม่เกินชั้นละ 20 cm จนได้ระดับ preload elevation แล้วปล่อยให้ระยะเวลาที่กำหนด จึงทำการขุดดินส่วนเกินออก และทำการบดทับและปรับแต่งให้ได้ตามรูปแบบ

หินถมคันทาง หินที่จะนำมาใช้เป็นหินถมคันทาง จะต้องเป็นหินคละกันจากขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็ก และไม่มีสิ่งเจือปน ชั้นล่างสุดจะต้องใช้วัสดุขนาดไม่เกิน 750mm การก่อสร้างแต่ละชั้นต้องหนาไม่เกิน 1 เมตร การก่อสร้างชั้นบนจะต้องใช้วัสดุขนาดโตสุดไม่เกิน 100mm การก่อสร้างแต่ละชั้นต้องหนาไม่เกิน 100mm การก่อสร้างชั้นบนสุดจะต้องใช้วัสดุขนาดโตสุดไม่เกิน 50mm แต่ละชั้นต้องหนาไม่เกิน 150mm

1.1.2 ชั้นรองพื้นทาง (Sub-base)

ชั้นรองพื้นทางเป็นชั้นที่สร้างสำหรับรองรับชั้นพื้นทางแบบต่างๆ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสำหรับถนนคอนกรีตจะเป็นวัสดุมวลรวม สำหรับถนนลาดยางแอสฟัลต์อาจเป็นวัสดุมวลรวม ดินซีเมนต์ วัสดุคัดเลือก ก และวัสดุคัดเลือก ข

ชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม การก่อสร้างเริ่มจากการราดน้ำบริเวณก่อสร้างในชุ่มชื้น ทำการถม

เกลี่ย คลุมเคล้า ผสมน้ำเพิ่ม จนส่วนผสมคละกัณฑ์ และได้ความชื้นที่เหมาะสม ทำการบดทับทันทีให้ได้ความแน่นและความหนา ระดับตามข้อกำหนด

ชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Sub-base) เริ่มจากการผสมดินซีเมนต์ให้เข้ากัน ปูและบดทับให้แน่นทันที โดยภายใน 15 นาทีให้ทำการบดทับให้ได้มากที่สุด ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนบดทับเสร็จไม่ควรใช้เวลาเกิน 2 ชั่วโมง ทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าติดต่อกันในช่วง 3 วันแรกหลังการบดทับ

ชั้นรองพื้นทางวัสดุคัดเลือก ก. ต้องมีขนาดโตสุดไม่เกิน 50mm และส่วนผสมที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075mm (#200) ไม่เกินร้อยละ 30 มีค่า Liquid Limit ไม่เกินร้อยละ 40 ค่า Plasticity Index ไม่เกินร้อยละ 20 ค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10

ชั้นรองพื้นทางวัสดุคัดเลือก ข. วัสดุมวลรวม (Soil aggregate) หรือทรายคุณสมบัติของวัสดุต้องมีขนาดโตสุดไม่เกิน 50mm และ ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075mm (#200) ไม่เกินร้อยละ 35 มีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 6

การก่อสร้างเริ่มจากการราดน้ำลงบนพื้นคันทาง ถมและเกลี่ยให้ได้ตามรูปแบบที่กำหนดและบดทับให้แน่น การก่อสร้างแต่ละชั้นต้องหนาไม่เกิน 150mm

1.1.3 ชั้นพื้นทาง (Base)

ชั้นพื้นทางคือ ชั้นที่ทำหน้าที่รองรับชั้นผิวทางของถนน สำหรับถนนคอนกรีตวัสดุที่ใช้จะเป็นทราย หินคลุก กรวดโม แต่สำหรับถนนลาดยางแอสฟัลต์ วัสดุที่ใช้เป็นพวกหินคลุก หินคลุกผสมซีเมนต์หรือดินซีเมนต์

พื้นทางทราย ต้องเป็นวัสดุที่มีเม็ดแข็ง ทนทาน สะอาด ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) หน้าดิน (Top Soil) วัชพืช มีขนาดคละดี ขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 9.5mm มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075mm ไม่เกินร้อยละ 10 การก่อสร้างเริ่มจากการราดน้ำให้ชุ่มชื้นสม่ำเสมอ ทำการปู เกลี่ยและเพิ่มน้ำจนมีปริมาณที่พอเหมาะ ทำการบดทับ

พื้นทางหินคลุก ลักษณะเป็นหินโมมวลรวม ซึ่งมีขนาดคละกัณฑ์อย่างสม่ำเสมอ จากใหญ่ไปเล็ก การก่อสร้างเริ่มจากการราดน้ำชั้นรองพื้นทางให้เปียกชื้นสม่ำเสมอ ทำการปูหินคลุก เกลี่ย เพิ่มน้ำให้มีปริมาณความชื้นที่พอเหมาะ บดทับทันทีด้วยรถบดล้อยาง โดยทำการบดทับเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นต้องหนาไม่เกิน 150mm เมื่อจะทำชั้นถัดไปให้พ่นน้ำบริเวณผิวหน้าก่อนทำการปูชั้นถัดไป

พื้นทางกรวดโม ใช้กรวดโมมวลรวมที่มีขนาดคละกัณฑ์อย่างสม่ำเสมอ ทำการก่อสร้างโดยการราดน้ำที่ชั้นรองพื้นทางให้เปียกชื้นสม่ำเสมอ ทำการปู เกลี่ยและผสมน้ำเพิ่มให้ปริมาณความชื้นที่พอเหมาะ บดทับทันทีด้วยรถบดล้อยาง โดยการบดทับเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นต้องหนาไม่เกิน 150mm เมื่อจะทำชั้นถัดไปให้พ่นน้ำบริเวณผิวหน้าก่อนทำการปูชั้นถัดไป

พื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) คือหินคลุกผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ การก่อสร้างทำได้โดยการผสมหินคลุกกับซีเมนต์ และน้ำให้เข้ากัน และทำการขนย้ายมาปูชั้นพื้นทาง ทำการบดทับทันทีโดยใช้เวลาไม่เกิน 2 เดือน ทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกในช่วง 3 วันแรกติดต่อกันเพื่อเป็นการบ่ม

พื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) ดินซีเมนต์มีส่วนผสมคือ ดิน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำ การก่อสร้างเริ่มจากการผสมดิน ปูนซีเมนต์และน้ำ ให้เข้ากัน และทำการขนย้ายมาปูและทำการบดทับทันที โดยใช้เวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง ทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกในช่วง 3 วันแรกติดต่อกันเพื่อทำการบ่ม

1.1.4 ชั้นผิวทาง (Pavement)

ชั้นผิวทาง คือชั้นทางบนสุดที่รองรับยานพาหนะ จะต้องมีความเรียบ คงทน ปลอดภัยต่อการสัญจรของผู้ใช้ขีดยาน ซึ่งจะถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นพื้นทาง หรือรองพื้นทางสำหรับถนนคอนกรีต ผิวจราจรแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผิวจราจรแบบคงรูป (Rigid Pavement) และผิวจราจรแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement)

1.1.4.1 การก่อสร้างชั้นผิวทางแบบคงรูป

ก. ผิวถนนคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก (Unreinforced Concrete Pavement) เป็นถนนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว และเหล็กเดือย มีเฉพาะเหล็กยึด (tied bar) เพื่อป้องกันการแยกตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- ตั้งแบบเหล็กหลังจากที่ได้ดำเนินการบดทับชั้นรองพื้นทางแล้ว
- ปรับแต่งชั้นรองพื้นทางและแผ่นพลาสติกตามบริเวณรอยต่อของแผ่นพื้นถนน
- เทคอนกรีตที่มีค่าความยุบตัว 3-5 cm ใช้เครื่องเกลี่ยเพื่อปรับระดับ และเครื่องสั่นสะเทือนทำให้คอนกรีตแน่นตัว
- ปรับแต่งผิวหน้าให้เรียบ และทำการกวาดผิวถนนด้วยไม้กวาด โดยทำการกวาดให้แล้วเสร็จก่อนการแข็งตัวของคอนกรีต
- บ่มคอนกรีตโดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 72 ชั่วโมง
- ตัดรอยต่อของแผ่นผิวถนน หลังจากเทคอนกรีตแล้วเสร็จในระยะเวลา 4-24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ทล. – ม 409/2530

ข. ผิวถนนคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ต่อเนื่อง (Simply Reinforced Concrete Pavement) เป็นถนนที่มีเหล็กเสริมกันร้าวในแผ่นพื้นคอนกรีต และมีเหล็กเดือยเพื่อถ้ายน้ำหนัก

ขั้นตอนการก่อสร้าง

- ตั้งแบบเหล็กหลังจากที่ได้ดำเนินการบดทับชั้นรองพื้นทางแล้ว
- ปรับแต่งชั้นรองพื้นทางและแผ่นพลาสติกตามบริเวณรอยต่อของแผ่นพื้นถนน
- ถ้าเทคอนกรีตแบบชั้นเดียว ทำการวางเหล็กเสริมและใช้ลูกปูนหนุนให้มันคง

ในกรณีเทคอนกรีตแบบสองชั้น ให้ทำการเทคอนกรีตชั้นแรกก่อน แล้วใช้เครื่องสั่น สะเทือนเพื่อให้คอนกรีตแน่นตัวก่อนทำการวางเหล็กเสริม ต่อจากนั้นให้ทำการเทคอนกรีตชั้นที่สอง ใช้เครื่องสั่นสะเทือนให้คอนกรีตแน่นตัว

- ปรับแต่งผิวหน้าให้เรียบ และทำการกวาดผิวถนนด้วยไม้กวาด โดยทำการกวาดให้แล้วเสร็จก่อนการแข็งตัวของคอนกรีต
- บ่มคอนกรีตโดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 72 ชั่วโมง

ค. ผิวถนนคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่อง (Continuously Reinforced Concrete Pavement) เป็นถนนที่มีเหล็กเสริมในแผ่นพื้นคอนกรีตคอนข้างสูง (ประมาณ 0.6% ของพื้นที่หน้าตัดตามขวาง) มีรอยต่อตามยาว รอยต่อเพื่อการก่อสร้าง และรอยต่อเพื่อการขยายตัวตามขวาง

ขั้นตอนการก่อสร้างเหมือนกับการก่อสร้างผิวถนนคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ต่อเนื่อง

1.1.4.2 การก่อสร้างชั้นผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement)

การก่อสร้างชั้นผิวทางแบบยืดหยุ่น แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มคือ ผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ (Surface Treatment) ผิวทางแบบพินิเทรชันแมคคาดีม ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต (Porous Asphalt Concrete) และผิวทางแบบปรับปรุงพิเศษ (Modified Asphalt Concrete) โดยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวทางที่พบมากที่สุดในประเทศไทยและสามารถรับน้ำหนักได้มาก

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต คือผิวทางที่ก่อสร้างโดยใช้วัสดุมวลรวม โดยการผสมร้อนกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ตามอัตราส่วนและอุณหภูมิที่กำหนด ณ โรงงานผสม แล้วจึงนำมาปูบนชั้นทางที่เตรียมไว้ ขั้นตอนการทำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเริ่มจากการปูวัสดุ ใช้รถบดล้อเหล็กหนัก 8-12 ตัน บดทับ 2-4 เที่ยว ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นใช้หินฝุ่น หรือทรายหยาบแห้งสาดเกลี่ยในอัตรา 2-4 กิโลกรัมต่อตารางเมตร บดทับด้วยรถบดล้อยางขนาด 20 ตัน มีล้ออย่างน้อย 9 ล้อ ด้วยความเร็วไม่เกิน 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประมาณ 6-10 เที่ยว จากนั้นใช้รถบดล้อเหล็กขนาด 8-12 ตัน บดทับแต่งผิวให้เรียบ

1.2 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับแผนการทำงานในสนาม

ตัวอย่างโครงการที่ 1 โครงการก่อสร้างทางสายปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 ตอน บางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ(ส่วนที่ 1)

จุดเริ่มต้นโครงการ	กม.1+019
จุดสิ้นสุดโครงการ	กม.14+144
ระยะทางรวม	13.125 กม.
มาตรฐานทาง	ชั้นพิเศษ 12 ช่องจราจรไปกลับ
สัญญาที่	สท.2/9/2547 ลงวันที่ 22 มิถุนายน 2547
เริ่มต้นโครงการ	8 กรกฎาคม 2547
สิ้นสุดสัญญา	30 กันยายน 2548 (รวม 450 วัน)
ค่างานตามสัญญา	596,516,429 บาท
ออกแบบและควบคุมโดย	สำนักก่อสร้างทางที่ 2 กรมทางหลวง
รูปแบบของสัญญาก่อสร้าง	สัญญาแบบราคาต่อหน่วย (Unit – Price Contracts)

รายการก่อสร้างแบ่งตามกลุ่มออกเป็น 6 กลุ่มหลักดังนี้

1. REMOVAL OF EXISTING STRUCTURES
2. EARTH WORK
3. SUB-BASE AND BASE COURSES
4. SURFACE COURSES
5. STRUCTURES
6. MISCELLANEOUS

โดยบางส่วนของ Earth work (รายการก่อสร้างที่ 2) และทั้งหมดของ Sub-base and base courses และ Surface courses (รายการก่อสร้างที่ 3 และ 4) จะเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างถนนโดยตรงและมีลักษณะตรงกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาค้างนี้ ซึ่งคิดเป็น 64% ของมูลค่างานทั้งหมด

จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ การวัดความก้าวหน้าของการทำงานในส่วนดังกล่าวได้ถูกจำแนกตามชั้นของถนน (Layers) ดังนี้

Sand embankment (งานดิน)

Soil aggregate sub-base (งานลูกรัง)

Crushed soil aggregate type base (งานหินคลุก)

Asphalt bound base 10 cm thick

Asphalt concrete binder course 5 cm. thick

Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick

} งานผิวทาง

การก่อสร้างถนนระยะทาง 13.125 กิโลเมตร ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน รับผิดชอบโดยกลุ่ม
คนงาน 2 กลุ่ม กลุ่มละเท่าๆ กันคือ 6.5 กิโลเมตรทั้งในส่วน of in bound และ out bound ตัวอย่างของ
ปริมาณงานของกลุ่มคนงานแสดงดังรูปที่ 1

OUT BOUND	Distance	1+000	1+500	2+000	2+500	3+000	3+500	4+000	4+500	5+000	5+500	6+000	6+500	7+000	7+500
	Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick														
	Asphalt concrete binder course 5 cm. thick														
	Asphalt bound base 10 cm. thick														
	Crushed Soil aggregate type base														
	Soil aggregate subbase														
	Sand embankment														
IN BOUND	Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick														
	Asphalt concrete binder course 5 cm. thick														
	Asphalt bound base 10 cm. thick														
	Crushed Soil aggregate type base														
	Soil aggregate subbase														
	Sand embankment														
	Distance	1+000	1+500	2+000	2+500	3+000	3+500	4+000	4+500	5+000	5+500	6+000	6+500	7+000	7+500

รูปที่ 1 ปริมาณงานที่รับผิดชอบโดยคนงานหนึ่งกลุ่ม

คนงานแต่ละกลุ่มประกอบด้วย 4 กลุ่มย่อยโดยแต่ละกลุ่มย่อยรับผิดชอบงาน 4 ส่วน เรียง
ตามลำดับการทำงานก่อน-หลังได้ดังนี้

Sand embankment

Soil aggregate sub-base (งานลูกรัง)

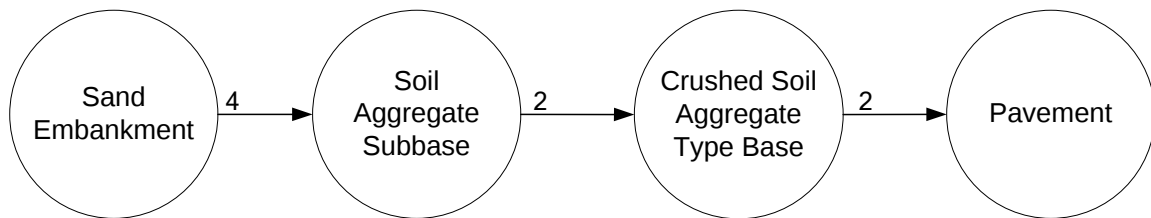
Crushed soil aggregate type base (งานหินคลุก)

Pavement (งานผิวทาง)

หลังจากที่ทำการเปิดพื้นที่และนำเอาขยะและวัสดุไม่พึงประสงค์ออกจากพื้นที่ก่อสร้างแล้วงาน
ถนนจะเริ่มจากการทำ Sand embankment เพื่อเป็นการปรับระดับความสูง (profile) ให้ตรงตามที่ระบุไว้
ในแบบ จากนั้นกลุ่มงานลูกรังจะเข้ามาดำเนินงาน ตามด้วยงานหินคลุก และงานผิวทางตามลำดับ รูปที่ 2
แสดงตัวอย่างสถานการณ์การทำงานระหว่างการก่อสร้าง

Distance	1+000	1+500	2+000	2+500	3+000	3+500	4+000	4+500	5+000	5+500	6+000	6+500	7+000	7+500
Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick														
Asphalt concrete binder course 5 cm. thick														
Asphalt bound base 10 cm. thick														
Crushed Soil aggregate type base														
Soil aggregate subbase														
Sand embankment														

รูปที่ 2 ตัวอย่างสถานการณ์การทำงานของงานก่อสร้างถนนที่การทำงานแบ่งตามชั้นของถนน (Layer)



รูปที่ 3 แผนการทำงานของงานก่อสร้างถนนที่การทำงานแบ่งตามชั้นของถนน (Layer)

งานก่อสร้างถนนเป็นงานก่อสร้างที่ใช้เครื่องจักรหนักเป็นหลัก การทำงานของแต่ละกลุ่มย่อยอาศัยองค์ประกอบหลักๆ ดังนี้ รถแทรกเตอร์ (Tractor) รถขุด (Backhoe) รถบด (Dynapac) รถเกรด (Grader) รถน้ำ และ คนงานจำนวน 4 คน

ความก้าวหน้าของการดำเนินงาน (Percent complete) ของแต่ละงานย่อยจะประเมินจากความยาวของถนนที่งานย่อยนั้นแล้วเสร็จ และความก้าวหน้าของทั้งโครงการคือผลรวมของผลคูณของ % complete และน้ำหนักของงานย่อยนั้นๆ

ตัวอย่างโครงการที่ 2 โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 21 สายพุกแค – อ.พัฒนานิคม – อ.ชัยบาดาล ตอน 1

จุดเริ่มต้นโครงการ	กม.0+000
จุดสิ้นสุดโครงการ	กม.22+000 รวมทางแยกเข้าอ.ท่าลาน (ทางหลวงหมายเลข 3385)
ระยะทางยาว	26.2 กม.
วันเริ่มสัญญา	19 พฤษภาคม 2542
วันสิ้นสุดสัญญา	17 เมษายน 2544
ระยะเวลาการดำเนินงาน	700 วัน

รายการก่อสร้างแบ่งตามกลุ่มออกเป็น 5 กลุ่มดังนี้

Earth work (งานดิน)

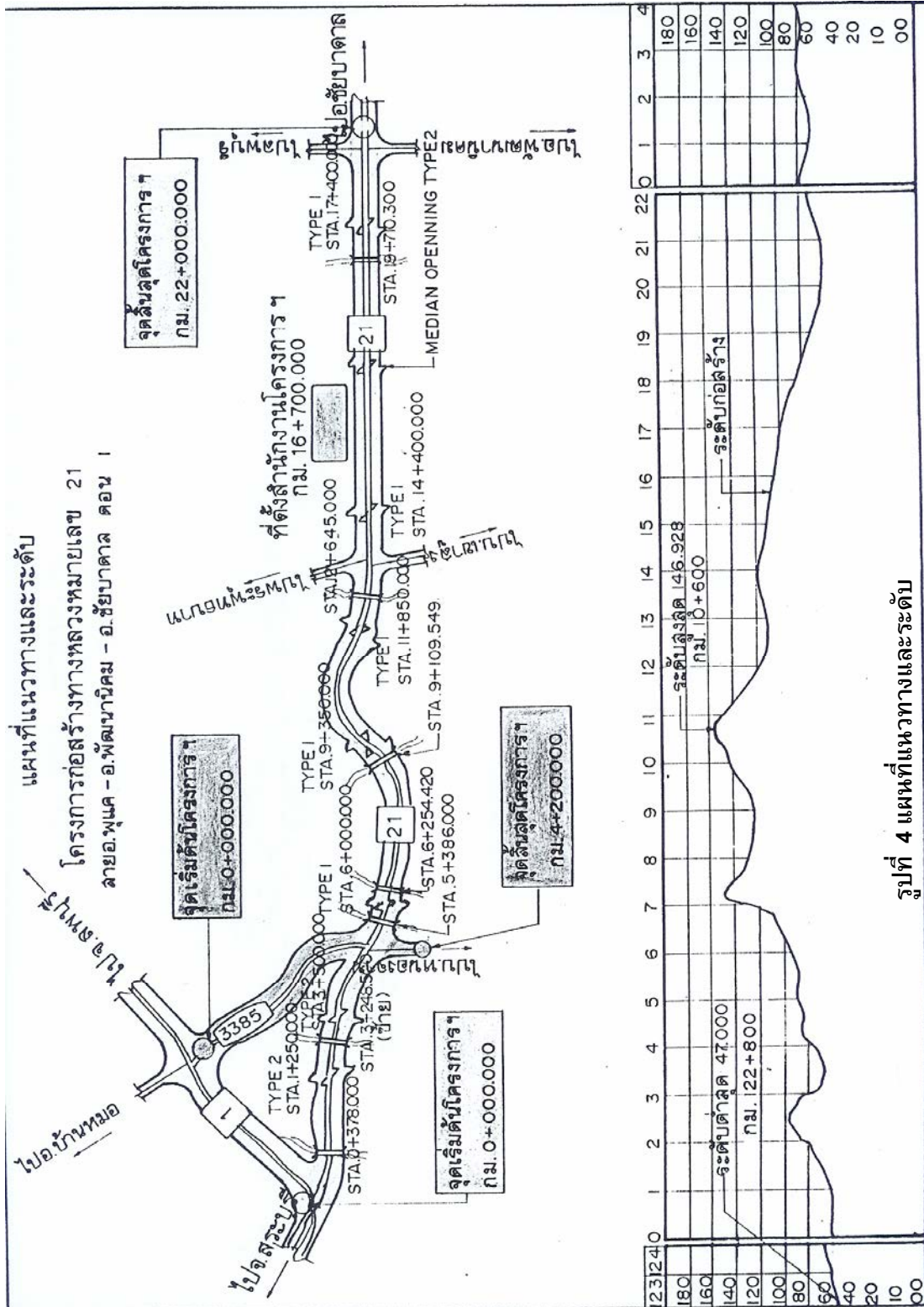
Pavement structure materials (งานพื้นทางและรองพื้นทาง)

Surface course (งานผิวทาง)

Incidentals

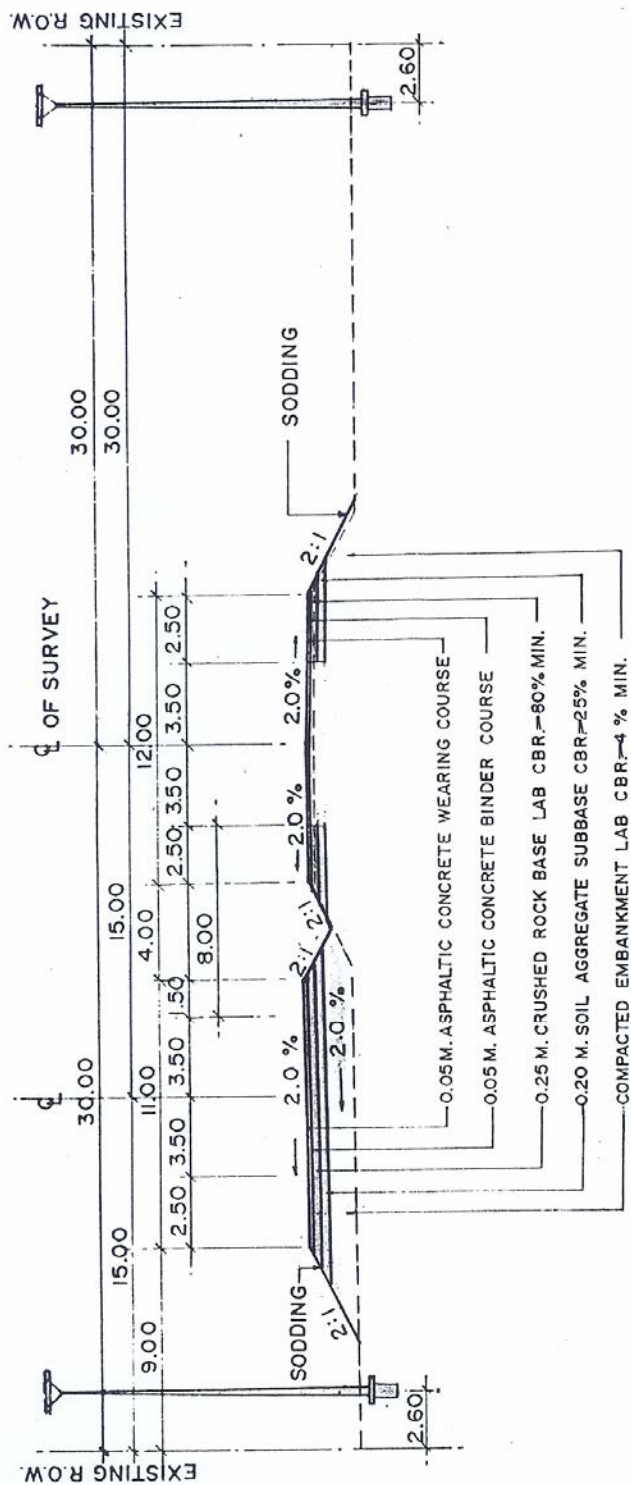
Structures and drainage structure

ลักษณะการก่อสร้างเป็นการก่อสร้างขยายจาก 2 ช่องจราจรเดิม เป็น 4 ช่องจราจร โดยก่อสร้างเป็นผิว ASPHALTIC CONCRETE 2 ชั้นๆ ละ 5 cm. แผนที่แนวทางและระดับแสดงดังรูป



โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 21

ฝ่าย อ.แผนก-อ.พัฒนานิคม-อ.ชัยบาดาล ดอน



STA. 5+800.000 - STA. 7+300.000
 STA. 9+025.000 - STA. 12+300.000
 STA. 14+100.000 - STA. 20+200.000

TYPICAL CROSS SECTION I

รูปที่ 5 รูปตัดถนน

SCALE 1:2500

ผลงานแล้วเสร็จเป็น กม.
โครงการฯ สาย อ.พู่แค - อ.พัฒนานิคม - อ.ชัยบาดาล ตอน 1

		122-000		123-000		124-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	5 CM. A.C. WEARING						
	5 CM. A.C. BINDER						
	TACK COAT						
	PRIME COAT						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	SOIL AGG.						
	EMBANKMENT						
	CLEARING & GRUBBING						
		0-000		1-000		2-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		3-000		4-000		5-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		6-000		7-000		8-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		9-000		10-000		11-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		12-000		13-000		14-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		15-000		16-000		17-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		18-000		19-000		20-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		21-000		22-000		0-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		1-000		2-000		3-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		4-000		5-000		6-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		7-000		8-000		9-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		10-000		11-000		12-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		13-000		14-000		15-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		16-000		17-000		18-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		19-000		20-000		21-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		22-000		0-000		1-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						
		2-000		3-000		4-000	
		LT.	RT.	LT.	RT.	LT.	RT.
งานหน้าตัด	CLEARING & GRUBBING						
	EMBANKMENT						
	SOIL AGG.						
	CRUSHED ROCK SOIL AGG.						
	PRIME COAT						
	TACK COAT						
	5 CM. A.C. BINDER						
	5 CM. A.C. WEARING						

รูปที่ 6 ตารางบันทึกความก้าวหน้าโครงการ

บัญชีสรุปปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นและลดลง
โครงการฯ สาย พุเต - อ.พัฒน์นิคม - อ.ชัยบาดาล ตอน 1

รายการ ที่	รายการ	หน่วย	ราคา ต่อหน่วย	เพิ่มขึ้น		ลดลง		หมายเหตุ
				ปริมาณงาน	ค่าจ้าง	ปริมาณ	ค่าจ้าง	
1.1	CLEARING AND GRUBBING	SQ.M.	0.95	-	-	1,084.210	1,030.00	
1.2	ROADWAY EXCAVATION EARTH	CU.M.	14.70	-	-	80,200.000	978,520.20	UNDER RUN
1.4	ROADWAY EXCAVATION HARD ROCK	CUM.	98.00	-	-	100.000	9,800.00	
1.7	EMBANKMENT LAB CBR. 4% MIN	CUM.	68.60	-	-	27,000.000	1,852,200.00	
1.8	FILL UNDER SIDEWALK	CU.M.	98.00	1,800.000	176,400.00	-	-	สัญญาแก้ไขเพิ่มเติม ฉบับที่ 2
1.9	EARTH FILL IN ISLAND & MEDIAN	CU.M.	68.60	-	-	4,520.000	310,072.00	
2.1	SOIL AGGREGATE SUBBASE	CU.M.	137.20	-	-	21,700.000	2,977,240.00	
2.2	CRUSHED ROCK SOIL AGGREGATE TYPE BASE	CU.M.	264.60	-	-	25,000.000	6,615,000.00	
2.3	SOIL AGGREGATE SHOULDER AND TEMPORARY SURFACE FOR CONNECTION ROAD	CU.M.	147.00	-	-	2,050.000	301,350.00	รายการยกเลิก
3.9	5 CM. ASPHALTIC CONCRETE BINDER COURSE	SQ.M.	70.55	48,000.000	3,386,400.00	-	-	
3.10	5 CM. ASPHALTIC CONCRETE WEARING COURSE	SQ.M.	70.55	-	-	8,000.000	564,400.00	
3.12	4 CM. ASPHALTIC CONCRETE WEARING COURSE	SQ.M.	58.80	-	-	38,150.000	1,861,872.60	UNDER RUN
3.14	PRIME COAT	SQ.M.	10.75	-	-	80,400.000	864,300.00	
3.15	TACK COAT	SQ.M.	3.90	134,120.000	523,068.00	-	-	
4.1	BLOCK SODDING (NUAL - NOI)	SQ.M.	19.60	-	-	4,500.000	88,200.00	
4.3	REINFORCED CONCRETE SLOPE PROTECTION FOR BRIDGE	SQ.M.	294.00	-	-	2,700.000	658,854.00	UNDER RUN
4.8	RETAINING WALL TYPE I สูง 1.01 - 2.00 M.	M	392.00	-	-	200.000	78,400.00	รายการยกเลิก
4.16	TRAFFIC SIGN PLATE AND FRAME (ENGINEERING GRADE)	SQ.M.	2,450.00	200.000	425,075.00	-	-	OVER RUN
								28

รูปที่ 7 ตารางบัญชีสรุปปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นและลดลง

ผลการสัมภาษณ์ผู้รับเหมา

1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. รุ่งเรืองคอนกรีต

การก่อสร้างถนนของห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. รุ่งเรืองคอนกรีต จะใช้ทรัพยากรดังนี้

- a. ทีมสำรวจประกอบ ช่างสำรวจ 1 คน และคนงานจำนวน 3 คน
- b. เครื่องจักรหนักประกอบ ชูตรถบด เกรดเดอร์ รถบดล้อยาง รถบดสันสะท้อน รถพ่นน้ำ
- c. คนงานต่อ 1 ชุดเครื่องจักรประกอบด้วย โฟร์แมน 1 คน ผู้ประสานงาน 5 คน คนงาน 5 คน

สำหรับการดำเนินงานก่อสร้าง ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. รุ่งเรืองคอนกรีตให้ข้อมูลปริมาณงานที่ทำได้ในหนึ่งวัน (8 ชั่วโมง)ดังนี้

งานดิน ทำได้ประมาณ 500 m^3 อัดแน่น

งานลูกรัง ทำได้ประมาณ 400 m^3 อัดแน่น

งานหินคลุก ทำได้ประมาณ 400 m^3 อัดแน่น

งานผิวทาง ขึ้นกับชนิดของผิวทาง

ผิวทางแอสฟัลต์

Prime coat ทำได้ประมาณ $4,000 \text{ m}^2$

Cape seal ทำได้ประมาณ $2,500 \text{ m}^2$

Asphaltic 60-80 pen ทำได้ประมาณ 450 ตัน

ผิวทางคอนกรีต ทำได้ประมาณ 350 m^2 ต่อวัน โดยทีมก่อสร้างจะประกอบด้วยคนงาน 5 คน โฟร์แมน 1 คน และคนควบคุมเครื่องจักรประมาณ 5 คน

2. บริษัท แอปซิลอน จำกัด

จากการสัมภาษณ์วิศวกรโครงการของบริษัท แอปซิลอน จำกัด พบว่า

งานเคลียร์พื้นที่ก่อสร้าง สามารถทำได้ที่อัตรา 200 เมตรต่อสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่เดิม

การลงพื้นที่ทราย อยู่ในอัตรา $4,000 \text{ m}^2$ ต่อวัน โดยจะใช้รถดั้มพ์ 1 คัน รถเกรด 1 คัน รถบดล้อยาง 1 คัน รถบดล้อเหล็ก 1 คัน และใช้เวลาของการ preload ประมาณ 6 เดือน

งานลูกรัง ทำได้ประมาณ 500 m^3 อัดแน่น

งานหินคลุก ทำได้ประมาณ 500 m^3 อัดแน่น

งานผิวทาง ขึ้นกับชนิดของผิวทาง

ผิวทางแอสฟัลต์สามารถทำได้ 1 กิโลเมตรช่องจราจร ต่อวัน ใช้คนงานประมาณ 10 คน ซึ่งเมื่อทำการก่อสร้างเสร็จสามารถเปิดใช้ได้ทันที

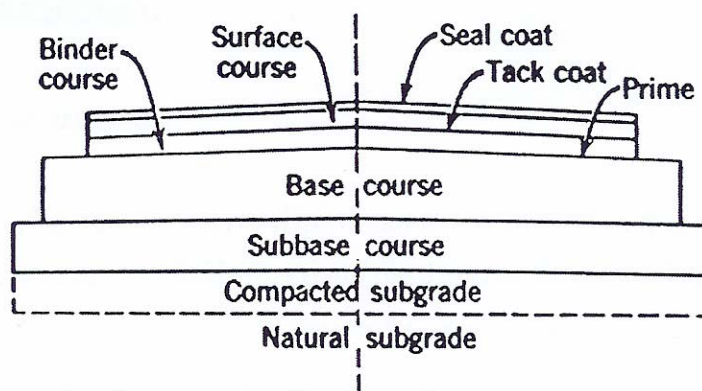
ผิวทางคอนกรีต ทำได้ประมาณ 100-150 เมตร 1 ช่องจราจรต่อวัน ซึ่งหลังจากนั้นต้องใช้เวลาในการบ่ม 14 วัน ใช้คนงาน 30 คน

ลักษณะการทำงานจะเป็นชั้นๆ จากพื้นทาง งานลูกรัง งานหินคลุก และงานผิวทาง ตามลำดับ ลักษณะสัญญาเป็น Unit price ซึ่งจะทำให้การชำระให้แก่ผู้รับเหมาทุกเดือนตามปริมาณงานที่เสร็จ

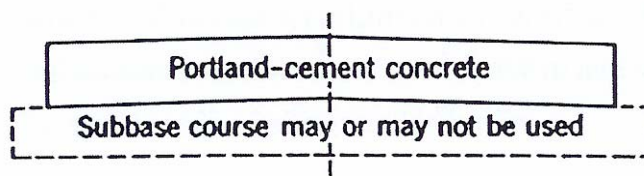
ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบการควบคุมโครงการสำหรับงานก่อสร้างที่ประกอบ ด้วยงานย่อยที่ซ้ำ ๆ กัน

ปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาระบบการควบคุมงานก่อสร้าง คือผู้วิจัยจะต้องทำความเข้าใจในแผนการทำงานของโครงการนั้นๆ ลักษณะของงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยหน่วยงานที่ซ้ำๆ กันนั้นคือ การทำงานก่อสร้างหรือส่วนของงานก่อสร้างนั้นสามารถแบ่งออกเป็นหน่วยๆ โดยแต่ละหน่วยประกอบด้วยการทำงานหรือกลุ่มของงานย่อยที่เหมือนๆ กัน ซึ่งชิ้นงานที่ซ้ำกันนี้อาจมีลักษณะการดำเนินงานในแนวราบ อย่างเช่น การก่อสร้างถนน การวางท่อระบายน้ำ การก่อสร้างทางยกระดับ หมู่บ้าน หรือลักษณะการดำเนินงานในแนวตั้ง อย่างเช่นการก่อสร้างอาคารหลายชั้น

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โครงการก่อสร้างถนนและโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรเป็นตัวอย่างในการนำเสนอระบบการควบคุมงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยหน่วยงานที่มีขั้นตอนการดำเนินการที่ซ้ำๆ กัน สำหรับการก่อสร้างถนน ถนนโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต แต่ละช่วงถนนมีส่วนประกอบของโครงสร้างที่เหมือนกันดังนี้ โครงสร้างหลักและรูปตัดของถนนลาดยางประกอบด้วยชั้นผิวทาง ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง และ ค้นทางดินบดอัดแน่น ดังรูปที่ 8 โครงสร้างหลักและรูปตัดของถนนคอนกรีตประกอบด้วยชั้นผิวทาง ชั้นรองพื้นทาง และ ค้นทางดินบดอัดแน่น ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 รูปตัดถนนลาดยาง



รูปที่ 9 รูปตัดถนนคอนกรีต

สำหรับโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการที่มุ่งไปที่ตลาดลูกค้าระดับปานกลางถึงระดับล่าง ซึ่งส่วนมากเป็นบ้านสร้างเสร็จก่อนขาย มีแบบบ้านที่ถูกออกแบบไว้เรียบร้อยแล้ว มีจำนวนแบบให้เลือกน้อยหรืออาจมีเพียงแบบเดียว ในแต่ละโครงการประกอบด้วยบ้านเป็นจำนวนมาก การก่อสร้างบ้านแต่ละหลังมีความคล้ายคลึงกัน ทั้งเทคนิควิธีการ ขั้นตอนการทำงาน วัสดุที่ใช้ และประเภทของคอนกรีตก่อสร้าง งานก่อสร้างในลักษณะนี้จึงนับว่าเป็นการทำงานที่ซ้ำๆ กันและทำเป็นจำนวนมากๆ งานก่อสร้างบ้านมีความซับซ้อนกว่างานก่อสร้างถนน เนื่องจากมีจำนวนกิจกรรมก่อสร้างมากกว่า งานอาศัยฝีมือและแรงงานมากกว่าเมื่อเทียบกับงานก่อสร้างถนนที่ส่วนใหญ่เป็นงานที่ใช้เครื่องจักร แต่ละกิจกรรมต้องการคนงานที่มีความสามารถและความชำนาญที่แตกต่างกัน กิจกรรมก่อสร้างสำหรับงานก่อสร้างบ้าน 2 ชั้น อย่างสังเขปประกอบด้วย งานตอกเข็ม งานขุดฝังถึงดักไขมันและการทอได้ดิน งานโครงสร้างชั้น 1 งานโครงสร้างชั้น 2 งานโครงสร้างหลังคาและงานมุงหลังคา งานปูพื้น งานฝ้า งานไฟฟ้า งานประตุนหน้าต่าง งานสุขภัณฑ์ และงานสี

2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนต้นทุนก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างที่ประกอบ ด้วยชิ้นงานที่ซ้ำกันหลาย ๆ ชิ้น

ในการควบคุมโครงการ การเบี่ยงเบนของต้นทุนและแผนการทำงานของการทำงานจะขึ้นอยู่กับมูลค่าตามงบประมาณของงานที่ได้ดำเนินไป (Budgeted cost of work performed, BCWP) ค่า BCWP สามารถคำนวณได้จากผลคูณของเปอร์เซ็นต์งานที่แล้วเสร็จ ณ.วันที่พิจารณากับงบประมาณรวมทั้งหมดของงานนั้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ของงานที่ทำได้แล้วเสร็จเท่ากับจำนวนงานที่ทำได้หารด้วยปริมาณงานทั้งหมดที่ต้องทำ นอกจากนี้ความก้าวหน้าของงานสามารถคำนวณได้หลายวิธี เช่นการวัดความก้าวหน้าจากปริมาณงานที่ออกมาของผลงาน หรือเทียบจากปริมาณทรัพยากร หรือวัตถุดิบที่ใส่เข้าไป สำหรับการวัดความก้าวหน้าโดยใช้เทียบจากผลผลิตที่ได้ออกมานั้น เปอร์เซ็นต์ของงานแล้วเสร็จสำหรับกิจกรรมที่ไม่ซับซ้อนจะมีลักษณะการคิดง่าย ๆ โดยคำนวณโดยตรงจากจำนวนผลผลิตงานที่แล้วเสร็จ ณ. วันที่พิจารณาหารด้วยจำนวนผลผลิตที่ต้องการทั้งหมดของโครงการ ตัวอย่างเช่น เปอร์เซ็นต์งานแล้วเสร็จในส่วน of งานพื้นคอนกรีต ซึ่งเราอาจวัดความก้าวหน้าจากจำนวนความยาวที่ทำได้หรือจากพื้นที่ที่เทคอนกรีต จำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตสามารถนำมาวัดเป็นผลงานความก้าวหน้าได้เช่นกัน เช่น จำนวนต้นทุนที่ใช้ไป ต้นทุนแรงงานที่ใช้ไป ต้นทุนจำนวนชั่วโมงแรงงานที่ใช้ไป หรือต้นทุนจากการใช้เครื่องจักร เป็นต้น

ในหลายๆ กรณี กิจกรรมอาจประกอบไปด้วยงานย่อยๆ หลายงานหรือหลายกระบวนการ ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ของงานที่แล้วเสร็จสมบูรณ์ของแต่ละรายการ จึงต้องมีการคำนวณหรือวัดผลด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากงานในแต่ละรายการจะมีงานย่อยๆ แตกต่างกัน ความต้องการของทรัพยากรที่ต้องการใช้ในแต่ละงานก็จะต่างกัน งบประมาณ ระยะเวลาในการทำงาน รวมทั้งระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของงานในแต่ละงานย่อยๆ นั้น ที่แตกต่างกันด้วย

นอกจากนี้จำนวนปริมาณของงานย่อยเหล่านี้อาจมีหน่วยวัดที่แตกต่างกัน ไม่สามารถนำมาวัดรวมกันได้ ตัวอย่างเช่น งานพื้นคอนกรีตที่แบ่งออกเป็นงานย่อยๆ ได้ 2 งาน คืองานเหล็กเสริมและงานคอนกรีต ในแต่ละงานของงานย่อยจะใช้ทรัพยากรที่ต่างกัน มีกระบวนการที่ใช้สำหรับการก่อสร้างที่แยกกันออกไป ความก้าวหน้าของงานเหล็กเสริม อาจะวัดได้จากจำนวนของพื้นที่ที่ผูกเหล็กได้มีหน่วยเป็นตารางหลาหรือจากจำนวนน้ำหนักของเหล็กเสริมที่ใช้ไปมีหน่วยเป็นตัน แต่ในการวัดความก้าวหน้าของงานคอนกรีต อาจะวัดได้จากจำนวนปริมาณของคอนกรีตที่ใช้ในการเทซึ่งมีหน่วยเป็นลูกบาศก์หลาเป็นต้น

สำหรับโครงการก่อสร้างประเภทที่ประกอบไปด้วยการก่อสร้างชิ้นงานที่ซ้ำกันหลายๆ ชิ้น การดำเนิน งานก่อสร้างโครงการลักษณะดังกล่าว อาจแบ่งออกเป็นสองรูปแบบดังนี้

1. การทำงานแบบขนาน (Working in Parallel)
2. การทำงานแบบอนุกรม (Working in Series)

2.1.1 การทำงานแบบขนาน (Working in Parallel)

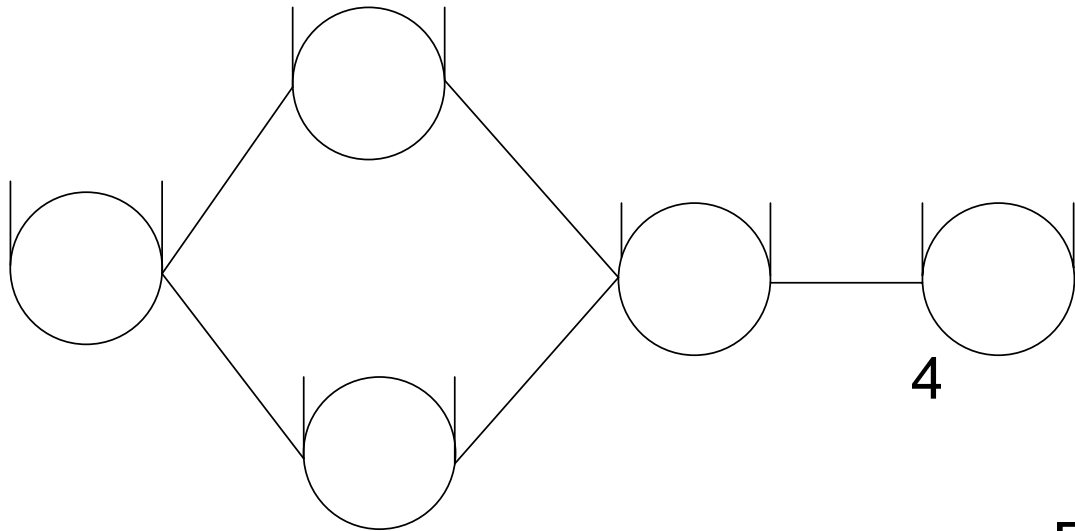
การทำงานแบบขนานเป็นการทำงานที่แบ่งงานก่อสร้างออกเป็นหน่วยๆ (Units) หรือ ส่วน (sections) ถ้าเป็นงานก่อสร้างถนน แต่ละส่วนอาจหมายถึงช่วงความยาวในแนวราบ เช่น 1 กิโลเมตร ซึ่งความยาวในแต่ละช่วงถูกกำหนดตามความเหมาะสมและสะดวกต่อการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งของสะพาน ทางแยก ความโค้งถนน บริเวณกองเก็บวัสดุก่อสร้าง ปริมาณการจราจร เป็นต้น สำหรับงานก่อสร้างบ้านจะค่อนข้างชัดเจน แต่ละหน่วยจะหมายถึงบ้านแต่ละหลัง หรือแต่ละคูหา

การจัดรูปแบบการทำงานในลักษณะนี้ แต่ละหน่วยก่อสร้างจะถูกรับผิดชอบโดยคนงานเพียงหนึ่งกลุ่ม โดยกลุ่มคนงานนี้จะทำการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมบูรณ์ก่อนที่จะเริ่มหน่วยงานถัดไป

ถ้าพิจารณางานก่อสร้างหนึ่งชิ้นประกอบด้วยกิจกรรม 5 กิจกรรม (A, B, C, D, และ E) ซึ่งมีความสัมพันธ์ในการทำงานหรือลำดับก่อน-หลัง และระยะเวลาในการทำงานดังตาราง

กิจกรรม	ระยะเวลา (สัปดาห์)	ดำเนินการตามหลัง
A	4	-
B	3	A
C	5	A
D	4	B, C
E	3	D

จากความสัมพันธ์และระยะเวลาการก่อสร้างของแต่ละกิจกรรมในตาราง กำหนดระยะเวลาการก่อสร้างของหนึ่งชั้นงานสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 โครงข่ายงานก่อสร้างของโครงการตัวอย่าง จำนวน 1 ชั้นงาน

ถ้างานก่อสร้างดังกล่าว ต้องทำเป็นจำนวน 4 ชั้นงาน การวางแผนงานก่อสร้างแบบขนานจะสามารถทำได้ดังรูปที่ 11 ถึง รูปที่ 13

รูปที่ 11 แสดงแผนการทำงานแบบขนานของงานก่อสร้างจำนวน 4 ชั้นงานพร้อมงบประมาณการก่อสร้างที่เกิดขึ้นในแต่ละสัปดาห์ จากแผนการทำงานและงบประมาณการก่อสร้างของแต่ละกิจกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการก่อสร้างสะสมของแต่ละชั้นงานและเวลาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 12 ส่วนรูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนการก่อสร้างสะสมโดยรวมทั้งโครงการ ณ เวลาใดๆ

B
3

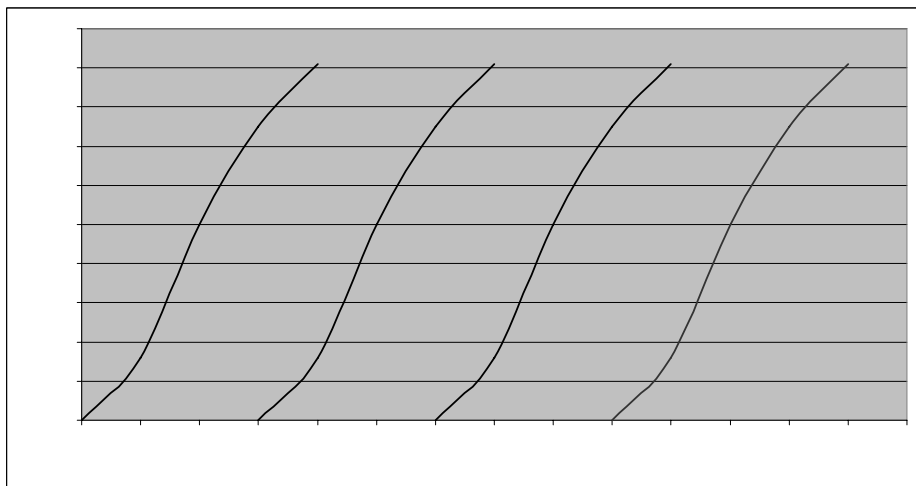
4

9

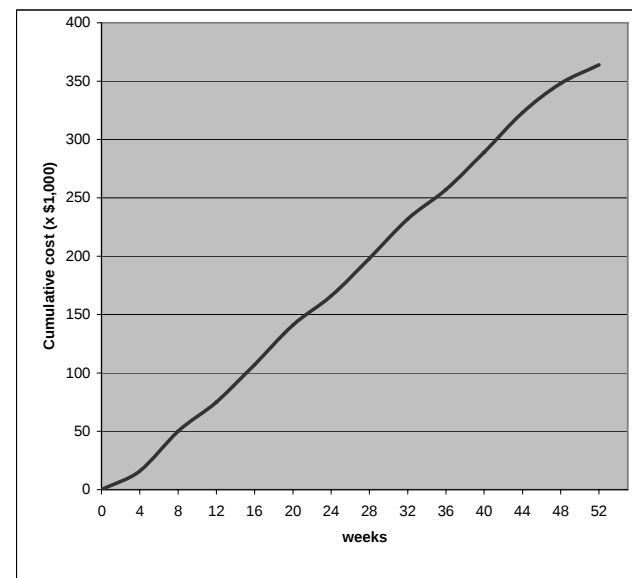
C
5

				1st Month				2nd Month				3rd Month				4th Month				5th Month				6th Month				7th Month				8th Month				9th Month				10th Month				11th Month				12th Month				13th Month				
Act.	Dur.	Est. cost (x \$1,000)	Cost per week (x \$1,000)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
A	4	16	4	4	4	4	4									4	4	4	4									4	4	4	4									4	4	4	4													
B	3	18	6					6	6	6										6	6	6											6	6	6																					
C	5	20	4					4	4	4	4	4								4	4	4	4	4								4	4	4	4	4																				
D	4	28	7										7	7	7	7										7	7	7	7																			7	7	7	7					
E	3	9	3																																																					
				4	4	4	4	10	10	10	4	4	7	7	7	11	7	7	7	10	10	10	4	4	7	7	7	11	7	7	7	10	10	10	4	4	7	7	7	11	7	7	7	10	10	10	4	4	7	7	7	7	3	3	3	
				4	8	12	16	26	36	46	50	54	61	68	75	86	93	100	107	117	127	137	141	145	152	159	166	177	184	191	198	208	218	228	232	236	243	250	257	268	275	282	289	299	309	319	323	327	334	341	348	355	358	361	364	

รูปที่ 11 แผนการทำงานและงบประมาณในแต่ละสัปดาห์ของงานก่อสร้าง จำนวน 4 ชั้นงาน กรณีการวางแผนแบบขนาน

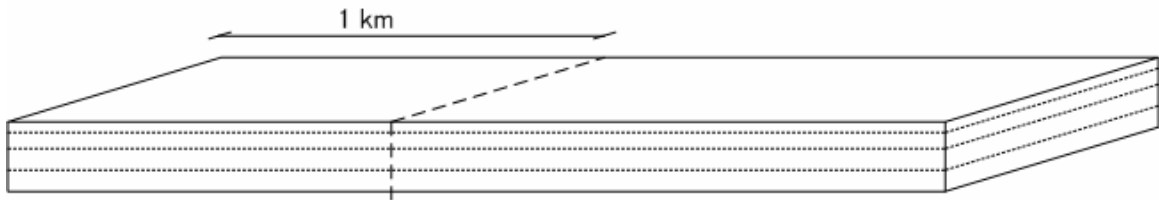


รูปที่ 12 S-curve ของงานก่อสร้างแต่ละชั้นงาน

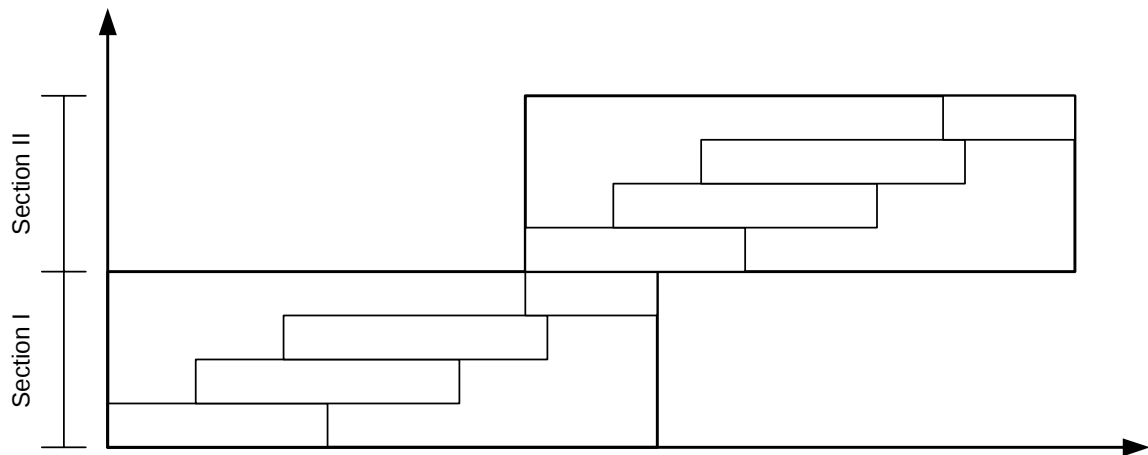


รูปที่ 13 S-curve ของงานก่อสร้างโดยรวม

ในกรณีของงานก่อสร้างถนน สมมติความยาวของ section ถนนถูกกำหนดไว้ที่ 1 กิโลเมตร กลุ่มคนงานที่รับผิดชอบ section นั้นจะทำการก่อสร้างตั้งแต่ คั่นทางดินบดอัดแน่น ชั้นรองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง และ ชั้นผิวทาง จนเสร็จก่อนที่จะเริ่มก่อสร้างใน section ถัดไป

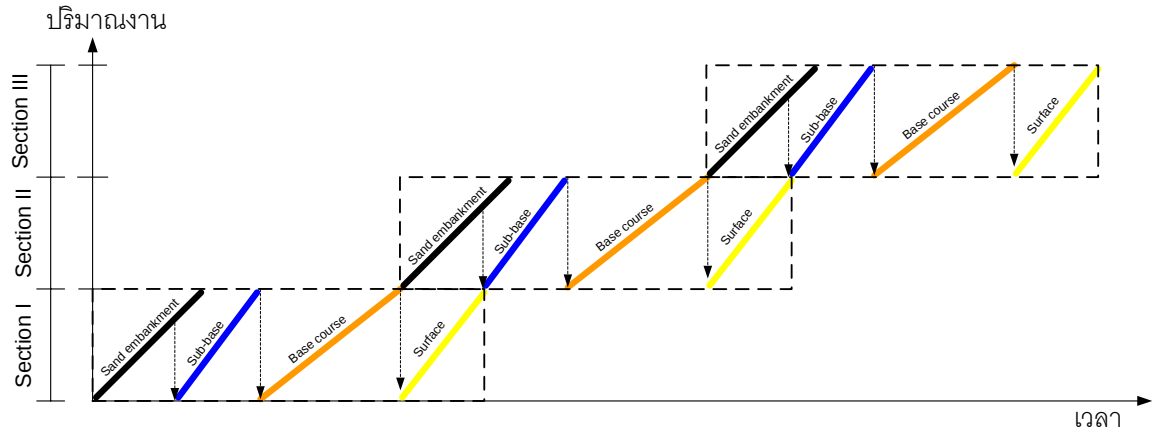


รูปที่ 14 Section ของถนนที่มีแผนการทำงานแบบขนาน



รูปที่ 15 แผนการทำงานของงานก่อสร้างถนนที่จัดแบบขนาน

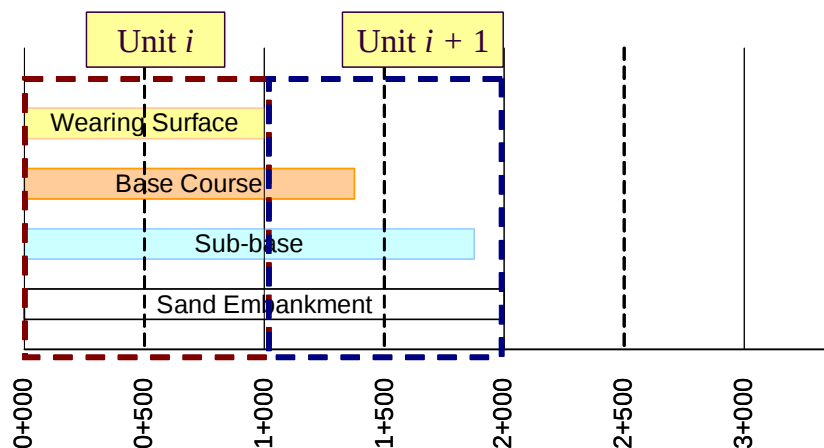
ปริมาณงาน



รูปที่ 16 แผนการทำงานของงานก่อสร้างถนนที่มีรูปแบบขนาน

รูปที่ 15 และ รูปที่ 16 แสดงแผนการก่อสร้างถนนที่จัดแบบขนาน เนื่องจากแต่ละ section ถนนมีความยาว 1 กิโลเมตร ทุกๆ section หรือหนึ่งรอบการทำงาน (Cycle) จะประกอบไปด้วยการก่อสร้าง 1 กิโลเมตรของ 4 งานย่อย จะเห็นได้ว่าการก่อสร้างของแต่ละชั้นงาน หรือ section เป็นไปอย่างต่อเนื่อง แต่ขาดความต่อเนื่องของกิจกรรมก่อสร้างในแต่ละชั้นทาง หรือการทำงานของแต่ละงานย่อย

สำหรับงานก่อสร้างบ้าน การทำงานแบบขนานพบได้ในโครงการที่เจ้าของโครงการใช้ลักษณะการว่าจ้างผู้รับเหมาแบบเหมารวมบ้านเป็นหลักๆ หรือ ทาวน์เฮ้าส์เป็นแปลงๆ นั่นคือ หนึ่งหน่วยของงานก่อสร้างคือ บ้านหนึ่งหลังหรือหนึ่งแปลง งานก่อสร้างทั้งหมดของบ้านหนึ่งหลัง ตั้งแต่งานฐานราก พื้นผนัง หลังคา จนถึงงานระบบ และ งานสถาปัตยกรรม จะถูกรับผิดชอบโดยผู้รับเหมาเพียงเจ้าเดียว



รูปที่ 17 ความก้าวหน้างานก่อสร้างถนนที่มีรูปแบบการทำงานแบบขนาน

รูปที่ 17 แสดงความก้าวหน้าของงานก่อสร้างที่มีรูปแบบการทำงานแบบขนาน จากรูปจะเห็นว่าชั้นงานก่อสร้างถนนแบ่งตามความยาว โดยแต่ละชั้นงานมีความยาว 1 กิโลเมตร แกนนอนแสดงระยะทางของการทำงานที่ได้ในแต่ละชั้นทาง การก่อสร้างชั้นงานที่ i เสร็จสมบูรณ์ ชั้นงานที่ $i+1$ อยู่ระหว่างการดำเนินงาน โดยชั้นทาง Sand embankment ได้ดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ Sub-base อยู่ระหว่างการและใกล้แล้วเสร็จ Base course ได้เริ่มทำการก่อสร้าง และ Wearing surface ยังไม่มีการเริ่มต้น

โดยทั่วไปความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้าง (P_a) คือ อัตราส่วนของจำนวนงานที่ทำเสร็จต่อจำนวนงานที่จะต้องทำทั้งหมด หรือ

$$P_a = \frac{U_a}{U_p} \quad \text{Eq. 1}$$

โดย

U_a = Actual number of units of output that have been completed = จำนวนหน่วยของงานที่ทำเสร็จ

U_p = Projected number of output units required to complete = จำนวนหน่วยของงานที่ต้องทำทั้งหมด

ในการจัดการแผนการก่อสร้างในลักษณะนี้ จำนวนหน่วยของงานที่ทำเสร็จคือ จำนวนกิโลเมตรของถนนที่ผู้รับเหมาสร้างเสร็จ หรือจำนวนหลังของบ้านที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ และจำนวนหน่วยงานที่ต้องทำทั้งหมดคือ ความยาวถนนทั้งหมดที่ผู้รับเหมาจะต้องทำตามสัญญา หรือจำนวนหลังของบ้านทั้งหมดในโครงการ นอกจากนี้ความก้าวหน้าโครงการอาจวัดได้จาก

$$\text{Percent complete} = \frac{\text{no. of cycles performed}}{\text{no. of cycles to be performed}} \quad \text{Eq. 2}$$

มูลค่าหรืองบประมาณการก่อสร้างของงานที่ทำเสร็จ (BCWP) คำนวณได้จาก

$$BCWP = P_a C_b \quad \text{Eq. 3}$$

โดย

C_b = Budgeted cost = งบประมาณของงานย่อยที่วางแผนไว้

ค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนการก่อสร้างเป็นการวัดความต่างระหว่างต้นทุนที่คาดการณ์ไว้กับค่าใช้จ่ายจริงที่เกิดขึ้น ณ เวลาใดๆ ระหว่างการก่อสร้างค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนการก่อสร้างหาได้จากผลต่างระหว่างงบประมาณของงานที่ทำเสร็จกับค่าใช้จ่ายจริงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างงานนั้น หรือ

$$V_c = BCWP - ACWP = P_a C_b - C_a \quad \text{Eq. 4}$$

โดย

$BCWP$ = Budgeted cost of work performed = งบประมาณหรือมูลค่าของงานที่ทำเสร็จ

$ACWP = C_a$ = Actual cost of work performed = งบประมาณหรือมูลค่าของงานที่ทำเสร็จ

C_b เป็นงบประมาณที่ผู้รับเหมาคาดการณ์ไว้ตั้งแต่เริ่มโครงการ ซึ่งหาได้จากการประมาณราคาแบบละเอียดโดยการคำนวณปริมาณงาน วัสดุดิบ แรงงาน และเครื่องจักรที่ต้องใช้ หลังจากนั้นแปลงเป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าโครงการระบุถึงสัดส่วนของงานที่ทำได้อัตราปริมาณงานที่ต้องทำทั้งหมด ซึ่งสามารถวัดได้จากหลายปัจจัยทั้งจากผลผลิต (Output) ที่ได้หรือวัสดุดิบ (Input or Resource) ที่ใช้ ตัวชี้วัดอาจเป็นปริมาณงานที่ทำเสร็จ ปริมาณวัสดุก่อสร้างที่ใช้ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจักร จำนวนชั่วโมงทำงานของคนงาน เป็นต้น

จากการสัมภาษณ์ผู้รับเหมาก่อสร้างถนนพบว่า โดยมากความก้าวหน้าโครงการประเมินจากผลผลิต (Output) ที่ได้ นอกจากนั้นเจ้าของงานส่วนใหญ่กำหนดวงเงินจ่ายเงินและจำนวนเงินที่จ่ายให้แก่ผู้รับเหมาในแต่ละงวดจากปริมาณงานที่ผู้รับเหมาทำเสร็จ ตัวอย่างเช่นผู้รับเหมาก่อสร้างอาจประเมินความก้าวหน้าของงานจากพื้นที่ในหน่วยของตารางเมตร ความยาวในหน่วยของกิโลเมตรของถนนที่ก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ หรือจำนวนหลังของบ้านที่สร้างเสร็จ

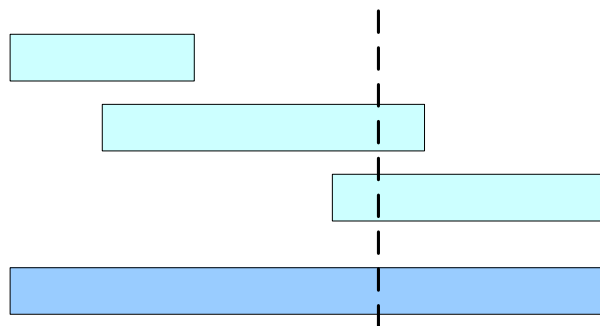
สำหรับการวางแผนการทำงานแบบขนาน เนื่องจากการก่อสร้างทำเป็นรอบการทำงาน (cycle) การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าและมูลค่าของงานที่ทำเสร็จโดยวิธีข้างต้น (Eq.2) พึงระวังในเรื่องของความเหมาะสมของการเลือกหน่วยของงานก่อสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากโดยมากแล้วการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าและมูลค่าของงานที่ทำเสร็จพิจารณาเฉพาะชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์เท่านั้น ชิ้นที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ดังนั้นงานก่อสร้างที่แต่ละชิ้นงานประกอบด้วยกิจกรรมก่อสร้างหลายกิจกรรม ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์คือชิ้นงานที่กิจกรรมสุดท้ายได้ถูกดำเนินการแล้วเสร็จ ซึ่งทำให้ผลการคำนวณความก้าวหน้าจากวิธีนี้ค่อนข้างหยาบและมีโอกาสที่จะได้ค่าที่ต่ำกว่าค่าจริงมาก โดยเฉพาะในกรณีที่การก่อสร้างประกอบด้วยหลายขั้นตอน และการเลือกหน่วยของการทำงานที่หยาบเกินไป เป็นต้นว่าหน่วยการทำงานของถนนที่ยาวเกินไป

ตัวอย่างเช่นโครงการก่อสร้างถนนที่มีการวางแผนการทำงานแบบขนาน จะสามารถแบ่งออกเป็นหลาย section แต่ละ section ประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังแสดงใน รูปที่ 15 ค่าเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าที่คำนวณบนพื้นฐานของจำนวนรอบการทำงานที่เสร็จสมบูรณ์อาจเป็นค่าที่น้อยกว่าความเป็นจริง เนื่องจากส่วนของถนนที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างจะไม่ถูกนำไปนับรวม แม้ว่าการก่อสร้างของถนนอาจอยู่ระหว่างการบดทับหินคลุก ซึ่งหมายความว่าถนนช่วงที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างได้ผ่านการทำ sand embankment และ sub-base เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริง เปอร์เซ็นต์

ความก้าวหน้ารวมผลงานของช่วงถนนที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างด้วย วิศวกรบางคนอาจจะเสนอให้รวมงานในส่วนของถนนที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างเข้าไว้ด้วย ซึ่งจะต้องมีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าในส่วนของช่วงถนนที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง

ในระหว่างการก่อสร้างกิจกรรมหรือส่วนของงานที่ประกอบด้วยงานย่อยหลายๆ งานย่อยบางงานอาจก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ บางงานย่อยอาจอยู่ในระหว่างดำเนินการ และบางงานย่อยอาจยังไม่ได้เริ่มดำเนินการ ดังนั้นแต่ละงานย่อยจะมีเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่สามารถนำมารวมกันทันทีได้ เนื่องจากแต่ละงานย่อยอาจมีหน่วยการประเมินผลงานที่แตกต่างกัน อย่างเช่น ปริมาณงาน Sand embankment ที่ทำเสร็จอาจอยู่ในรูปของคิว (cu.m.) แต่ปริมาณงาน sub-base อาจวัดในรูปของหน่วยน้ำหนัก เช่น ตัน ในบางกรณีอาจพบว่าความก้าวหน้าของการทำงานประเมินจากภาพรวมหรือจำนวนหน่วยงานที่เสร็จสมบูรณ์ เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของส่วนของงานนั้นจะมีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของงานย่อยสุดท้าย

รูปที่ 18 แสดงความก้าวหน้าของกิจกรรม X ซึ่งประกอบไปด้วยงานย่อย 3 งานที่จะต้องทำตามลำดับ ก่อน-หลังดังนี้คือ งานย่อย A งานย่อย B และ งานย่อย C สมมติว่า ณ วันใดวันหนึ่งในระหว่างการก่อสร้าง A มีความก้าวหน้าเท่ากับ 100% B มีความก้าวหน้าเท่ากับ 85% และ C มีความก้าวหน้าเท่ากับ 17% ตามลำดับ งานย่อย C มีความก้าวหน้าน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นงานสุดท้าย ถ้าความก้าวหน้าการทำงานของกิจกรรม X ประเมินจากปริมาณงานที่เสร็จสมบูรณ์ นั้นหมายความว่า ณ วันนั้นความก้าวหน้าการทำงานของกิจกรรม X มีค่าเท่ากับ 17% หรือเท่ากับความก้าวหน้าการทำงานของงานย่อย C จะเห็นได้ว่าการประเมินความก้าวหน้าของกิจกรรมที่ประกอบด้วยงานย่อยหลายๆ งานแบบนี้ค่าที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งจะส่งผลให้มูลค่าของงานที่ทำเสร็จมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงไปด้วย



รูปที่ 18 เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของกิจกรรมก่อสร้างที่ประกอบด้วยหลายงานย่อย

เพื่อให้ค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง การคำนวณความก้าวหน้าของกิจกรรมหรือชิ้นงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานย่อยหลายๆ งาน ในลักษณะนี้จะต้องคำนวณจากระดับงานย่อยขึ้นมา โดยความก้าวหน้าของกิจกรรมหรือชิ้นงานใดๆ คือผลรวมของความก้าวหน้าของงานย่อยที่ประกอบขึ้นมา

เป็นกิจกรรมหรือชิ้นงานนั้นๆ การคำนวณโดยวิธีนี้จะคำนึงถึงความแตกต่างในด้านวัตถุดิบที่ใช้และความแตกต่างของหน่วยผลผลิตที่ใช้วัดความก้าวหน้าของแต่ละงานย่อย

ค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนก่อสร้างโดยเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของกิจกรรมหรือชิ้นงาน ประเมินจากความก้าวหน้าของงานย่อยทั้งหมดที่ประกอบขึ้นมาเป็นชิ้นงานนั้น เรียกว่า Element Cost Variance ในหลักการนี้ งบประมาณการก่อสร้าง หรือ $BCWP$ และต้นทุนการก่อสร้างจริงที่เกิดขึ้น หรือ $ACWP$ ของแต่ละชิ้นงาน คือผลรวมของค่าดังกล่าวของแต่ละงานย่อยที่ประกอบขึ้นมาเป็นชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งสามารถแสดงได้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$(BCWP)_j = \sum_{all\ i} (BCWP)_{ij} = \sum_{all\ i} (P_{aj} C_{bj})_i \quad \text{Eq. 5}$$

$$(ACWP)_j = C_{aj} = \sum_{all\ i} (ACWP)_{ij} = \sum_{all\ i} C_{ai} \quad \text{Eq. 6}$$

โดย

$(BCWP)_j$ = Budgeted cost of work performed of section j = งบประมาณในส่วนที่ก่อสร้างเสร็จของชิ้นงาน j

$(BCWP)_{ij}$ = Budgeted cost of work performed of task i on section j = งบประมาณของส่วนที่ก่อสร้างเสร็จของงานย่อย i บนชิ้นงาน j

P_{ai} = Percent complete of task i = ความก้าวหน้าของงานย่อย i

C_{bi} = Budgeted cost of task i = งบประมาณทั้งหมดที่วางแผนไว้ของงานย่อย i

$(ACWP)_j = C_{aj}$ = Actual cost of work performed on section j = ต้นทุนก่อสร้างที่เกิดขึ้นของของชิ้นงาน j

และมูลค่างานก่อสร้างที่ทำได้จริงทั้งหมด คือ ผลรวมของมูลค่างานก่อสร้างที่ทำได้ของแต่ละชิ้นงาน และเช่นเดียวกันกับต้นทุนการก่อสร้างจริงทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างแต่ละชิ้นงาน

$$BCWP = \sum_{all\ j} (BCWP)_j \quad \text{Eq. 7}$$

$$ACWP = \sum_{all\ j} (ACWP)_j \quad \text{Eq. 8}$$

และค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนก่อสร้างของกิจกรรมที่ประกอบด้วยหลายงานย่อยสามารถคำนวณได้จาก

$$V_C = BCWP - ACWP = \sum_{all\ j} (BCWP)_j - \sum_{all\ j} (ACWP)_j \quad \text{Eq. 9}$$

การวางแผนการทำงานแบบขนานนี้ กลุ่มคนงานจะประกอบด้วยบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญหลายด้านและสามารถผลิตชิ้นงานให้สำเร็จได้ ซึ่งผู้รับเหมาสามารถมีได้หลายกลุ่มคนงานที่ทำการก่อสร้างขนานกันไปในเวลาเดียวกันคล้ายกับลักษณะการทำงานในอุตสาหกรรมที่มีหลาย production line ที่แต่ละ production line มีกำลังการผลิตอยู่ที่ค่า ๆ หนึ่ง การนำเอาหลาย production line มาใช้เป็นการเพิ่มกำลังการผลิตและช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงในเวลาอันสั้น ข้อดีของการแผนการทำงานรูปแบบนี้คือการจัดการก่อสร้างจะค่อนข้างสะดวกและไม่ซับซ้อน เนื่องจากการทำงานของแต่ละกลุ่มคนงานจะเป็นลักษณะต่างคนต่างทำไม่ขึ้นต่อกัน ข้อด้อยของรูปแบบการทำงานแบบนี้คือประสิทธิภาพการทำงานและการใช้เครื่องจักร เนื่องจากแต่ละทีมจะต้องมีบุคลากร อุปกรณ์ เครื่องจักรที่พร้อมต่อการทำงานและสามารถดำเนินการทุกอย่างได้

2.1.2 การทำงานแบบอนุกรม (Working in series)

การทำงานแบบอนุกรมเป็นการทำงานที่แบ่งเนื้องานออกเป็นแผนกของงานย่อย (functional based) โดยแต่ละแผนกจะมีกลุ่มคนงานที่มีความเชี่ยวชาญในงานนั้นๆ เป็นผู้รับผิดชอบ ดังนั้นแต่ละส่วนหรือ section จะต้องอาศัยกลุ่มคนงานจากหลายแผนกงานย่อยเพื่อให้งานนั้นสำเร็จ สำหรับการก่อสร้างถนน ผู้รับเหมาที่ใช้การวางแผนงานรูปแบบนี้จะแบ่งกลุ่มคนงานออกเป็นกลุ่มๆ ตามชั้นทาง หรือ layer ของถนน โดยแต่ละกลุ่มจะรับผิดชอบงานเฉพาะอย่าง ผู้รับเหมาถนนลาดยาง อาจแบ่งกลุ่มคนงานออกเป็น กลุ่มก่อสร้างคันทางดินอัดแน่น กลุ่มก่อสร้างรองพื้นทาง กลุ่มก่อสร้างชั้นพื้นทาง และกลุ่มก่อสร้างชั้นผิวทาง แต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยบุคลากร อุปกรณ์ และเครื่องจักร เฉพาะสำหรับการทำงานนั้นๆ ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำงานและการใช้เครื่องจักรจะค่อนข้างสูง

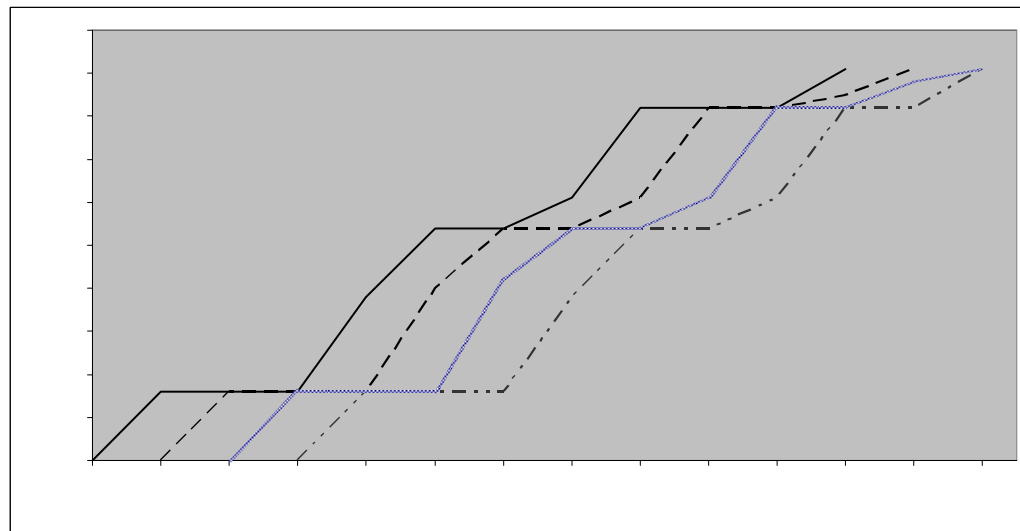
สำหรับงานก่อสร้างบ้าน การทำงานแบบอนุกรมหมายถึงการแบ่งงานก่อสร้างทั้งหมดออกเป็นงานย่อยๆ โดยแต่ละงานย่อยจะมีกลุ่มคนงานเฉพาะรับผิดชอบ ไม่มีการโยกย้ายคนงาน และการจัดสรรกลุ่มคนงานจะกำหนดตามความถนัดและฝีมือแรงงาน ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มคนงาน อาจประกอบด้วย กลุ่มคนงานตอกเข็ม กลุ่มขุดฝังถึงดักไขมัน กลุ่มโครงสร้าง เสาและคาน กลุ่มคนงานเทพื้น กลุ่มก่ออิฐฉาบ กลุ่มงานโครงสร้างหลังคา กลุ่มมุงหลังคา กลุ่มติดตั้งฝ้า กลุ่มวัสดุปูพื้น กลุ่มงานสี กลุ่มประปา กลุ่มงานไฟฟ้า เป็นต้น

ถ้าพิจารณาตัวอย่างงานก่อสร้างเดียวกันในกรณีการทำงานแบบขนาน ซึ่งการก่อสร้างหนึ่งชั้นประกอบด้วยกิจกรรม 5 กิจกรรม (A, B, C, D, และ E) ซึ่งมีความสัมพันธ์ในการทำงานหรือลำดับก่อน-หลัง และระยะเวลาในการทำงานดังตารางใน รูปที่ 10 ถ้างานก่อสร้างดังกล่าวมีการจัดการทำงานแบบอนุกรม แผนการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 19 และรูปที่ 21

3 rd Unit				1st Month				2nd Month				3rd Month				4th Month				5th Month				6th Month				7th Month				8th Month				9th Month				10th Month				11th Month				12th Month				13th Month						
Act.	Dur.	Est. cost (x \$1,000)	Cost per week (x \$1,000)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52			
A	4	16	4									4	4	4	4																																											
B	3	18	6																						6	6	6																															
C	5	20	4																																																							
D	4	28	7																																																							
E	3	9	3																																																							
				0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	10	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	
				0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	22	32	42	46	50	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	61	68	75	82	82	82	82	82	82	82	82	85	88	91	91	91	91

4 th Unit				1st Month			2nd Month			3rd Month			4th Month			5th Month			6th Month			7th Month			8th Month			9th Month			10th Month			11th Month			12th Month			13th Month																				
Act.	Dur.	Est. cost (x \$1,000)	Cost per week (x \$1,000)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52					
A	4	16	4													4	4	4	4																																									
B	3	18	6																									6	6	6																														
C	5	20	4																																																									
D	4	28	7																																																									
E	3	9	3																																																									
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	22	28	34	38	42	46	50	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	61	68	75	82	82	82	82	82	82	82	85	88	91	91	91	91

รูปที่ 20 แผนการทำงานและงบประมาณในแต่ละสัปดาห์ของงานก่อสร้างแต่ละชั้นงาน กรณีการวางแผนแบบอนุกรม (ต่อ)

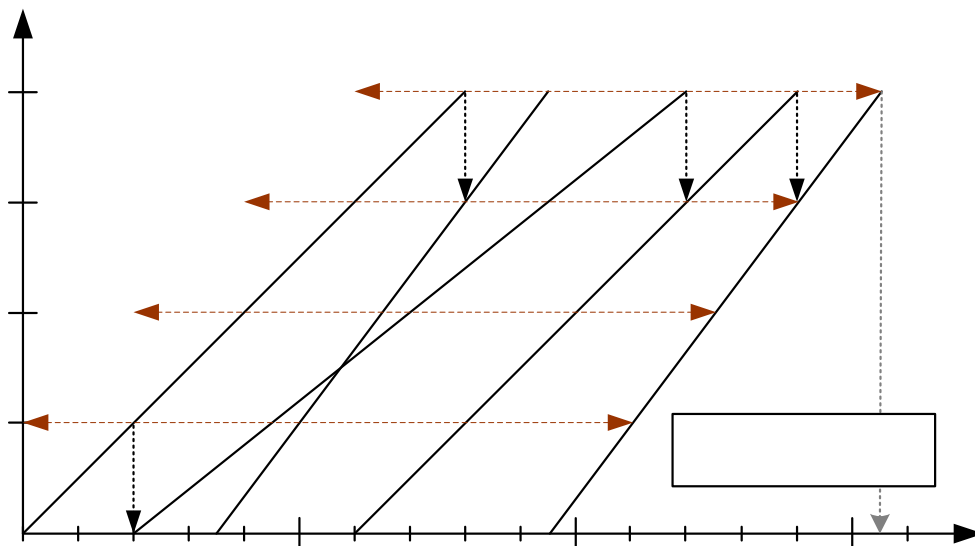


รูปที่ 21 S-curve ของแต่ละชั้นงานก่อสร้างที่มีการวางแผนแบบอนุกรม

รูปที่ 19 แสดงแผนการก่อสร้างและงบประมาณในแต่ละสัปดาห์รวมของชั้นงานจำนวน 4 ชั้นงาน จะเห็นว่ากิจกรรมก่อสร้างแต่ละกิจกรรมถูกกำหนดให้เริ่มต้นและดำเนินการตามลำดับก่อนหลัง และเมื่อ กำหนดให้เริ่มต้นแล้วจะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องจนแล้วเสร็จ คนงานจึงจะเคลื่อนย้ายไปดำเนินการ ก่อสร้างในกิจกรรมถัดไป

รูปที่ 21 แสดงแผนการก่อสร้างและงบประมาณในแต่ละสัปดาห์ของแต่ละชั้นงาน ซึ่งจะเห็นได้ อย่างชัดเจนว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทำงานแบบขนานแล้ว ชั้นงานส่วนใหญ่จะใช้เวลาที่นานกว่า รูปที่ 21 แสดงงบประมาณการก่อสร้างสะสมของแต่ละชั้นงานที่มีการวางแผนการก่อสร้างแบบอนุกรม

ในกรณีที่มีการกำหนดคนงานให้ทำงานแต่ละอย่างโดยเฉพาะ เช่น การจัดให้คนงานกลุ่มหนึ่ง ทำงาน A คนงานอีกกลุ่มหนึ่งทำงาน B การทำงานในลักษณะนี้สามารถใช้วิธีการวางแผนที่เรียกว่า Repetitive Scheduling Method (RSM) ได้ วิธีนี้ใช้ได้ดีกับงานก่อสร้างที่ประกอบงานที่ซ้ำๆ กัน โดยเน้น การทำงานที่ต่อเนื่อง และมีการกำหนดกลุ่มคนงานให้ทำงานแต่ละอย่างโดยเฉพาะ และไม่มีการโยกย้าย คนงาน

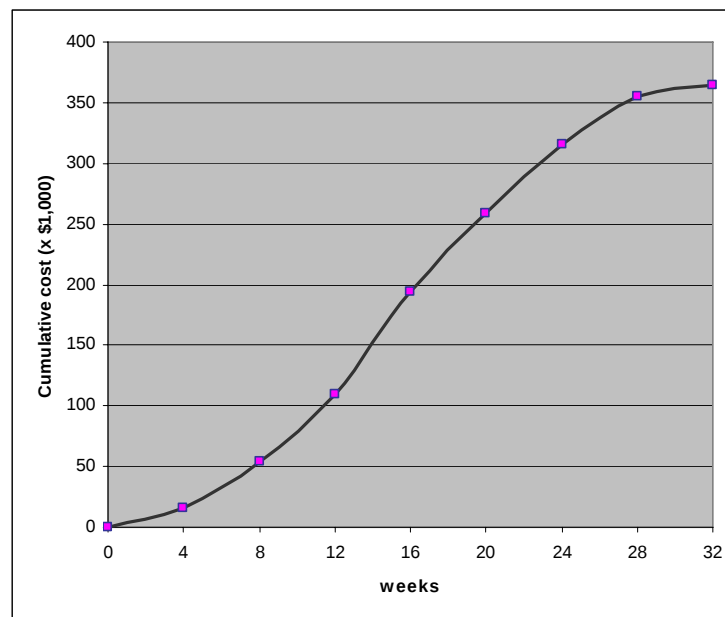


รูปที่ 22 แผนการก่อสร้างของงานจำนวน 4 ชั้น โดยวิธี Repetitive Scheduling Method

units

				1st Month				2nd Month				3rd Month				4th Month				5th Month				6th Month				7th Month				8th Month			
Act.	Dur.	Est. cost (x \$1,000)	Cost per week (x \$1,000)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
A	4	16	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4																
B	3	18	6								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6													
C	5	20	4					4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4								
D	4	28	7													7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7				
E	3	9	3																				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Weekly cost				4	4	4	4	8	8	8	14	14	14	14	14	21	21	21	21	17	17	17	14	14	14	14	14	10	10	10	10	3	3	3	0
Cum. Cost				4	8	12	16	24	32	40	54	68	82	96	110	131	152	173	194	211	228	245	259	273	287	301	315	325	335	345	355	358	361	364	364

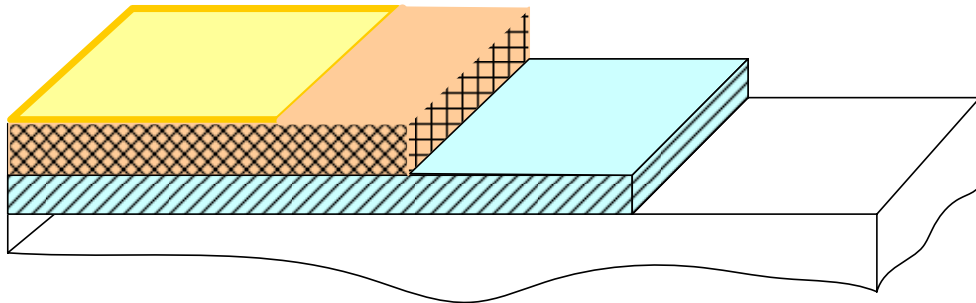
รูปที่ 23 แผนการทำงานและงบประมาณในแต่ละสัปดาห์ของงานก่อสร้างจำนวน 4 ชั้่งงาน กรณีการวางแผนโดยวิธี Repetitive Scheduling Method



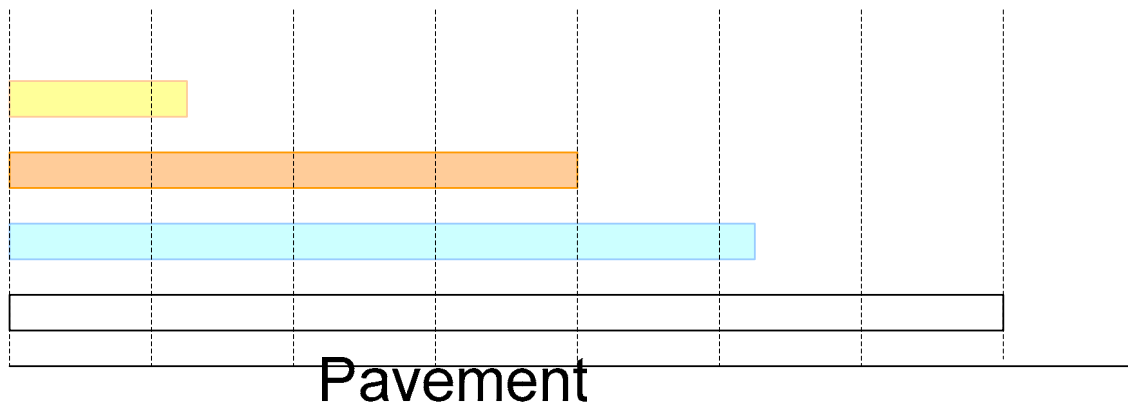
รูปที่ 24 S-curve ของงานก่อสร้างจำนวน 4 ชั้่งงาน กรณีใช้วิธีการวางแผน Repetitive Scheduling Method

จะเห็นได้ว่าการทำงานในลักษณะนี้ การทำงานของแต่ละกลุ่มคนงานขึ้นกับความความสัมพันธ์ทางเทคนิค ลำดับก่อนหลัง รวมถึงอัตราการทำงานของแต่ละกิจกรรม คนงานบางกลุ่มอาจต้องเสียเวลารอให้กลุ่มคนงานที่ทำงานก่อนหน้านี้เสร็จสมบูรณ์ ดังนั้น การทำงานจะต้องมีการประสานงานกันระหว่างทีมทำงานและจะต้องมีการวางแผนที่ดี เนื่องจากประสิทธิภาพและผลผลิตภาพการทำงานของทีมนใดทีมนหนึ่งจะมีผลต่อการทำงานของทีมนทำงานใกล้เคียง ตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราการทำชั้นพื้นทางทำได้เร็วกว่าของกลุ่มก่อสร้างรองพื้นทาง ผู้รับเหมาอาจต้องมีการปรับจำนวนคนงานหรือเพิ่มจำนวนเครื่องจักรเพื่อให้มีอัตราการทำงานที่ใกล้เคียงกันเพื่อลดระยะเวลาที่คนงานหรือเครื่องจักรจะต้องหยุดรอ

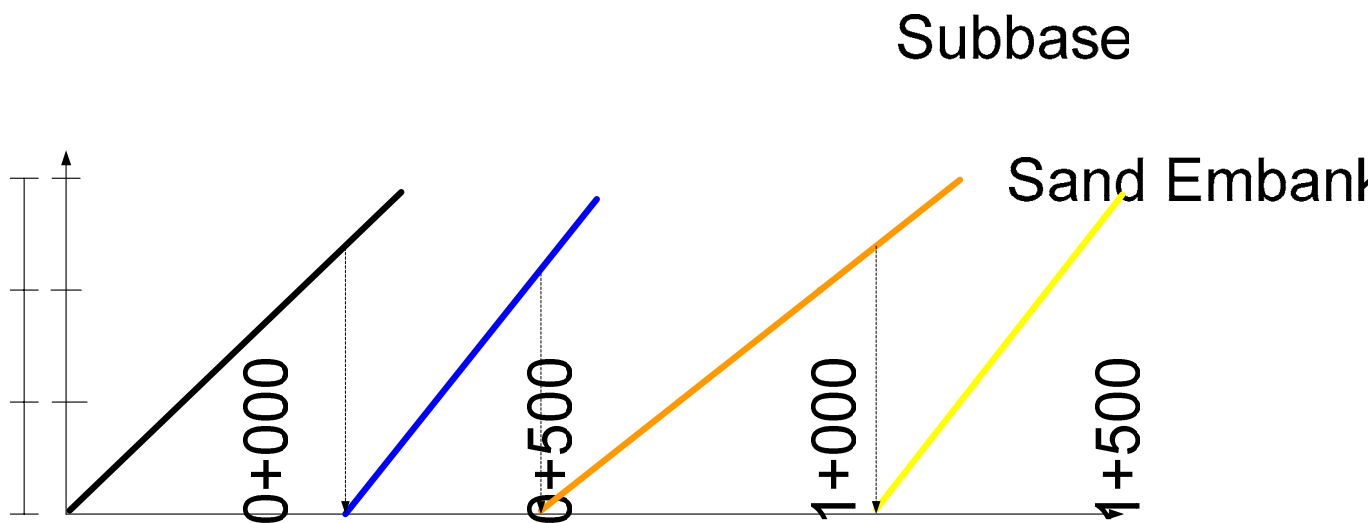
รูปที่ 25 แสดงรูปตัดของถนนซึ่งประกอบด้วย 4 ชั้นทาง รูปที่ 26 และ รูปที่ 27 แสดงรูปแบบการก่อสร้างถนนแบบอนุกรม แต่ละกลุ่มคนงานจะรับผิดชอบการก่อสร้างแต่ละชั้นถนน เริ่มตั้งแต่ งานดินถม งานดินลูกรัง งานหินคลุก และงานผิวทาง ซึ่งการทำงานของแต่ละกลุ่มจะต่อเนื่องกันไปตามแนวถนน โดยงานดินถมอัดแน่นซึ่งเป็นงานก่อสร้างชั้นแรกของถนนจะถูกจัดให้เริ่มก่อน และให้ทั้งช่วงห่างที่เหมาะสมก่อนที่กลุ่มคนงานที่ก่อสร้างงานดินลูกรังจะเริ่มต้น และเช่นเดียวกันกับชั้นแรก กลุ่มคนงานก่อสร้างชั้นหินคลุกควรจะให้ทั้งช่วงให้การก่อสร้างชั้นดินลูกรังทำงานล่วงหน้าไปให้ได้ระยะที่เหมาะสม และกลุ่มคนงานก่อสร้างผิวทางซึ่งเป็นงานสุดท้ายควรจะให้งานชั้นหินคลุกล่วงหน้าไปก่อนสักระยะก่อนที่จะเริ่มทำผิวทาง



รูปที่ 25 ถนนที่ถูกก่อสร้างตามชั้นโครงสร้าง



รูปที่ 26 ความก้าวหน้าโครงการก่อสร้างถนนที่มีแผนการทำงานแบบอนุกรม



รูปที่ 27 แผนการก่อสร้างถนนที่มีรูปแบบการทำงานอนุกรม

จากรูปที่ 27 จะเห็นได้ว่าการก่อสร้างของแต่ละชั้นทางมีความต่อเนื่อง นั่นคือเมื่อคนงานเริ่มทำการก่อสร้างชั้นทางที่ตนรับผิดชอบแล้ว จะทำงานอย่างต่อเนื่องจากชั้นงานแรกไปยังชั้นงานที่สอง และชั้นงานถัดไป จนแล้วเสร็จชั้นทางนั้นๆ ชั้นงานถัดมาจะถูกกำหนดให้เริ่มในระยะห่างที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากอัตราการทำงาน ข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น

การคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนสำหรับแผนการทำงานแบบอนุกรมจะแตกต่างจากแผนการทำงานแบบขนานตรงที่งานแต่ละงานรับผิดชอบโดยแต่ละกลุ่มคนงาน และการก่อสร้างเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในช่วงระหว่างการก่อสร้าง ความก้าวหน้าและค่าความคลาดเคลื่อนต้นทุนก่อสร้างโครงการ สามารถ

ปริมาณงาน

คำนวณได้จากผลรวมของค่าดังกล่าวของแต่ละงาน

$$V_{c_total} = V_{c_embankment} + V_{c_subbase} + V_{c_base} + V_{c_pavement} \quad \text{Eq. 10}$$

โดย

$V_C = BCWP - ACWP = P_a C_b - C_a$ ซึ่งการคำนวณ $BCWP$ และ P_a อยู่บนพื้นฐานของปริมาณงานที่ทำเสร็จ

ถ้าผู้รับเหมาทำการเก็บข้อมูลที่จะเฝ้าติดตาม ต้อง ผู้รับเหมาสามารถประมาณค่าคลาดเคลื่อนต้นทุนการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างถนนได้จาก

$$V_{c_project} = \frac{V_{c_embankment}}{P_{a_embankment}} + \frac{V_{c_subbase}}{P_{a_subbase}} + \frac{V_{c_base}}{P_{a_base}} + \frac{V_{c_pavement}}{P_{a_pavement}} \quad \text{Eq. 11}$$

ส่วนประกอบของความคลาดเคลื่อนต้นทุนก่อสร้าง

ไม่ว่าจะเป็นแผนการก่อสร้างแบบใด ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสามารถคำนวณได้จาก 1) ปริมาณงานที่ทำการก่อสร้าง และ 2) ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการก่อสร้าง ดังนั้นต้นทุนก่อสร้างที่เกิดขึ้นอาจคลาดเคลื่อนจากงบประมาณที่คาดการณ์ไว้ได้เนื่องจากปัจจัยดังต่อไปนี้ (1) การความแตกต่างระหว่างปริมาณงานที่ต้องทำจริงกับปริมาณงานที่ประมาณไว้ ซึ่งอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าได้ ค่าความคลาดเคลื่อนในส่วนนี้เรียกว่า cost variance due to changes in work quantity และ (2) การความแตกต่างระหว่างต้นทุนก่อสร้างต่อหน่วยที่จริงกับต้นทุนต่อหน่วยที่ได้วางงบประมาณเอาไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการขึ้นหรือลงของราคาวัสดุก่อสร้าง การเปลี่ยนชนิดของวัสดุก่อสร้าง ความต้องการแรงงานหรือเครื่องจักรต่างจากที่ประมาณไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนในส่วนหลังนี้เรียกว่า cost variance due to changes in unit cost

ต้นทุนก่อสร้างที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากปริมาณงานที่เปลี่ยนแปลงไป เกิดขึ้นเมื่อปริมาณงานที่ต้องทำมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าปริมาณงานที่ประมาณไว้ตอนที่กำหนดงบประมาณก่อสร้าง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของงานดังกล่าวมีผลให้เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าเปลี่ยนแปลงไป ดังสมการต่อไปนี้

$$P_b = \frac{U_a}{U_b} \quad \text{Eq. 12}$$

$$P_a = \frac{U_a}{U_p} \quad \text{Eq. 13}$$

โดย

P_b = Budgeted percent complete = เปอร์เซนต์ความก้าวหน้าบนพื้นฐานของปริมาณงานเดิม

P_a = Actual percent complete = เปอร์เซนต์ความก้าวหน้าที่เกิดขึ้นจริงบนพื้นฐานของปริมาณงานใหม่

U_a = Actual units performed = จำนวนหรือปริมาณงานที่ทำเสร็จ

U_b = Total units budgeted = จำนวนหรือปริมาณงานที่ประมาณไว้ตอนเริ่มโครงการ

U_p = Total units budgeted = จำนวนหรือปริมาณงานทั้งหมดที่จะต้องทำการก่อสร้าง

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า ถ้าปริมาณงานหรือจำนวนหน่วยงานทั้งหมดที่จะต้องทำเพิ่มขึ้น ($U_b < U_p$) เปอร์เซนต์ความก้าวหน้าโครงการจะลดลง ($P_b > P_a$) ซึ่งหมายความว่า มูลค่าของงานที่ได้ (BCWP) มีค่าลดลงตามไปด้วย

ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนการก่อสร้างเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{c_quantity} = (P_a - P_b)C_b \quad \text{Eq. 14}$$

ต้นทุนก่อสร้างที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากต้นทุนการก่อสร้างต่อหน่วยที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นเมื่อค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการก่อสร้างงานหนึ่งหน่วยที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ประมาณไว้ตอนที่กำหนดงบประมาณก่อสร้าง หรือ $\frac{C_a}{U_a} \neq \frac{C_b}{U_b}$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนการก่อสร้างเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถคำนวณได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{c_unit\ cost} = \left(\frac{C_b}{U_b} - \frac{C_a}{U_a} \right) \times U_a \quad \text{Eq. 15}$$

หรือ

$$V_{c_unit\ cost} = C_b \frac{U_a}{U_b} - C_a \quad \text{Eq. 16}$$

ต้นทุนก่อสร้างที่คลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ณ วันใดๆ ระหว่างการก่อสร้างคือ

$$V_c = V_{c_quantity} + V_{c_unit\ cost} \quad \text{Eq. 17}$$

2.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างที่ประกอบด้วยชั้นงานที่ซ้ำกันหลาย ๆ ชั้น

ตามทฤษฎีของระบบควบคุมโครงการก่อสร้าง วิศวกรสามารถประเมินสถานการณ์การก่อสร้างว่า จะสามารถดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จภายในกำหนดเวลาได้หรือไม่ จาก การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้าง เพื่อประเมินว่าความก้าวหน้าโครงการว่าช้าหรือเร็วกว่าแผนที่วางไว้อย่างไร

ณ วันที่ ในช่วงระหว่างก่อสร้าง ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความแตกต่างระหว่างมูลค่าของงานที่ทำได้กับมูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผนที่ได้วางไว้ หรือ

$$V_s = BCWP - BCWS \quad \text{Eq. 18}$$

โดย

$BCWP$ = Budgeted cost of work performed = งบประมาณการก่อสร้างในส่วนที่ก่อสร้างเสร็จ

$BCWS$ = Budgeted cost of work scheduled = งบประมาณการก่อสร้างตามแผนที่วางไว้

ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก บ่งชี้ว่าการทำงานเร็วกว่าแผนที่วางไว้ ถ้ามีค่าเป็นลบจะบ่งชี้ว่าการทำงานล่าช้ากว่าแผนที่กำหนดไว้

ดังอธิบายไว้ใน Carr 1993 ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างเกิดขึ้นเมื่อ 1) การก่อสร้างจริงเริ่มต้นเร็ว หรือ ช้ากว่าที่กำหนดไว้ 2) ปริมาณงานที่ต้องทำเปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณไว้ และหรือ 3) อัตราการทำงานจริงที่เกิดขึ้นทำได้เร็วหรือช้ากว่าที่คาดการณ์ไว้

ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างเนื่องจากวันที่เริ่มก่อสร้างเร็วหรือช้ากว่าแผนที่วางไว้ ($S_s \neq S_a$) สามารถคำนวณจากสมการ

$$V_{s_start} = \frac{C_b}{D_b} (D_a - D_s) \quad \text{Eq. 19}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างเนื่องจากปริมาณงานที่ต้องทำเปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณไว้ ($U_p \neq U_b$)

$$V_{s_quantity} = C_b (P_a - P_b) \quad \text{Eq. 20}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างเนื่องจากอัตราการทำงานจริงที่เกิดขึ้นทำได้เร็วหรือช้ากว่าที่คาดการณ์ไว้ ($\frac{U_a}{D_a} \neq \frac{U_b}{D_b}$)

$$V_{s_productivity} = \frac{C_b}{U_b} \left(\frac{U_a}{D_a} - \frac{U_b}{D_b} \right) \times D_a \quad \text{Eq. 21}$$

ค่าคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างที่เกิดขึ้น ณ วันใดๆ ระหว่างการก่อสร้างคือ

$$V_s = V_{s_start} + V_{s_quantity} + V_{s_productivity} \quad \text{Eq. 22}$$

2.3 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นงานที่ซ้ำกันหลาย ๆ ชิ้น

ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างมีวัตถุประสงค์คล้ายกับค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างตรงที่ ทั้งคู่บ่งบอกถึงสถานการณ์การก่อสร้างว่าความก้าวหน้าโครงการล่าช้าหรือเร็วกว่าแผนที่วางไว้และเพื่อประเมินว่าทีมงานจะสามารถดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จภายในกำหนดเวลาได้หรือไม่ สิ่งแตกต่างกันของสองดัชนีนี้คือหน่วยที่ใช้ในการวัด ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้างคือ ผลต่างระหว่างมูลค่าของงานที่ทำได้กับมูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผน นั่นคือ หน่วยที่วัดจะอยู่ในรูปของมูลค่างาน สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้าง ผลต่างของการทำงานและแผนที่วางไว้จะวัดในหน่วยของเวลา เช่น จำนวนวันที่ล่าช้าหรือเร็วกว่าแผนการก่อสร้าง

คล้ายกับค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการก่อสร้าง Carr 1993 อธิบายว่าค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างเกิดขึ้นเมื่อ 1) การก่อสร้างจริงเริ่มต้นเร็ว หรือ ช้ากว่าที่กำหนดไว้ 2) ปริมาณงานที่ต้องทำเปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณไว้ และหรือ 3) อัตราการทำงานจริงที่เกิดขึ้นทำได้เร็วหรือช้ากว่าที่คาดการณ์ไว้

ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างเนื่องจากวันที่เริ่มก่อสร้างเร็วหรือช้ากว่าแผนที่วางไว้ ($S_s \neq S_o$) สามารถคำนวณจากสมการ

$$V_{t_start} = D_a - D_s \quad \text{Eq. 23}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างเนื่องจากปริมาณงานที่ต้องทำเปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณไว้ ($U_p \neq U_b$)

$$V_{t_quantity} = D_b (P_a - P_b) \quad \text{Eq. 24}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างเนื่องจากอัตราการทำงานจริงที่เกิดขึ้นทำได้เร็วหรือช้ากว่าที่คาดการณ์ไว้ ($\frac{U_a}{D_a} \neq \frac{U_b}{D_b}$)

$$V_{t_productivity} = \left(\frac{D_b}{U_b} - \frac{D_a}{U_a} \right) \times U_a \quad \text{Eq. 25}$$

ค่าคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้างที่เกิดขึ้น ณ วันใดๆ ระหว่างการก่อสร้างคือ

$$V_t = V_{t_start} + V_{t_quantity} + V_{t_productivity} \quad \text{Eq. 26}$$

2.4 ข้อผิดพลาดในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาการก่อสร้าง

นอกจากนี้ ในงานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาในการก่อสร้างอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ โดยเฉพาะในกรณีที่การก่อสร้างของกิจกรรมหนึ่งกิจกรรมกรรมใดมีระยะเวลาการทำงานนับจากวันที่ควรเริ่มต้นตามแผน มากกว่าระยะเวลาการก่อสร้างทั้งหมดตามแผนที่วางไว้

ตัวอย่างเช่น กิจกรรมหนึ่งประกอบด้วยหน่วยการทำงานตามแผนเท่ากับ 500 หน่วย และงบประมาณการก่อสร้าง 1,000 บาท มีกำหนดระยะเวลาการทำงานตามแผนเท่ากับ 10 วัน ถ้า ณ วันที่สำรวจหน้างานคือ 8 วันหลังจากวันเริ่มต้นตามแผน พบว่า มีปริมาณงานทั้งหมดที่ต้องทำเพิ่มขึ้นเป็น 1,000 หน่วย โดยที่งบประมาณยังคงเท่าเดิม และมีปริมาณงานแล้วเสร็จจำนวน 700 หน่วยจากจำนวนวันทำงานจริง 4 วัน

$$U_b = 500 \text{ หน่วย} \quad C_b = 1,000 \text{ บาท} \quad D_b = 10 \text{ วัน} \quad D_s = 8 \text{ วัน}$$

$$U_p = 1,000 \text{ หน่วย} \quad U_a = 700 \text{ หน่วย} \quad D_a = 4 \text{ วัน}$$

ณ วันที่ทำการเก็บข้อมูล ปริมาณที่ทำได้ 700 หน่วย จากปริมาณงานที่ต้องทำทั้งหมด 1,000 หน่วย คิดเป็นความก้าวหน้าโครงการ

$$\begin{aligned} \text{Percent complete } (P_a) &= \frac{U_a}{U_p} \\ &= \frac{700}{1,000} = 70\% \end{aligned}$$

มูลค่างานแล้วเสร็จคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} BCWP &= P_a * C_b \\ &= 0.7 * 1,000 \\ &= 700 \end{aligned}$$

เนื่องจากวันที่เก็บข้อมูลเป็นวันทำงาน วันที่ 8 นั่นคือ ปริมาณงานที่ควรแล้วเสร็จตามแผนมีค่า

$$\begin{aligned} BCWS &= \frac{\text{Min}(D_s, D_b)}{D_b} * C_b \\ &= \frac{8}{10} * 1,000 \\ &= 800 \end{aligned}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงาน ณ วันที่ทำการสำรวจ คำนวณได้จาก Eq. 18

$$\begin{aligned} V_s &= BCWP - BCWS \\ &= 700 - 800 \\ &= -100 \end{aligned}$$

และความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากวันเริ่มต้นทำงานไม่เป็นไปตามแผน คำนวณได้จาก Eq. 19

$$\begin{aligned} V_{s_start} &= \frac{C_b}{D_b} (D_a - D_s) \\ &= \frac{1,000}{10} (4 - 8) \\ &= -400 \end{aligned}$$

ความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากปริมาณงานที่เปลี่ยนแปลงไปจากงบประมาณที่ได้วางไว้ คำนวณได้จาก Eq. 20

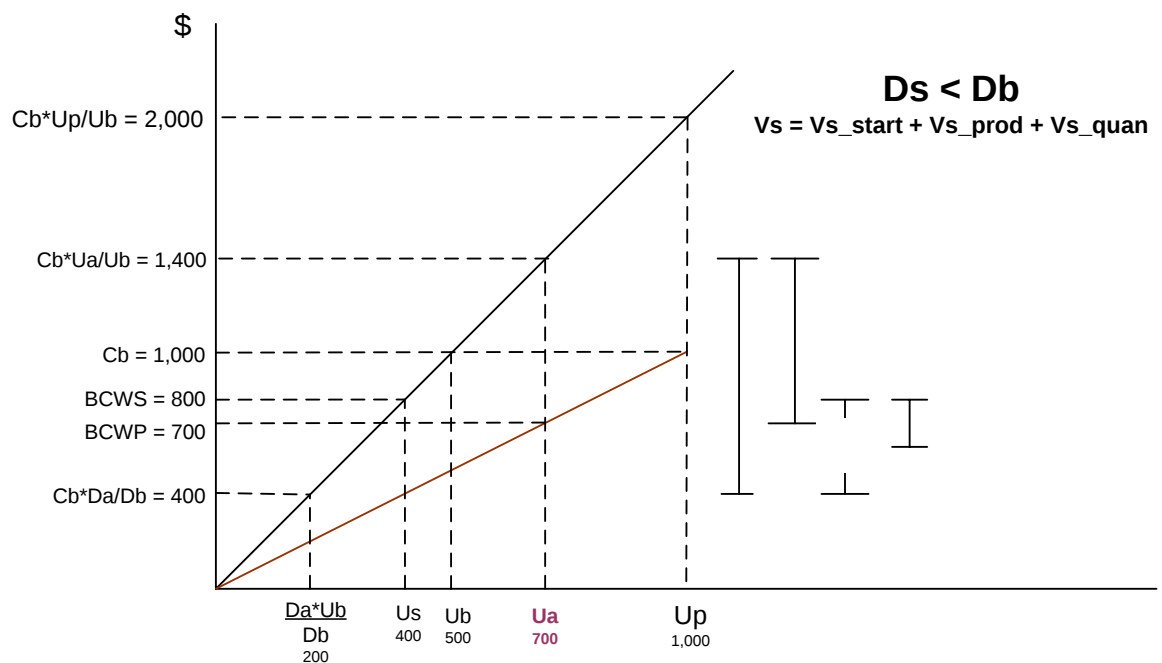
$$\begin{aligned} V_{s_quantity} &= C_b (P_a - P_b) \\ &= 1,000 * \left(0.7 - \frac{700}{500} \right) \\ &= -700 \end{aligned}$$

และความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากอัตราการการทำงานหรือผลผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปจากการคาดการณ์ คำนวณได้จาก Eq. 21

$$\begin{aligned}
 V_{s_productivity} &= \frac{C_b}{U_b} * \left(\frac{U_a}{D_a} - \frac{U_b}{D_b} \right) * D_a \\
 &= \frac{1,000}{500} * \left(\frac{700}{4} - \frac{500}{10} \right) * 4 \\
 &= +1,000
 \end{aligned}$$

ซึ่งความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวมคำนวณได้จาก Eq. 22 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_{s_start} + V_{s_quantity} + V_{s_productivity} \\
 &= -400 - 700 + 1,000 \\
 &= -100
 \end{aligned}$$



รูปที่ 28 ความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงาน กรณี $D_s < D_b$

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานที่คำนวณจากสมการ Eq. 18 มีค่าเท่ากับค่าที่คำนวณได้จาก Eq. 22 ทั้งนี้เหตุการณ์ในลักษณะนี้จะเป็นจริงต่อเมื่อ ระยะเวลาทำงานจากวันที่เริ่มงานตามแผนถึงวันที่สำรวจมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาทำงานทั้งหมดตามที่คาดการณ์ไว้ ($D_s < D_b$)

รูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานในกรณีที่ระยะเวลาทำงานจากวันที่เริ่มงานตามแผนถึงวันที่สำรวจมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาทำงานทั้งหมดตามที่คาดการณ์ไว้ โดยแกนตั้งคือมูลค่างานและแกนนอนคือจำนวนหน่วยการทำงาน กราฟเส้นบนแสดงความสัมพันธ์ตามมูลค่าของงานตามงบประมาณเดิม (มูลค่างาน 1,000 บาท สำหรับการก่อสร้าง 500 หน่วย) และเส้นล่างแสดงมูลค่าของงานตามปริมาณงานใหม่ (มูลค่างาน 1,000 บาท สำหรับการก่อสร้าง 1,000 หน่วย)

ในกรณีที่ระยะเวลาทำงานจากวันที่เริ่มงานตามแผนถึงวันที่สำรวจมีค่าเกินกว่าระยะเวลาทำงานทั้งหมดตามที่คาดการณ์ไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวมที่คำนวณจาก Eq. 18 จะมีค่าต่ำกว่าผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวันเริ่มต้นทำงานไม่เป็นไปตามแผน ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากปริมาณงานที่ต้องทำเพิ่มขึ้นหรือลดลง และ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากอัตราการทำงานไม่เท่ากับอัตราที่คาดการณ์ไว้ เพื่อความชัดเจนขอแสดงโดยอาศัยตัวอย่าง

จากเหตุการณ์งานก่อสร้างสมมติข้างต้น ถ้าผู้ก่อสร้างไม่สามารถทำงานให้แล้วเสร็จภายในกำหนดเวลา และวันที่มีการสำรวจปริมาณงานเกิดขึ้นหลังจากกำหนดวันเริ่มต้นตามแผนไป 12 วัน ถ้ามีปริมาณงานแล้วเสร็จเท่ากับกรณีแรกคือ 700 หน่วย เปอร์เซนต์ความก้าวหน้าคิดเป็น 70 % และมูลค่างานแล้วเสร็จจะมีค่าเท่ากับ 700 บาท เท่ากับในกรณีแรก

เนื่องจากวันที่เก็บข้อมูลเป็นวันทำงาน วันที่ 8 นั่นคือ ปริมาณงานที่ควรแล้วเสร็จตามแผนมีค่า

$$\begin{aligned} BCWS &= \frac{\text{Min}(D_s, D_b)}{D_b} * C_b \\ &= \frac{\text{Min}(12, 10)}{10} * 1,000 \\ &= 1,000 \end{aligned}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงาน ณ วันที่ทำการสำรวจ คำนวณได้จาก Eq. 18

$$\begin{aligned} V_s &= BCWP - BCWS \\ &= 700 - 1,000 \\ &= -300 \end{aligned}$$

และความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากวันเริ่มต้นทำงานไม่เป็นไปตามแผน คำนวณได้จาก Eq. 19

$$\begin{aligned}
 V_{s_start} &= \frac{C_b}{D_b}(D_a - D_s) \\
 &= \frac{1,000}{10}(4 - 12) \\
 &= -800
 \end{aligned}$$

ความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากปริมาณงานที่เปลี่ยนแปลงไปจากงบประมาณที่ได้วางไว้ คำนวณได้จาก Eq. 20 ซึ่งมีค่าเท่ากับกรณีแรกคือ

$$\begin{aligned}
 V_{s_quantity} &= C_b(P_a - P_b) \\
 &= 1,000 * \left(0.7 - \frac{700}{500}\right) \\
 &= -700
 \end{aligned}$$

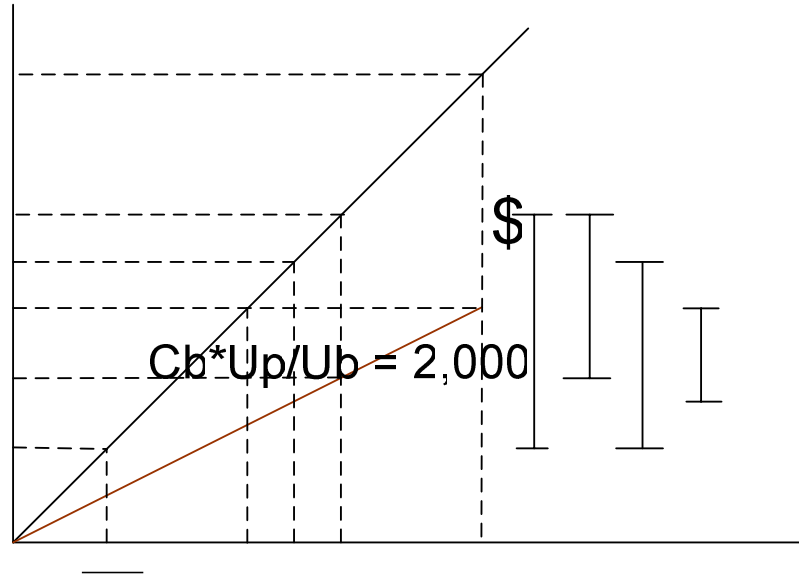
และความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากอัตราการการทำงานหรือผลิตผลที่เปลี่ยนแปลงไปจากการคาดการณ์ คำนวณได้จาก Eq. 21 ซึ่งมีค่าเท่ากับกรณีแรกคือ

$$\begin{aligned}
 V_{s_productivity} &= \frac{C_b}{U_b} * \left(\frac{U_a}{D_a} - \frac{U_b}{D_b}\right) * D_a \\
 &= \frac{1,000}{500} * \left(\frac{700}{4} - \frac{500}{10}\right) * 4 \\
 &= +1,000
 \end{aligned}$$

ซึ่งความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวมคำนวณได้จาก Eq. 22 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_{s_start} + V_{s_quantity} + V_{s_productivity} \\
 &= -800 - 700 + 1,000 \\
 &= -500
 \end{aligned}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวมที่คำนวณได้จากทั้งสามองค์ประกอบนี้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณจากผลต่างระหว่างมูลค่างานตามแผนและมูลค่างานแล้วเสร็จ ดังรูปที่ 29



$$Cb \cdot U_a / U_b = 1,400$$

รูปที่ 29 ความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงาน กรณี $D_s > D_b$

$$Cb \cdot D_s / D_b = 1,200$$

ในกรณีที่ระยะเวลาทำงานจากวันที่เริ่มงานตามแผนถึงวันที่สำรวจมีค่าเกินกว่าระยะเวลาทำงานทั้งหมดตามที่คาดการณ์ไว้ ทั้งนี้เนื่องจากในทางปฏิบัติ มูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผน (BCWS) ถูกกำหนดไว้ให้มีค่ามากกว่างบประมาณทั้งหมดของงานนั้น ๆ เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานของงานที่เสร็จสมบูรณ์มีค่าเท่ากับศูนย์

$$BCWP = 700$$

ถ้ามูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผนคำนวณจากระยะเวลาจากวันที่เริ่มงานตามแผนถึงวันที่สำรวจ โดยที่ไม่มีการกำหนดค่าสูงสุดของมูลค่าดังกล่าว ค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวมที่คำนวณได้จากทั้งสามองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 30

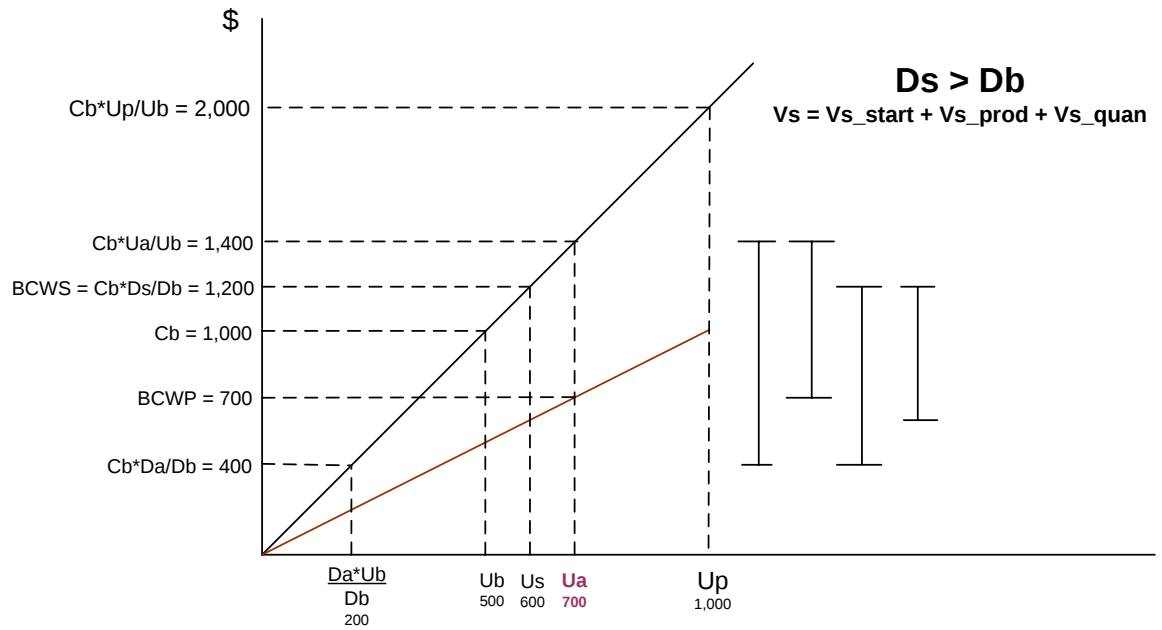
$$Cb \cdot D_a / D_b = 400$$

จากรูปที่ 30 BCWS คำนวณจากมูลค่าของงานที่ควรแล้วเสร็จตามจำนวนวันการทำงาน นับตั้งแต่วันเริ่มงานตามแผน นั่นคือ

$$\begin{aligned} BCWS &= \frac{D_s}{D_b} \cdot C_b \\ &= \frac{12}{10} \cdot 1,000 \\ &= 1,200 \end{aligned}$$

$$\frac{D_a \cdot U_b}{D_b} = \frac{200}{200}$$

$$\frac{U_b}{U_b} = \frac{500}{500}$$



รูปที่ 30 ความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงาน กรณี $D_s > D_b$

ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้มีค่าเป็น

$$\begin{aligned}
 V_s &= BCWP - BCWS \\
 &= 700 - 1,200 \\
 &= -500
 \end{aligned}$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวมคำนวณได้จาก Eq. 22

2.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนและแผนการก่อสร้าง

ในการแสดงการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนและแผนงานของการก่อสร้าง จะขอเสนอโครงการก่อสร้างถนนเป็นโครงการตัวอย่าง โดยข้อมูลที่ได้เป็นของโครงการก่อสร้างถนนสายบางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 1)

ดังที่กล่าวในข้างต้น โครงการก่อสร้างถนนส่วนใหญ่เป็นโครงการภาครัฐ และใช้สัญญาก่อสร้างประเภทสัญญาต่อหน่วย (Unit price contract) มีการกำหนดและจัดกลุ่มรายการของงานก่อสร้างอย่างเป็นระบบ โดยรายการก่อสร้างแบ่งตามกลุ่มออกเป็น 6 กลุ่มหลักดังนี้

1. REMOVAL OF EXISTING STRUCTURES
2. EARTH WORK
3. SUB-BASE AND BASE COURSES
4. SURFACE COURSES
5. STRUCTURES
6. MISCELLANEOUS

เนื่องจากรายการก่อสร้างของโครงการจริงประกอบด้วยงานก่อสร้างหลายรายการ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ในตัวอย่างนี้จึงได้นำเพียงบางส่วนของรายการก่อสร้างมาเสนอโดยได้ออกแบบตารางเพื่อ

1. วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนงานก่อสร้างถนน ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้
 - 1.1 วันที่เริ่มทำงานจริงเทียบกับแผน
 - 1.2 ปริมาณงานจริงเทียบกับแผน
 - 1.3 อัตราการทำงานจริงเทียบกับแผน
2. วิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนการก่อสร้างถนนประกอบด้วย
 - 2.1 การเปลี่ยนแปลงราคาต้นทุนต่อหน่วยของงานแต่ละรายการ
 - 2.2 ปริมาณงานที่เปลี่ยนแปลงไปของงานย่อยแต่ละรายการ

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ปริมาณงาน		หน่วยละ (บาท)	จำนวนเงิน		% น้ำหนัก		ปริมาณงาน แล้วเสร็จ	% งานแล้วเสร็จ			% งาน	Schedule Variance		Vs_ quantity	Vs_ start + prod.
			ตามแผน	คาดการณ์		งบประมาณ	คาดการณ์	ตามแผน	คาดการณ์		% จากแผน	% จริง	% น้ำหนัก		%	Baht		
1	REMOVAL OF EXISTING STRUCTURES		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
1.20	Removal of existing concrete, Pavement	Sq.m.	400	319	163.00	65,200	51,981	0.02%	0.01%	318.9	79.73%	100.00%	0.01%	100.00%	0.00%	0	0	0
1.4 (1)	Removal of existing Predestain Bridge	Each	1	1	571,970.00	571,970	571,970	0.15%	0.15%	1.0	100.00%	100.00%	0.15%	100.00%	0.00%	0	0	0
1.4 (2)	Removal of existing Predestain Bridge	Each	1	1	414,517.00	414,517	414,517	0.11%	0.11%	1.0	100.00%	100.00%	0.11%	100.00%	0.00%	0	0	0
2	EARTH WORK																	
2.1	Clearing and grubbing	Sq.m.	240,000	215,016	1.00	240,000	215,016	0.06%	0.06%	169,450.9	70.60%	78.81%	0.04%	95.00%	-16.19%	(38,860)	19,689	(58,549)
2.2 (1)	Roadway excavation, earth excavation	Cu.m.	11,500	20,967	29.00	333,500	608,046	0.09%	0.16%	20,967.1	182.32%	100.00%	0.16%	100.00%	0.00%	0	0	0
2.2 (4)	Roadway excavation, unsuitable material	Cu.m.	2,200	15,324	33.00	72,600	505,684	0.02%	0.13%	15,323.8	696.53%	100.00%	0.13%	100.00%	0.00%	0	0	0
2.2 (5)	Soft material excavation (Excavation on	Cu.m.	500	2,609	33.00	16,500	86,105	0.00%	0.02%	2,609.2	521.85%	100.00%	0.02%	100.00%	0.00%	0	0	0
2.3 (1)	Earth embankment (Backsied of Barrier	Cu.m.	29,000	16,586	147.00	4,263,000	2,438,163	1.11%	0.64%	8,731.4	30.11%	52.64%	0.34%	100.00%	-47.36%	(2,018,834)	960,647	(2,979,481)
2.3 (2)	Sand embankment	Cu.m.	93,000	148,523	395.00	36,735,000	58,666,722	9.55%	15.48%	147,183.6	158.26%	99.10%	15.34%	100.00%	-0.90%	(331,367)	(21,733,888)	21,402,521
2.3 (4)	Earth fill in median & island	Cu.m.	8,600	8,600	154.00	1,324,400	1,324,400	0.34%	0.35%	7,601.0	88.38%	88.38%	0.31%	100.00%	-11.62%	(153,852)	0	(153,852)
3	SUBBASE AND BASE COURSES																	
3.1 (1)	Soil Aggregate subbase	Cu.m.	84,000	51,118	485.00	40,740,000	24,792,062	10.59%	6.54%	50,478.8	60.09%	98.75%	6.46%	100.00%	-1.25%	(509,173)	15,748,619	(16,257,792)
3.2 (1)	Crushed soil aggregate type base	Cu.m.	80,000	73,660	520.00	41,600,000	38,303,329	10.81%	10.11%	73,587.7	91.98%	99.90%	10.10%	100.00%	-0.10%	(40,974)	3,293,424	(3,334,398)
3.4 (1)	Sand cushion under concrete pavement	Cu.m.	200	70	391.00	78,200	27,411	0.02%	0.01%	70.1	35.05%	100.00%	0.01%	100.00%	0.00%	0	0	0
4	SURFACE COURSES																	
4.1 (1)	Prime coat	Sq.m.	510,000	296,495	12.00	6,120,000	3,557,938	1.59%	0.94%	292,512.3	57.36%	98.66%	0.93%	100.00%	-1.34%	(82,204)	2,527,648	(2,609,852)
4.1 (2)	Tack coat	Sq.m.	950,000	1,229,987	6.00	5,700,000	7,379,922	1.48%	1.95%	1,209,065.7	127.27%	98.30%	1.91%	100.00%	-1.70%	(96,954)	(1,651,348)	1,554,394
4.4 (2)	Asphalt bound base 10 cm. thick	Sq.m.	500,000	476,470	218.00	109,000,000	103,870,455	28.33%	27.41%	476,470.0	95.29%	100.00%	27.41%	100.00%	0.00%	0	0	0
4.4 (3)	Asphalt concrete binder course 5 cm. thic	Sq.m.	520,000	511,321	117.00	60,840,000	59,824,540	15.82%	15.79%	507,512.8	97.60%	99.26%	15.67%	100.00%	-0.74%	(453,110)	1,007,897	(1,461,007)
4.4 (4)	Asphalt concrete wearing course 5 cm. th	Sq.m.	580,000	545,958	116.00	67,280,000	63,331,085	17.49%	16.71%	522,750.1	90.13%	95.75%	16.00%	100.00%	-4.25%	(2,859,938)	3,781,054	(6,640,992)
4.4 (5)	Asphalt bound base (levelling)	Ton.	9,500	14,390	876.00	8,322,000	12,605,612	2.16%	3.33%	14,390.0	151.47%	100.00%	3.33%	100.00%	0.00%	0	0	0
4.9 (1)	Portland cement concrete pavement 25 c	Sq.m.	2,000	701	470.00	940,000	329,496	0.24%	0.09%	701.1	35.05%	100.00%	0.09%	100.00%	0.00%	0	0	0
4.9 (4)	Longitudinal joint	m.	250	355	75.00	18,750	26,621	0.00%	0.01%	250.0	100.00%	70.43%	0.00%	100.00%	-29.57%	(5,544)	(5,544)	0
4.9 (5)	Dummy joint	m.	170	0	44.00	7,480	0	0.00%	0.00%	0.0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	-100.00%	(7,480)	0	(7,480)
4.9 (6)	Edge joint	m.	250	0	44.00	11,000	0	0.00%	0.00%	0.0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	-100.00%	(11,000)	0	(11,000)
รวม						384,694,117	378,931,076	100%	100%				98.54%			(6,609,289)	3,948,200	(10,557,489)

รูปที่ 31 ตารางแสดงการคำนวณความคลาดเคลื่อนของแผนงานก่อสร้างของโครงการตัวอย่าง

รูปที่ 31 เป็นการออกแบบตารางเพื่อใช้ควบคุมโครงการก่อสร้างถนนสาย บางนา-ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 1) เพื่อใช้ตรวจสอบความเบี่ยงเบนของแผนงานและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ณ วันที่ประเมินหรือตลอดอายุสัญญาก่อสร้าง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ส่วนของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน

1. จัดทำตารางแผนงานโดยใช้ปริมาณงานและราคาต่อหน่วยตามรายการที่ได้แนบมา กับสัญญาก่อสร้าง ซึ่งในตัวอย่างนี้เนื่องจากแบ่งงานออกเป็น 4 หมวดใหญ่ 23 งานย่อย
2. กำหนดให้ปริมาณงานตามแผนอยู่ที่ช่องที่มีอักษร (a) กำกับดังแสดงในตาราง
3. ปริมาณงานที่ต้องทำจริงที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (Field Estimated) ซึ่งอาจแตกต่างไปจากปริมาณงานตามแผนและตรวจพบภายหลังจากการเซ็นสัญญา กำหนดให้เป็นปริมาณงานคาดการณ์อยู่ที่ช่อง (b)
4. ช่อง (c) แสดงราคาต่อหน่วยตามสัญญาก่อสร้าง ซึ่งเป็นสัญญาก่อสร้างประเภท Unit Price
5. จำนวนเงินคือมูลค่าของงาน ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณงาน คูณ ราคาต่อหน่วย แบ่งเป็น 2 ช่องย่อย คือ
 - a. ช่อง d. เป็นจำนวนเงินงบประมาณหรือมูลค่าของงานตามแผน = ปริมาณงานตามแผน (a) x ราคาต่อหน่วย (c)
 - b. ช่อง (e) เป็นจำนวนเงินคาดการณ์ = ปริมาณงานคาดการณ์ (b) x ราคาต่อหน่วย (c)
6. เปอร์เซนต์น้ำหนัก คือ สัดส่วนของมูลค่างานของแต่ละงานย่อยเทียบกับมูลค่าโครงการทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่องย่อย
 - a. ช่อง (f) เป็นเปอร์เซนต์น้ำหนักตามแผนงาน ซึ่งคำนวณจาก จำนวนเงินงบประมาณ (d) / จำนวนเงินรวมทั้งหมดตามแผน
 - b. ช่อง (g) เป็นเปอร์เซนต์น้ำหนักตามการคาดการณ์ของงานย่อยแต่ละงาน = จำนวนเงินตามการคาดการณ์ (e) / จำนวนเงินรวมทั้งหมดที่คาดการณ์

ส่วนของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างจริง

7. ปริมาณงานแล้วเสร็จ คือ ปริมาณงานสะสมที่ทำได้ของแต่ละงานย่อย กำหนดให้มีอักษร (h) กำกับ
8. % งานแล้วเสร็จ คือ สัดส่วนของปริมาณงานสะสมที่ทำได้หารด้วยปริมาณงานที่ต้องทำทั้งหมด ซึ่งแบ่งเป็น

- a. % งานแล้วเสร็จเทียบจากแผน (i) คือสัดส่วนของปริมาณงานที่แล้วเสร็จ (h)หารด้วยปริมาณงานตามแผน (a)
- b. % งานแล้วเสร็จจริง (j) คือสัดส่วนของปริมาณงานที่แล้วเสร็จ (h) หารด้วยปริมาณงานคาดการณ์ (b)
- c. % น้ำหนัก (k) คือสัดส่วนของมูลค่าของปริมาณงานที่แล้วเสร็จของงานย่อยนั้นเทียบกับมูลค่าทั้งหมดของโครงการ ซึ่งคำนวณได้จาก % งานแล้วเสร็จจริง (j) คูณด้วย % น้ำหนักคาดการณ์ (g) ผลรวมของ % น้ำหนักของปริมาณงานที่แล้วเสร็จ คือเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของทั้งโครงการ ซึ่งอยู่ในบรรทัดสุดท้าย ในตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 98.54%

ส่วนของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

9. % งานตามแผนในช่อง (l) หมายถึง เปอร์เซนต์ความก้าวหน้าของงานในแต่ละกิจกรรมย่อยที่ควรทำได้ ณ วันที่มีการประเมิน ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับแผนการทำงานที่วางไว้ ในตัวอย่างนี้แผนการทำงานของแต่ละเดือนแสดงดังรูปที่ 32 ในตัวอย่างนี้ประเมินผลงานแล้วเสร็จถึงเดือน กันยายน 2548 โดยการรวบรวมผลงานตั้งแต่งวดที่ 1 ถึงงวดประจำเดือน กันยายน 2548 และตรวจเช็คปริมาณแล้วเสร็จจริงในสนามตั้งแต่เริ่มสัญญาจนถึงเดือนที่ทำการประเมินผลงาน
10. จากข้อมูลเปอร์เซนต์ความก้าวหน้าตามแผนและปริมาณงานที่ทำได้จริง ณ วันที่ทำการประเมินผลงาน ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานสามารถคำนวณได้ดังนี้
 - a. Schedule Variance ในรูปของเปอร์เซนต์ (m) คือ สัดส่วนหรือเปอร์เซนต์ความก้าวหน้างานจริงเทียบกับแผนที่วางไว้ ณ วันที่ทำการประเมิน หรือคำนวณจาก % งานแล้วเสร็จจริง (j) – % งานตามแผน (l)
 - b. Schedule Variance ในรูปของจำนวนเงิน (n) คือ ความแตกต่างระหว่างมูลค่างานที่ทำได้จริงกับมูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผน หรือคำนวณได้จาก (ปริมาณงานแล้วเสร็จ (h) * ราคาต่อหน่วย (c)) – (% งานตามแผน (l) * มูลค่างานคาดการณ์ (e))

ถ้าค่าที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงว่างานที่ทำได้มีมูลค่าเท่ากับมูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผน หรือ การดำเนินงานจริงตรงกับแผน

ถ้าค่าที่ได้มีค่าเป็นบวก หมายถึงมูลค่าของงานแล้วเสร็จมีค่าสูงกว่ามูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผน หรือ ทำงานได้เร็วกว่าแผนที่วางไว้

แต่ถ้าค่าที่ได้มีค่าเป็นลบ หมายถึง มูลค่าของงานที่แล้วเสร็จมีค่าต่ำกว่ามูลค่าของงานที่ควรแล้วเสร็จตามแผน หรือการดำเนินงานจริงช้ากว่าแผนที่วาง

ไว้ และควรมีการปรับแผนการทำงานเพื่อให้โครงการโดยรวมแล้วเสร็จทันกำหนด

11. ในกรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ไม่ว่าจะมีความเป็นบวกหรือลบ อาจเกิดได้จากสามปัจจัยหลักดังที่อธิบายไว้แล้วข้างต้น

- a. ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากปริมาณที่ต้องทำจริงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจากปริมาณงาน ณ วันที่วางแผน หรือ Vs_quantity ในช่อง (o) เกิดขึ้นในกรณีที่ปริมาณงานตามแผน (a) ไม่เท่ากับปริมาณงานคาดการณ์ (b) ค่าความคลาดเคลื่อนนี้คำนวณได้จาก % งานแล้วเสร็จจริง (j) – % งานแล้วเสร็จเทียบจากแผน (i)
- b. ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากการเริ่มต้นการทำงาน หรือ Vs_start เกิดขึ้นเมื่อวันเริ่มต้นการทำงานจริงไม่ตรงกับแผนที่วางไว้
- c. ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากการอัตราการทำงาน หรือ Vs_productivity เกิดขึ้นเมื่อผลิตผลที่ได้จากการทำงานจริงไม่ตรงกับแผนที่วางไว้

เนื่องจากในโครงการนี้ไม่มีการเก็บข้อมูลวันที่เริ่มต้นทำงาน ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากการเริ่มต้นการทำงานและค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากการอัตราการทำงานได้ หากแต่ได้ค่าความคลาดเคลื่อนในรูปของผลรวมของทั้งสองค่านี้จากรูปที่ 31 ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากการเริ่มต้นการทำงานและอัตราการทำงาน (p) คือ ผลต่างของค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานโดยรวม ลบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานอันเนื่องมาจากปริมาณงานเปลี่ยนแปลง

12. นอกจากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานและค่าใช้จ่ายในภาพรวมของทั้งโครงการในแต่ละเดือนแสดงในตารางที่ 33 และสามารถคำนวณได้ดังนี้

- a. ในแต่ละเดือน ปริมาณการทำงานตามแผนในรูปของเปอร์เซ็นต์คำนวณได้จากผลรวมของเปอร์เซ็นต์การทำงานตามแผนคูณด้วยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักคาดการณ์
- b. ปริมาณงานสะสมที่ควรทำได้ตามแผนในรูปของเปอร์เซ็นต์ คำนวณจากปริมาณงานที่ควรทำได้ในเดือนปัจจุบันรวมกับปริมาณงานสะสมที่ควรทำได้จากเดือนที่ผ่านมา

ลำดับ	รายการ	2547										2548																
		กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน										
1	REMOVAL OF EXISTING STRUCTURES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17										
1.20	Removal of existing concrete, Pavement							50%	50%							80%												
1.4 (1)	Removal of existing Predestain Bridge, at Sta.					50%	50%									100%												
1.4 (2)	Removal of existing Predestain Bridge, at Sta.						50%	50%								100%												
2	EARTH WORK																											
2.1	Clearing and grubbing	5%	4%	10%	10%	10%	13%	10%	14%	10%	24%	20%	6%	20%		5%		1%	1%									
2.2 (1)	Roadway excavation, earth excavation		10%		15%		20%		20%		15%				150%			36%	3%									
2.2 (4)	Roadway excavation, unsuitable material excavat		10%		20%		20%		20%	100%	20%		15%		597%													
2.2 (5)	Soft material excavation (Excavation only)		20%		20%		20%		20%						379%			78%										
2.3 (1)	Earth embankment (Backsied of Barrier)					10%		10%		10%		10%		10%		10%	23%											
2.3 (2)	Sand embankment		5%		19%	5%	30%	15%	4%	5%	26%	5%	11%	3%	3%	20%	10%	25%	1%			1%	1%					
2.3 (4)	Earth fill in median & island														25%		25%	2%	25%	25%	63%	24%						
3	SUBBASE AND BASE COURSES																											
3.1 (1)	Soil Aggregate subbase				3%	4%	18%	9%	3%	11%	3%	7%	3%	5%	3%	2%	15%	8%	20%	1%	20%	7%	15%	3%	2%	1%		
3.2 (1)	Crushed soil aggregate type base				3%	1%	18%	14%	3%	5%	3%	10%	3%	16%	3%	4%	10%	9%	10%	1%	15%	19%	15%	10%	20%	2%		
3.4 (1)	Sand cushion under concrete pavement											30%		30%		40%								35%				
4	SURFACE COURSES																											
4.1 (1)	Prime coat					7%		7%		11%		9%	3%	6%	3%	10%	5%	2%	15%	3%	20%	3%	20%	1%	20%	0%	15%	0%
4.1 (2)	Tack coat				3%	4%	3%	10%	3%	10%	3%	6%	3%	12%	3%	9%	5%	19%	5%	44%	15%	13%	20%	0%	20%	0%	20%	0%
4.4 (2)	Asphalt bound base 10 cm. thick				3%	8%	15%	5%	1%	19%	1%	14%	1%	10%	1%	4%	10%	13%	10%	14%	15%	8%	15%	1%	15%	0%	14%	0%
4.4 (3)	Asphalt concrete binder course 5 cm. thick							14%		10%		8%	3%	16%	3%	12%	5%	12%	15%	11%	20%	8%	20%	4%	20%	0%	15%	1%
4.4 (4)	Asphalt concrete wearing course 5 cm. thick						10%		7%		1%		2%	3%	3%	3%	19%	5%	17%	15%	10%	25%	19%	25%	3%	25%	1%	
4.4 (5)	Asphalt bound base (levelling)				5%		10%	2%	3%	34%	3%	16%	3%	8%	3%	23%	10%	46%	15%	6%	15%	3%	15%	3%	15%	150%	5%	
4.9 (1)	Portland cement concrete pavement 25 cm. thick													30%		30%		40%				35%		0%				
4.9 (4)	Longitudinal joint													30%		30%		40%							100%			
4.9 (5)	Dummy joint													30%		30%		40%										
4.9 (6)	Edge joint													30%		30%		40%										

วันเริ่มสัญญา 8 กรกฎาคม 2547

วันเริ่มสัญญา 8 กรกฎาคม 2547

รูปที่ 32 แผนงานก่อสร้างของโครงการตัวอย่าง

แผนงานและผลงานก้าวหน้า
โครงการก่อสร้างทางสายปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 34 ตอน บางนา - ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ส่วนที่ 1)
ระหว่าง กม. 1+019.136 ถึง กม. 14+144.114 ระยะทางยาว 13.125 กม.

			2547						2548											
			กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	
แผนงาน	%	แต่ละเดือน	0.003%	0.018%	1.890%	9.821%	1.600%	1.661%	1.785%	2.222%	9.204%	12.525%	16.748%	16.132%	15.084%	11.305%	0.003%			
		รวมสะสม	0.003%	0.021%	1.911%	11.731%	13.332%	14.992%	16.777%	18.999%	28.204%	40.728%	57.477%	73.609%	88.693%	99.998%	100.001%			
	บาท	แต่ละเดือน	12,000	67,910	7,270,695	37,779,270	6,156,605	6,387,864	6,866,499	8,548,954	35,408,129	48,181,522	64,429,700	62,058,700	58,027,700	43,490,200	12,000			
		รวมสะสม	12,000	79,910	7,350,605	45,129,875	51,286,480	57,674,344	64,540,842	73,089,796	108,497,925	156,679,447	221,109,147	283,167,847	341,195,547	384,685,747	384,697,747			
ผลงาน	บุคลากรที่ทำงานเสร็จ	%	แต่ละเดือน	0.470%	1.803%	5.831%	8.856%	13.642%	8.903%	8.934%	5.262%	13.077%	10.107%	10.177%	8.601%	5.200%	0.758%	0.357%	0.104%	0.076%
			รวมสะสม	0.470%	2.272%	8.103%	16.959%	30.602%	39.505%	48.438%	53.700%	66.778%	76.884%	87.062%	95.663%	100.863%	101.620%	101.978%	102.081%	102.157%
		บาท	แต่ละเดือน	1,780,323	6,830,396	22,094,512	33,558,228	51,695,607	33,735,982	33,851,947	19,940,353	49,554,194	38,296,966	38,564,878	32,592,808	19,704,812	2,870,498	1,353,307	392,498	287,696
			รวมสะสม	1,780,323	8,610,719	30,705,230	64,263,458	115,959,065	149,695,047	183,546,994	203,487,347	253,041,541	291,338,508	329,903,386	362,496,194	382,201,006	385,071,504	386,424,811	386,817,310	387,105,006
	ความคลาดเคลื่อนของแผนงาน	%	แต่ละเดือน	0.467%	1.785%	3.941%	-0.965%	12.042%	7.242%	7.149%	3.040%	3.873%	-2.418%	-6.571%	-7.531%	-9.884%	-10.548%	0.354%		
			รวมสะสม	0.467%	2.252%	6.192%	5.228%	17.270%	24.512%	31.661%	34.701%	38.574%	36.156%	29.585%	22.054%	12.170%	1.623%	1.977%		
		บาท	แต่ละเดือน	1,768,323	6,762,486	14,823,817	-4,221,042	45,539,002	27,348,119	26,985,449	11,391,399	14,146,065	-9,884,556	-25,864,822	-29,465,892	-38,322,888	-40,619,702	1,341,307		
			รวมสะสม	1,768,323	8,530,809	23,354,625	19,133,583	64,672,585	92,020,703	119,006,152	130,397,551	144,543,616	134,659,061	108,794,239	79,328,347	41,005,459	385,757	1,727,064		
	ความคลาดเคลื่อนของค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (บาท)	แต่ละเดือน	1,779,400	6,830,198	13,077,052	44,460,892	30,916,216	55,079,426	45,094,558	38,952,643	41,821,767	56,781,112	72,361,650	49,945,057	51,622,273	20,571,075	15,386,677	11,970,802	4,891,157
			รวมสะสม	1,779,400	8,609,598	21,686,651	66,147,542	97,063,758	152,143,185	197,237,743	236,190,385	278,012,152	334,793,264	407,154,914	457,099,970	508,722,244	529,293,319	544,679,996	556,650,798	561,541,955
		บาท	แต่ละเดือน	923	197	9,017,459	-10,902,664	20,779,391	-21,343,444	-11,242,611	-19,012,290	7,732,428	-18,484,145	-33,796,772	-17,352,249	-31,917,461	-17,700,577	-14,033,370	-11,578,304	-4,603,461
			รวมสะสม	923	1,120	9,018,580	-1,884,084	18,895,306	-2,448,138	-13,690,749	-32,703,038	-24,970,611	-43,454,756	-77,251,528	-94,603,777	-126,521,238	-144,221,815	-158,255,185	-169,833,488	-174,436,949

รูปที่ 33 ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนงานและค่าใช้จ่ายของโครงการก่อสร้างตัวอย่าง

- c. ปริมาณการทำงานตามแผนและปริมาณงานสะสมที่ควรทำได้ตามแผนในรูปของจำนวนเงิน สามารถคำนวณได้จากปริมาณการทำงานตามแผนและปริมาณงานสะสมที่ควรทำได้ตามแผนในรูปของเปอร์เซ็นต์คูณด้วยมูลค่างานทั้งโครงการ
- d. ในส่วนของผลการดำเนินการ มูลค่าของงานที่แล้วเสร็จในรูปของเปอร์เซ็นต์ คำนวณจากผลรวมของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณงานแล้วเสร็จจริงของแต่ละงาน ย่อยคูณด้วยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักคาดการณ์
- e. มูลค่าของงานที่แล้วเสร็จในรูปของจำนวนเงิน คำนวณจากมูลค่าของงานที่แล้วเสร็จในรูปของเปอร์เซ็นต์ คูณด้วยมูลค่างานทั้งโครงการ
- f. ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานในแต่ละเดือน ได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าของงานที่ทำจริงกับมูลค่าของงานที่ควรทำได้ตามแผน ณ วันที่ทำการประเมิน
- ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานในรูปของเปอร์เซ็นต์ คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณงานสะสมที่ควรทำได้ตามแผนในรูปของเปอร์เซ็นต์กับมูลค่าของงานที่แล้วเสร็จในรูปของเปอร์เซ็นต์
 - ค่าความคลาดเคลื่อนของแผนการทำงานในรูปของจำนวนเงิน คำนวณจากผลต่างระหว่างมูลค่าของงานที่แล้วเสร็จในรูปของจำนวนเงิน กับปริมาณงานสะสมที่ควรทำได้ตามแผนในรูปของจำนวนเงิน
- g. ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าใช้จ่ายในแต่ละเดือน ได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าของงานที่ทำจริงกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ณ วันที่ทำการประเมิน

ภาคผนวก

ผลงานตีพิมพ์

1. Wongwitdecha, S. and R.I. Carr, "Cost Variances of Construction Activities with Multiple Tasks," Proceedings, International Symposium on Globalization and Construction, CIB: International Council for Research and Innovation in Building and Construction, November 17-19, 2004, 10 pp.
2. Kusalasai, S. and R.I. Carr, "Schedule Variances for Road Construction," Proceedings, 4th International Engineering and Construction Conference, ASCE, July 28, 2006, 8pp.