Engng.J.CMU.(2019) 26 (2), 216-230

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างในงานติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จของโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว (ส่วนเหนือ)

Improvement for Segmental Box Girder for Installation Process of Mass Rapid Transit, The Green Line Project (Northern Zone)

ประพจน์ รัตตมณี* และ ดนัย วันทนากร

Prapot Rattamanee* and Danai Wantanakorn

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เลขที่ 99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Faculty of Engineering, Thammasat University,
99 Moo 18 Phaholyothin Rd., Ampher Khlongluang, Pathumthani, 12120
*E-mail: prapot129070@hotmail.com, Tel.: 085-577-4911

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างของงานติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จของโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว (ส่วนเหนือ) ด้วยการนำคานสำเร็จรูปกล่อง (Segmental Box Girder) จำนวนหนึ่งมาเรียงต่อกันเป็นพื้นสะพานทางวิ่งในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว (ส่วนเหนือ) นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาปัจจัยที่ทำให้การปฏิบัติงานขาดประสิทธิภาพ ควบคู่ไปกับการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านเวลาและต้นทุนในขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนของระบบการทำงานแบบเดิม เพื่อนำอุปสรรคเหล่านั้นไปปรับปรุงการติดตั้งจนได้ระบบการทำงานรูปแบบใหม่แล้วนำระบบติดตั้งแบบใหม่นี้ไปใช้งานจริงพร้อมทั้งเก็บข้อมูลด้านเวลาและต้นทุนอีกครั้ง เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการทำงานด้วยระบบการติดตั้งแบบใหม่กับระบบการติดตั้งแบบเดิม

ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบการติดตั้งขาดประสิทธิภาพอันส่งผลกระทบต่อระยะเวลาและต้นทุนการก่อสร้างคือ การวางแผนระบบการทำงานแบบเรียงกันเป็นลูกโซ่ การจัดลำดับขั้นตอนการทำงานและวิธีการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งข้อจำกัดทางด้านการจราจร จากการปรับปรุงระบบการติดตั้งในรูปแบบใหม่ด้วยการจัดลำดับขั้นตอนให้เหมาะสมพร้อมทั้งเพิ่มขั้นตอนที่สามารถทำคู่ขนานกันไปได้ และพิจารณาสายงายวิกฤติ (CPM/PERT) ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้สามารถลดกระบวนการทำงานจากเดิมทั้งหมด 35 ขั้นตอน ลงเหลือ 34 ขั้นตอน และกิจกรรมวิกฤตจากเดิม 32 ขั้นตอนลดลงเหลือเพียง 27 ขั้นตอน ในการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยและต้นทุนเฉลี่ยของการติดตั้งชิ้นส่วนจากทั้งสองระบบ สรุปได้ว่าเวลาการปฏิบัติงานและต้นทุนการติดตั้งของระบบการทำงานในรูปแบบใหม่สามารถลดลงจากระบบทำงานรูปแบบเดิมได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25.76 และ 24.43 ต่อหนึ่งช่วงพื้นสะพานทางวิ่ง ตามลำดับ

ABSTRACT

The objective of research on construction process improvement in segmental box girder of the Green Line mass rapid transit project (Northern Zone) is to identify obstacles and factors causing inefficient operations. Time and cost of operations from the original working system were initially collected. Based on the obstacles and bottlenecks found, a new working system was developed. Then,

Received 10 April 2018
Revised 24 October 2018
Accepted 28 November 2018

the new system was implemented and data related to time and cost were collected in order to compare them with those obtained from the original working system.

The results reveal that main factors causing work inefficiency in both time and cost are from sequential work plan, inappropriate working process and installation methods, and traffic restrictions. Taking those negatively influential factors into account, the new system was then created by rearranging working process in association with concurrent steps and critical path. As a result, the new process can reduce operations from 35 steps as in the original process to 34 steps, and critical activities from 32 steps to 27 steps. In comparison of the average time and cost between the two processes, this study shows that the working time and operation cost of the new process can be decreased from those of the original work process approximately 25.76% and 24.43% per span, respectively.

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวของเขตเมืองอย่างต่อเนื่องทั้งในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ทำให้ภาครัฐได้ริเริ่มการพัฒนาระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน (Infrastructure) ขนาดใหญ่ขึ้นมากมายหลายโครงการ ซึ่งส่วนหนึ่งคือยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบการคมนาคมขนส่งของไทย 20 ปี (พ.ศ.2558 - 2565) ทั้งนี้ลักษณะของโครงการจะเป็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทั้งทางถนน ทางน้ำ ทางอากาศ และทางรถไฟ โดยเฉพาะระบบรถไฟฟ้าในเขตกรุงเทพและปริมณฑล [1] จะเห็นได้ว่าเครื่องจักรกลที่เรียกว่า “Launching gantry” ซึ่งเป็นอุปกรณ์โครงเหล็กเลื่อนได้เริ่มมีความนิยมนำมาใช้มากขึ้นเรื่อยๆในงานติดตั้งชิ้นคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องสำเร็จ (Segmental box girder) สำหรับงานก่อสร้างถนน สะพาน และทางวิ่งของรถไฟฟ้า เพราะสามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วแบบทีละช่วงเสา (Span-by-Span)

เพื่อตอบสนองการพัฒนาระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานของรัฐที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต และเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของประเทศไทยทั้งในระดับอาเซียนและระดับสากล ผู้รับเหมางานระบบสาธารณูปโภคจึงได้นำเครื่องจักรติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จ (Launching gantry) นี้มาใช้งาน อันช่วยให้สามารถใช้ทรัพยากรน้อยลง รวมทั้งลดระยะเวลา และประหยัดงบประมาณค่าก่อสร้างของรัฐ

การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องด้วยเครื่องจักร Launching gantry สำหรับงานก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว (ส่วนเหนือ) นั้น ได้แบ่งระบบการทำงานออกเป็นชุดปฏิบัติการหลายชุด โดยที่แต่ละชุดจะทำงานในลักษณะตามกันและมีกระบวนการปฏิบัติงานในลักษณะทำซ้ำกันในทุกๆช่วงเสา [2] อย่างไรก็ตามกิจกรรมที่ทำนั้นอาจมีการสลับหรือข้ามขั้นตอนกันได้ แต่จะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานไม่แน่นอน นอกจากนี้การใช้งานเครื่องจักร Launching gantry ยังอยู่ในวงจำกัด ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ แผนงานก่อสร้างไม่เหมาะสม วิธีปฏิบัติงานเกิดอุปสรรค และการจัดลำดับขั้นตอนการติดตั้งขาดประสิทธิภาพ อันส่งผลให้เกิดการสูญเสียเวลาในการทำงานและต้นทุนค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการค้นหาปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นไปปรับปรุงกระบวนการจนได้ระบบการทำงานรูปแบบใหม่ที่ทำให้เวลาการทำงาน และต้นทุนค่าก่อสร้างลดลง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างช่วงสะพาน

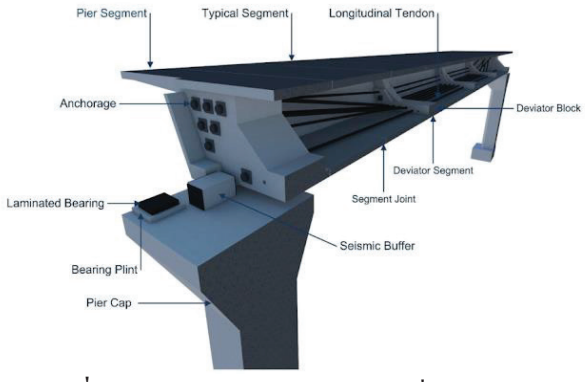
การก่อสร้างช่วงสะพานทางวิ่งโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จแบบคานรูปกล่องหลายชิ้นมาต่อกันจนเป็นทางวิ่งยกระดับนั้น ต้องใช้เครื่องจักรกลดังรูปที่ 1 ช่วยในการติดตั้ง กล่าวคือ เมื่อติดตั้งชิ้นส่วนของช่วงสะพานทางวิ่งปัจจุบันเสร็จแล้ว เครื่องจักรนี้จะเลื่อนไปข้างหน้าเพื่อติดตั้งชิ้นส่วนในช่วงต่อ ๆ ไปได้

รูปที่ 1 เครื่องจักรติดตั้งแบบ Launching gantry

เครื่องจักรนี้ประกอบด้วยรอกที่ใช้ยกชิ้นส่วนสำเร็จรูปกล่องแต่ละชิ้นจากด้านล่างขึ้นมาเรียงต่อกันตามระดับความสูงที่กำหนดในแบบจนเต็มตลอดความยาวของช่วงสะพานทางวิ่งพอดี จากนั้นจึงทำการอัดแรง (Post tension) ให้คอนกรีตด้วยการร้อยเส้นลวดอัดแรง (PC strand) ผ่านชิ้นส่วนทุกชิ้น แล้วดึงที่ปลายอีกด้านเพื่อให้เส้นลวดยืดออก

2.2 ประเภทของชิ้นส่วนคานรูปกล่องที่ใช้ในการติดตั้ง

โครงสร้างของสะพานทางวิ่งรถไฟฟ้าสายสีเขียวนั้นก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จแบบรูปกล่องกลวงมาเรียงต่อกันไปตลอดความยาวของช่วงเสา แล้วใช้ลวดอัดแรง (Tendon) ร้อยชิ้นส่วนทั้งหมดเพื่อยึดเข้าหากัน รูปที่ 2 แสดงองค์ประกอบของสะพานทางวิ่งรถไฟฟ้า [2, 3]



รูปที่ 2 องค์ประกอบของสะพานทางวิ่งรถไฟฟ้า

ชิ้นส่วนสำเร็จของคานรูปกล่องที่ใช้ติดตั้งเป็นสะพานทางวิ่งนั้น มีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

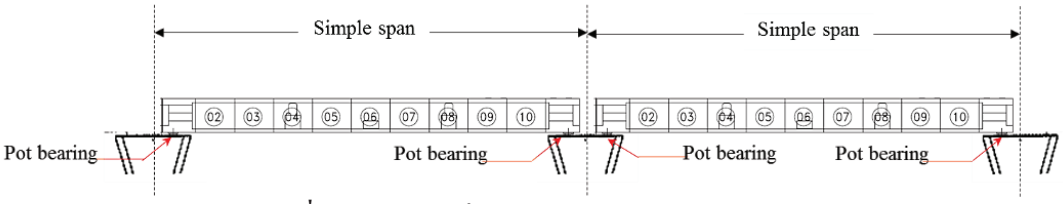
รูปที่ 3 ชิ้นส่วน Pier segment

1. ชิ้นส่วนรับแรงที่ถ่ายมาจากลวดอัดแรง (Pier segment) มีลักษณะเป็นชิ้นส่วนที่ตันกว่าชิ้นอื่นดังรูปที่ 3 ชิ้นส่วนนี้ใช้วางอยู่ที่หัวเสาทั้งสองข้างของช่วงสะพาน

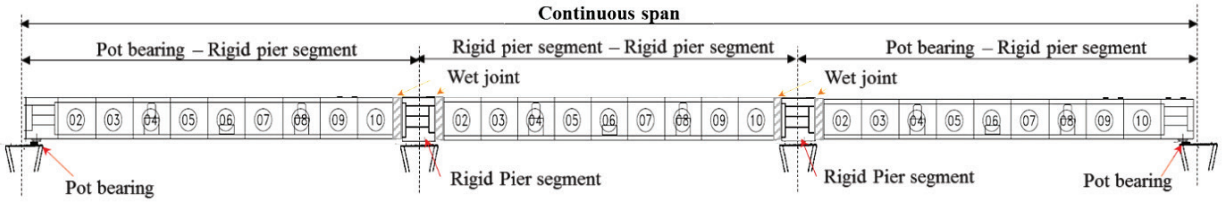
รูปที่ 4 ชิ้นส่วน Deviator segment

2. ชิ้นส่วนสร้างแรงยกตัว (Deviator segment) มีลักษณะเป็นชิ้นส่วนกลวงที่เสริมคานไว้ตรงกลางดังรูปที่ 4 ชิ้นส่วนนี้ใช้เพื่อบังคับทิศทางการร้อยเส้นลวดอัดแรงให้ตรงตามการออกแบบ และช่วยให้เกิดแรงยกตัวของชิ้นส่วนในขณะอัดแรง

รูปที่ 5 ชิ้นส่วน Standard segment



รูปที่ 6 สะพานทางวิ่งแบบช่วงเดียว (Simple span)



รูปที่ 7 สะพานทางวิ่งแบบช่วงเสาต่อเนื่องกันมากกว่าหนึ่งช่วง (Continuous span)

3. ชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standard segment) มีลักษณะเป็นชิ้นส่วนกลวงตรงกลางที่ใช้คอนกรีตและเหล็กเสริมในปริมาณน้อยที่สุดดังรูปที่ 5 โดยชิ้นส่วนนี้จะวางอยู่ระหว่างชิ้นส่วน Pier segment และ Deviator segment

2.3 วิธีการติดตั้งสะพานทางวิ่งด้วย Launching gantry

การติดตั้งสะพานทางวิ่งแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การติดตั้งแบบช่วงสะพานเดี่ยว (Simple span) ดังรูปที่ 6 และการติดตั้งแบบต่อเนื่องกัน 3 ช่วงเสา (Continuous span) ดังรูปที่ 7 ทั้งนี้ถ้าหากมองในแง่ของกระบวนการปฏิบัติงาน การติดตั้งแบบต่อเนื่องกัน 3 ช่วงเสาจะมีกระบวนการที่ซับซ้อนกว่า และมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าแบบช่วงเดียว [4]

2.4 ส่วนประกอบของเครื่องจักร Launching gantry และกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

เครื่องจักรกลนี้มีชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญจำนวน 10 ชิ้น [5] ดังรูปที่ 8 และอีก 3 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง แต่ละชิ้นของเครื่องจักรทำหน้าที่ ดังนี้

1. ฐานรองรับน้ำหนัก (Support) ใช้เพื่อรับ Main truss โดยมีอยู่ 3 ตัวจัดวางที่ด้านหน้า กลาง และหลัง ฐานรองรับน้ำหนักนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้ด้วยรอกไฟฟ้า และยืดขึ้นหรือหดลงตามแนวดิ่งได้ด้วยระบบไฮดรอลิค

2. ฐานรองรับน้ำหนักชั่วคราว (Leg) ใช้สำหรับรับน้ำหนัก Main truss เช่นกัน แต่เป็นแบบชั่วคราวในบางช่วงเวลาเท่านั้น โดยมีอยู่ 2 ตัวที่ด้านหน้าและหลัง สามารถยืดหรือหดได้ด้วยระบบเกลียวหมุน

3. ชิ้นส่วนแบบโครงหักฉาก (Portal frame) ใช้ติดตั้งบนเสาที่มีจุดรองรับน้ำหนักแบบ Pot bearing เพื่อปรับระดับจากหัวเสาขึ้นมาให้อยู่ในระดับเดียวกันกับระดับของชิ้นส่วน Pier segment โดยเมื่อเลื่อนเครื่องจักรไปข้างหน้าแล้วจะทำให้ได้ระดับความสูงเท่ากัน

4. ค้ำยันหัวเสา (Pier bracket) ใช้เพื่อถ่ายน้ำหนักชั่วคราวของปลาย Main truss ผ่านขาค้ำหน้าในขณะที่ Main truss มีการยื่นปลายด้านหนึ่งออกไปข้างหน้ามาก

5. รอกไฟฟ้า (Winch) ควบคุมการสั่งงานด้วยรีโมท ใช้สำหรับยกชิ้นส่วนคานขึ้นมาอยู่ในระดับการติดตั้งและเลื่อนชิ้นส่วนให้เข้าชิดติดกันตามตำแหน่งที่ระบุในแบบ

6. ชุดแขวนชิ้นส่วนสำเร็จ (Hanging) ประกอบด้วยเส้นลวดสลิงขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับแขวนชิ้นส่วนสำเร็จทั้งหมดให้ลอยอยู่ในระดับที่ต้องการติดตั้ง

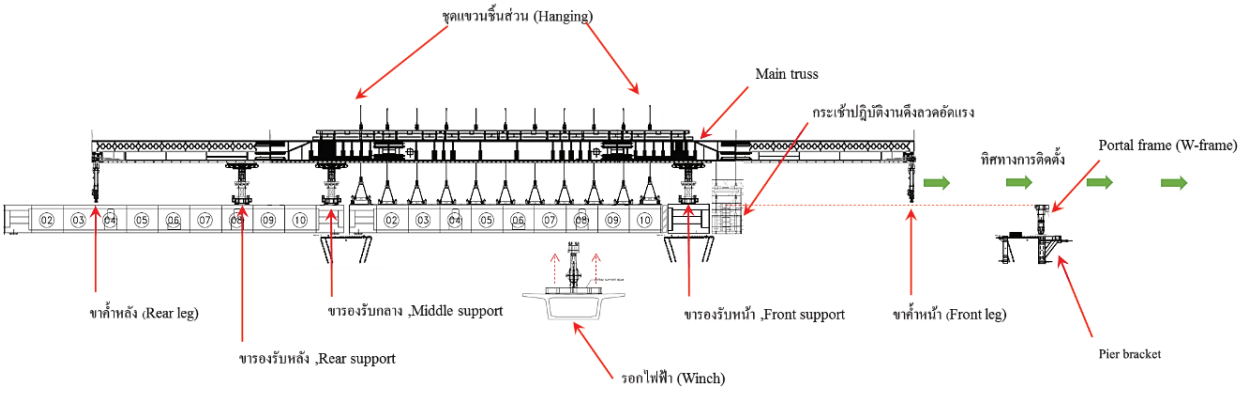
7. กระบวนการตรวจวัดงานสำรวจ (Survey) เมื่อแขวนชิ้นส่วนสำเร็จเป็นที่เรียบร้อยตลอดทั้งช่วงสะพานแล้ว ต้องทำการสอบวัดค่าระดับและแนวอย่างละเอียดอีกครั้งด้วยการยืดฐานรองรับหลักขึ้นหรือลงเพื่อปรับระดับของช่วงสะพานขึ้นหรือลง และปรับระนาบของ

ชิ้นส่วนทั้งหมดให้ตรงตามแบบโดยการดึงด้วยรอกโซ่ที่หัวและท้ายเสาของช่วงสะพาน

8. กระบวนการเชื่อมรอยต่อ (Wet joint) ระหว่างชิ้นส่วนที่อยู่ชิดเสา กับชิ้นส่วน Pier segment ที่วางอยู่บนหัวเสา หลังจากที่ปรับแนวและระดับของชิ้นส่วนทั้งหมดแล้ว จะทำให้เกิดช่องว่างซึ่งเป็นรอยต่อขนาด 10–20 เซนติเมตรที่บริเวณใกล้หัวเสา จึงต้องใช้ก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ทากาวอีพ็อกซี่มาอัดแทรกลงในช่องว่างจำนวน 4 ตำแหน่งเพื่อดันชิ้นส่วนสำเร็จทั้งสองให้ตรึงแน่นและยึดติดกัน หลังจากออกแรงดึงลวดเพียง 15% เสร็จแล้วจึงค่อยเทคอนกรีตปิดช่องว่างในภายหลังเพื่อเชื่อมสะพานทางวิ่งให้มีความต่อเนื่องกัน

9. การติดตั้งกระเช้าสำหรับงานดึงลวดอัดแรง เนื่องจากการร้อยและดึงลวดอัดแรงจะกระทำที่ช่วงปลายสะพานทางวิ่งซึ่งเป็นพื้นที่โล่งกลางอากาศ ดังนั้น กระเช้าจึงใช้เป็นอุปกรณ์เพื่อให้คนงานมีพื้นที่ยืนปฏิบัติงานดึงลวดอัดแรงได้อย่างสะดวกและปลอดภัย

10. กระบวนการขนส่งอุปกรณ์ช่วยในการยกติดตั้งกลับคืนโรงงาน เมื่อกระบวนการติดตั้งเสร็จสิ้นแล้ว ต้องทำการปลดวัสดุอุปกรณ์ช่วยยกที่ติดมาพร้อมกับชิ้นส่วนสำเร็จส่งกลับคืนโรงงาน เพื่อจะได้นำไปใช้ติดตั้งเข้ากับชิ้นส่วนสำเร็จของช่วงเสาอื่นๆต่อไป



รูปที่ 8 ส่วนประกอบของเครื่องจักรติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จ (Launching gantry)

2.5 ระบบการทำงานแบบเดิมในการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จ

การติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องเพื่อประกอบกันเป็นช่วงสะพานทางวิ่งโดยใช้เครื่องจักรติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จนั้น โดยปกติแล้วจะมีกระบวนการทำงานแบบวนซ้ำเดิม (Routine) ตลอดทุกช่วงเสาใน 1 วงรอบของการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่อง จะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 9 นั่นคือขั้นตอนเตรียมการก่อนเลื่อน Launching gantry (LG) ขั้นตอนเลื่อน LG เข้าตำแหน่งติดตั้ง ขั้นตอนติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องและขั้นตอนดึงลวดอัดแรงรวมทั้งปรับแต่งระดับและแนว

ในการวิเคราะห์กระบวนการปฏิบัติงานดังรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่า ในกระบวนการที่ 1 นั้น เวลาเกือบทั้งหมดใช้ในการทำงานด้านการเตรียมงาน และการรื้ออุปกรณ์เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำในการติดตั้งช่วงเสาถัดไป สำหรับกระบวนการที่ 2–4 โดยรวมแล้วมีขั้นตอนการทำงานที่เรียงต่อกันเป็นแบบลูกโซ่ จะมีเฉพาะบางขั้นตอนเท่านั้นที่จัดขั้นตอนทำงานแบบคู่ขนานกัน

ในการปฏิบัติงานได้กำหนดเป็น 2 ช่วงเวลา คือ กะกลางวันเวลา 08:00 - 17:00 น. และกะกลางคืนเวลา 20:00 - 05:00 น. ของวันถัดไป อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเวลาเฉลี่ยที่ใช้ทำงานใน 1 วัน ของระบบการทำงานแบบเดิมดังแสดงในตารางที่ 1 จะพบว่าไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ นั่นคือ กะกลางวันโดยส่วนใหญ่จะทำงานได้ไม่เต็มเวลา และมีถึง 2 กะ ที่ไม่สามารถงานได้ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการจัดเรียงขั้นตอนปฏิบัติงาน

ที่ไม่เหมาะสมทำให้ต้องรอคอยอันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ทำงาน และด้านระเบียบการจราจร

ตารางที่ 1 เวลาเฉลี่ยของปฏิบัติงานในระบบเดิม

วันที่	กะกลางวัน	กะกลางคืน
1	08:00 - 11:11	20:00 - 00:57
2	เวลารอคอย	20:00 - 05:12
3	08:00 - 13:26	20:00 - 04:44
4	08:00 - 16:12	รออายุคอนกรีต
5	09:57 - 12:19	-

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบการปฏิบัติงานติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปของทางวิ่งรถไฟฟ้าสายสีเขียวให้มีประสิทธิภาพ โดยมุ่งที่การลดระยะเวลาและต้นทุนการก่อสร้าง ขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

1) ทำการบันทึกข้อมูลด้านการปฏิบัติงานของการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องด้วยระบบการทำงานแบบเดิม จำนวน 6 ช่วงเสา ได้แก่ เวลา จำนวนแรงงาน และเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานของแต่ละขั้นตอน จากนั้นจึงคำนวณหาเวลาและต้นทุนเฉลี่ยในการปฏิบัติงานเพื่อใช้เป็นฐานในการวัดประสิทธิภาพการทำงาน

2) รวบรวมขั้นตอนปฏิบัติงานของระบบการทำงานแบบเดิมทั้งหมด 35 ขั้นตอนตามรูปที่ 9 รวมทั้งสำรวจปัจจัยและอุปสรรคที่ทำให้งานขาดประสิทธิภาพ เพื่อนำไปปรับปรุงและออกแบบระบบการทำงานแบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพ

3) นำปัจจัยและอุปสรรคที่รวบรวมได้ไปสัมภาษณ์ผู้ชำนาญการที่เกี่ยวข้องในงานติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จจำนวน 15 คนเพื่อคัดเลือกเอาเฉพาะปัจจัยสำคัญหลักที่ทำให้งานขาดประสิทธิภาพ พร้อมทั้งให้ระบุแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของงาน [5]

4) นำข้อมูลด้านกระบวนการปฏิบัติงานและระยะเวลาทำงานจากขั้นตอนที่ 1) – 3) มาใช้ออกแบบระบบการทำงานรูปแบบใหม่โดยคำนึงถึงสายงานวิกฤต

5) นำระบบการทำงานแบบใหม่ไปทดสอบการใช้งานจริง พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงานด้านเวลาและค่าใช้จ่ายเช่นเดียวกันกับขั้นตอนที่ 1)

6) เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านเวลาและต้นทุนระหว่างระบบการติดตั้งแบบเดิมและแบบใหม่ โดยคิดเฉพาะต้นทุนทางตรงด้านแรงงาน และเครื่องจักร ทั้งนี้ไม่รวมต้นทุนทางตรงด้านวัสดุ เนื่องจากมีปริมาณการใช้งานเท่าเดิมไม่ว่าจะทำงานในช่วงเวลาใดก็ตาม และไม่รวมต้นทุนทางอ้อมเพราะเป็นค่าใช้จ่ายซึ่งคำนวณเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ค่อนข้างยาก

4. ผลการศึกษา

การวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานด้านเวลา และต้นทุนในการก่อสร้างสะพานทางวิ่งรถไฟฟ้าโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จแบบคานรูปกล่องนั้น ผลการศึกษามีดังนี้

4.1 การปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

ผลการปรับปรุงระบบการติดตั้งชิ้นส่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลัก 35 ขั้นตอนย่อย ดังต่อไปนี้

กระบวนการที่ 1 การเตรียมงานก่อนการเลื่อน Launching gantry ในขั้นตอนการติดตั้ง Pier bracket นั้น ได้แก้ไขสลักที่ผิดขนาดโดยเปลี่ยนให้ตรงตามขนาดที่ใช้งานจริง สำหรับขั้นตอนการติดตั้ง Portal frame พบว่าอุปกรณ์ยึดชิ้นส่วน (Tie down) ให้ติดกับหัวเสามักจะหลุดจมไปในระหว่างเทคอนกรีต จึงปรับแก้จากการผูกอุปกรณ์ไว้กับเหล็กเสริมเป็นการเชื่อมติดกับเหล็กเสริมแทน ส่วนในขั้นตอนการส่งอุปกรณ์กลับคืนโรงงาน พบว่ามีการยกอุปกรณ์ลงมากองไว้ก่อน แล้วรอให้รถบรรทุกมาขนไปในภายหลัง ซึ่งทำให้เสียเวลาจากการทำงานซ้ำ จึงแก้ไขโดยจัดรถบรรทุกไว้ให้พร้อมที่หน้างานเพื่อจัดอุปกรณ์ขึ้นรถบรรทุกและส่งกลับคืนโรงงานได้ในทันที ในขั้นตอนการติดตั้งราวกันตกและการรื้อแบบ Wet joint มักถูกละเลยจนไม่มีอุปกรณ์ใช้งานในช่วงเสาถัดไป จึงได้

เพิ่มงานนี้เข้าไว้เป็นขั้นตอนหนึ่งในระบบการทำงานแบบใหม่ด้วย

กระบวนการที่ 2 การเลื่อน Launching gantry เข้าตำแหน่งติดตั้ง ในกระบวนการนี้ประกอบไปด้วย 16 ขั้นตอน สำหรับขั้นตอนที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ คือ ขั้นตอนการค้ำขาค้ำหลัง และการขึ้นขาค้ำหลัง ซึ่งสูญเสียเวลาในการตรวจสอบการคลายตัวของน็อตทุกครั้งด้วยการใช้ประแจขันน็อตทุกตัวให้แน่น จึงปรับปรุงโดยใช้ปากกาสี ขีดแสดงตำแหน่งที่น็อตขันแน่นไว้ ทำให้สามารถตรวจสอบเฉพาะน็อตที่คลายตัวได้รวดเร็วขึ้น ในขั้นตอนการถอดกระเช้าดึงลวดอัดแรงนั้น พบว่า ชิ้นส่วนบนและล่างของกระเช้าที่ยึดไว้ด้วยสลิงมักแยกตัวออกจากกันในขณะที่ทำการถอด ทำให้ต้องเสียเวลานาน จึงทำการเปลี่ยนโดยใช้รอกโซ่มือแทน เพื่อช่วยบีบให้ชิ้นส่วนกระเช้าบนและล่างประกบชิดติดกัน สำหรับขั้นตอนการปลดขาค้ำหน้า และขั้นตอนติดตั้งขาค้ำหน้านั้น พบว่าสลักเหล็กเส้น PT bar มักโก่งงอง่าย ทำให้เสียเวลาในการเปลี่ยนอันใหม่ จึงปรับปรุงโดยเปลี่ยนไปใช้สลักเหล็กหล่อซึ่งมีคุณสมบัติที่ทนทานกว่า และในขั้นตอนการย้ายขารองรับ มักประสบปัญหาเรื่องลวดสลิงชุดแขวนชิ้นส่วนเกี่ยวพันกับขารองรับ จึงปรับปรุงโดยเชื่อมเหล็กเส้นไว้รอบขารองรับเพื่อใช้เป็นเครื่องนำทางในการดึงลวดสลิง อันช่วยลดการเสียเวลาในการยกหรือดึงลวดสลิงหลบขารองรับ

กระบวนการที่ 3 การติดตั้งชิ้นส่วน Segment จากการศึกษาพบว่า ระยะช่วงเสามีความยาวที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องปรับเลื่อนตำแหน่งตะขอสำหรับแขวนกระเช้าดึงลวดอัดแรงใหม่ทุกครั้ง จึงปรับปรุงโดยกำหนดตำแหน่งตะขอที่ตายตัวแล้วใช้วิธีการเลื่อนขยับ Main truss ให้พอเหมาะกับความยาวของช่วงเสาแทน โดยอยู่ในระยะที่รับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย สำหรับขั้นตอนติดตั้ง Segment มักพบกับปัญหาการแตกบิ่นของขอบชิ้นงาน ทำให้เสียเวลาและค่าซ่อมแซม จึงแก้ไขโดยใช้หมอนไม้รองชิ้นส่วนไม่ให้กระแทกกันเองในขณะติดตั้ง

กระบวนการที่ 4 การปฏิบัติงานหลังการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จ ในขั้นตอนการเชื่อมรอยต่อ (Wet joint) พบว่า ช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนสำเร็จตรงบริเวณหัวเสามีขนาดไม่ที่แน่นอน ทำให้ต้องเสียเวลาค่อนข้างมากในการตัดและเจียรก้อนลูกบาศก์คอนกรีตให้มีขนาดพอดีที่จะนำมาใช้อัดแทรกลงในช่องว่าง จึงได้ทำการแก้ไขเพื่อลดเวลาทำงานโดยหล่อก้อนคอนกรีตที่มีขนาดเริ่มตั้งแต่ 10 ซ.ม. แล้วค่อย ๆ เพิ่มความกว้างขึ้นครั้งละ 1 ซ.ม. จนถึงขนาด 20 ซ.ม.เพื่อให้พร้อมใช้งานได้ทันทีกับขนาดความกว้างของช่องว่าง ในขั้นตอนการดึงลวดอัดแรง มีการดัดแปลงชิ้นส่วน Portal frame ใหม่ เพื่อไม่ให้ชิดติดกับกระบอกไฮดรอลิคดึงลวดอัดแรงและเพิ่มรางเลื่อนแนวระนาบเพื่อให้การโยกกระบอกไปยังตำแหน่งดึงใหม่ทำได้ง่าย ใช้เวลาลดลง

4.2 การปรับปรุงระบบการติดตั้งชิ้นส่วน Segment Box Girder โดยวิธีสายงานวิกฤต

จากผลวิเคราะห์อุปสรรคในกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จคานรูปกล่องด้วยระบบการทำงานแบบเดิม ซึ่งประกอบไปด้วย 35 ขั้นตอน ดังรูปที่ 9 นั้น เมื่อได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของแต่ละขั้นตอนการทำงานตามหัวข้อที่ 4.1 แล้ว ได้ทำการออกแบบระบบการทำงานรูปแบบใหม่ดังรูปที่ 10 โดยปรับเปลี่ยนขั้นตอนการปฏิบัติงานให้มีการทำงานคู่ขนานเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งคำนึงถึงสายงานวิกฤต จะเห็นได้ว่าในระบบการทำงานแบบใหม่มีการออกแบบดังนี้

1) ปรับแผนโดยให้เริ่มงานวันแรกในช่วงกะกลางคืนซึ่งเป็นงานยกของบนที่สูงที่ต้องปิดกั้นการจราจร

2) ปรับเปลี่ยนขั้นตอนเตรียมการก่อนเลื่อน Launching gantry ของกระบวนการที่ 1 ในระบบการทำงานแบบเดิม ดังรูปที่ 9 ไปดำเนินการในช่วงที่ต้องหยุดรอคอย นั่นคือปรับเปลี่ยนขั้นตอนการติดตั้ง Pier bracket และการติดตั้ง Portal frame ไปทำในกะกลางคืนที่ 3 ดังรูปที่ 10 ซึ่งเป็นช่วงที่ว่างงาน เพราะต้องรอคอนกรีตให้ได้อายุก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนหลักอื่น ๆ ต่อไปได้

3) ปรับเปลี่ยนขั้นตอน การติดตั้งราวกันตก และการรื้อถอนแบบ Wet joint ไปดำเนินการควบคู่กับขั้นตอนการดึงลวดอัดแรง

4) จัดให้มีการทำงานคู่ขนานเพิ่มขึ้นจากระบบเดิมมี 6 ขั้นตอนเป็น 10 ขั้นตอนในระบบใหม่

5) สำหรับขั้นตอนปฏิบัติงานหลักซึ่งไม่สามารถข้ามขั้นตอนได้ยังคงจัดทำแบบเรียงลำดับเช่นเดิม

ผลจากการจัดเรียงขั้นตอนการทำงานในระบบการทำงานรูปใหม่ จะเห็นได้ว่าขั้นตอนปฏิบัติงานในสายงานวิกฤตลดลงจาก 32 ขั้นตอนเหลือเพียง 27 ขั้นตอน โดยมีขั้นตอนที่ทำควบคู่กันไปได้ 10 ขั้นตอน ซึ่งส่งผลให้แผนการทำงานที่ต้องใช้เวลา 4.5 วัน (9 กะทำงาน) ในระบบเดิมลดลงเหลือ 3 วัน (6 กะทำงาน) ในระบบใหม่

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านเวลาระหว่างระบบการทำงานแบบเดิม กับระบบการทำงานแบบใหม่

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านเวลาในการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จของทางวิ่งรถไฟฟ้าแบบช่วงต่อเนื่องระหว่างระบบการติดตั้งแบบเดิมกับรูปแบบใหม่นั้น ค่าเวลาเฉลี่ยในการทำงานของแต่ละขั้นตอนได้แสดงดังตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละขั้นตอน และการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการปฏิบัติงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1 - 4.2 ส่งผลให้กระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนด้วยระบบการทำงานแบบใหม่มีระยะเวลาเฉลี่ยลดลงในเกือบทุกขั้นตอน เมื่อพิจารณาเวลาในการทำงานจนจบทุกขั้นตอนพบว่า ระบบการทำงานรูปแบบใหม่สามารถลดเวลาในการทำงานลงได้โดยเฉลี่ย 894 นาที หรือร้อยละ 25.76 ต่อการติดตั้งหนึ่งช่วงเสา อย่างไรก็ตามหากคิดเวลาในการทำงานทั้งโครงการซึ่งมีการติดตั้งชิ้นส่วนทั้งหมด 345 ช่วงเสาแล้ว ระบบการทำงานแบบใหม่จะสามารถลดเวลาการทำงานลงได้ถึง 321 วัน หรือประมาณ 10.71 เดือน

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต้นทุนระหว่างระบบการทำงานแบบใหม่ กับระบบการทำงานแบบเดิม

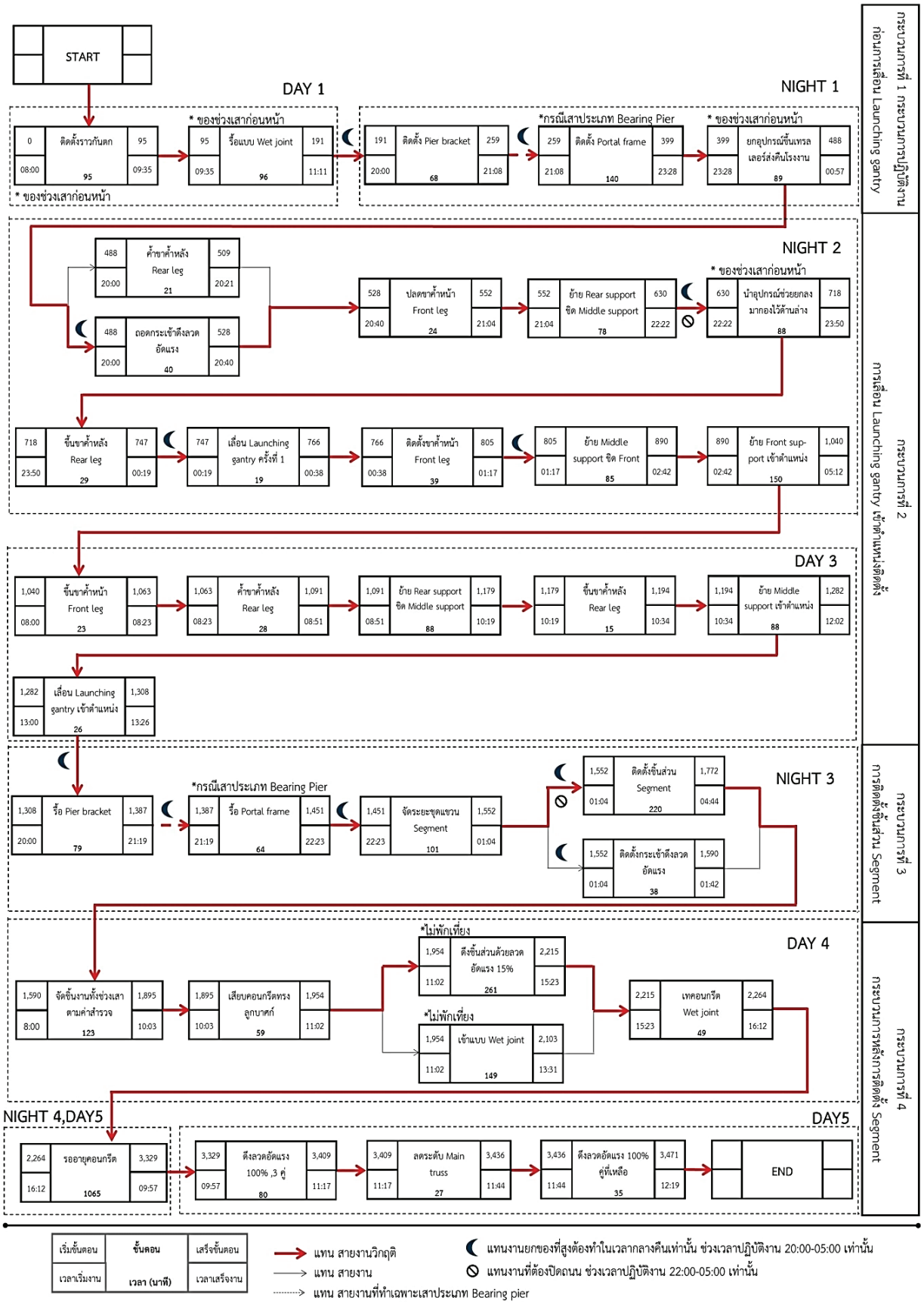
ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางตรงในการติดตั้งชิ้นส่วนคานรูปกล่องของทางวิ่งรถไฟฟ้า ซึ่งคิดเฉพาะค่าแรงและค่าเครื่องจักร จากระบบการทำงานทั้ง 2 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 3 นั้น พบว่าในระบบการติดตั้งรูปแบบใหม่มีต้นทุนลดลงทั้ง 3 รายการเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระบบทำงานแบบเดิม นั่นคือระบบการติดตั้งแบบใหม่มีประสิทธิภาพในการลดต้นทุนรวมลงได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 9,893.29 บาท หรือร้อยละ 24.43 ต่อหนึ่งช่วงเสา ในทำนองเดียวกันหากพิจารณาการติดตั้งตลอดทั้งโครงการซึ่งมีทั้งหมด 345 ช่วงเสาแล้ว การปฏิบัติงานด้วยระบบใหม่จะสามารถลดต้นทุนค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรลงได้มากกว่า 3.4 ล้านบาท

5. สรุปผลการศึกษา

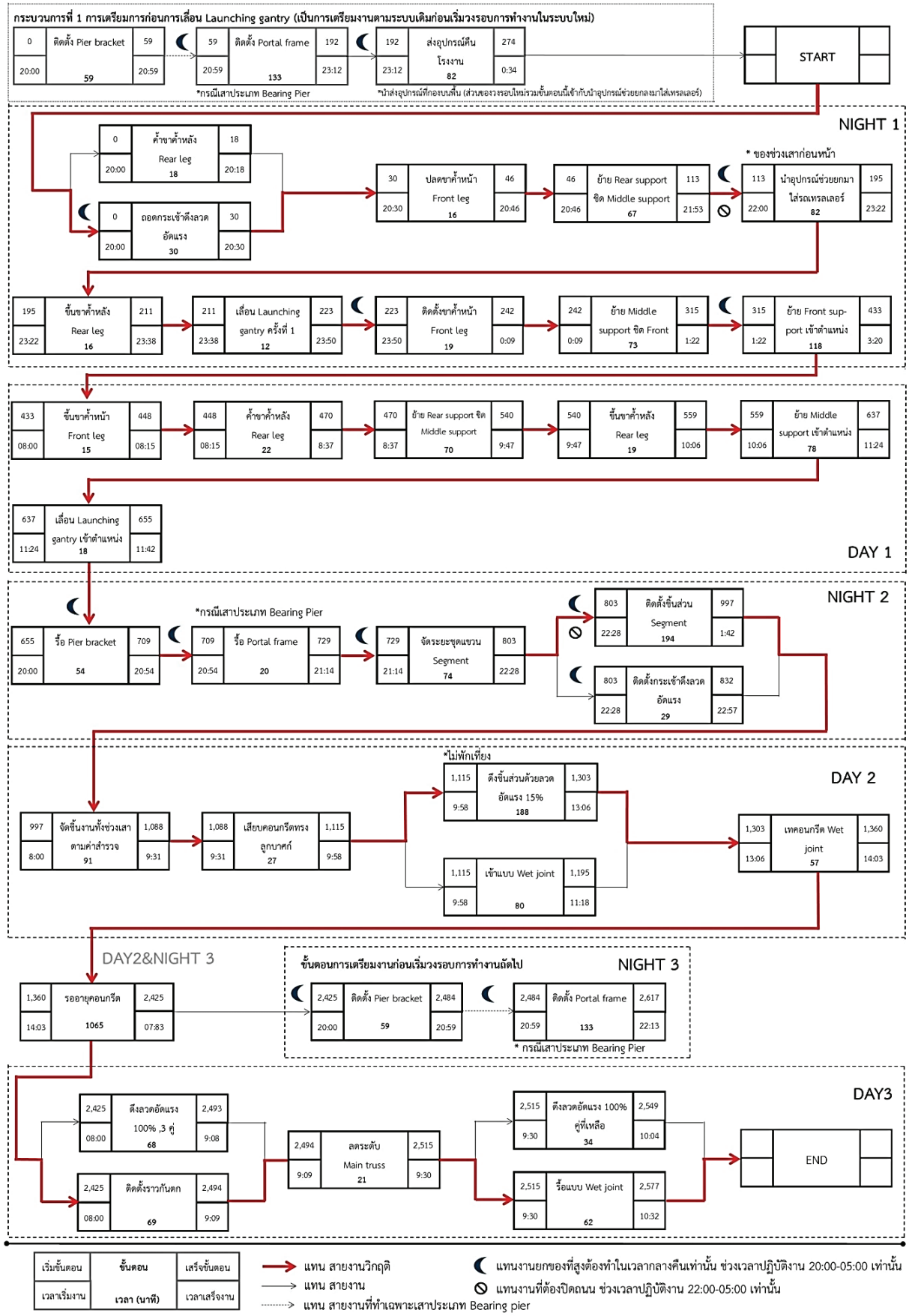
การศึกษาวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างในงานติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จของโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว (ส่วนเหนือ) มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละกระบวนการติดตั้งที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่าย แล้วนำปัญหาเหล่านั้นไปทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานประสิทธิภาพ พร้อมจัดเรียงขั้นตอนปฏิบัติงานเพื่อให้ได้กระบวนการทำงานรูปใหม่ จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบทั้งสองทั้งทางด้านเวลาและต้นทุนการติดตั้ง

ผลการศึกษาพบว่า ในการจัดเรียงขั้นตอนการทำงานของระบบการทำงานรูปแบบใหม่ทำให้ขั้นตอนปฏิบัติงานในสายงานวิกฤตลดลงเหลือเพียง 27 ขั้นตอนจากทั้งหมด 32 ขั้นตอนในระบบการทำงานแบบเดิม และมีขั้นตอนที่ทำงานควบคู่กันได้ 10 ขั้นตอน ซึ่งส่งผลให้แผนการทำงานที่ต้องใช้เวลา 4.5 วัน (9 กะทำงาน) ในระบบเดิม ลดลงเหลือ 3 วัน (6 กะทำงาน) ในระบบใหม่

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบใหม่กับระบบเดิม พบว่ากระบวนการทำงานแบบใหม่สามารถลดเวลาปฏิบัติงานจากระบบเดิมลงได้ 894 นาที หรือร้อยละ 25.76 และต้นทุนลงได้ 9,893.29 บาท หรือร้อยละ 24.43 ต่อหนึ่งช่วงเสา ตามลำดับ



รูปที่ 9 กระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนด้วยระบบการทำงานแบบเดิม



รูปที่ 10 กระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนด้วยระบบการทำงานแบบใหม่

ตารางที่ 2 ระยะเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงานของระบบการทำงานแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบเดิม

ลำดับ	กระบวนการ	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาที)		ระยะเวลาที่ลดลง	
		กระบวนการเดิม	กระบวนการรูปแบบใหม่	หน่วย (นาที)	หน่วย (ร้อยละ)
1	ติดตั้ง Pier bracket	68	59**	9	13.24
2	ติดตั้ง Portal frame	140	133**	7	5.00
3	ส่งอุปกรณ์คืนโรงงาน	89	82	7	7.87
4	ติดตั้งราวกันตก	95	69	26	27.37
5	รื้อแบบ Wet joint	96	62	34	35.42
6	ค้ำขาค้ำหลัง	21**	18**	3	14.29
7	ถอดกระเช้าดึงลวดอัดแรง	40	30	10	25.00
8	ปลดขาค้ำหน้า Front leg	24	16	8	33.33
9	ย้าย Rear support ชิด Middle support	78	67	11	14.10
10	นำอุปกรณ์ช่วยยกลงมากองไว้ด้านล่าง	88	-	88	100.00
11	ขึ้นขาค้ำหลัง Rear leg	29	16	13	44.83
12	เลื่อน Launching gantry ครั้งที่ 1	19	12	7	36.84
13	ติดตั้งขาค้ำหน้า Front leg	39	19	20	51.28
14	ย้าย Middle support ชิด Front support	85	73	12	14.12
15	ย้าย Front support เข้าตำแหน่ง	150	118	32	21.33
16	ขึ้นขาค้ำหน้า Front leg	23	15	8	34.78
17	ค้ำขาค้ำหลัง Rear leg	28	22	6	21.43
18	ย้าย Rear support ชิด Middle support	88	70	18	20.45
19	ขึ้นขาค้ำหลัง Rear leg	15	19	–4	–26.67
20	ย้าย Middle support เข้าตำแหน่ง	88	78	10	11.36
21	เลื่อน Launching gantry เข้าตำแหน่ง	26	18	8	30.77
22	รื้อ Pier bracket	79	54	25	31.65
23	รื้อ Portal frame	64	20	44	68.75
24	จัดระยะชุดแขวน Segment	101	74	27	26.73
25	ติดตั้งกระเช้าดึงลวดอัดแรง	38**	29**	9	23.68
26	ติดตั้งชิ้นส่วน Segment	220	194	26	11.82
27	จัดชิ้นส่วนตลอดช่วงเสาตามค่างานสำรวจ	123	91	32	26.02
28	การอัดแทรกก้อนลูกบาศก์คอนกรีต	59	27	32	54.24
29	เข้าแบบ Wet joint	149**	80**	69	46.31
30	ดึงชิ้นส่วนด้วยลวดอัดแรง 15%	261	188	73	27.97
31	เทคอนกรีต Wet joint	49	57	–8	–16.33
32	รออายุคอนกรีต	1,065	1,065	0	0

ตารางที่ 2 (ต่อ) ระยะเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงานของระบบการทำงานแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบเดิม

ลำดับ	กระบวนการ	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาที)		ระยะเวลาที่ลดลง	
		กระบวนการเดิม	กระบวนการรูปแบบใหม่	หน่วย (นาที)	หน่วย (ร้อยละ)
33	ดึงลวดอัดแรง 100% จำนวน 3 คู่	80	68**	12	15
34	ลดระดับ Main truss	27	21	6	22.22
35	ดึงลวดอัดแรง 100% จนครบตามจำนวน	35	34**	1	2.86
รวมเวลาในสายงานวิกฤต (นาที)		3,471	2,577	**894 นาที หรือ 25.76%**	

หมายเหตุ: ** = ขั้นตอนที่ไม่อยู่ในสายงานวิกฤต

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนทางตรงในการปฏิบัติงานระหว่างระบบการทำงานแบบใหม่กับระบบการทำงานแบบเดิม

ลำดับ	ประเภทต้นทุน	จำนวนเงิน (บาท)			ต้นทุนที่ลดลง (ร้อยละ)
		ระบบการติดตั้งแบบเดิม	ระบบการติดตั้งแบบใหม่	ต้นทุนที่ลดลง	
1	ต้นทุนแรงงาน - รายเดือน	43,734.41	31,962.67	11,771.74	26.92
2	ต้นทุนแรงงาน - รายวัน	124,636.91	93,930.84	30,706.07	24.64
3	ต้นทุนเครื่องจักร	74,591.67	57,709.72	16,881.95	22.63
รวมเป็นเงินต่อ 6 ช่วงเสา (บาท)		242,962.99	183,603.23	59,359.76	24.43
เฉลี่ยต่อ 1 ช่วงเสา (บาท)		40,493.83	30,600.54	9,893.29	24.43

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างในงานติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว (ส่วนเหนือ)” ผู้จัดทำขอขอบคุณโครงการหลักสูตรนวัตกรรมทางวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมศาสตร์และการจัดการธุรกิจ ที่ได้เปิดสอนหลักสูตรที่มีคุณค่าต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.จงรักษ์ ผลประเสริฐ ที่คอยให้ข้อเสนอ รวมทั้งคำแนะนำงานวิจัยเรื่องนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บริษัท อิตาเลียนไทย ดีวีล็อปเม้นต์ จำกัด (มหาชน) บุคลากรหน่วยงานสะพาน ที่ได้มอบโอกาสในการทำงาน และมอบความรู้จนกระทั่งการศึกษาค้นคว้างานวิจัยนี้บรรลุผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อย่างสูงที่คอยสนับสนุนด้านกำลังทรัพย์ อีกทั้งยังเป็นกำลังใจที่สำคัญ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ ในสาขาวิชาที่ได้คอยช่วยเหลือด้านความรู้ คอยแนะนำตักเตือนตลอดจนการให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้หวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจได้นำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้การทำงานของท่านช่วยพัฒนาองค์ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อวงการวิศวกรรมของประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงคมนาคม. ยุทธศาสตร์โครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมขนส่งของไทย พ.ศ. 2558-2565. 2560; [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.mot.go.th/file_upload/.../InfrastructureOpportunities_under_Thailand_4.0.pdf

[2] สรกฤตย์ พันธุมนตรี. การผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสะพานคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดกลวง (Casting and Erection of Viaduct Segmental Boxes Girder). 2527; [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.mckeller.co.th/knowledge-and-experience/casting-and-erection-of-viaduct-segmental-boxes-girder

[3] Superstructure Railway of Bangkok. องค์ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างรองรับทางวิ่งยกระดับทั้งระบบขนส่งทางราง. 2560; [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: https://kmrailways.blogspot.com/2017/06/blog-post_1.html

[4] Segmental Concrete Bridge Construction. NBM Media Pvt. Ltd., New Delhi, INDIA, 2014; [Online] available: https://www.nbmcw.com/tech-articles/bridges/290-segmental-concrete-bridge-construction.html

[5] The Components of Bridge Girder Launcher. Zhengzhou Huazhong Construction Machinery Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, China, 2014; [Online] available: https://zzhz.com/News/doc820.html