การสร้างแบบจำลองเพื่อเพิ่มผลิตภาพในการผลิต : กรณีศึกษางานผลิตสะพานรูปกล่องตัวกลาง

SIMULATION FOR INCREASE PRODUCTIVITY IN PRODUCTION: CASE STUDY OF THE PRODUCTION OF INTERMEDIATE SEGMENT

สุรพันธ์ สันติยานนท์[1], ชิษณุ อัมพรายน์[2,*] คมวุธ วิศวไพศาล[3] และ ธงชัย วิชิตนพวรรณ[4]
[1,2,3,4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, จังหวัดกรุงเทพฯ, ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: chisanu.am@spu.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน – นครราชสีมา ช่วง กม. 65+300.000 ถึง กม. 70+085.000 รวมระยะทาง 4.785 กิโลเมตร ใช้รูปแบบสะพานแบบกล่องสำเร็จรูป รวมทั้งสิ้น 622 ชิ้น สะพานรูปกล่องตัวกลางเป็นประเภทที่มีจำนวนชิ้นมากที่สุดเท่ากับ 382 ชิ้น มีขั้นตอนการผลิตจำแนกได้ 9 กิจกรรมย่อย ผลการสำรวจพบว่าระยะเวลาในการผลิตในสภาพปัจจุบันคือ 786 วัน มีค่าผลิตภาพเท่ากับ 0.49 ชิ้นต่อวัน โดยกิจกรรมย่อยที่ 9 คือ การเทคอนกรีต เป็นขั้นตอนที่ความล่าช้ามากที่สุด การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อหาวิธีเพิ่มค่าผลิตภาพของการผลิตสะพานรูปกล่องตัวกลางในกิจกรรมย่อยที่ 9 การเทคอนกรีต ด้วยการจำลองสถานการณ์จากโปรแกรม EZStrobe เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีต ระยะเวลาในการผลิต และ ค่าใช้จ่ายในการผลิต ผลการจำลองสถานการณ์พบว่าเมื่อใช้รถขนส่งคอนกรีตตั้งแต่ 2 คัน ถึง 4 คัน จะมีค่าผลิตภาพเพิ่มขึ้นเป็น 0.61 0.67 และ 0.69 ชิ้นต่อวัน ตามลำดับ และสามารถลดระยะเวลาผลิตลงได้ 164 216 และ 232 วัน ตามลำดับ

คำสำคัญ: *รูปแบบสะพานแบบกล่องสำเร็จรูป, สะพานรูปกล่องตัวกลาง, ค่าผลิตภาพ, ระยะเวลาในการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการผลิต*

Abstract

The construction of motorway project between Bang Pa-in to Nakhon Ratchasima, the range of km 65+300.000 to km 70+085.000, a total distance of 4.785 kilometers using 622 segments of precast segmental box girder. The intermediate segment was the type with the largest number of 382 segments. There were 9 sub-activities in order to produce the intermediate segment. On-site data collection show that the current production time is 786 days with a productivity rate of 0.49 segment per day. The 9th sub-activity, pouring concrete, is the most delayed step. The purpose of this research was to determine how to increase the productivity of the intermediate segment production in the 9th sub-activity, pouring concrete. Using simulation from EZStrobe program to find the correlation between the number of concrete trucks. production time and production cost. The simulation results showed that from 2 to 4 concrete trucks, the productivity rate increased to 0.61, 0.67 and 0.69 segment per day, respectively. And can reduce the production time by 164 216 and 232 days, respectively.

Keywords: *Segmental box bridge, Intermediate segment, Productivity, Production time, Production cost*

1. บทนำ

รูปแบบการก่อสร้างสะพานได้มีการพัฒนาจากรูปแบบสะพานแบบคานและพื้นคาน (Beam and slab bridges) มาเป็น รูปแบบสะพานแบบกล่องสำเร็จรูป (Precast segmental box girder, Segment) มากขึ้น การก่อสร้างสะพาน โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน – นครราชสีมา ระยะทาง 4.785 กิโลเมตร ต้องใช้ Segment จำนวนมาก ถ้ามีความล่าช้าเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตจะส่งผลต่อระยะเวลาในสายงานวิกฤตทันที เช่น งานติดตั้งสะพานซึ่งต้องใช้ชิ้นส่วน Segment ตลอดจนงานอื่นๆ ดังนั้นการลดเวลาในการผลิต Segment จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยการบริหารจัดการทรัพยากรในการผลิตที่ดี เช่น การจัดสรรแรงงาน เครื่องมือ และเครื่องจักร รวมถึงการบริหารระยะเวลาในการดำเนินงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ก็จะสามารถเพิ่มความสามารถในการผลิต [1] ตลอดจนสามารถเร่งรัดระยะเวลาการดำเนินงานในภาพรวมของโครงการได้ หรือสามารถนำทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตในส่วนนี้ ไปจัดสรรใช้งานในส่วนอื่นได้อย่างเป็นระบบ ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีค่าผลิตภาพในงานก่อสร้างที่เป็นมาตรฐาน ในการวิเคราะห์ผลิตภาพจะใช้อ้างอิงค่าผลิตภาพจากต่างประเทศ [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ค่าผลิตภาพการผลิตจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดวงรอบเวลา (Cycle time) ที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการทำงาน เพื่อหาค่าวงรอบเวลาเฉลี่ยของแต่ละกิจกรรมย่อยโดยไม่ได้คำนึงการกระจายตัวทางสถิติของค่าเวลานั้นเพื่อนำไปวิเคราะห์เป็นค่าผลิตภาพ [3]

โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน - สระบุรี – นครราชสีมา ช่วง กม. 65+300.000 ถึง กม. 70+085.000 ระยะเวลาดำเนินการตามแผนงานระหว่าง 16 มีนาคม 2560-4

เมษายน 2563 รวมเวลาตามสัญญา กรมทางหลวงเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการ ต้องใช้ Segment ทั้งหมดจำนวน 622 ชิ้น จำแนกเป็น Diaphragm (DP) Segment จำนวน 96 ชิ้น Deviator (D1) Segment จำนวน 48 ชิ้น Deviator (D2) Segment จำนวน 96 ชิ้น และ Intermediate Segment จำนวน 382 ชิ้น มีการตั้งค่าปรับเนื่องจากงานล่าช้าวันละ 3,301,934.00 บาท การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อเสนอแนะกระบวนการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate Segment) ที่มีจำนวนชิ้นที่มากที่สุด จำนวน 382 ชิ้น ด้วยการใช้โปรแกรม EZStrobe มาสร้างแบบจำลองเลียนแบบการผลิต ที่ประกอบด้วยปัจจัย 3 ด้าน คือ ปัจจัยด้านทรัพยากรการผลิต ปัจจัยด้านระยะเวลาการผลิต และปัจจัยด้านค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยจะวิเคราะห์จะหารูปแบบของกระบวนการผลิตที่ดีที่สุดด้วยการปรับเปลี่ยนปัจจัยด้านทรัพยากรการผลิตร่วมกับปัจจัยด้านระยะเวลาการผลิตเพื่อให้ได้ปัจจัยด้านค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ผลการเสนอแนะจะเป็นเครื่องมือประกอบการตัดสินใจสำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate Segment) ในโครงการก่อสร้างในอนาคตได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2. วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานประกอบด้วย การเก็บข้อมูล การสร้างแบบจำลองและเลียนแบบกระบวนการผลิต และ การวิเคราะห์ปัญหาและการกำหนดแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลในการวิจัยได้จำแนกกิจกรรมของการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) ไว้ 9 กิจกรรมย่อยดังแสดงในตารางที่ 1 และกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของกิจกรรมย่อยดังแสดงในรูปที่ 1 การเก็บข้อมูล ประกอบด้วย การจับเวลาของกิจกรรมก่อสร้าง และ การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1. การจับเวลาของกิจกรรมก่อสร้าง

การจับเวลาของกิจกรรมก่อสร้างสำหรับการวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเวลาแบบต่อเนื่อง โดยทำการบันทึกเวลาขณะที่ทำกิจกรรมย่อยทั้ง 9 ลำดับ จากนั้นนำไปสรุปเป็นระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมย่อยเพื่อสร้างเป็นวงรอบเวลาในการผลิต ซึ่งในการงานวิจัยได้รวบรวมข้อมูลวงรอบเวลาสำหรับการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) ได้ทั้งหมด 36 ครั้ง

ตารางที่ 1 แสดงการแยกกิจกรรมย่อยการผลิต Segment

ลำดับ	กิจกรรมย่อย	
	ชื่อ	รายละเอียด
1	ดึงลวดอัดแรงขั้นแรก 25%	เมื่อคอนกรีตรับกำลังได้ตามข้อกำหนด ทีมงานชุดดึงลวดจะทำการดึงลวดในแนวขวาง Transverse Tendon ทั้งหมด 5 หัว หัวละ 4 เส้น
2	ถอดแบบ Wing Form, Core Form	ทีมงานประจำใน Mold ทำการถอดแบบปลายปีก (Side Form) ออกก่อน ตามด้วยแบบปีก (Wing Form) และแบบด้านใน (Core Form) ตามลำดับ
3	ถอยตัว MATCH CAST ยกออก	ทำการแยก Segment ตัวเก่าและตัวใหม่ และเคลื่อนย้าย Segment ตัวเก่าออกเก็บเข้า Stock
4	ถอยตัว Wet Cast มาเป็น Match Cast	ทำการเลื่อน Segment ตัวใหม่จาก Mold มาในตำแหน่ง Match Cast Segment
5	Survey Set Match Cast	ทำการปรับพิกัด Survey ของตัว Match Cast Segment จากค่าที่ได้คำนวณไว้
6	เข้าแบบ Wing Form, ขัดแบบทาน้ำมัน	ทีมงานประจำ Mold ทำการปรับ Mold ให้เข้าตำแหน่ง ยกเว้น Core Form ที่ต้องรอลงเหล็กก่อน
7	ลงเหล็ก/จัดเหล็ก	เครนยกเหล็กจากรถบรรทุก มาวางลงใน Mold ทำการเลื่อน Core Form ให้เข้าตำแหน่ง จากนั้นทำการจัด Rebar ให้เข้าตำแหน่ง
8	ติดตั้งลวด TENDON จัดตำแหน่ง	ทีมงานจัดลวด Profile ตามตำแหน่ง
9	เทคอนกรีต	ทีมงานเตรียมเครื่องมือ และประจำตำแหน่งเทคอนกรีต โดยใช้คอนกรีต 30 คิว

2.1.2. การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล สำหรับการผลิตการผลิตสะพานรูปกล่องตัวกลาง ค่าเวลาที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือนั้นต้องเก็บข้อมูลให้มีจำนวนมากพอ โดยตั้งสมมุติฐานให้การกระจายตัวของความถี่ของข้อมูลเวลาเข้าใกล้ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) และสามารถแสดงให้เห็นระดับความเชื่อมั่น 95.5% และขอบเขตความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ ±5% สำหรับจำนวนตัวอย่างตามระดับความเชื่อมั่น และขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ซึ่งข้อมูลวงรอบเวลาสำหรับการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) ได้ทั้งหมด 36 ครั้ง พบว่ามีความน่าเชื่อถือของข้อมูลเพียงพอ

$$n = \left| \frac{\frac{k}{s}\sqrt{n'\Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2}}{\Sigma x_i} \right|^2 \qquad (1)$$

โดยที่ n = จำนวนครั้งที่ต้องจับเวลา

n′= จำนวนครั้งในการจับเวลาตัวอย่าง

k = ตัวประกอบของระดับความเชื่อมั่น (k= 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.5%)

s = ความคลาดเคลื่อน (limit of error)

กิจกรรมย่อย	จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด
1	ผ่านการทดสอบกำลังคอนกรีต ทีมงานเข้าประจำตำแหน่ง	ทีมงานดึงลวดเก็บอุปกรณ์
2	ทีมงานเข้าประจำตำแหน่ง	ถอดแบบ Core Form และลดปีก Wing Form เรียบร้อย
3	เครนมาที่จุดยก	เครนยก Segment ไปที่รถบรรทุกแล้วเดินกลับมาที่ Mold
4	เครนพร้อมในตำแหน่งยกถาดล่าง	เครนยกถาดล่างว่างในตำแหน่ง
5	Survey ตั้งกล้องประจำตำแหน่ง	Survey เก็บกล้อง
6	Set Match เข้าตำแหน่ง	ทาน้ำมันอุดซิลิโคลน
7	เครนยกเหล็กที่รถบรรทุก ยกมาพร้อมที่ Mold	กรมทางหลวงตรวจสอบความถูกต้องเสร็จสิ้น
8	ทีมงานติดตั้งลวด Tendon มาพร้อมที่หน้างาน	กรมทางหลวงตรวจสอบความถูกต้องเสร็จสิ้น
9	กรมทางหลวงตรวจสอบความถูกต้องเสร็จสิ้น	รถขนส่งคอนกรีตคันสุดท้ายปล่อยคอนกรีตเสร็จสิ้น

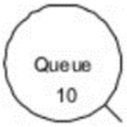
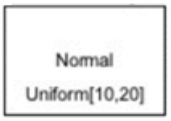
รูปที่ 1 กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของกิจกรรมย่อย

จากการเก็บข้อมูลหน้างานเริ่มตั้งแต่กิจกรรมดึงลวดจนสิ้นสุดการเทคอนกรีตได้ผลรวมของเวลาเฉลี่ย เท่ากับ 54,077 นาทีและรวมของเวลาเฉลี่ยยกกำลังสองเท่ากับ 82,970,929 นาที^{2} ได้จำนวนข้อมูลที่ต้องทำการเก็บทั้งหมดเท่ากับ 34.27 ข้อมูล ดังนั้นการเก็บข้อมูลจำนวน 36 ครั้งจึงมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ การกระจายตัวทางสถิติต่อไป

2.2. การสร้างแบบจำลองและเลียนแบบกระบวนการผลิต

การสร้างแบบจำลองและเลียนแบบกระบวนการผลิตในการวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม EZStrobe ที่สามารถเรียกใช้งานผ่านโปรแกรม Visio ซึ่งเป็น Template ที่สามารถนำไอคอนแต่ละรูปแบบมาเชื่อมต่อกันให้เป็นแผนผังแสดงกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นให้นำข้อมูลวงรอบเวลาสำหรับการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) ที่ประกอบด้วยกิจกรรมย่อยจำนวน 9 ลำดับ โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มเวลาในแต่ละกิจกรรมย่อยตามที่ได้กำหนดไว้จากการแจกแจงข้อมูล

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบในการสร้างแบบจำลอง EZStrobe [4]

รูปแบบ	หน้าที่
	Queue เป็นที่อยู่ของทรัพยากร (Resources) จนกว่าจะมีการใช้ Queue สามารถตามกิจกรรมอื่นๆ ได้ ยกเว้นตาม Queue เอง และจะต้องนำหน้า Conditional Activity (Combi) เท่านั้น
	Conditional Activity (Combi) เป็นกิจกรรมที่มีเงื่อนไข จะเริ่มได้เมื่อมีทรัพยากร Queue ครบถ้วนตามที่ต้องการ
	Bound Activity (Normal) เป็นกิจกรรมปกติ จะเริ่มเมื่องานที่นำหน้ามาแล้วเสร็จสิ้น
	A Fork เป็นค่าทางสถิติเพื่อกำหนดทางเลือกที่จะดำเนินการ

รูปแบบ	หน้าที่
	Draw Link เชื่อมต่อระหว่าง Queue กับ Conditional Activity Draw Link
	Branch Link ใช้เชื่อมต่อกับ Fork ไม่สามารถเชื่อมต่อกับ Conditional Activity ได้

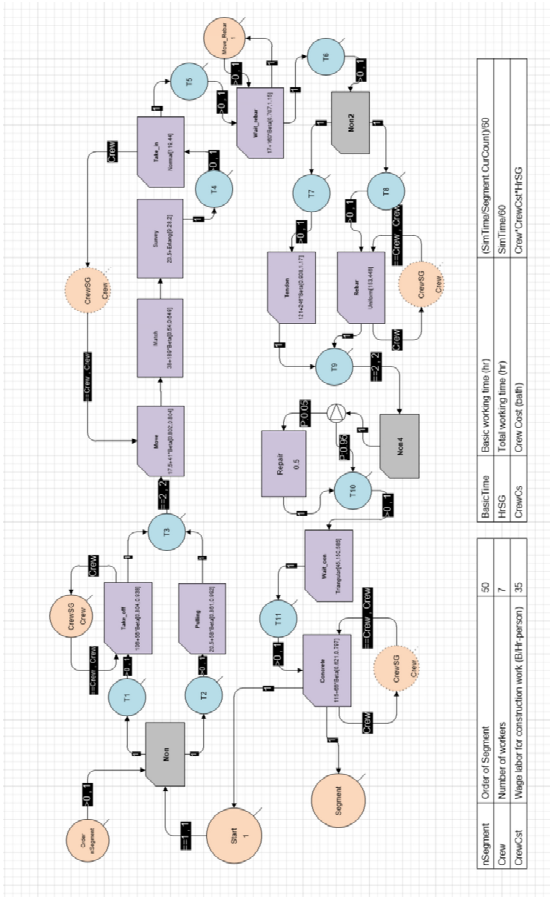
การหารูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในแต่ละกิจกรรม ใช้ Tools Input Analyzer ในโปรแกรม Arena ทดสอบด้วยวิธีไคสแควร์ (Chi Square Test) เนื่องจากข้อมูลน้อยกว่า 50 ข้อมูล จากการตั้งสมมติฐานที่ว่า H_0: ข้อมูลมีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบ และ H_1: ข้อมูลไม่มีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบ โดยถ้าค่า P–Value ที่ได้จากการทดสอบมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ (α) จะยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 จากการได้รูปแบบการกระจายตัวทางสถิติของค่าเวลาของแต่ละกิจกรรมย่อย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตัวอย่างการแจกแจงข้อมูลในกิจกรรมดึงลวด Transverse 25% เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลหาการกระจายตัวจะได้การกระจายตัวแบบ Beta Distribution ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัว 20.5 + 58 * BETA(0.861, 0.992) ค่า P-Value = 0.363 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า ค่า P-value ตกอยู่ในพื้นที่ยอมรับที่ 0.95 ดังนั้น ยอมรับข้อมูลมีการแจกแจงตามแบบที่ทดสอบ

การสร้างแบบจำลองและเลียนแบบกระบวนการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate Segment) สามารถนำมาเขียนแผนผังการผลิตโดยโปรแกรม EZStrobe ได้ดังรูปที่ 2 จากทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าวงรอบเวลาในการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate Segment) ระหว่างข้อมูลจากการเก็บข้อมูลหน้างานจำนวน 11 ครั้ง กับ ข้อมูลจากการเลียนแบบด้วยโปรแกรม EZStrobe 11 ครั้ง ด้วยวิธี Independent sample T Test ความเชื่อมั่นที่ 0.95 และระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า F-test ได้ค่า Sig. 0.848 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าความแปรปรวนของข้อมูล 2 กลุ่มเท่ากัน และผล T-test โดยดูผลคะแนนส่วนของ Equal variances assumed และ ค่า t 0.120 และ ค่า Sig. 0.906 ซึ่งมีมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มนี้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ได้

ตารางที่ 3 การแจกแจงข้อมูลทางสถิติของกิจกรรมย่อยในการผลิต Intermediate Segment

กิจกรรม	รูปแบบการแจกแจง	P-Value
1. ดึงลวด Transvers 25%	20.5 + 58 * BETA (0.861, 0.992)	0.363
2. ถอดแบบ Wing Form, Core Form	106 + 56 * BETA(0.804, 0.938)	0.556
3. ถอยตัว MATCH CAST ยกออก	17.5 + 41 * BETA (0.802, 0.804)	0.0826
4. ถอยตัว Wet Cast มาเป็น Match Cast	38 + 189 * BETA (0.54, 0.649)	0.234
5. Survey Set Match Cast	20.5 + ERLA (9.28, 2)	0.382
6. เข้าแบบ Wing Form, ขัดแบบทาน้ำมัน	NORM (119, 44)	0.139
รอคอยจากปัจจัยภายนอก	17 + 160 * BETA (0.707, 1.15)	0.0897
7. ลงเหล็ก/จัดเหล็ก	UNIF (153, 446)	> 0.75
8. ติดตั้งลวด TENDON จัดตำแหน่ง	121 + 246 * BETA (0.908, 1.17)	0.204
รอคอยจากปัจจัยภายนอก	TRIA (45, 150, 585)	0.175
9. เทคอนกรีต	115 + 66 * BETA (0.621, 0.797)	0.678

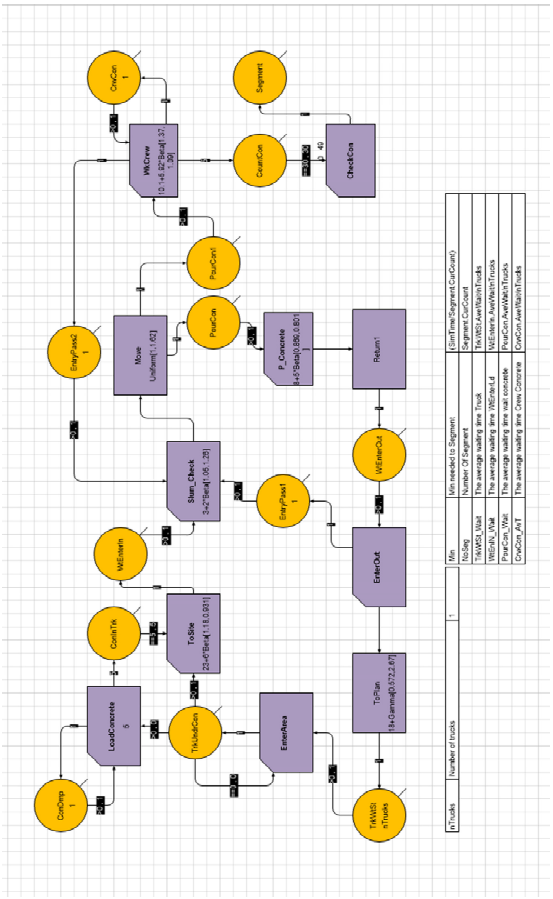


รูปที่ 2 ผังการจำลองและทำเลียนแบบการผลิต Intermediate Segment

2.3. การวิเคราะห์ปัญหาและการกำหนดแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการผลิตจากหน้างาน พบว่า กิจกรรมย่อยลำดับที่ 9 การเทคอนกรีตจะมีความล่าช้ามากที่สุด โดยเมื่อคนงานทำงานผูกเหล็ก (กิจกรรย่อยลำดับที่ 7) เสร็จ และติดตั้งลวด Tendon (กิจกรรมย่อยในลำดับที่ 8) เรียบร้อยพร้อมผ่านการตรวจสอบว่ามีความพร้อมสำหรับการเทคอนกรีตแล้ว แต่ในหน้างานจริงก็ยังไม่สามารถเทคอนกรีตได้ในทันที เช่น บางครั้งมีการตรวจสอบความพร้อมในการเทคอนกรีตเสร็จเวลา 10:00 น. แต่ได้เทคอนกรีตในเวลา 15:00 น. ซึ่งเหตุการณ์ลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นประจำ ซึ่งปัญหาหลักคือทางโรงงานผลิตคอนกรีตมีการจัดส่งคอนกรีตไปยังหน้างานหลายกิจกรรม เช่น การเทคอนกรีตพื้นทางงานเทคอนกรีตโครงสร้างสะพาน เป็นต้น ดังนั้นทางโรงงานผลิตคอนกรีตจึงไม่ได้ผลิตคอนกรีตให้ในทันทีแต่ได้จัดสรรเวลาในการขนส่งคอนกรีตไปเป็นช่วงเวลาบ่ายร่วมกับกิจกรรมอื่น ทำให้กระบวนการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง กิจกรรมย่อยลำดับที่ 9 การเทคอนกรีตจึงมีความล่าช้ามากที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยจึงได้เสนอการแก้ปัญหาความล่าช้าในกิจกรรมย่อยที่ 9 คือ กิจกรรมเทคอนกรีตเพียงกิจกรรมเดียวเท่านั้น ได้ทำการแบ่งเป็นกิจกรรมย่อยที่ 9 ออกเป็นออกเป็น 7 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) โหลดคอนกรีต 2) รถขนส่งคอนกรีตถึงหน้างาน 3) ทดสอบสลัมป์ 4) ถอยเข้าพื้นที่เทคอนกรีต 5) เทคอนกรีต 6) คนงานทำงาน และ 7) รถออกจากหน้างานถึงโรงงานผลิตคอนกรีต โดยมีแผนผังการทำงานของกิจกรรมย่อยที่ 9 การเทคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 3 โดยกำหนดให้ จำนวนรถขนส่งคอนกรีต เป็นตัวแปรของปัจจัยด้านทรัพยากรการผลิต ระยะเวลาในการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) จำนวน 382 ชิ้น เป็นตัวแปรของปัจจัยระยะเวลาการผลิต และ ค่าแรงคนงานและค่าเช่ารถขนส่งคอนกรีต เป็นตัวแปรของปัจจัยด้านค่าใช้จ่ายในการผลิต เมื่อกำหนดตัวแปรแล้ว ผู้วิจัยจึงสามารถสร้างแบบจำลองและเลียนแบบกระบวนผลิตเพื่อเสนอแนะวิธีการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตได้



รูปที่ 3 แสดงแผนผังการจำลองและทำเลียนแบบกิจกรรมเทคอนกรีต

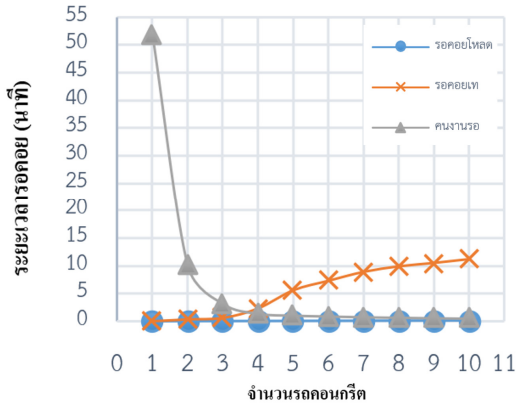
วิธีการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตด้วยการสร้างแบบจำลองและเลียนแบบกระบวนผลิต มี 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนที่1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีตกับระยะเวลารอคอย ขั้นตอนที่2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการผลิตกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง

ขั้นตอนที่3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงคนงานกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง และขั้นตอนที่4 การคัดเลือกวิธีการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

3. ผลการศึกษา

3.1. การหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีตกับระยะเวลารอคอย

ผู้วิจัยเสนอให้เช่ารถขนส่งคอนกรีตเพิ่มเติมจากที่มีให้บริการที่หน้างานปัจจุบันเพื่อการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลางโดยเฉพาะ จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การเทคอนกรีตเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลารอคอยกับจำนวนรถขนส่งคอนกรีต โดยเริ่มต้นกำหนดจำนวนรถขนส่งคอนกรีตที่จำนวน 1 คัน แล้วทำการเลียนแบบกิจกรรมเทคอนกรีตของสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) จำนวน 40 ชิ้น จากนั้นจะทำการเพิ่มจำนวนรถขนส่งคอนกรีตทีละ 1 คันต่อเนื่องจนถึง 10 คัน จากการจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม EZStrobe โดยการกำหนดรถขนส่งคอนกรีต 1 ถึง 10 คัน ได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลารอคอยกับจำนวนรถขนส่งคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4

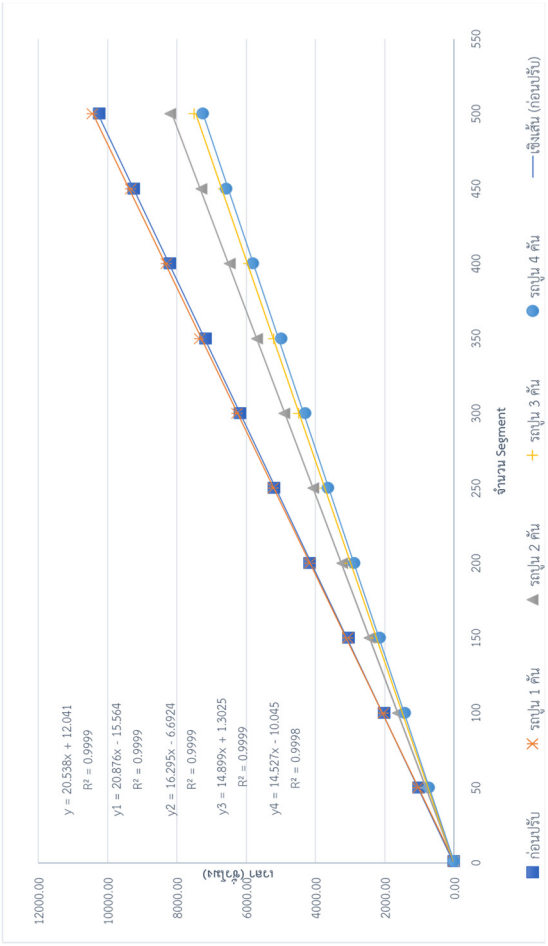


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีตกับเวลารอคอย

ความสัมพันธ์จากรูปที่ 4 พบว่า เมื่อมีรถขนส่งคอนกรีต 1 คัน เวลาคนงานรอคอยจะเท่ากับ 51.852 นาที เวลารถขนส่งคอนกรีตรอคอยเทคอนกรีตเท่ากับ 0.000 นาที และเวลารถขนส่งคอนกรีตรอคอยในการโหลดคอนกรีตเท่ากับ 0.000 นาที เมื่อเพิ่มรถขนส่งคอนกรีต 2 คัน เวลารอคอยของคนงานจะลดลงตามลำดับ และเวลารอคอยในการเทคอนกรีตก็จะเพิ่มขึ้น เวลาในการโหลดคอนกรีตยังคงไม่มีการรอคอยมากนัก และการเพิ่มรถขนส่งคอนกรีตมากกว่า 4 คัน ทำให้เวลาในการเทคอนกรีตลดลงน้อยมาก

3.2. การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการผลิตกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง

การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการผลิตกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง จะเปรียบเทียบระยะเวลาตามจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจาก 1 คันถึง 4 คัน และ ระยะเวลาตามสภาพปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า เวลาในการผลิตกรณีใช้รถขนส่งคอนกรีต 1 คันจะมากกว่าระยะเวลาตามสภาพปัจจุบัน (ก่อนปรับปรุง) เล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรถขนส่งคอนกรีตเป็น 2 ถึง 4 คันพบว่าเวลาในการผลิตจะลดลงตามลำดับ และสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการผลิตกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง ที่ปรับเปลี่ยนตามจำนวนรถขนส่งคอนกรีตได้ดังสมการที่ 2 ถึงสมการที่ 6



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการผลิตกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง

ก่อนปรับปรุง $$y = 20.538x + 12.401$$ (2)

เช่ารถ 1 คัน $$y = 20.876x + 15.564$$ (3)

เช่ารถ 2 คัน $$y = 16.295x + 6.692$$ (4)

เช่ารถ 3 คัน $$y = 14.899x + 1.302$$ (5)

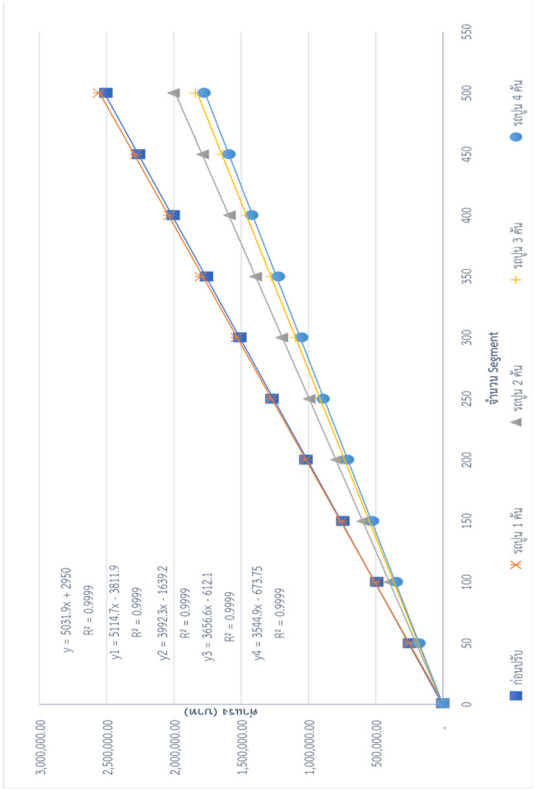
เช่ารถ 4 คัน $$y = 14.527x + 10.045$$ (6)

โดยที่ y คือ เวลาในการผลิต (ชั่วโมง)

x คือ จำนวน Intermediate Segment (ชิ้น)

3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงคนงานกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง

การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงคนงานกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง จะกำหนดจำนวนคนงาน 7 คน ค่าแรงคนละ 35 บาทต่อชั่วโมง จำนวนชั่วโมงการทำงาน 10 ชั่วโมง ค่าเช่ารถขนส่งคอนกรีต 30,000.00 บาทต่อคันต่อเดือน เมื่อนำค่าแรงคนงานก่อนปรับปรุงมาเปรียบเทียบค่าแรงคนงานหลังปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจาก 1 คันถึง 4 คน พบว่า ค่าแรงคนงานในการผลิตเมื่อใช้รถขนส่งคอนกรีต 1 คัน จะเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนปรับปรุงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรถขนส่งคอนกรีตเป็น 2 คัน ถึง 4 คัน ค่าแรงคนงานจะลดลงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6 และสามารถสร้างความความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงคนงานกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง ได้ดังสมการที่ 7 ถึง 11



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงคนงานกับจำนวนชิ้นส่วนสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง

ก่อนปรับปรุง $y = 5031.9x - 2950$ (7)

เช่ารถ 1 คัน $y = 5114.7x - 3811.9$ (8)

เช่ารถ 2 คัน $y = 3992.3x - 1639.2$ (9)

เช่ารถ 3 คัน $y = 3656.6x - 612.1$ (10)

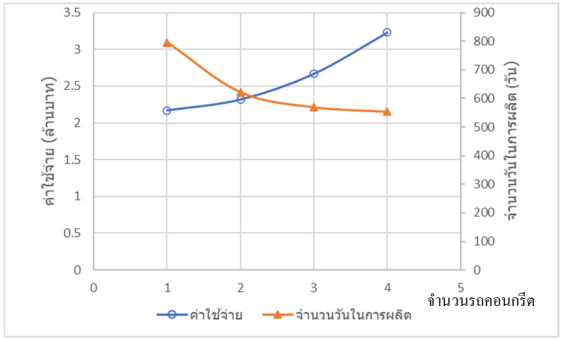
เช่ารถ 4 คัน $y = 3544.9x - 673.75$ (11)

โดยที่ y คือ ค่าแรงคนงานในการผลิต (บาท)

x คือ จำนวน Intermediate Segment (ชิ้น)

3.4 การคัดเลือกวิธีการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

การคัดเลือกวิธีการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตจะพิจารณาจาก จำนวนรถขนส่งคอนกรีต ระยะเวลาในการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลาง (Intermediate segment) จำนวน 382 ชิ้น และ ค่าแรงคนงานและค่าเช่ารถขนส่งคอนกรีต พบว่า ในสภาพหน้างาน (ก่อนมีการปรับปรุง) ใช้ระยะเวลาในการผลิต 786 วัน ค่าแรงคนงาน 1,925,135.80 บาท (ไม่มีค่าเช่ารถขนส่งคอนกรีตเนื่องจากใช้รถที่ทางโครงการเตรียมไว้) กรณีปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนจำนวนรถขนส่งคอนกรีตจากจำนวน 1 คันถึง 4 คัน พบว่า เมื่อเช่ารถขนส่งคอนกรีต 1 คัน เวลาในการผลิตไม่ลดลง มีค่าใช้จ่ายในการเช่ารถขนส่งคอนกรีตรวมกับค่าแรงคนงานจำนวน 2,168,567.45 บาท เมื่อเช่ารถขนส่งคอนกรีต 2 คัน ระยะเวลาในการผลิตลดลง 164 วัน มีค่าใช้จ่าย 2,317,630.00 บาท เมื่อเช่ารถขนส่งคอนกรีต 3 คัน ระยะเวลาในการผลิตลดลง 216 วัน ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเป็น 2,669,245.20 บาท เมื่อเช่ารถขนส่งคอนกรีต 4 คัน ระยะเวลาผลิตเวลาลดลง 232 วัน ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเป็น 3,233,874.45 บาท โดยจุดสมดุลระหว่างระยะเวลาการผลิตกับค่าใช้จ่ายในการผลิตจะอยู่ที่การใช้รถขนส่งคอนกรีตจำนวน 2 คัน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถขนส่งคอนกรีตกับค่าใช้จ่ายและจำนวนวันในการทำงาน

การตั้งค่าปรับของโครงการเนื่องจากงานล่าช้ามีมูลค่าวันละ 3,301,934.00 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการเช่ารถขนส่งคอนกรีตเพิ่มเป็น 4 คัน (เพิ่มจำนวนมากที่สุด) จะเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มจาก 1,925,135.80 บาท เป็น 3,233,874.45 บาท แต่สามารถลด

ระยะเวลาการผลิตได้ 232 วัน ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเช่ารถขนส่งคอนกรีตถือว่ามีความคุ้มค่าถ้าสามารถลดค่าปรับในภาพรวมของโครงการได้แม้เพียง 1 วัน เช่ารถขนส่งคอนกรีตเพิ่ม 4 คันเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มจากสภาพหน้างานปัจจุบัน 1,308,738.65 บาท ซึ่งน้อยกว่าค่าปรับของโครงการที่ 1 วันอยู่ 1,993,195.35 บาท ผลการวิเคราะห์ค่าผลิตภาพแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ค่าผลิตภาพของการผลิตในสภาพปัจจุบันมีค่า 0.49 ชิ้นต่อวัน เมื่อใช้รถขนส่งคอนกรีตตั้งแต่ 2-4 คัน ค่าผลิตภาพจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.61, 0.67 และ 0.69 ชิ้นต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นวิธีเพิ่มค่าผลิตภาพของการผลิตได้โดยมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากสภาพปัจจุบันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าปรับต่อ 1 วันของโครงการ แต่การใช้รถขนส่งคอนกรีตเพียง 1 คันจะทำให้ค่าผลิตภาพในการผลิตน้อยกว่าสภาพปัจจุบันเล็กน้อยที่ 0.48 ชิ้นต่อวัน ดังนั้นในโครงการต้องจัดเตรียมรถขนส่งคอนกรีตอย่างน้อย 2 คันขึ้นไป

ตารางที่ 4 ค่าผลิตภาพในการผลิตชิ้นส่วน

จำนวนรถขนส่งคอนกรีต (คัน)	ระยะเวลาผลิต (วัน)	ค่าผลิตภาพ (ชิ้นต่อวัน)
สภาพปัจจุบัน	786	0.49
1	799	0.48
2	622	0.61
3	570	0.67
4	554	0.69

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการผลิตสะพานรูปแบบกล่องตัวกลางจำนวน 382 ชิ้น พบว่า

1. การเลือกใช้รถขนส่งคอนกรีตตั้งแต่ 2-4 คัน จะทำให้ค่าผลิตภาพในการผลิตดีกว่าการผลิตในสภาพปัจจุบัน ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการผลิตได้จำนวน 164 วัน 216 วัน และ 232 วัน ตามลำดับ

2. การใช้รถขนส่งจำนวน 4 คันเสียค่าใช้จ่าย 3,233,874.45 บาท ซึ่งเป็นการจ่ายเพิ่มจากสภาพหน้างานปัจจุบัน 1,308,738.65 บาทเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปรับของโครงการกรณีล่าช้า 1 มีมูลค่า 3,301,934.00 บาทต่อวัน พบว่าค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มรถขนส่งคอนกรีตมีความคุ้มค่าอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปรับเกิดขึ้น

3. ไม่ควรใช้จำนวนรถขนส่งคอนกรีตเพียง 1 คัน เนื่องจากจะมีค่าผลิตภาพน้อยกว่าการผลิตในสภาพปัจจุบัน ถึงแม้ค่าใช้จ่ายจะน้อยกว่าก็ตาม

ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ที่ประกอบด้วยคนและเครื่องจักร การเก็บข้อมูลวงรอบเวลาเฉลี่ย จะช่วยให้ทีมงานก่อสร้างสามารถประเมินผลิตภาพและนำไปใช้ในในการปรับปรุงการผลิตได้ เมื่อนำมาข้อมูลวงรอบเวลาในการผลิตมาใช้ร่วมกับโปรแกรมที่สามารถเลียนแบบกระบวนการต่างในการผลิตได้ จะช่วยให้ผู้บริหารโครงการ มีเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมทางหลวง ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลประกอบการทำวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยของคณะเป็นอย่างดี และ ศ. Julio C. Martinez และคณะ ที่จัดทำโปรแกรม EZStrobe และแจกจ่ายให้นำไปใช้ได้ในทุกจุดประสงค์โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

6. การอ้างอิง

[1] Jiradamkerng W., (2016). Productivity Management of Road Construction in Thailand by EZStrobe Simulation System Case Study: 0.15 m. Thick Subbase Course Construction. *Engineering Journal.*, vol. 20, no. 3, pp. 183-195.

[2] Jiradamkerng W., (2012). Evaluation of EZStrobe Simulation System as a Tool in Productivity Analysis - A Case Study: Precast Concrete Hollow-Core Slab Installation. *Engineering Journal.*, vol. 17, no. 2, pp. 75-84.

[3] วิสูตร จิระดำเกิง. (2559), *การเพิ่มผลิตภาพงานก่อสร้าง*. สำนักพิมพ์วรรณกวี, นนทบุรี, หน้า 157 -168, 174 -181, 258.

[4] Martinez, J.C., Ioannou, P.G., Carr R.I. (1994). State- and Resource-Based Construction Process Simulation," Proceedings, *ASCE First Congress on Computing in Civil Engineering*, June 20-22, Washington, DC, USA.