การวางแผนโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ายกระดับ ด้วยวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ

Scheduling Elevated Mass Rapid Transit Project using Repetitive Construction Approach: A Case Study of MRT Green Line Project Bearing - Samutprakan Section

นรินทร์ ชาแสง สุนีรัตน์ กุศลาศัย
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ายกระดับเป็นโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนและมักถูกวางแผนด้วยโปรแกรม Primavera และ Microsoft Project ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวอาศัยวิธี Critical Path Method (CPM) ในการวิเคราะห์หากำหนดเวลาทำงาน เนื่องจากงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ายกระดับมีงานส่วนใหญ่ที่สามารถแบ่งงานออกเป็นหน่วยย่อยๆ โดยแต่ละหน่วยมีขั้นตอนการทำงานที่มีลักษณะซ้ำกัน (repetitive construction) และกำหนดให้แต่ละขั้นตอนมีกลุ่มคนงานและทรัพยากรเฉพาะเป็นของตนเอง (dedicated resource assignment) หลายงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าหากใช้วิธี CPM ในการวางแผนจะทำให้การทำงานของแต่ละกลุ่มคนงานดำเนินงานไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งก่อให้เกิดความสับสนและยุ่งยาก บทความนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนการวางแผนโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ายกระดับด้วยวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน โดยอาศัยโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ เป็นกรณีศึกษา เฉพาะในส่วนของงานก่อสร้างทางวิ่งยกระดับ และงานสถานี จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าเมื่อวางแผนงานด้วยวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน กำหนดเวลาทำงานที่ได้ทำให้กลุ่มการทำงานในแต่ละส่วนสามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง รองรับเงื่อนไขการทำงานทางเทคนิคภายใต้กรอบกำหนดเวลาตามสัญญา และมีรูปแบบการนำเสนอที่ค่อนข้างกระชับ พร้อมกันนี้ยังสามารถระบุระยะเวลาลอยตัวหรือระยะเวลาเผื่อเพื่อรองรับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยยังชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการนำเสนอของการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันทำให้ผู้วางแผนเห็นถึงทางเลือกการใช้ทรัพยากรเพื่อให้แผนงานมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน, งานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน, รถไฟฟ้ายกระดับ, โครงการรถไฟฟ้า, สายสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

An elevated mass rapid transit construction project is a large and complex infrastructure project. The schedules of such projects are often prepared by using superior software such as Primavera and/or Microsoft Project. That is, work programs are calculated based on Critical Path Method (CPM). Since the construction of an elevated mass rapid transit project is considered to be repetitive with dedicated resource assignment, scheduling with repetitive construction approach would be more advantageous. Several researchers suggested the benefits of scheduling with repetitive construction as maximizing resource utilization with minimum interruption in on-going activities. Its diagram allows clear-cut communication. This article presents how the construction of an elevated mass rapid transit can be scheduled via repetitive construction approach using MRT green line Bearing-Samutprakan section as a case study. The result shows uninterrupted schedules of substructure work, segment installation, and the construction of station teams as well as the number of resources required under given technical constraints contract key dates. All work programs are shown in one-page format. Floating time of each construction zone can be determined. Finally, given work schedules in a one-page diagram, an alternative resource utilization becomes evident.

Key words : repetitive scheduling , repetitive construction, elevated mass rapid transit , MRT project, green line

1. บทนำ

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ายกระดับ เป็นส่วนหนึ่งของแผนการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนทางรางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 10 เส้นทาง ตามนโยบายรัฐบาลที่แถลงต่อรัฐสภาเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม 2554 หากการดำเนินงานเป็นไปตามแผน ภายในปี 2562 จะมีโครงการก่อสร้างรถฟ้าโครงสร้างยกระดับแล้วเสร็จรวมระยะทางประมาณ 379 กิโลเมตร ปัจจุบันมีเส้นทางที่เปิดใช้บริการแล้ว 88 กิโลเมตร ได้แก่ สายสีเขียว แอร์พอร์ตเรลลิงก์ และสายสีม่วง คิดเป็น 23% ของระยะทางทั้งหมดโดยยังมีโครงการที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้างรวมทั้งโครงการในอนาคตอีกประมาณ 291 กิโลเมตร งบประมาณก่อสร้างเฉลี่ย 2,600 ล้านบาทต่อกิโลเมตร แต่ละโครงการมีระยะเวลาก่อสร้าง 3-5 ปี ซึ่งลักษณะโครงการดังกล่าวเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ งบประมาณสูง และใช้เวลาในการก่อสร้างนาน

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ายกระดับ ประกอบด้วยสัญญาที่เกี่ยวข้องกับ งานโยธา งานระบบราง และงานระบบรถไฟฟ้า โดยสัญญาของงานโยธา มีขอบเขตงานที่ประกอบด้วย งานก่อสร้างทางวิ่งยกระดับ สถานี อาคารจอดรถ และ ศูนย์ซ่อมบำรุง โดยงานทางวิ่งยกระดับ และงานสถานี คิดเป็นส่วนใหญ่ของมูลค่างานโยธาทั้งหมด ในการก่อสร้างทางวิ่งยกระดับแต่ละช่วง ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำกัน เริ่มตั้งแต่ งานเสาเข็มเจาะ งานฐานราก งานเสา และงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง โดยแต่ละขั้นตอนจะถูกมอบหมายและรับผิดชอบโดยกลุ่มคนงานเฉพาะ การวางแผนงานในลักษณะนี้จึงต้องพิจารณาเงื่อนไขการทำงานของแต่ละกลุ่มคนงานเอง อีกทั้งแผนงานดังกล่าวต้องสอดคล้องกับแผนการทำงานของกลุ่มคนงานอื่น ที่มีขั้นตอนการก่อสร้างที่สัมพันธ์กัน

จากการสัมภาษณ์ผู้รับจ้าง พบว่างานก่อสร้างโครงการดังกล่าวถูกวางแผนด้วยโปรแกรม Primavera และ MS

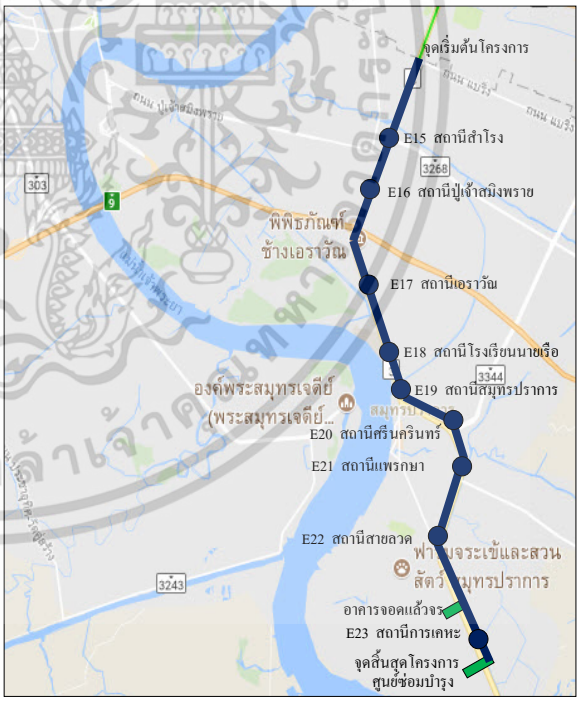
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวเป็นการวางแผนตามหลักการ Critical Path Method (CPM) ที่วิเคราะห์หากำหนดเวลาทำงานที่เร็วที่สุดและช้าที่สุดของแต่ละกิจกรรมโดยพิจารณาจากลำดับขั้นตอนการทำงานที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า การนำวิธี CPM มาใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันอาจส่งผลให้กำหนดเวลาทำงานของแต่ละกลุ่มคนงานขาดความต่อเนื่องอันนำไปสู่การขาดประสิทธิภาพของแผนงาน นอกจากนี้อาจก่อให้เกิดความยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดได้ง่ายเมื่อโครงการมีหน่วยก่อสร้างที่ซ้ำกันเป็นจำนวนมาก [1] จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อจำนวนของกิจกรรมและหน่วยก่อสร้างเพิ่มขึ้น [2] จากปัญหาดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นนักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาหลักการวางแผนงานสำหรับงานที่มีลักษณะซ้ำกัน ตัวอย่างเช่น Line–of-Balance (LOB) [3] - [4], Repetitive Scheduling Method (RSM) [1] และ Linear Scheduling Method (LSM) [5] - [6] นอกจากนี้ [7] ได้เปรียบเทียบ วิธี CPM และ วิธี LSM พบว่า วิธี LSM ซึ่งมีลักษณะเป็นแผนภาพที่แทนกิจกรรมด้วยกราฟเส้นตามความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่ากว่า วิธี CPM ปัจจุบันการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกันยังไม่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนกว่าและไม่มีโปรแกรมสำเร็จรูป จึงไม่สะดวกในการใช้งาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้หลักการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน ในการวางแผนก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ายกระดับ โดยอาศัยโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง - สมุทรปราการ เป็นกรณีศึกษา

2. โครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง – สมุทรปราการ ประกอบด้วย 3 สัญญา ได้แก่ 1) สัญญางานโยธา 2) สัญญาระบบราง 3) สัญญาระบบการเดินรถไฟฟ้า โดยสัญญางานโยธา มีขอบเขตงานหลักคือ การก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟฟ้ายกระดับ ระยะทาง 12.58 กิโลเมตร และ การก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าจำนวน 9 สถานี แนวเส้นทางเริ่มต้นต่อเนื่องจากแนวเส้นทางของโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร (BTS) ส่วนต่อขยายสายสุขุมวิท ตอนที่ 1 ช่วงอ่อนนุช-แบริ่ง บริเวณซอยสุขุมวิท 107 (แบริ่ง) ไปตามแนวเกาะกลางของถนนสุขุมวิท ผ่านคลองสำโรง ผ่านแยกเทพารักษ์ แยกปู่เจ้าสมิงพราย เมื่อถึงบริเวณจุดตัดกับโครงการถนนวงแหวนรอบนอกด้านใต้แนวจะเบี่ยงจากเกาะกลางไปทางด้านทิศตะวันตกของถนนสุขุมวิท เพื่อข้ามทางต่างระดับสุขุมวิท จากนั้นจึงเบี่ยงกลับมาอยู่ในแนวเกาะกลางถนนสุขุมวิท ผ่านแยกศาลากลาง แยกการไฟฟ้า แยกแพรกษา แยกสายลวด จนถึงจุดสิ้นสุดโครงการบริเวณหน้าสถานีไฟฟ้าย่อยบางปิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 สัญญานี้มีงบประมาณก่อสร้าง 17,092 ล้านบาท โดยเริ่มสัญญาวันที่ 1 มีนาคม 2555 และ สิ้นสุดสัญญาวันที่ 7 มิถุนายน 2559 คิดเป็นระยะเวลาก่อสร้าง 1,560 วัน



รูปที่ 1 ขอบเขตงานโยธาช่วงแบริ่ง – สมุทรปราการ

3. ขั้นตอนการก่อสร้าง

งานก่อสร้างทางวิ่งและสถานีของโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง – สมุทรปราการ ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มงานหลักดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1) กลุ่มงานโครงสร้าง substructure

งาน substructure เป็นการก่อสร้างโครงสร้างรับน้ำหนักทางวิ่งและสถานี ประกอบด้วย งานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยม งานฐานราก งานเสา ในส่วนของทางวิ่งที่เข้าสู่บริเวณสถานีสำโรง จะมีงานหัวเสาเพิ่มเข้ามาเพื่อรองรับทางวิ่งที่มากกว่า 2 ช่องทาง และส่วนของเสาสถานีจะมีการก่อสร้างคานขวาง เพื่อรองรับน้ำหนักพื้นสถานี โดยกลุ่มของงานโครงสร้าง substructure มีรายละเอียดการก่อสร้างดังนี้

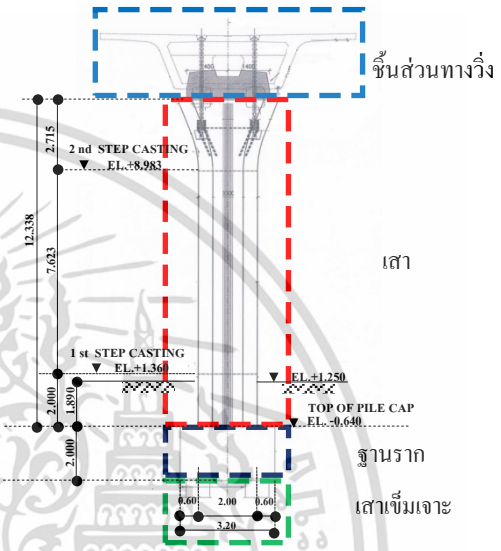
งานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยม (barrette pile) มีขั้นตอนเริ่มจาก การก่อสร้างกำแพงนำร่อง (guide wall) ขุดดินให้ได้ความลึกที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้เครื่องจักร excavation crane & grab พร้อมกับใส่สารละลายเบนโทไนท์เพื่อป้องกันผนังดินที่ขุดพังทลาย จากนั้นนำเหล็กที่ประกอบเป็นแกนของเสาเข็มลงหลุม และเทคอนกรีตจนถึงระดับที่ต้องการ

งานฐานราก (pile cap) เริ่มจากการติดตั้ง sheet pile ขุดดินจนถึงระดับตัดหัวเข็ม พร้อมติดตั้งค้ำยัน (bracing) ติดตั้งเหล็กเสริม ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต และเทคอนกรีต

งานเสา (column) เริ่มจากการต่อเหล็กเสริมโดยเหล็กเสาบางส่วนได้ถูกติดตั้งในขั้นตอนการก่อสร้างฐานราก ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต และเทคอนกรีต เสาทางวิ่งโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเสาเดี่ยววางอยู่บนเกาะกลางถนน ดังแสดงในรูปที่ 2 แต่ในกรณีที่ไม่สามารถก่อสร้างในบริเวณเกาะกลางถนนได้ เช่น อุโมงค์ทางลอด ทางเลี้ยวบริเวณแยก โครงสร้างเสาจะถูกออกแบบเป็น portal frame โดยมีลักษณะเป็นเสา 2 ต้น ที่เชื่อมต่อกันด้วย portal beam การก่อสร้างเสาจะใช้วิธีหล่อในที่ ส่วนการก่อสร้าง portal beam จะใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาติดตั้งแล้วยึดด้วยลวดแรงดึงสูง

งานหัวเสา (column head) เป็นโครงสร้างที่ต่อจากเสา เพื่อให้สามารถรองรับทางวิ่งที่เพิ่มขึ้นการก่อสร้างเริ่มจากการติดตั้งเหล็กเสริม ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต และเทคอนกรีต

งานคานขวาง (cross beam) เป็นโครงสร้างที่ต่อจากเสาบริเวณสถานีเพื่อรองรับพื้น การก่อสร้างจะเริ่มจากการติดตั้งแบบหล่อคานซึ่งเป็นแบบหล่อสำเร็จรูปโดยภายในแบบจะกลวง จากนั้นใส่เหล็กเสริม และเทคอนกรีตให้เต็มแบบหล่อ ซึ่งแต่ละเสาประกอบด้วยคานขวางเพื่อรองรับพื้นชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสารและคานขวางเพื่อรองรับพื้นชั้นชานชาลา



รูปที่ 2 โครงสร้างทางวิ่งยกระดับประเภทเสาเดี่ยว

3.2) กลุ่มงานโครงสร้าง superstructure

งานโครงสร้าง superstructure หรืองานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง (precast segment) สำหรับโครงการนี้การติดตั้งจะทำครั้งละหนึ่งช่วงเสา (span by span erection) โดยใช้อุปกรณ์คานเหล็กยกติดตั้ง (launching truss) มีขั้นตอนเริ่มจาก ขนย้ายชิ้นส่วนทางวิ่งมายังบริเวณช่วงเสา (span) ที่จะติดตั้งซึ่งมีจำนวนชิ้นส่วนทางวิ่งเฉลี่ย 16 ชิ้น/ช่วง การยกติดตั้งจะใช้ launching truss ยกชิ้นส่วนทางวิ่งขึ้นสู่ตำแหน่งจนครบ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง โดยจะทำในช่วงเวลากลางคืนเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านการจราจร หลังจากนั้นยึดด้วยลวดเหล็กแรงดึงสูง (tendon strand) ด้วยแรงดึง 15% ของแรงที่ได้ออกแบบ เทคอนกรีตรอยต่อแบบเปียก (wet joint) เมื่อคอนกรีตได้กำลังตามกำหนดแล้วให้ดึงลวดเหล็กรับแรง 100% จากนั้นจึงเคลื่อน launching truss ไปยังตำแหน่งช่วงเสาถัดไป รวมระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย 4 วัน/ช่วง

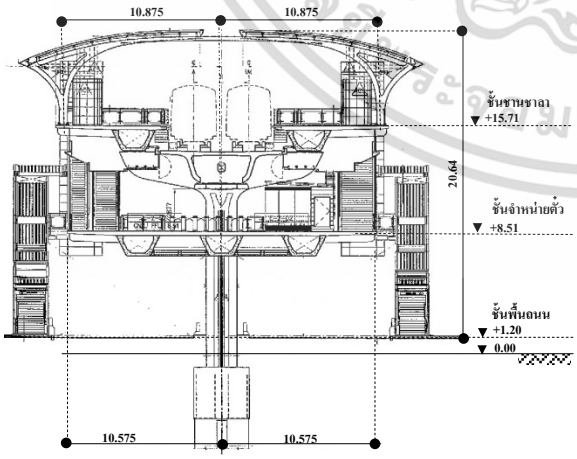
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กลุ่มงานสถานี

สถานีรถไฟฟ้า คือ อาคารที่เป็นจุดจอดสำหรับรับ-ส่งผู้โดยสาร มีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชั้นได้แก่ ชั้นพื้นถนน ชั้นจำหน่ายตั๋ว และชั้นชานชาลา มีความกว้างประมาณ 20 - 25 เมตร ยาวประมาณ 150 เมตร ดังรูปที่ 3 ระยะห่างของแต่ละสถานีอยู่ที่ประมาณ 700 – 1,900 เมตร การก่อสร้างสถานีโดยมากจะดำเนินการหลังจากงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณสถานีแล้วเสร็จ กิจกรรมก่อสร้างแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ งานโครงสร้างสถานี งานสถาปัตยกรรม งานระบบ และงานตรวจสอบความถูกต้อง มีระยะเวลารวม 574 – 658 วัน รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์และระยะเวลาก่อสร้างของสถานีสายลวด โดยงานก่อสร้างแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1) งานโครงสร้างสถานี สามารถเริ่มงานได้หลังจากที่งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณสถานีแล้วเสร็จ ประกอบด้วย งานติดตั้ง u-girder งานพื้นคอนกรีต งานโครงสร้างเหล็ก และงานโครงหลังคา ใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 419 – 524 วัน

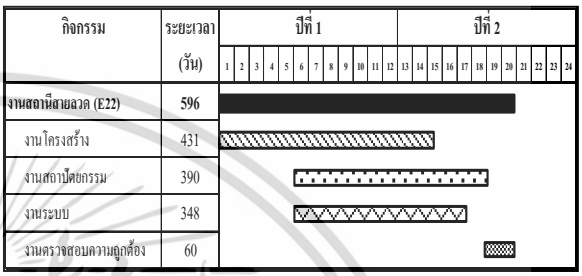
2) งานสถาปัตยกรรม สามารถเริ่มงานได้หลังจากที่งานพื้นคอนกรีตของสถานีแล้วเสร็จ ประกอบด้วย งานก่ออิฐ-ฉาบปูนผนังอาคาร งานหลังคา งานตกแต่งพื้น งานตกแต่งผนัง งานประตู-หน้าต่าง งานฝ้าเพดาน และงานทาสี ใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 316 – 390 วัน



รูปที่ 3 สถานีรถไฟฟ้า

3) งานระบบสถานี สามารถเริ่มงานได้หลังจากที่งานพื้นคอนกรีตของสถานีแล้วเสร็จ ประกอบด้วย งานระบบไฟฟ้า งานระบบเครื่องกลและปรับอากาศ งานระบบประปา งานระบบป้องกันอัคคีภัย งานติดตั้งบันไดเลื่อน งานติดตั้งลิฟท์ และงานทดสอบสอบระบบ ใช้ระยะเวลาก่อสร้าง 320 – 367 วัน

4) งานตรวจสอบความถูกต้องสามารถดำเนินการได้หลังจากที่งานทั้ง 3 กลุ่มของสถานีแล้วเสร็จ ใช้ระยะเวลาประมาณ 60 วัน



รูปที่ 4 งานสถานีสายลวด (E22)

4. กรอบกำหนดเวลาสัญญา

ภายหลังจากได้รับหนังสือให้เริ่มงานจาก รฟม. ผู้รับจ้างต้องดำเนินงานตามสัญญาภายใต้ขอบเขตงานและกรอบกำหนดเวลาของสัญญา (Key Date) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 Key Date สามารถแบ่งตามขอบเขตงานได้เป็น 3 ส่วน คือ

1) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานศูนย์ซ่อมบำรุง ใช้สัญลักษณ์ (a) ต่อท้าย ประกอบด้วย

KD1-1 งานเสาเข็มของศูนย์ซ่อมบำรุง แล้วเสร็จ 20%

KD1-3 งานพื้นศูนย์ซ่อมบำรุง ส่วนติดตั้งรางรถไฟฟ้าแล้วเสร็จ

KD1-5 งานพื้นศูนย์ซ่อมบำรุงแล้วเสร็จทั้งหมด

KD1-8 งานอาคารปฏิบัติการ แล้วเสร็จพร้อมให้งานติดตั้งระบบรางรถไฟฟ้า และงานติดตั้งอุปกรณ์ระบบการเดินรถเข้าดำเนินงาน

KD1-9 งานอาคารศูนย์ควบคุมแล้วเสร็จพร้อมให้งานติดตั้งอุปกรณ์ระบบการเดินรถ เข้าดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 กรอบกำหนดเวลาสัญญา (Key Date)*

Key Date	Duration (Days)
KD1-1 : Complete 20% Of Depot Piling Works (a)	510
KD1-2 : Complete 50% Of C1 Piling Works (b)	720
KD1-3 : Complete Sufficien Depot Slab for Trackwork Access (a)	1,110
KD1-5 : Complete Civil Works on Depot's Platform Slab (a)	1,320
KD1-6 : Complete Sufficient 4 Stations (E17,E18,E21,E23) for C2, C3 Final Fix Access (c)	1,405
KD1-7 : Complete Sufficient 5 Stations (E15,E16,E19,E20, E22) for C2 , C3 Final Fix Access (c)	1,470
KD1-8 : Complete Sufficient Main Workshop for C2 , C3 Final Fix Access (a)	1,410
KD1-9 : Complete Sufficient OCC for C3 Final Fix Access (a)	1,410
KD1-10 : Complete Sufficient Viaduct Deck (P1-P199) for C2 Track Work Access (b)	1,440
KD1-11 : Complete Sufficient Viaduct Deck (P200-P380) for Track Work Access (b)	1,440
KD1-12 : C1 Final Contract Completion	1,560

*ข้อมูลอ้างอิง DWP R02.2 แก้ไข ณ วันที่ 9 เมษายน 2557

2) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานทางวิ่งยกระดับ ใช้สัญลักษณ์ (b) ต่อท้าย ประกอบด้วย

KD1-2 งานเสาเข็มทางวิ่งยกระดับแล้วเสร็จ 50%

KD1-10 งานก่อสร้างทางวิ่งยกระดับบริเวณตอม่อที่ 1 ถึง ตอม่อที่ 199 แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งราง

KD1-11 งานก่อสร้างทางวิ่งยกระดับบริเวณตอม่อที่ 200 ถึง ตอม่อที่ 380 แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งราง

3) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานสถานีรถไฟฟ้า ใช้สัญลักษณ์ (c) ต่อท้าย ประกอบด้วย

KD1-6 งานก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าจำนวน 4 สถานี (E17, E18, E21, E23) แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งระบบราง และ งานติดตั้งอุปกรณ์ระบบการเดินรถ

KD1-7 งานก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าจำนวน 5 สถานี (E15, E16, E19, E20, E22) แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งระบบราง และ งานติดตั้งอุปกรณ์ระบบการเดินรถ

KD1-12 เสร็จสิ้นงานก่อสร้าง

โดยงานวิจัยนี้จะวางแผนงานก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างทางวิ่งยกระดับ (b) และ งานก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้า (c) เท่านั้น ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80 ของมูลค่าโครงการ

5. การวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงาน

การจัดทำกำหนดเวลาทำงานและการกำหนดทรัพยากรที่ใช้เป็นขั้นตอนที่ต้องทำก่อนเริ่มดำเนินการก่อสร้าง เพื่อให้แน่ใจว่างานก่อสร้างจะสามารถแล้วเสร็จภายใต้กรอบกำหนดเวลาสัญญา จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น งานทั้งหมดถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ งานโครงสร้าง substructure งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง และงานสถานี ตามลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง แต่ลำดับในการวางแผนงานจะมีทิศสวนทางกับลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานจะเริ่มจากงานสถานีก่อน จากนั้นเป็นงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง และงานโครงสร้าง substructure เป็นลำดับสุดท้ายโดยการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานจะเริ่มต้นจากวันสิ้นสุดสัญญา คิดย้อนกลับไปยังวันเริ่มต้น กำหนดเวลาเริ่มต้นและแล้วเสร็จของแต่ละกิจกรรม พร้อมจำนวนทรัพยากรที่ต้องการจะถูกกำหนดภายใต้เงื่อนไขของกรอบระยะเวลาที่มี เพื่อให้แน่ใจว่างานจะไม่ล่าช้ากว่ากำหนด

กำหนดเวลาทำงานของการก่อสร้างสถานี

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการดำเนินงาน และระยะเวลาก่อสร้างของกลุ่มงานสถานีร่วมกับเงื่อนไขของกรอบเวลาทำงานดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจะเห็นได้ว่าระยะเวลาทำงานที่มีค่อนข้างจำกัด ผู้รับจ้างจึงกำหนดทีมทำงานเฉพาะสำหรับแต่ละสถานี เพื่อให้ทุกสถานีสามารถดำเนินงานก่อสร้างได้ขนานกัน การกำหนดแผนงานเริ่มจากการนำเข้าข้อมูลกรอบระยะเวลาการทำงานที่เป็นไปตามเงื่อนไขในตารางที่ 1 โดยกำหนดให้วันสุดท้ายของการก่อสร้างแต่ละสถานีคือวันสิ้นสุดสัญญา (KD1-12) กำหนดเวลางานของงานสถานีจะถูกคิดย้อนกลับโดยอาศัยข้อมูลระยะเวลาของแต่ละสถานีตามตารางที่ 2 จากนั้นตรวจสอบกรอบกำหนดเวลาสัญญา KD1-6 ซึ่งกำหนดให้งานระบบ (E&M) ของสถานี E17, E18, E21 และ E23 แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งราง (track work) และงานติดตั้งอุปกรณ์ระบบการเดินรถไฟฟ้า (M&E) ถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบกรอบกำหนดเวลาสัญญา KD1-7 ซึ่งกำหนดให้งานระบบ (E&M) ของสถานี E15, E16, E19, E20 และ E22 แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งราง (track work) และงานติดตั้งอุปกรณ์ระบบการเดินรถไฟฟ้า (M&E) จากเงื่อนไขข้างต้น กำหนดเวลาทำงานของแต่ละสถานีแสดงได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งนั่นคือกำหนดเวลาเริ่มต้นงานที่ช้าที่สุด (late start) และกำหนดเวลาแล้วเสร็จที่ช้าที่สุด (late finish) สำหรับงานก่อสร้างสถานีภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลาสัญญา

ตารางที่ 2 ระยะเวลาก่อสร้างสถานี

สถานี	ระยะเวลาก่อสร้าง (วัน)			
	งานโครงสร้าง	งานสถาปัตยกรรม	งานระบบ	งานตรวจสอบ
สำโรง(E15)	419	358	320	60
ปู่เจ้าสมิงพราย (E16)	446	382	367	60
พิพิธภัณฑ์ช้างเอราวัณ(E17)	505	363	341	60
โรงเรียนนายเรือ (E18)	462	316	365	60
สมุทรปราการ(E19)	450	378	352	60
ศรีนครินทร์(E20)	459	370	344	60
แพรกษา(E21)	523	377	365	60
สายลวด(E22)	431	390	348	60
การเคหะแห่งชาติ(E23)	524	366	358	60

การกำหนดเวลาทำงานของการติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง

การติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งจะดำเนินการได้หลังจากงานโครงสร้าง substructure แล้วเสร็จและต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จก่อนที่งานโครงสร้างสถานีจะเริ่มต้น ด้วยกรอบเวลาทำงานอันจำกัด การวางแผนงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งจึงต้องมีการกำหนดจำนวน launching truss และ การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของ launching truss

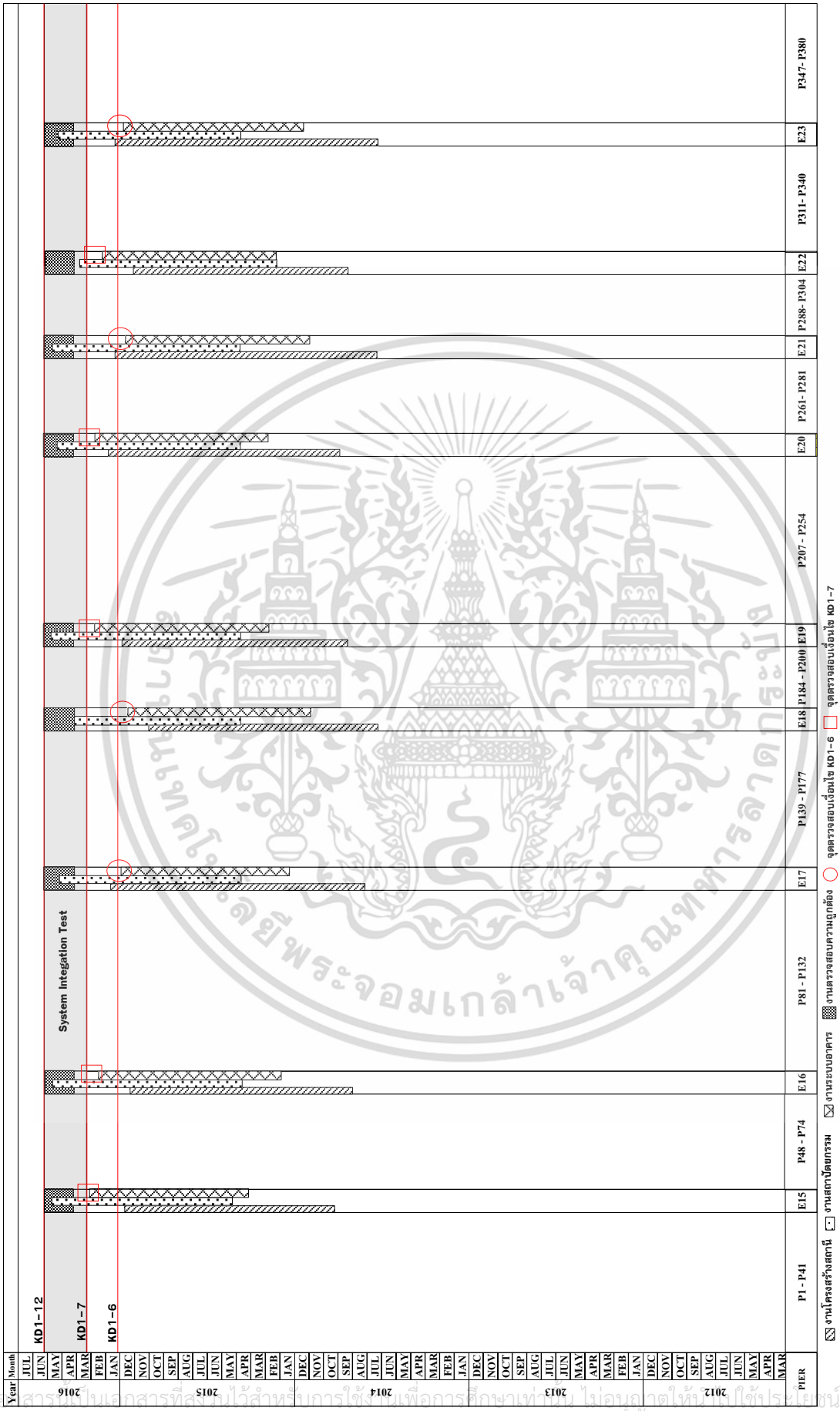
- การกำหนดจำนวน launching truss ผู้รับจ้างจะทำการแบ่งขอบเขตงานออกเป็นพื้นที่ย่อยหรือโซน เพื่อให้งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งในแต่ละพื้นที่สามารถดำเนินงานได้ขนานกัน โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาจุดแบ่งโซนดังนี้ 1) พิจารณาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ก่อสร้างซึ่งจุดแบ่งโซนมักกำหนดให้อยู่ในบริเวณทางตรงและไม่เป็นเขตชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่นเพื่อให้สะดวกต่อการติดตั้ง launching truss 2) มีกำหนดเวลาส่งมอบพื้นที่ใกล้เคียงกัน 3) จำนวนพื้นที่ย่อยหรือโซนจะพิจารณาจากระยะเวลาที่มีสำหรับการติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง จากหลักการดังกล่าวโครงการนี้แบ่งพื้นที่ก่อสร้างออกเป็น 7 โซนโดยแต่ละโซนจะใช้ launching truss โซนละ 1 ชุด รวมทั้งสิ้น 7 ชุด

- การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของ launching truss เนื่องจากงานโครงสร้างสถานีจะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณสถานีแล้วเสร็จ ดังนั้นในแต่ละโซน launching truss จะถูกกำหนดทิศทางให้วิ่งเข้าสู่สถานีที่ใกล้ที่สุด และจากเงื่อนไข KD1-6 และ KD1-7 ทิศทางการเคลื่อนที่จะเคลื่อนจากสถานีที่อยู่ในกลุ่ม 4 สถานีแรกที่ต้องส่งมอบงานก่อน ไปยังสถานีที่อยู่ในกลุ่ม 5 สถานีหลัง

ความชันของเส้นการทำงานของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งถูกกำหนดจากระยะเวลาติดตั้ง 4 วัน/ช่วง การกำหนดตำแหน่งของเส้นการทำงานจะพิจารณาจากเงื่อนไขการก่อสร้างที่ว่างานโครงสร้างสถานีจะเริ่มได้ก็ต่อเมื่องานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณสถานีแล้วเสร็จ ดังนั้นเส้นการทำงานของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งที่ลากผ่านกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ช้าที่สุดของงานโครงสร้างสถานี (control point ในทฤษฎี RSM [1]) จึงเป็นกำหนดเวลาที่ช้าที่สุดที่ทำให้กิจกรรมติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง จากนั้นตรวจสอบกรอบกำหนดเวลาสัญญา KD1-10 ซึ่งกำหนดให้งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณตำแหน่ง P1-P199 แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งราง (track work) และกรอบกำหนดเวลาสัญญา KD1-11 ซึ่งกำหนดให้งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณตำแหน่ง P200-P380 แล้วเสร็จเพียงพอสำหรับงานติดตั้งราง (track work) จากเงื่อนไขที่กล่าวไว้ในข้างต้น ทำให้กำหนดเวลาทำงานและทิศทางการทำงานของ launching truss ในแต่ละโซนแสดงดังรูปที่ 6 ได้ดังนี้

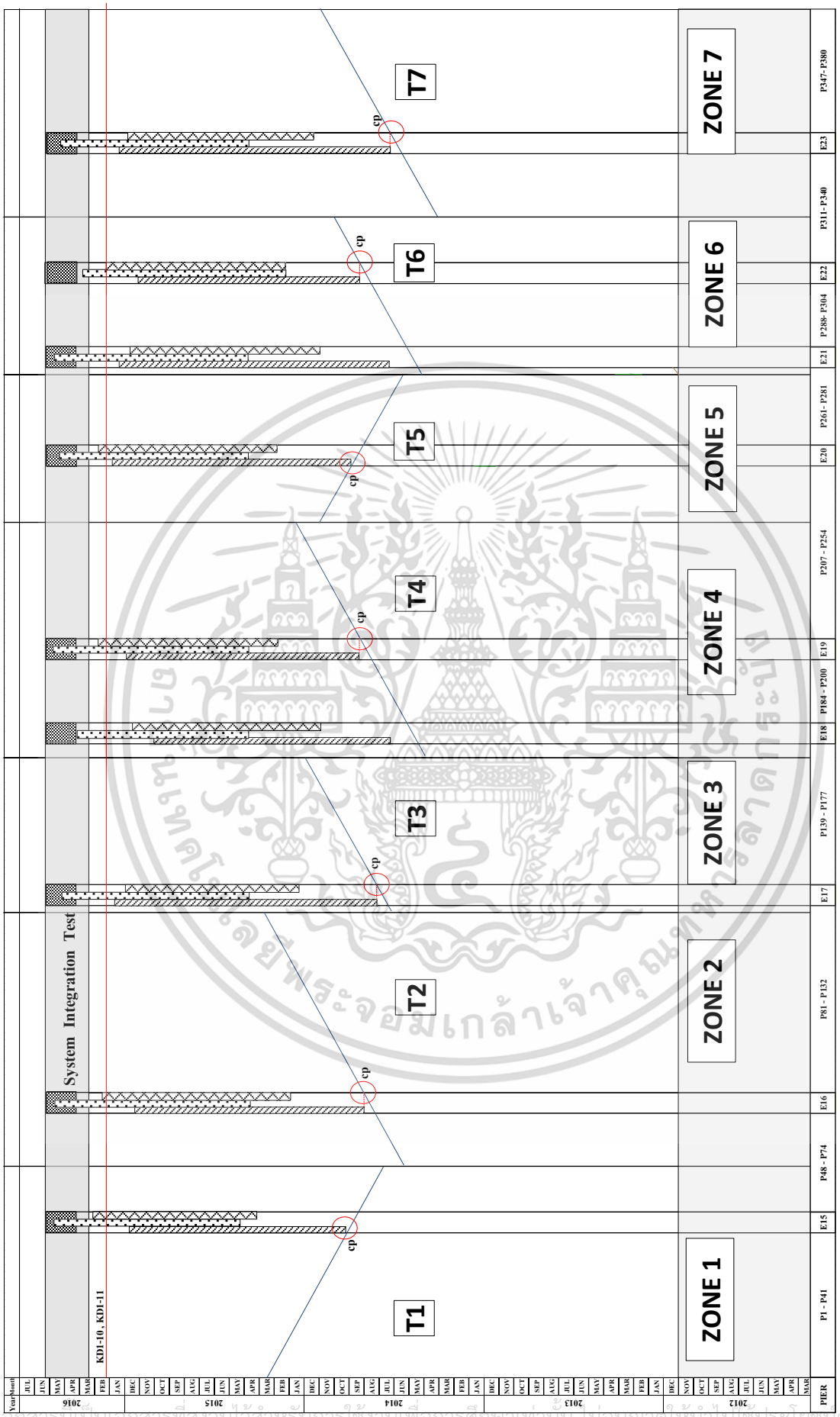
T1 วิ่งเข้าหา สถานี E15 ในทิศทาง ขวาไปซ้าย
T2 วิ่งเข้าหา สถานี E16 ในทิศทาง ซ้ายไปขวา
T3 วิ่งเข้าหา สถานี E17 ในทิศทาง ซ้ายไปขวา
T4 วิ่งเข้าหา สถานี E18 ไปยัง สถานี E19 ในทิศทาง ซ้ายไปขวา
T5 วิ่งเข้าหา สถานี E20 ในทิศทาง ขวาไปซ้าย
T6 วิ่งเข้าหา สถานี E21 ไปยัง สถานี E22 ในทิศทาง ซ้ายไปขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 การกำหนดเวลางานก่อสร้างสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 การกำหนดตำแหน่งจุดตรวจวัดในแนวดิ่งด้วยเครื่องวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T7 วิ่งเข้าหา สถานี E23 ในทิศทาง ซ้ายไปขวา

กำหนดเวลาทำงานของโครงสร้าง substructure

งานโครงสร้าง substructure เป็นงานที่มีระยะเวลาก่อสร้างที่ไม่แน่นอนเนื่องจากมีอุปสรรคระหว่างการทำงานมากกว่ากลุ่มงานอื่น เช่น ปัญหาการเวนคืนพื้นที่ล่าช้า ปัญหาระหว่างการรื้อย้ายสาธารณูปโภค และสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการก่อสร้าง กำหนดเวลางานก่อสร้างของงานกลุ่มนี้จึงถูกพิจารณาให้เริ่มต้นงานให้เร็วที่สุดและสามารถเริ่มงานได้ทันทีหลังจากที่งานรื้อย้ายสาธารณูปโภคแล้วเสร็จและแบบก่อสร้างได้รับการอนุมัติ โดยแต่ละโซนจะมีทีมทำงานเป็นของตัวเองเพื่อให้งานสามารถเริ่มต้นได้พร้อมกัน และทิศทางการทำงานจะสอดคล้องกับงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง จากนั้นตรวจสอบกรอบกำหนดเวลาสัญญา KD1-2 ซึ่งกำหนดให้งานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมบริเวณทางวิ่งแล้วเสร็จ 50% ของปริมาณงานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมบริเวณทางวิ่งทั้งหมด จากเงื่อนไขข้างต้น กำหนดเวลาทำงานของงานโครงสร้าง substructure แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งการกำหนดเส้นการทำงานมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

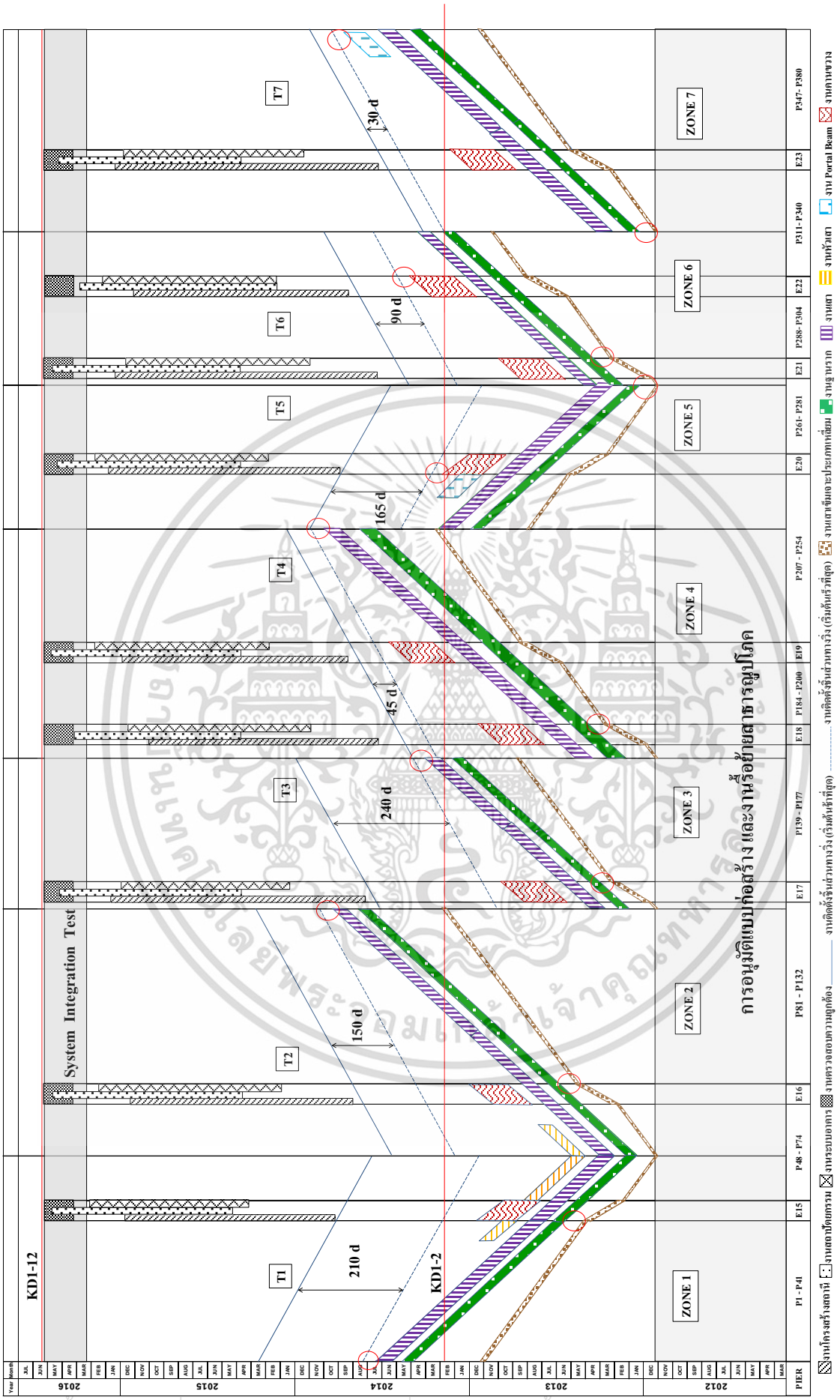
- งานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยม สามารถเริ่มงานได้ทันทีหลังจากที่งานรื้อย้ายสาธารณูปโภคแล้วเสร็จ ระยะเวลาก่อสร้างบริเวณทางวิ่งเฉลี่ย 2.5 วัน/ต้น ส่วนบริเวณสถานีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย 4 วัน/ต้น ซึ่งบริเวณทางวิ่งจะมีเสาเข็ม 2 ต้น และสถานีมีเสาเข็ม 4 ต้น ทำให้ความชันของเส้นการทำงานของงานเสาเข็มเจาะบริเวณทางวิ่ง (5 วัน/เสา 1 ต้น) แตกต่างจากเส้นการทำงานของเสาเข็มเจาะบริเวณสถานี (16 วัน/เสา 1 ต้น) เส้นการทำงานของงานเสาเข็มเจาะถูกแทนด้วยแถบ ความหนาของแถบจะแทนเวลาทำงานในแต่ละตอม่อ

- งานฐานรากถูกกำหนดให้เริ่มงานได้หลังจากที่งานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมแล้วเสร็จอย่างน้อย 28 วัน ระยะเวลาก่อสร้างฐานรากบริเวณทางวิ่งเฉลี่ย 21 วัน/ตอม่อ ส่วนบริเวณสถานีเฉลี่ย 28 วัน/ตอม่อ โดยขั้นตอนการก่อสร้างฐานรากถูกแบ่งออกเป็นงานย่อยๆ แต่ละงานย่อยมีระยะเวลาการทำงาน 7 วันเพื่อให้ การทำงานเกิดการเหลื่อมกันซึ่งทำให้ความชันเท่ากับ 7 วัน/ตอม่อ ตำแหน่งของเส้นการทำงานของงานฐานรากถูกกำหนดจากเงื่อนไขความสัมพันธ์ทางเทคนิคกับงานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมที่ว่างานฐานรากสามารถเริ่มงานได้หลังจากงานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมแล้วเสร็จ 28 วัน หากพิจารณาความชันของเส้นการทำงานของงานก่อนหน้าพบว่างานเสาเข็มทางวิ่งมีอัตราการทำงานหรือความชันเท่ากับ 5 วัน/เสา 1 ต้น ในขณะที่บริเวณสถานีมีความชันเท่ากับ 16 วัน/เสา 1 ต้น เนื่องจากงานฐานรากมีความชันที่มากกว่างานเสาเข็มทางวิ่ง ตาม [1] ตำแหน่งของเส้นการทำงานของงานฐานรากจะอยู่ที่หน่วยการทำงานแรกแต่หากพิจารณาความชันของเสาเข็มสถานีพบว่างานฐานรากมีความชันของเส้นการทำงานที่น้อยกว่า ตาม [1] ตำแหน่งของเส้นการทำงานของงานฐานรากจะอยู่ที่หน่วยงานสุดท้าย ในกรณีนี้เพื่อให้กลุ่มงานฐานรากสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องจุดควบคุม (control point) จึงเป็นหน่วยการทำงานหรือตำแหน่งเสาที่ทำให้งานฐานรากเริ่มต้นทันทีหลังจากที่งานเสาเข็มแล้วเสร็จ 28 วัน เส้นการทำงานของงานฐานรากถูกแทนด้วยแถบ งานฐานรากในแต่ละโซนมีจุดควบคุมที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานีและทิศทางของ launching truss ดังแสดงในรูปที่ 7

- งานเสาถูกกำหนดให้เริ่มงานได้หลังจากที่งานฐานรากแล้วเสร็จอย่างน้อย 28 วัน มีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย 35 วัน/ต้น การทำงานจะมีลักษณะเหลื่อมกันและมีความชันเท่ากับ 7 วัน/ต้น เช่นเดียวกับงานฐานราก เนื่องจากความชันของงานเสาเท่ากับความชันของงานฐานรากทำให้เส้นการทำงานของงานเสาขนานกับเส้นการทำงานของงานฐานรากโดยมีระยะห่างระหว่างงานเท่ากับ 28 วัน เส้นการทำงานของเสาถูกแทนด้วยแถบ

- งาน portal beam ถูกกำหนดให้เริ่มงานได้หลังจากที่งานเสาแล้วเสร็จอย่างน้อย 28 วัน และมีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย 45 วัน/ชุด การทำงานจะมีลักษณะเหลื่อมกันและมีความชันเท่ากับ 7 วัน/ต้น เช่นเดียวกับงานเสาทำให้เส้นการทำงานของงาน portal beam ขนานกับเส้นการทำงานของงานเสาโดยมีระยะห่างระหว่างงานเท่ากับ 28 วัน เส้นการทำงานของงาน portal beam ถูกแทนด้วยแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 การกำหนดเวลางานโครงสร้าง substructure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- งานหัวเสาถูกกำหนดให้เริ่มงานได้หลังจากที่งานเสาแล้วเสร็จอย่างน้อย 28 วันและมีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย 28 วัน/ต้น การทำงานจะมีลักษณะเหลื่อมกันและมีความชันเท่ากับ 7 วัน/ต้น เช่นเดียวกับงานเสาทำให้เส้นการทำงานของงานหัวเสา ขนานกับเส้นการทำงานของงานเสาโดยมีระยะห่างระหว่างงานเท่ากับ 28 วัน เส้นการทำงานของงานหัวเสาถูกแทนด้วยแถบ

- งานคานขวางถูกกำหนดให้เริ่มงานได้หลังจากที่งานเสาบริเวณสถานีแล้วเสร็จอย่างน้อย 28 วัน และมีระยะเวลาก่อสร้างเฉลี่ย 28 วัน/ตัว โดยแต่ละเสาต้องใช้คานดังกล่าว 2 ตัวการทำงานจะมีลักษณะเหลื่อมกันและมีความชันเท่ากับ 7 วัน/ต้น เช่นเดียวกับงานเสาทำให้เส้นการทำงานของงานคานขวางขนานกับเส้นการทำงานของงานเสาโดยมีระยะห่างระหว่างงานเท่ากับ 28 วัน เส้นการทำงานของคานขวางถูกแทนด้วยแถบ

6. ระยะเวลาลอยตัว

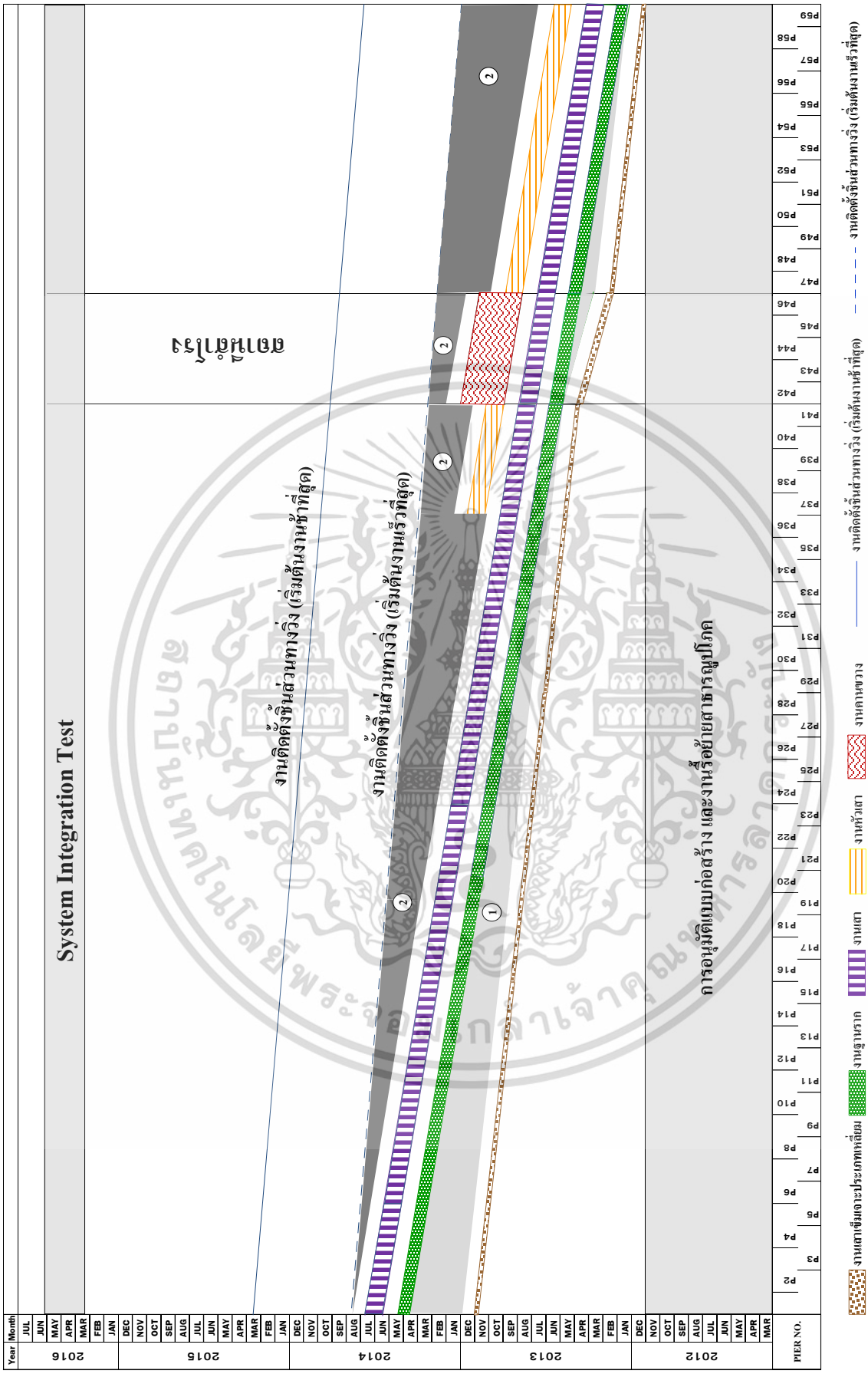
จากแผนงานที่ได้จะเห็นว่า งานสถานี และงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งถูกกำหนดให้เริ่มต้นช้าที่สุดในขณะที่งานโครงสร้าง substructure ถูกกำหนดให้เริ่มต้นเร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากงานสถานีและงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งมีระยะเวลาก่อสร้างที่แปรปรวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานโครงสร้าง substructure แต่หากพิจารณาให้ตำแหน่งเส้นการทำงานของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งถูกกำหนดจากเงื่อนไขความสัมพันธ์ทางเทคนิคกับงานโครงสร้าง substructure ที่ว่างานโครงสร้าง substructure ต้องแล้วเสร็จ 28 วันก่อนดำเนินงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง จะทำให้ได้เส้นการทำงานของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งอีกเส้นหนึ่งตามกำหนดเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุดที่ทำให้งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยผลต่างระหว่างเส้นการทำงานของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งทั้งสองนี้ คือ ระยะเวลาลอยตัวของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งที่เกิดขึ้นในแต่ละโซนดังแสดงในรูปที่ 7

นอกจากนี้ระยะเวลาลอยตัวยังพบได้ในกลุ่มงานโครงสร้าง substructure โดยกิจกรรมที่มีระยะเวลาลอยตัวคือกิจกรรมที่มีอัตราการทำงาน (หรือความชันของเส้นการทำงาน) แตกต่างจากกิจกรรมที่ตามมา รูปที่ 8 แสดงระยะเวลาลอยตัวของกลุ่มงานโครงสร้าง substructure ของ zone 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีระยะเวลาลอยตัวเกิดขึ้น 2 บริเวณคือ 1) ระหว่างกลุ่มงานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมและงานฐานราก เนื่องจากงานเสาเข็มทางวิ่งมีอัตราการทำงาน 5 วัน/ต้น และงานเสาเข็มสถานีมีอัตราการทำงาน 16 วัน/ต้น ในขณะที่งานฐานรากมีอัตราการทำงานเท่ากับ 7 วัน/ต้น ด้วยอัตราการทำงานที่แตกต่างกันระยะเวลาลอยตัวของงานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยมของตำแหน่งเสาใดๆ คำนวณได้จากกำหนดเวลาเริ่มต้นของงานฐานรากของตำแหน่งเสานั้นๆ ลบด้วยกำหนดเวลาแล้วเสร็จของงานเสาเข็มหักระยะเวลาบ่มคอนกรีต 28 วัน หรือระยะตามแนวตั้งของพื้นที่แรเงา (1) 2) ระหว่างงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งและงานก่อนหน้า ได้แก่งานเสา หัวเสา และ คานขวาง เนื่องจาก งานเสา หัวเสา และคานขวางมีการแบ่งงานออกเป็นงานย่อยๆ มีกำหนดเวลาทำงานของแต่ละงานเท่ากับ 7 วันทำให้ความชันของเส้นการทำงานมีค่าเท่ากับ 7 วัน/ต้น ในขณะที่งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งมีอัตราการทำงานอยู่ที่ 4 วัน/ช่วงเสา ระยะเวลาลอยตัวของงานเสา หัวเสา และคานขวาง ของตำแหน่งเสาใดๆ คำนวณได้ในลักษณะที่คล้ายกับงานเสาเข็มเจาะประเภทเหลี่ยม ซึ่งคือผลต่างของกำหนดเวลาเริ่มต้นของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งของตำแหน่งเสานั้นๆ กับกำหนดเวลาแล้วเสร็จของงานเสา หัวเสา และคานขวาง หักระยะเวลาบ่มคอนกรีต 28 วันหรือระยะตามแนวตั้งของพื้นที่แรเงา (2)

7. ทางเลือกของการใช้ทรัพยากร

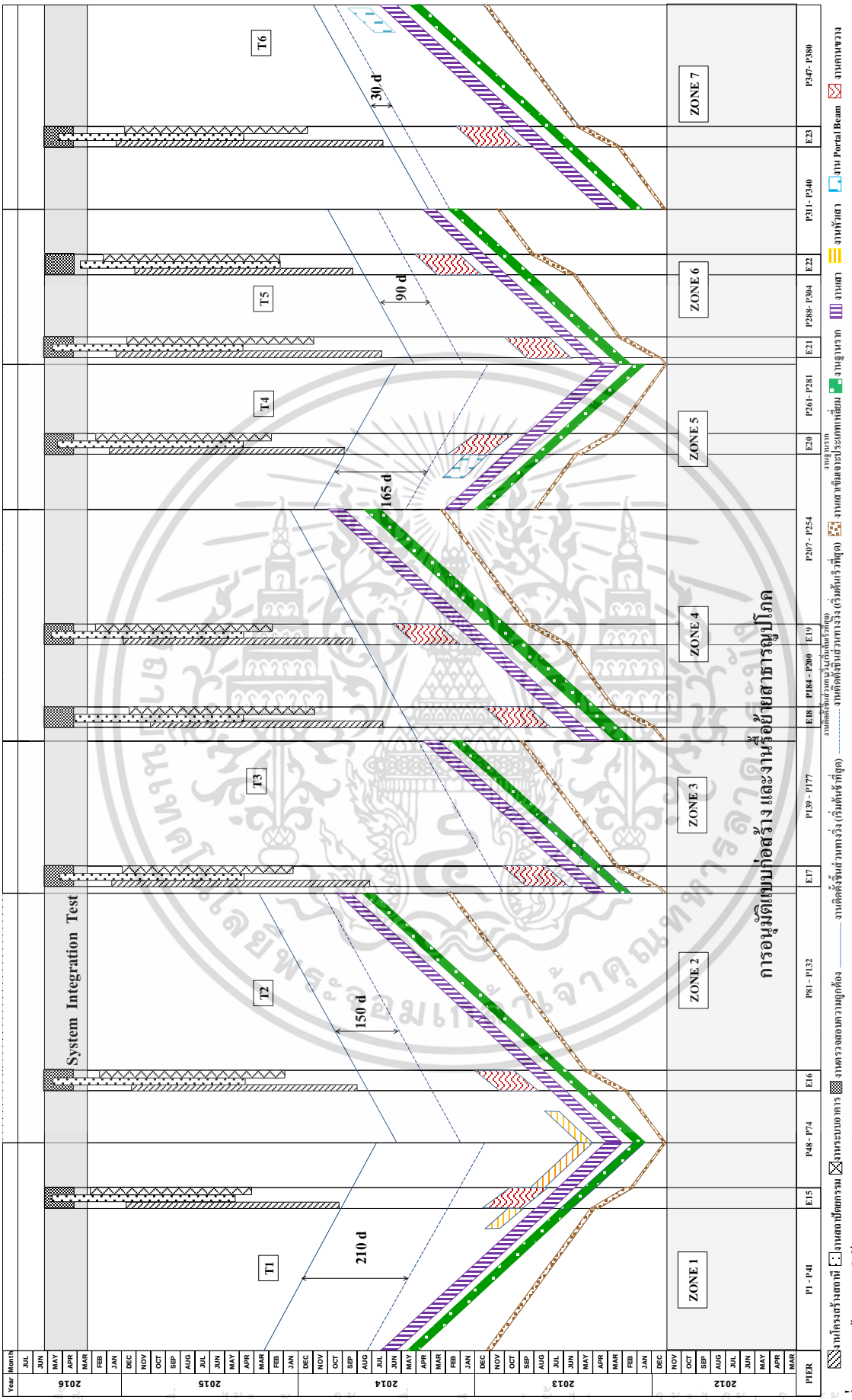
จากรูปที่ 7 หากพิจารณาตำแหน่งของเส้นการทำงานที่ช้าที่สุดของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งในโซน 4 และตำแหน่งของเส้นการทำงานที่เร็วที่สุดของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งในโซน 3 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเส้นอยู่ในตำแหน่งที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งหมายความว่าผู้ก่อสร้างสามารถใช้ launching truss ชุดเดียวกันติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งในโซน 3 แล้วต่อเนื่องไปยังโซน 4 ได้ทำให้สามารถลดการใช้งาน launching truss ได้ 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรลงได้ โดยยังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



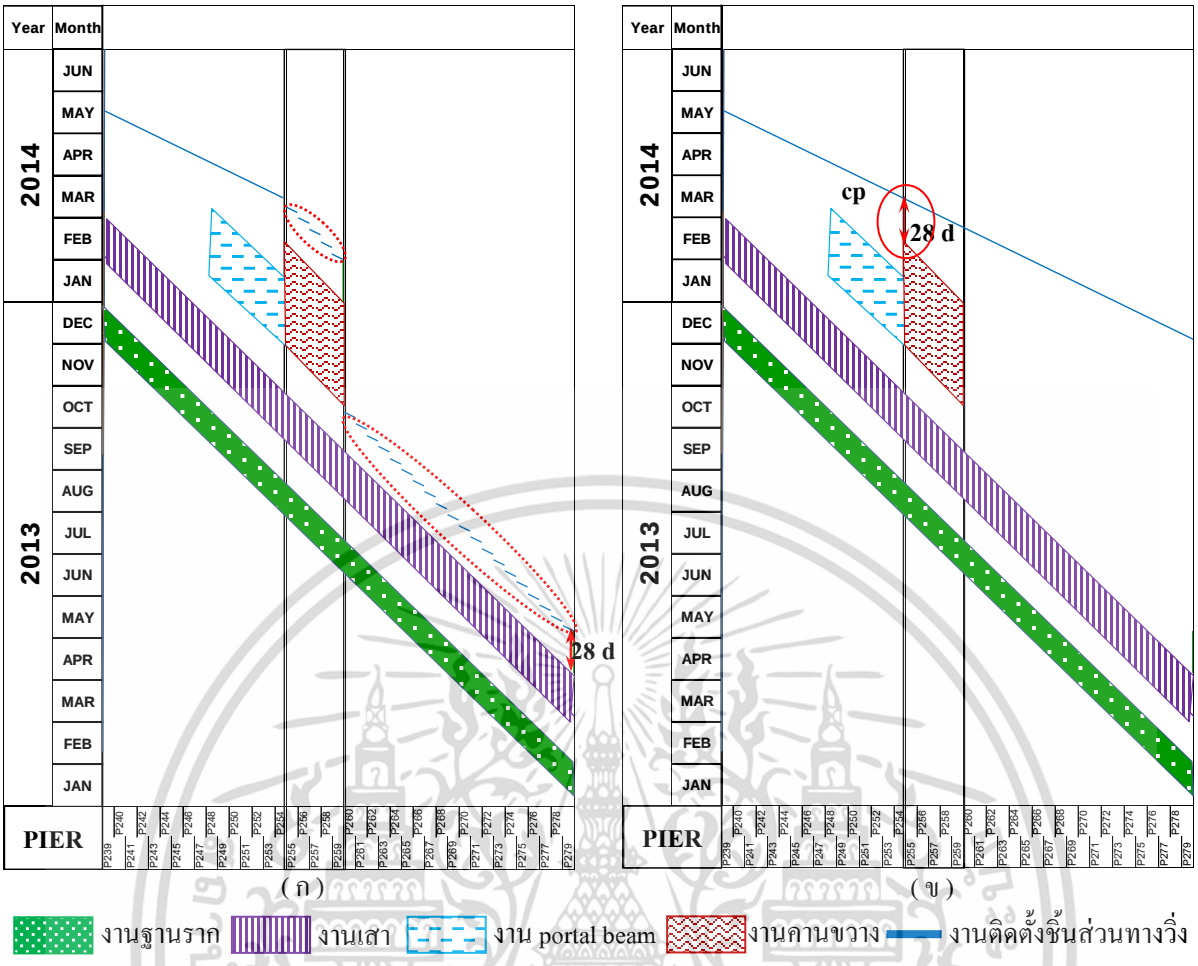
รูปที่ 8 ระยะเวลาออกแบบงานโครงสร้าง substructure ของ zone 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ทางเลือกการใช้ทรัพยากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 10 กำหนดเวลางานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง บริเวณ zone 5 (ก) วิธี Critical Path Method (ข) วิธี Repetitive Construction Approach

ดำเนินงานได้แล้วเสร็จตามสัญญา แต่ทั้งนี้จะทำให้งานโครงสร้าง substructure บริเวณโซน 3 งานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งบริเวณโซน 3 และโซน 4 รวมถึงงานสถานี E19 ไม่มีระยะเวลาเผื่อความล่าช้าซึ่งถือเป็นงานวิกฤติ เนื่องจากถ้าเกิดความล่าช้าในงานดังกล่าวจะทำให้การดำเนินงานไม่เสร็จตามกรอบเวลาของสัญญา เพื่อป้องกันความเสี่ยงดังกล่าว ผู้รับจ้างจึงยังคงเลือกใช้ launching truss บริเวณดังกล่าวโซนละ 1 ชุด

8. ผลกระทบของกำหนดเวลาที่วางแผนด้วยวิธีสายงานวิกฤติ (CPM)

การวางแผนงานด้วยวิธีที่ต่างกัน ส่งผลทำให้กำหนดเวลาทำงานที่ได้แตกต่างกัน [1] ได้อธิบายความแตกต่างระหว่างการวางแผนแบบ CPM และ RSM ไว้อย่างละเอียดโดยจะเห็นได้ว่า วิธี CPM พิจารณาแต่ละงานของแต่ละหน่วยก่อสร้างเป็นหนึ่งกิจกรรม ซึ่งกำหนดเวลาทำงานของแต่ละกิจกรรมถูกกำหนดจาก (1) ความสัมพันธ์ทางเทคนิคของขั้นตอนการก่อสร้างภายในหน่วยก่อสร้างเดียวกัน (2) ลำดับการทำงานของหน่วยก่อสร้างของกลุ่มคนงานเดียวกัน ในขณะที่วิธี RSM กำหนดให้เส้นการทำงาน 1 เส้นแทนการทำงานนั้นๆของทุกหน่วยก่อสร้าง จึงมั่นใจได้ว่าการทำงานของกลุ่มคนงานจะทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และตำแหน่งของเส้นการทำงานหรือกำหนดเวลาของการทำงานถูกกำหนดจากความสัมพันธ์ทางเทคนิคซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบความสัมพันธ์และอัตราการทำงานของกิจกรรมก่อนหน้าเพื่อให้เกิดความชัดเจนในกรณีนี้บทความนี้ขอยกตัวอย่างการวิเคราะห์กำหนดเวลาทำงานของงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งของโซน 5 ซึ่งหากวางแผน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธี CPM การติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งในแต่ละช่วงเสานับเป็น 1 กิจกรรม โดยที่อัตราการติดตั้งเท่ากับ 4 วัน/ช่วงเสา ในขณะที่อัตราการทำงานของกิจกรรมก่อนหน้า (งานเสา , งาน portal beam , งานคานขวาง) เท่ากับ 7 วัน/ต้น ดังนั้นกำหนดเวลาเริ่มต้นที่เร็วที่สุดของการติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งของเสา P279 คือ 28 วันหลังจากที่งานเสา P279 แล้วเสร็จและจะทำงาน 4 วันแล้วหยุด 3 วันในทุกช่วงเสา เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่เร็วกว่างานเสา จากนั้นเมื่อเข้าสู่บริเวณสถานีจะต้องหยุดรอเพื่อให้งานคานขวางบริเวณสถานีแล้วเสร็จทำให้เกิดการขาดช่วงของการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 10 (ก) ในขณะที่การวางแผนด้วยวิธี Repetitive Construction Approach จะมีการกำหนดจุดควบคุม (control point, cp) บริเวณตำแหน่งเสา P255 ซึ่งเป็นเสาสุดท้ายของสถานี โดยมีระยะห่างระหว่างเส้นการทำงานของงานเสาเท่ากับ 28 วันเพื่อให้การติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งที่มีอัตราการทำงานที่เร็วกว่าสามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 10 (ข) จากรูปจะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีมีกำหนดเวลาแล้วเสร็จที่เท่ากัน วิธี Repetitive Construction Approach เป็นการชะลอการเริ่มต้นงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่งเพื่อป้องกันการขาดช่วงของการทำงาน

9. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนในการวางแผนโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ายกระดับด้วยวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน ขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย การก่อสร้างทางวิ่งยกระดับ และ การก่อสร้างสถานี ซึ่งผู้รับจ้างแบ่งทีมทำงานเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มงานก่อสร้างสถานี กลุ่มงานติดตั้งชิ้นส่วนทางวิ่ง และ กลุ่มงานโครงสร้าง substructure จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า การวางแผนงานด้วยวิธีการวางแผนงานก่อสร้างที่มีลักษณะซ้ำกัน สามารถวิเคราะห์หากำหนดเวลาทำงานของแต่ละส่วนงาน โดยที่กลุ่มการทำงานสามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง รองรับเงื่อนไขการทำงานทางเทคนิค และมีรูปแบบการนำเสนอที่ค่อนข้างกระชับ พร้อมกันนี้ยังสามารถระบุระยะเวลาลอยตัวหรือระยะเวลาเผื่อเพื่อรองรับความเสี่ยงกับงานที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอทางเลือกของการใช้ทรัพยากรเพื่อปรับปรุงแผนงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นเพียงการวางแผนเพื่อกำหนดกรอบเวลาการทำงานเพื่อกำหนดจำนวนทรัพยากร/กลุ่มการทำงานเท่านั้น การวิเคราะห์หากำหนดเวลาทำงานของกิจกรรมที่ละเอียดในระดับวันที่ตามปฏิทินยังมีความยุ่งยากและควรมีการพัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) บริษัท ช.การช่างจำกัด (มหาชน) กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา GBSC ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ให้ความเห็นและสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ รวมถึงให้ข้อเสนอและคำแนะนำตลอดการทำวิจัย

11. เอกสารอ้างอิง

[1] R. B. Harris and P. G. Ioannou, Repetitive Scheduling Method, Center for Construction Engineering and Management, The University of Michigan, UMCEE Report No.98-35, Nov., 1998.

[2] D. Arditi, B. O. Tokdemir and K. Suh, “Challenges in Line-of-Balance Scheduling,” Journal of Construction Engineering and Management, Vol.128, No.6, pp.545-556, 2002.

[3] K. El-Rayes, and O. Moselhi, “Resource-driven scheduling of repetitive activities,” Construction Manage and Economics, Vol.16, No.4, pp.433-446, 1998.

[4] I-Tung Yang and P. G. Ioannou, “Resource-driven scheduling for repetitive project: a pull–system approach,” The 9th International Group for Lean Construction Conference, National University of Singapore, 6-8 August 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[5] E. N. Chrzanowski and D. W. Johnson, " Application of Linear Scheduling," Journal of Construction Engineering and Management, Vol.112, No.4, pp.476-491, 1988.

[6] D. J. Harmelink and J. E. Rowing, "Linear Scheduling Model: Development of Controlling Activity Path," Journal of Construction Engineering and Management, Vol.124, No.4, pp.263-268, 1998.

[7] A. Yamin and D. Harmelink , "Comparison of Linear Scheduling Model (LSM) and Critical Path Method (CPM)," Journal of Construction Engineering and Management, Vol.127, No.5, pp.374-381, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้