

การคาดคะเนระดับความล่าช้า ในการดำเนินงานก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร Predicting Delay Levels in Metropolitan Rapid Transit Construction

นันท์ริดา กระจ่างตา และจิรวัดณ์ ดำริห์นันต์*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Nantida Krajangta and Jirawat Damrianant*

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rangsit Centre,

Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Received: April 23, 2019; Accepted: June 7, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างสมการถดถอยที่ใช้คาดคะเนระดับความล่าช้าในการดำเนินงานก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร หาปัจจัยที่มีผลต่อความล่าช้าในการก่อสร้างดังกล่าว พร้อมทั้งเสนอแนวทางการควบคุมปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าเหล่านั้น โดยเก็บข้อมูลจากโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ด้วยแบบสอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการก่อสร้าง จำนวน 140 คน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีความถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน พบว่าสมการถดถอยที่ได้ประกอบไปด้วยตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า 6 ตัวแปร จากนั้นผู้วิจัยได้เสนอการประยุกต์ใช้แนวคิดของสินและการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาช่วยในการบริหารเพื่อเป็นแนวทางป้องกันความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าวในอนาคต

คำสำคัญ : การคาดคะเน; ความล่าช้า; โครงการก่อสร้าง; โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า

Abstract

A regression equation was developed to predict delay levels in construction projects for the Metropolitan Rapid Transit (MRT) system. Factors delaying project completion were examined. Recommendations for controlling lateness were proposed. Data were gathered from the MRT Purple Line project (Bang Yai - Rat Burana, Bang Yai - Bang Sue Section). Samples were 140 project staff engineers and technicians. Data were gathered by questionnaire and analyzed by stepwise regression, with lateness factors identified. Results were that the regression equation was composed of six

variables contributing to the delays. These findings suggest that the principles of lean construction and application of new technologies might be introduced to resolve future challenges.

Keywords: prediction; delay; construction project; Metropolitan Rapid Transit (MRT) construction project

1. คำนำ

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่ ใช้งบประมาณสูง ระยะเวลาดำเนินการยาวนาน และมีขั้นตอนการก่อสร้างที่ซับซ้อน จึงทำให้มีหลายปัจจัยที่อาจส่งผลให้โครงการเกิดความล่าช้า ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อปริมาณที่จัดสรรไว้ของรัฐบาล และส่งผลถึงประชาชนที่ต้องการใช้บริการในระยะแรกของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสมนึก (2540) พบว่าปัจจัยที่ทำให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานคร (BTS) เกิดความล่าช้า คือ ปัจจัยด้านความชำนาญและประสบการณ์ของบุคลากร แต่ปัจจุบันบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างรถไฟฟ้ามีประสบการณ์และความชำนาญมากขึ้น ปัจจัยเหล่านี้จึงอาจไม่ใช่ปัจจัยสำคัญในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้ในการคาดคะเนระดับความล่าช้าในการดำเนินงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานคร วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้า และจัดลำดับปัจจัยเหล่านั้นจากการวิเคราะห์การถดถอย พร้อมทั้งเสนอแนวทางการควบคุมปัจจัยดังกล่าว โดยเก็บข้อมูลจากโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เกี่ยวข้องในการดำเนินโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายอื่น ๆ ที่อยู่ระหว่างการดำเนินงานหรือที่จะดำเนินงานในอนาคต เพื่อใช้คาดคะเนความล่าช้าของโครงการก่อสร้าง และสามารถนำแนวทางควบคุมไปปรับใช้ในการควบคุมระยะเวลาการดำเนินโครงการให้แล้วเสร็จตามกำหนดเวลา

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ล่าช้า โดยนำปัจจัยดังกล่าวร่างเป็นข้อคำถามในแบบสอบถามที่มีหัวข้อคำถามเป็นปัจจัยต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 เพื่อวัดระดับความล่าช้าหรือระดับความบกพร่องของปัจจัยเหล่านั้นที่มีต่อระดับความล่าช้าของโครงการตามความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยให้เลือกตอบว่าปัจจัยนั้น ๆ (ปัจจัยย่อยแต่ละปัจจัย) มีความล่าช้าหรือความบกพร่องอยู่ในระดับน้อยที่สุด (1 คะแนน) น้อย (2 คะแนน) ปานกลาง (3 คะแนน) มาก (4 คะแนน) หรือ มากที่สุด (5 คะแนน) การรวมคะแนนของปัจจัยย่อยเป็นคะแนนสำหรับปัจจัยหลักทำโดยใช้ค่าเฉลี่ย ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นส่วนของตัวแปร X (ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ) และวัดระดับความล่าช้าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ตามความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามว่าน่าจะมีความล่าช้าระดับใดจากผลของปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้น โดยให้เลือกตอบระหว่างระดับน้อยที่สุด (1 คะแนน) น้อย (2 คะแนน) ปานกลาง (3 คะแนน) มาก (4 คะแนน) หรือมากที่สุด (5 คะแนน) ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นส่วนของตัวแปร Y (ตัวแปรตาม) จากนั้นตรวจสอบคุณภาพแบบสอบถามก่อนนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ด้วยวิธีหาค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เป็นรายข้อ (IOC, index of item objective congruence) และหาค่าความเชื่อมั่น (reliability) ของแบบสอบถามด้วยค่า

ตารางที่ 1 หัวข้อปัจจัยที่อยู่ในข้อคำถามในแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจคุณภาพแบบสอบถามแล้ว

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	$\bar{X}$	S.D.
X ₁ การเงิน	X _{1.1} ผู้ว่าจ้างจ่ายเงินให้ผู้รับเหมาล่าช้า	2.507	1.063
X ₂ การวางแผนงานและการบริหารจัดการ	X _{2.1} ความล่าช้าในการนำเสนอเอกสารขออนุมัติหรือขออนุญาตต่าง ๆ โดยผู้รับเหมา เช่น แบบปฏิบัติงาน (shop drawing) แบบสร้างจริง (as-built drawing) หนังสือขออนุมัติวัสดุก่อสร้าง หนังสือขออนุญาตเข้าพื้นที่ หรือเอกสารขออนุญาตต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องได้รับอนุมัติจากเจ้าของงาน (ผู้ว่าจ้าง) บริษัทที่ปรึกษา หรือหน่วยงานราชการก่อนถึงจะเริ่มดำเนินการก่อสร้างได้	3.921	0.945
	X _{2.2} ความล่าช้าในการอนุมัติเอกสารต่าง ๆ ตามที่ระบุไว้ในปัจจัย 2.1 โดยเจ้าของงาน (ผู้ว่าจ้าง) บริษัทที่ปรึกษา หรือหน่วยงานราชการ	3.871	0.951
	X _{2.3} ความล่าช้าจากการส่งมอบพื้นที่บริเวณหน้างานเพื่อดำเนินการก่อสร้าง	4.107	0.935
	X _{2.4} ความล่าช้าในการตัดสินใจและการสั่งการของเจ้าของงาน	3.864	0.991
	X _{2.5} ความล่าช้าอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงงาน (variation order) โดยเจ้าของงานหรือผู้ออกแบบ	3.978	1.048
	X _{2.6} ความบกพร่องในการวางแผนงาน (schedule)	3.036	0.940
	X _{2.7} ความบกพร่องของการติดตามความก้าวหน้าของงาน ทั้งในส่วนปฏิบัติงาน เช่น การก่อสร้างหน้างาน และส่วนบริหารงาน เช่น การออกแบบปฏิบัติงาน (shop drawing) หรืองานเอกสารต่าง ๆ	2.957	0.839
	X _{2.8} ความล่าช้าอันเกิดจากสายการบังคับบัญชาของเจ้าของงาน ผู้รับเหมา หรือบริษัทที่ปรึกษามีจำนวนระดับชั้นมากเกินไป	2.729	0.880
	X _{2.9} การมอบหมายงานไม่เหมาะสมกับความถนัดของบุคลากรหรือแรงงานก่อสร้าง	2.879	0.971
X ₃ การควบคุมงาน	X _{3.1} ฝ่ายออกแบบของผู้รับเหมาใช้เวลาออกแบบปฏิบัติงาน (shop drawing) นาน ทำให้เหลือเวลาก่อสร้างน้อย	3.307	1.010
	X _{3.2} รายละเอียดของแบบปฏิบัติงาน (shop drawing) ไม่เพียงพอต่อการก่อสร้าง	3.686	1.241
	X _{3.3} การเลือกเทคนิคก่อสร้างไม่เหมาะสมต่อการทำงาน	3.021	1.035
	X _{3.4} การเปลี่ยนแปลงแบบและรายละเอียดการก่อสร้างบ่อยครั้ง	4.057	1.058
	X _{3.5} ความล่าช้าในการตรวจหน้างานของบริษัทที่ปรึกษา	2.807	0.928
	X _{3.6} ความล่าช้าที่เกิดจากการทำงานของผู้รับเหมาช่วง	2.900	1.101
X ₄ การประสานและติดต่อสื่อสาร	X _{4.1} บุคลากรขาดทักษะที่ดีในการประสานงานและติดต่อสื่อสาร	3.000	0.952
	X _{4.2} บุคลากรขาดความร่วมมือในการทำงานและไม่มีลักษณะการทำงานเป็นทีม	3.093	0.981
	X _{4.3} ขาดเครื่องมือที่ช่วยในการประสานงานร่วมกัน เช่น ตัวกลางการเก็บและแชร์เอกสาร	2.536	0.963

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	$\bar{X}$	S.D.
X ₅ แรงงาน	X _{5.1} การขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง	3.957	1.112
	X _{5.2} แรงงานก่อสร้างไม่มีทักษะในการทำงาน ทำให้ต้องแก้ไขงานบ่อยครั้ง	3.821	1.095
	X _{5.3} การใช้แรงงานจากคนงานต่างตัวทำให้เกิดปัญหาทางกฎหมาย	2.579	1.032
X ₆ บุคลากร	X _{6.1} บุคลากรระดับบริหาร เช่น ผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ ผู้จัดการแผนกต่าง ๆ ของโครงการ ไม่มีความรู้หรือขาดประสบการณ์ในการทำงาน	3.229	1.177
	X _{6.2} บุคลากรระดับปฏิบัติการ เช่น วิศวกรสำนักงาน วิศวกรควบคุมงาน ช่างเขียนแบบ ช่างเทคนิค และอื่น ๆ ไม่มีความรู้หรือขาดประสบการณ์ในการทำงาน	3.236	1.179
	X _{6.3} บุคลากรระดับบริหาร อาทิเช่น ผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ ผู้จัดการแผนกต่าง ๆ ของโครงการมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการบริหารโครงการก่อสร้าง	2.857	1.008
	X _{6.4} บุคลากรระดับปฏิบัติการ เช่น วิศวกรสำนักงาน วิศวกรควบคุมงาน ช่างเขียนแบบ ช่างเทคนิค และอื่น ๆ มีจำนวนไม่เพียงพอต่อการก่อสร้างโครงการ	3.364	1.047
	X _{6.5} บุคลากรระดับบริหาร เช่น ผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ ผู้จัดการแผนกต่าง ๆ ของโครงการละเลยต่อหน้าที่ และขาดความรับผิดชอบ	3.179	1.047
	X _{6.6} บุคลากรระดับปฏิบัติการ เช่น วิศวกรสำนักงาน วิศวกรควบคุมงาน ช่างเขียนแบบ ช่างเทคนิค และอื่น ๆ ละเลยต่อหน้าที่ และขาดความรับผิดชอบ	3.229	1.102
X ₇ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรกล	X _{7.1} วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้งาน	3.000	1.119
	X _{7.2} การขาดตลาดของวัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในการก่อสร้างโครงการ	2.864	1.101
	X _{7.3} ความล่าช้าในการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปของโรงงาน เช่น แผ่นพื้นสำเร็จรูป (viaduct segment) แผ่นพื้นสำเร็จรูป หรือชิ้นส่วนอื่น ๆ	3.157	1.020
	X _{7.4} ความล่าช้าของผู้จัดจำหน่าย (supplier) ในการจัดส่งวัสดุ เครื่องมือ หรือเครื่องจักรกล	2.886	1.039
	X _{7.5} การเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลไม่เหมาะสมกับงาน	2.607	0.987
	X _{7.6} สถานที่จัดเก็บวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรกลห่างจากพื้นที่ทำงาน	2.471	0.992
	X _{7.7} วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลเสียหายจากการจัดเก็บ	2.343	0.920
	X _{7.8} วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลเสียหายจากการขนส่ง	2.443	0.931
	X _{7.9} เครื่องจักรไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาที่ประชาชนพักผ่อนได้	3.264	1.043

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	$\bar{X}$	S.D.
X ₈ พื้นที่ก่อสร้าง	X _{8.1} ความล่าช้าในการรื้อย้ายและก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค เช่น เสไฟฟ้า สายไฟฟ้า หรือท่อระบายน้ำ	3.950	0.884
	X _{8.2} พื้นที่ก่อสร้างคับแคบส่งผลให้ไม่สามารถนำเครื่องจักรหนักเข้าทำงานได้ หรือทำให้ไม่สะดวกต่อการก่อสร้าง	3.450	1.134
X ₉ ความปลอดภัย	X _{9.1} การเกิดอุบัติเหตุระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง	2.843	1.127
X ₁₀ เหตุสุทธวิสัยอื่น ๆ	X _{10.1} ความผิดปกติของสภาพภูมิอากาศ เช่น ฝนตกหนักหรืออากาศร้อน ผิดปกติ	3.150	1.175
	X _{10.2} ภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม อัคคีภัย ภัยแล้ง หรืออื่น ๆ	3.557	1.158
	X _{10.3} ปัญหาร่องเรียนจากชุมชนบริเวณการก่อสร้าง	3.371	1.062
	X _{10.4} ปัญหาทางการเมือง เช่น การชุมนุมการประท้วง หรือการเมืองไม่มีเสถียรภาพ	2.714	1.201
โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) น่าจะมีความล่าช้าในระดับใด (Y)		2.843	0.742

สัมประสิทธิ์แอลฟา (α coefficient) ของครอนบาค (Cronbach) หลังจากแบบสอบถามผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว จึงนำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ซึ่งประกอบไปด้วยวิศวกรและช่างเทคนิคในบริษัทผู้รับเหมา บริษัทที่ปรึกษาและบริษัทเจ้าของงาน จำนวน 140 คน โดยแบบสอบถามประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความล่าช้าหรือระดับความบกพร่องของปัจจัยต่าง ๆ และระดับความล่าช้าของโครงการ ตามความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม และส่วนที่ 3 เป็นข้อเสนอแนะจากนั้นวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่บันทึกไว้ในส่วนที่ 2 และนำค่าเฉลี่ยเหล่านั้นไปใช้ในการจัดลำดับปัจจัยที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ล่าช้า ด้วยวิธีทางสถิติความถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เอสพีเอสเอส (SPSS, statistical package for the

social sciences) เพื่อหาสมการถดถอย (regression equation) ที่จะใช้ทำนายระดับความล่าช้าของโครงการ และเสนอแนวทางป้องกันความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าวในอนาคต

3. ผลวิจัยและอภิปรายผล

3.1 แบบสอบถาม

แบบสอบถามได้รับการทดสอบก่อนนำไปใช้ โดยเริ่มจากการทดสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของแบบสอบถามและปรับปรุงแบบสอบถามจนข้อคำถามทุกข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ซึ่งถือว่าเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Rovinelli and Hambleton, 1977) หลังจากนั้นนำแบบสอบถามที่มีค่าความเที่ยงตรงตามเนื้อหาแล้วมาทดสอบหาค่าความเชื่อมั่น พบว่าได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.98 ซึ่งมากกว่า 0.70 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าแบบสอบถามดังกล่าวเหมาะสมต่อการนำไปใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง (บุญชม, 2545) โดยเนื้อหาในแบบสอบถามประกอบ

ไปด้วยหัวข้อปัจจัยที่มีผลต่อระดับความล่าช้าในการดำเนินงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า จำนวน 10 ปัจจัยหลัก ดังแสดงในตารางที่ 1

3.2 การตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลตามเงื่อนไขของวิธีการถดถอยพหุคูณ

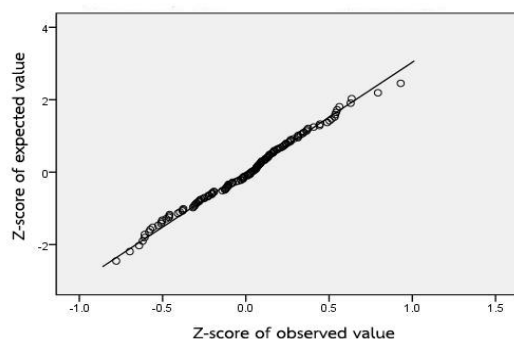
3.2.1 เงื่อนไขระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต้องมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ตรวจสอบโดยการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman rank correlation coefficient) พบว่าปัจจัยแต่ละด้านมีความสัมพันธ์กับความล่าช้าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.44-0.75 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละด้านมีค่า 0.18-0.73 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าไม่เกิน 0.80 จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยแต่ละด้านไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (muticollinearity) (Gujarati and Porter, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.2.5

3.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ สามารถตรวจสอบโดยใช้แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ (probability plot) ในรูปแบบควอนไทล์-ควอนไทล์พลอต (quantile-quantile (Q-Q) plot) ของค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่างค่าคะแนนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดนี้ที่ต้องการทดสอบ (Z-score of observed value) กับค่าคะแนนมาตรฐานคาดหวังที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Z-score of expected normal) ดังรูปที่ 1 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่อยู่ในแนวเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ นอกจากนี้เมื่อทดสอบโดยใช้สถิติโคโมโกรอฟ-

สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) พบค่านัยสำคัญทางสถิติมีค่า 0.20 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับค่าสมมติฐานหลัก (H_0) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Douglas *et al.*, 2012)

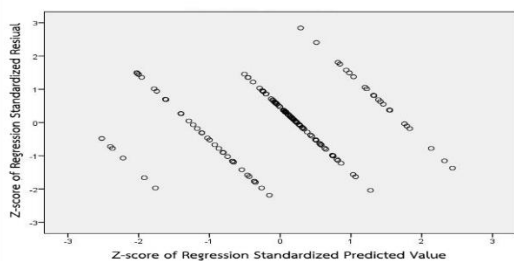


รูปที่ 1 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติในรูปแบบควอนไทล์-ควอนไทล์พลอตของค่าความคลาดเคลื่อน

3.2.3 ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจะต้องมีความคงที่ (homoscedasticity) ตรวจสอบได้โดยใช้แผนภาพการกระจายของข้อมูล (scatter plot) ระหว่างค่าคะแนนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนที่พยากรณ์ของข้อมูล (Z-score of regression standardized predicted value) กับค่าคะแนนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Z-score of regression standardize residual) ดังรูปที่ 2 กล่าวคือ การกระจายของข้อมูลในการวิเคราะห์การถดถอยมีการกระจายอยู่ในช่วงแคบเข้าใกล้ศูนย์ โดยมีการกระจายของข้อมูลทั้งในส่วนที่มีค่ามากกว่าศูนย์และน้อยกว่าศูนย์เท่า ๆ กัน จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีความคงที่ (Hair *et al.*, 2006)

3.2.4 ความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 2 แผนภาพการกระจายของข้อมูลในการวิเคราะห์การถดถอย

ค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าจะต้องเป็นอิสระต่อกันสามารถตรวจสอบโดยใช้วิธีทางสถิติเดอร์บิน-วัตสัน (Durbin-Watson) พบว่าค่าเดอร์บิน-วัตสันมีค่า 1.77 ซึ่งอยู่ในช่วง 1.50 ถึง 2.50 จึงสามารถสรุปได้ค่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่ามีอิสระต่อกัน (Noruris, 2005)

3.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องไม่สัมพันธ์กัน สามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระได้โดยการวิเคราะห์จากค่าสถิติ 3 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน ค่าความทน (tolerance) และอัตราการแปรปรวนเพื่อ (variance inflation factor) โดยตรวจสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนของปัจจัยด้วยกันเองมี

ค่า 0.18-0.73 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวมีค่าไม่เกิน 0.80 ในส่วนค่าความทนของแต่ละปัจจัยมีค่า 0.38-0.56 โดยมีค่ามากกว่า 0.10 และอัตราการแปรปรวนเพื่อมีค่า 2.64-1.78 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 ค่าสถิติทั้ง 3 ค่า อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์กันเอง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ

ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 เพื่อหาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ล่าช้า ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความล่าช้าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามี 6 ปัจจัย (sig. < 0.05) ได้แก่ ปัจจัยด้านการวางแผนงานและการบริหารจัดการ (X_2) ปัจจัยด้านการควบคุมงาน (X_3) ปัจจัยด้านแรงงาน (X_5) ปัจจัยด้านบุคลากร (X_6) ปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรกล (X_7) และปัจจัยด้านเหตุสุดวิสัย (X_{10}) โดยค่ากำลังสองของค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ (R^2) มีค่า

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ล่าช้า ด้วยสถิติการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน

ปัจจัย	Unstandardized (B)	t	Sig.
ปัจจัยด้านการวางแผนงานและการบริหารจัดการ (X_2)	0.236	5.984	0.000
ปัจจัยด้านการควบคุมงาน (X_3)	0.134	2.196	0.030
ปัจจัยด้านแรงงาน (X_5)	0.115	2.976	0.003
ปัจจัยด้านบุคลากร (X_6)	0.143	3.524	0.001
ปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรกล (X_7)	0.292	-2.309	0.022
ปัจจัยด้านเหตุสุดวิสัย (X_{10})	0.095	2.443	0.016

$R^2 = 0.803$; adjusted $R^2 = 0.794$; $F = 90.189$; $a = -0.389$

0.803 แสดงว่าปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยนี้ มีส่วนร่วมกันต่อการกระทบถึงความล่าช้าของการก่อสร้างรถไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 80.3 เมื่อวิเคราะห์ลำดับของปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความล่าช้าของโครงการ จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (B) สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ (1) ปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรกล (X_7) (2) ปัจจัยด้านการวางแผนงาน และการบริหารจัดการ (X_2) (3) ปัจจัยด้านบุคลากร (X_6) (4) ปัจจัยด้านการควบคุมงาน (X_3) (5) ปัจจัยด้านแรงงาน (X_5) และ (6) ปัจจัยด้านเหตุสุดวิสัย (X_{10}) โดยสามารถแสดงเป็นสมการถดถอยที่แสดงความผันแปรของตัวแปรตามดังนี้ $Y = -0.389 + 0.292 X_7 + 0.236 X_2 + 0.143 X_6 + 0.134 X_3 + 0.115 X_5 + 0.095 X_{10}$ (1) โดยที่ X_i คือ ระดับความล่าช้าหรือระดับความบกพร่องของปัจจัย i ที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ล่าช้า ตามความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม มีค่าระหว่าง 1 (น้อยที่สุด) ถึง 5 (มากที่สุด) ส่วน Y คือ ระดับความล่าช้าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ล่าช้า ตามความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม มีค่าระหว่าง 1 (น้อยที่สุด) ถึง 5 (มากที่สุด)

จากสมการที่ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของแต่ละปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัย แสดงถึงระดับความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ที่เปลี่ยนไปเมื่อระดับความบกพร่องของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนไป 1 ระดับ ในขณะที่ระดับความบกพร่องของปัจจัยที่เหลือคงที่ สามารถอธิบายได้ตามตัวอย่างกรณีปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรกล (X_7) ดังนี้ คือ หากระดับความบกพร่องของปัจจัยนี้เพิ่มขึ้น 1 ระดับ ในขณะที่ระดับความบกพร่องของปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ระดับความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) เพิ่มขึ้น 0.292 ระดับ หากทดลองแทนค่าระดับความบกพร่องของทุกปัจจัย

ในสมการให้เป็นระดับความบกพร่องมากที่สุดเท่ากับ 5 เพื่อแสดงการคาดคะเนระดับความล่าช้าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) จะได้ว่า $Y = -0.389 + 0.292(5) + 0.236(5) + 0.143(5) + 0.134(5) + 0.115(5) + 0.095(5) = 4.69$ ซึ่งพยากรณ์ระดับความล่าช้าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) ว่าอยู่ในระดับที่ล่าช้ามากที่สุด

4. แนวทางป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ)

เมื่อระบุปัจจัยหลักที่ทำให้โครงการก่อสร้างล่าช้าได้แล้ว คณะผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยต่าง ๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อเสนอแนะในแบบสอบถาม เพื่อหาแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดหรือลดการเกิดความล่าช้าตามปัจจัยหลักเหล่านั้น และได้ผลดังนี้

4.1 ด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร (X_7)

เหตุปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร ส่งผลให้โครงการก่อสร้างล่าช้ามากที่สุด โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ถดถอยหน้าตัวแปร X_7 ในสมการที่ 1 ซึ่งมีค่า 0.292 จะเห็นได้ว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบทำให้เกิดความล่าช้านั้นเป็นลำดับที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีสัมประสิทธิ์น้อยกว่า นอกจากนั้นปัจจัยนี้ยังสามารถอธิบายความผันแปรของระดับความล่าช้าของโครงการได้ถึงร้อยละ 59.2 จากความสามารถทั้งหมดของสมการที่ 1 ที่อธิบายความผันแปรของระดับความล่าช้าโครงการได้ร้อยละ 80.3 ทั้งนี้เกิดจากการที่โครงการนี้เป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ขั้นตอนการทำงานซับซ้อน ทำให้ต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่ทันสมัยเป็นจำนวนมาก และใช้หลากหลายประเภทตามลักษณะกิจกรรมก่อสร้างในโครงการ ซึ่งยากต่อการวางแผนการจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร

ให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมและทันตามกำหนด อีกทั้งยังยากต่อการจัดหาบุคลากรที่มีทักษะในการใช้เครื่องมือสมัยใหม่ดังกล่าว ส่งผลให้โครงการเกิดความสูญเปล่าด้านการรอคอย (time waste) เนื่องจากงานหยุดชะงักและการว่างงานของแรงงานด้านงานที่ต้องแก้ไข (defect) ที่เกิดจากการใช้เครื่องมือผิดประเภท และด้านการเก็บวัสดุคงคลัง (unnecessary inventory) ที่เกิดจากการเก็บวัสดุในหน่วยงานมากเกินไป ผู้วิจัยเสนอการนำหลักการสินค้าคอนสตรัคชัน (lean construction) มาช่วยในการวางแผนและจัดการด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร เพื่อไม่ให้เกิดความสูญเปล่าดังกล่าว โดยใช้แนวคิดการจัดการความสัมพันธ์กับผู้จัดหาวัสดุ (supplier relationship management) การจัดโครงการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร และเทคโนโลยีการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (COSMOS simulator) ประยุกต์ใช้ในโครงการดังนี้

4.1.1 หลักการการจัดการความสัมพันธ์กับซัพพลายเออร์

ผู้รับเหมาควรสร้างความสัมพันธ์ระยะยาวกับซัพพลายเออร์ในฐานะพันธมิตร (partnership) ที่มีการร่วมมือกันอย่างต่อเนื่อง และมีการสื่อสารถึงกันตลอดเวลา เพราะจะทำให้เกิดความเชื่อมั่นระหว่างบริษัทในการเตรียมวัสดุและส่งมอบวัสดุที่มีคุณภาพ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดต้นทุนวัสดุ ลดระดับวัสดุคงคลัง และลดความเสี่ยงวัสดุไม่เพียงพอ อีกทั้งความสัมพันธ์ในฐานะพันธมิตรจะทำให้ซัพพลายเออร์ตอบสนองในการเปลี่ยนแปลงความต้องการวัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรได้ดียิ่งขึ้น ช่วยกำจัดความสูญเปล่าด้านการรอคอยวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร ความสูญเปล่าด้านงานที่ต้องแก้ไขที่เกิดจากการได้รับวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรไม่ได้คุณภาพ และความสูญ

เปล่าที่เกิดจากการจัดเก็บวัสดุหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้ในหน่วยงานมากเกินไป (Leenders *et al.*, 2006)

4.1.2 จัดโครงการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร

จัดโครงการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้เกิดการใช้งานที่ถูกต้อง ลดความผิดพลาด มีความรวดเร็ว และปลอดภัยในการทำงาน เพื่อลดความสูญเปล่าด้านงานที่ต้องแก้ไขที่เกิดจากการใช้เครื่องมือผิดประเภท

4.1.3 เทคโนโลยีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์กระบวนการและการจัดการทรัพยากรที่ใช้ในงานก่อสร้าง เพื่อปรับปรุงการปฏิบัติงานหน้างานให้มีประสิทธิภาพด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ เป็นวิธีที่สามารถใช้วิเคราะห์และออกแบบกระบวนการทำงานในแบบจำลองภายใต้สถานการณ์และเงื่อนไขที่มีอยู่จริง อีกทั้งสามารถทดลองลดหรือเพิ่มปริมาณทรัพยากรในแบบจำลอง เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่จะใช้ในหน้างานจริงให้มีปริมาณที่เหมาะสมที่สุด (optimum) หรือทำให้มีอัตราผลผลิตสูงสุด (maximum productivity) และลดเวลาสูญเปล่าด้านการรอคอย (waiting) ที่เกิดจากแรงงานหรือเครื่องจักรว่างงาน (time waste) นำไปสู่การลดต้นทุน รวมถึงลดเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง (จิรวรรณ และธนิศา, 2561) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย เรื่องการจำลองสถานการณ์งานก่อสร้าง : กรณีศึกษาเขื่อนคลองท่าด่าน ซึ่งจำลองสถานการณ์งานขนส่งและบดอัดคอนกรีตเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงการก่อสร้าง โดยแต่เดิมใช้รถบรรทุกในงานขนส่งและบดอัดคอนกรีตจำนวน 15 คัน หลังจากจำลองสถานการณ์พบว่างานก่อสร้างดังกล่าวควรใช้

รถบรรทุกเพียง 8 คัน เนื่องจากมีจำนวนรถบรรทุกที่มากขึ้นไม่ได้ทำให้อัตราผลผลิตมากขึ้น กลับทำให้แถวคอยรถบรรทุกยาวขึ้น เป็นเหตุให้รถบรรทุกแต่ละคันเสียเวลาในแถวคอยนานขึ้นโดยไม่สร้างผลผลิตใด ๆ (จิรวัดน์ และศิวกกร, 2548)

4.2 ด้านการวางแผนงานและการบริหารจัดการ (X_2)

เหตุปัจจัยด้านการวางแผนงานและการบริหารจัดการส่งผลให้โครงการก่อสร้างล่าช้า เมื่อพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ถดถอยหน้าตัวแปร X_2 ในสมการที่ (1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.236 จะเห็นได้ว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบทำให้เกิดความล่าช้าเป็นลำดับที่ 2 เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์ถดถอยปัจจัยอื่น ๆ ในสมการ โครงการนี้เป็นโครงการขนาดใหญ่ที่มีกิจกรรมก่อสร้างเป็นจำนวนมาก และมีผู้ที่เกี่ยวข้องหลายภาคส่วน จึงยากต่อการวางแผนและการบริหารจัดการให้ทุกกิจกรรมก่อสร้างเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดความสูญเปล่า (waste) ระหว่างดำเนินงาน และให้แล้วเสร็จตามแผน แนวทางป้องกันสามารถทำได้โดยการสร้างผังสายธารคุณค่า (value stream mapping, VSM) ซึ่งจัดเป็นพื้นฐานของแนวคิดแบบลีน (Martin and Osterling, 2013) และก็นำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ในโครงการดังนี้

4.2.1 แผนผังสายธารคุณค่า

ผู้บริหารโครงการนำหลักการการบริหารแบบลีน (lean) และผังสายธารคุณค่ามาประยุกต์ใช้ในการบริหารโครงการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงาน โดยจัดให้มีการประชุมระหว่างหน่วยงานภายนอกและภายในด้วยกัน เพื่อการจัดทำแผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน (current state value stream mapping) ทั้งด้านการบริหารโครงการ เช่น ขั้นตอนอนุมัติเอกสาร ขั้นตอนการจัดซื้อและจัดจ้าง ขั้นตอนการเบิกเงิน และด้านปฏิบัติงาน เช่น ขั้นตอนการ

ทำงานในแต่ละงานก่อสร้าง เพื่อแสดงภาพรวมของกระบวนการทำงาน โดยแผนผังสายธารคุณค่าแสดงให้เห็นถึงการไหลของงาน การไหลของข้อมูล และระยะเวลารวมในกระบวนการ ที่ทีมงานร่วมกันระบุคุณค่าของกิจกรรม และค้นหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ จากนั้นวางแผนแนวทางลดหรือขจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ แล้วออกแบบพัฒนากระบวนการใหม่ โดยการวาดแผนผังสายธารคุณค่าสถานะอนาคต (future state value stream mapping)

4.2.2 เทคโนโลยีคลาวด์และโมบายล์

เปลี่ยนรูปแบบการเก็บข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ ให้เป็นรูปแบบดิจิทัล และนำไปจัดเก็บไว้บนคลาวด์ (Cloud) แทนการเก็บบนเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้บุคคลากรที่อยู่ห่างงานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่สำคัญในการก่อสร้างได้ทุกที่ ทุกเวลาและทันต่อเหตุการณ์ สามารถแก้ปัญหาได้ทันที และสามารถรายงานปัญหานั้นได้ตามเวลาจริง (real time) ผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ (mobile device) ได้ทุกเวลาเมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต อีกทั้งบุคคลากรสามารถใช้ข้อมูลร่วมกัน โดยไม่เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่เกิดจากการเก็บข้อมูลไว้หลายที่ ทำให้ระบบถูกต้องเชื่อถือได้และเป็นมาตรฐานเดียวกัน

4.2.3 เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

นำเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (building information modeling, BIM) เข้ามาช่วยตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบจนถึงการก่อสร้าง โดยจำลองโครงสร้างเป็นแบบ 3 มิติ เพื่อช่วยให้เจ้าของงาน ผู้ปฏิบัติหน้างาน และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเห็นภาพที่ชัดเจน เข้าใจตรงกัน ลดข้อผิดพลาดในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นจากแบบก่อสร้าง 2 มิติ (สุพฤทธิ์ และณัฐภูมิ, 2558) และยังช่วยลดการขัดแย้งที่เกิดจากงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม และงานระบบชนกัน (clash) ก่อน

การก่อสร้างจริง เนื่องจากผู้ออกแบบทุกฝ่าย ออกแบบงานในแบบจำลองเดียวกันที่อยู่ในฐานข้อมูลคลาวด์เดียวกัน อีกทั้งยังช่วยลดการทำงานซ้ำซ้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง หรือการแก้ไขส่วนใดส่วนหนึ่งของแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้น เนื่องจากการแก้ไขนั้นจะส่งผลไปยังทุกมุมมองที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของการฝึกแบบจำลองทั้ง 2 และ 3 มิติ รวมถึงข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก ได้แก่ แบบปฏิบัติงาน (shop drawing) รายงานปริมาณวัสดุ เป็นต้น

4.3 ปัจจัยด้านบุคลากร (X_6) และปัจจัยด้านแรงงาน (X_5)

เหตุปัจจัยด้านบุคลากรและปัจจัยแรงงานส่งผลให้โครงการก่อสร้างล่าช้า ซึ่งมีผลกระทบเป็นลำดับที่ 3 และ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์ถดถอยปัจจัยอื่น ๆ ในสมการ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ถดถอยหน้าตัวแปร X_6 และ X_5 ในสมการที่ (1) ซึ่งมีค่า 0.143 และ 0.115 ตามลำดับ ความล่าช้าที่เกิดจาก 2 ปัจจัยนี้ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับคนเช่นกัน เกิดในโครงการนี้ซึ่งเป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่มีกิจกรรมก่อสร้างเป็นจำนวนมากและมีขั้นตอนก่อสร้างที่สลับซับซ้อน ทำให้โครงการจะต้องสรรหามืออาชีพและแรงงานที่มีประสบการณ์และมีทักษะจำนวนมาก ซึ่งยากต่อการสรรหามืออาชีพและแรงงานดังกล่าวได้เพียงพอในงบประมาณที่จำกัด ดังนั้นบริษัทผู้รับเหมาจะต้องให้ความสำคัญกับบุคลากรและแรงงานที่มีอยู่ โดยการจัดการฝึกอบรมให้บุคลากรและแรงงานให้มีความเชี่ยวชาญในงานที่ทำเพื่อแก้ปัญหาบุคลากรและแรงงานไม่มีความรู้หรือขาดประสบการณ์ ส่งเสริมให้มีการทำงานแบบเป็นทีม นอกจากนั้นควรให้มีการจัดประชุมหรือกันในแต่ละแผนกเพื่อแก้ปัญหาและหาทางพัฒนางานที่ทำอยู่ให้ดีขึ้น อีกทั้งหัวหน้าแผนกควรมอบหมายงานตามความถนัดและความเหมาะสมกับศักยภาพของลูกทีมแต่ละคน ตาม

แนวคิดการบริหารแบบวิทยาศาสตร์ (scientific management) ของ เฟรดเดอริก เทย์เลอร์ ที่ว่า “การจัดคนให้เหมาะสมกับงาน” เพื่อลดระยะเวลาเริ่มต้นในการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการเลือกคนสตรักชัน และยังช่วยให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ปราศจากการทำงานซ้ำหรือการกลับมาแก้งาน ที่เกิดจากงานที่ทำโดยบุคลากรหรือแรงงานที่ไม่มีความรู้หรือขาดประสบการณ์ดังกล่าว ในส่วนของการแก้ปัญหาบุคลากรหรือแรงงานที่มีจำนวนไม่เพียงพอ นั้นสามารถแก้ปัญหาได้โดยการจ้างบริษัทหรือบุคคลภายนอก (outsourcer) ที่มีประสบการณ์เข้ามาช่วยในส่วนงานที่มีบุคลากรหรือแรงงานไม่เพียงพอ นั้น หรือประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างใหม่ ๆ ที่สามารถช่วยลดการทำงานที่พึงกำลังคน

4.4 การควบคุมงาน (X_3)

ปัจจัยด้านการควบคุมงานเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างล่าช้า ปัจจัยนี้มีสัมประสิทธิ์ถดถอยหน้าตัวแปร X_3 ในสมการที่ (1) เท่ากับ 0.134 ทั้งนี้โครงการนี้เป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีกิจกรรมจำนวนมากและการดำเนินงานซับซ้อนหลายขั้นตอน อีกทั้งมีผู้เกี่ยวข้องหลายภาคส่วน ทั้งส่วนเอกชนและส่วนราชการ ส่งผลให้ยากต่อการควบคุมงานให้กิจกรรมการก่อสร้างทั้งหมดของโครงการเป็นไปตามกำหนดเวลาดังนั้นผู้รับเหมาควรนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยควบคุมงานในโครงการ เช่น การใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle, UAV) หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าโดรน (drone) มาช่วยในการตรวจหน้างานก่อสร้าง ติดตามความก้าวหน้าของงาน และตรวจสอบความปลอดภัยในการทำงานของคณงานก่อสร้าง ซึ่งสามารถช่วยทุ่นแรงและประหยัดเวลาจากการตรวจหน้างานแบบเดินเท้า อีกทั้งยังช่วยในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้าง หรือนำมาตรวจสอบโครงสร้างที่อยู่ในจุดที่

เข้าถึงยาก หรือส่วนที่อยู่ในพื้นที่อันตราย เช่น โครงสร้างหัวเสา (pier head) โครงหลังคาต้านบนพื้นที่แคบ หรือพื้นที่ที่บ่ออากาศ โดยผู้ควบคุมงานสามารถดูวิดีโอจากหน้าจอแสดงผลในขณะที่กำลังบิน (real time) ซึ่งจะช่วยให้โครงการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย (Anwar and Najam, 2018) นอกเหนือจากประโยชน์ดังกล่าวโดรนยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีก เช่น

4.4.1 ใช้สำรวจพื้นที่ก่อสร้างทั้งหมด โดยข้อมูลที่ได้จากโดรนนั้นจะได้ทั้งเป็นภาพถ่ายและภาพวิดีโอมุมสูง และยังสามารถทำแผนที่ 3 มิติ ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ในการเตรียมการและวางแผนงานก่อสร้าง

4.4.2 ใช้ช่วยงานสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานในการตรวจจับและลดปริมาณฝุ่นละออง โดยใช้โดรนโปรยละอองน้ำจากอากาศในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อลดมลพิษในหน่วยงานและชุมชนข้างเคียง

4.4.3 ใช้โดรนถ่ายภาพทางอากาศเพื่อประกอบรายงานประจำเดือนแทนการจ้างถ่ายภาพโดยใช้เฮลิคอปเตอร์ (helicopter) ซึ่งปัจจุบันโครงการก่อสร้างหลายโครงการ เช่น โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีส้มช่วงศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย-มีนบุรี ก็ได้นำโดรนมาใช้ถ่ายภาพทางอากาศและตรวจหน้างาน

4.5 เหตุสุดวิสัย (X_{10})

ปัจจัยด้านเหตุสุดวิสัยเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้โครงการก่อสร้างล่าช้าเป็นลำดับสุดท้ายตามสมการที่ (1) โดยมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเท่ากับ 0.095 เพื่อป้องกันความล่าช้าจากเหตุนี้ บริษัทผู้รับเหมาควรจัดทำแผนรับสถานการณ์เหตุสุดวิสัย ทดสอบและฝึกอบรมการนำแผนไปใช้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้าและแผนระยะเวลาของโครงการเสียหาย ซึ่งแผนนั้นควรรวมการดำเนินการเหล่านี้

4.5.1 เตรียมเครื่องสูบน้ำเพื่อใช้ในการระบายน้ำออกจากหน้างาน เพื่อป้องกันน้ำท่วมขัง

และจะต้องสำรวจทิศทางการระบายน้ำของพื้นที่โดยรอบ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาสูบน้ำออกจากหน้างานก่อสร้างแล้วไปท่วมพื้นที่ใกล้เคียง (Hendricks, 2019)

4.5.2 ขุดลอกท่อระบายน้ำเพื่อกำจัดสิ่งอุดตัน

4.5.3 ติดตามข่าวพยากรณ์อากาศ ทั้งปริมาณฝนและระดับน้ำ เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนแผนการงานก่อสร้าง

4.5.4 เตรียมวิธีป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นเหตุให้ประชาชนหรือผู้สัญจรผ่านเดือดร้อน เช่น

(1) ติดตั้งตาข่ายนิรภัย เพื่อป้องกันวัสดุก่อสร้างตกหล่น

(2) ล้างและทำความสะอาดบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย

(3) จัดสถานที่ล้างล้อรถ เพื่อป้องกันไม่ให้เศษวัสดุหรือดินติดออกไปสู่ถนนสาธารณะ

(4) มีระบบสายด่วน เพื่อรับเรื่องร้องเรียนจากประชาชน

(5) จัดทีมประชาสัมพันธ์ เพื่อเข้าไปพูดคุยกับประชาชนให้ได้รับข่าวสารที่ถูกต้อง

4.5.5 ประชาสัมพันธ์ล่วงหน้าหากมีการปิดจราจรหรือเบี่ยงถนน

5. การประเมินแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้า

การประเมินแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้าที่เสนอไว้ในหัวข้อที่ 4 นั้น ทำโดยการนำแนวทางดังกล่าวจัดทำเป็นแบบสอบถามเพื่อประเมินความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามว่าแนวทางเหล่านั้นจะสามารถช่วยไม่ให้โครงการก่อสร้างล่าช้าหรือลดความล่าช้าได้หรือไม่ และมีความเห็นอยู่ในระดับใด ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นวิศวกรระดับหัวหน้างานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าดังกล่าวจำนวน 5 คน

พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นในภาพรวมว่าแนวทางที่เสนอจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้าได้อยู่ในระดับมาก ดังตารางที่ 3

6. สรุป

จากการศึกษาพบว่าสมการถดถอยที่ใช้คาดการณ์ความล่าช้าในการดำเนินงานก่อสร้างรถไฟฟ้าประกอบไปด้วยตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้า 6 ปัจจัย คือ (1) ปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักร (2) ปัจจัยด้านการวางแผนงานและการบริหารจัดการ (3) ปัจจัยด้านบุคลากร (4) ปัจจัยด้านการควบคุมงาน (5) ปัจจัยด้านแรงงาน และ (6) ปัจจัยด้านเหตุสุดวิสัย โดยเรียงลำดับปัจจัยจากผลกระทบที่ทำให้เกิดความ

ล่าช้าต่อโครงการจากมากไปน้อย สมการถดถอยที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการคาดคะเนระดับความล่าช้าในการดำเนินงานก่อสร้างรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานครเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 โดย 5 หมายถึงล่าช้ามากที่สุด นอกจากนี้ได้เสนอแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดหรือลดการเกิดความล่าช้าตามปัจจัยเหล่านั้น โดยการประยุกต์ใช้แนวคิดของลีนและการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการบริหารและจัดการงาน ซึ่งประกอบด้วย (1) การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (2) เทคโนโลยีคลาวด์และโมบายล์ (3) เทคโนโลยีการจำลองข้อมูลอาคาร และ (4) เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ

ตารางที่ 3 ผลการตอบแบบสอบถามระดับความคิดเห็นต่อแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้า

แนวทางป้องกัน	$\bar{X}$	ระดับความคิดเห็น
X₇ ปัจจัยด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรกล		
1. การจัดการความสัมพันธ์กับซัพพลายเออร์ในฐานะพันธมิตร ช่วยให้ซัพพลายเออร์ส่งมอบวัสดุที่มีคุณภาพ ช่วยตอบสนองในการเปลี่ยนแปลงความต้องการวัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักร	4.0	เห็นด้วยมาก
2. การจัดการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรเพื่อให้เกิดการใช้งานที่ถูกต้อง ลดความผิดพลาด มีความรวดเร็ว และปลอดภัยต่อการทำงาน	4.2	เห็นด้วยมาก
3. การใช้เทคโนโลยีการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการจัดทรัพยากรที่ใช้ในหน่วยงานจริงให้มีปริมาณเหมาะสมที่สุด หรือทำให้มีผลผลิตสูงสุด	4.0	เห็นด้วยมาก
X₂ ปัจจัยด้านการวางแผนงานและการบริหารจัดการ		
1. การจัดทำแผนผังสายธารคุณค่า (value stream mapping) แสดงภาพรวมของกระบวนการทำงานเพื่อกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการและออกแบบพัฒนากระบวนการใหม่	4.0	เห็นด้วยมาก
2. การใช้เทคโนโลยีคลาวด์และโมบายล์ (Cloud and mobile) ช่วยในการเก็บเอกสารต่าง ๆ ไว้บนคลาวด์ เพื่อที่บุคลากรหน่วยงานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่สำคัญในการก่อสร้างได้ทุกที่ทุกเวลา และช่วยให้บุคลากรสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันไม่เกิดการขัดแย้งของข้อมูล	4.2	เห็นด้วยมาก
3. การใช้เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (building information) เข้ามาช่วยตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบจนถึงการก่อสร้าง	4.8	เห็นด้วยมากที่สุด

ตารางที่ 3 (ต่อ)

แนวทางป้องกัน	$\bar{X}$	ระดับความคิดเห็น
X₆ ปัจจัยด้านบุคลากร และ X₅ ปัจจัยด้านแรงงาน		
1. การฝึกอบรมให้บุคลากรและแรงงานให้มีความเชี่ยวชาญในงานที่ทำ	4.6	เห็นด้วยมากที่สุด
2. การจัดประชุมหารือกันในแต่ละแผนกเพื่อแก้ปัญหาและหาทางพัฒนางานที่ทำอยู่ให้ดีขึ้น	4.4	เห็นด้วยมาก
3. การมอบหมายงานตามความถนัดและเหมาะสมในศักยภาพของแต่ละคน	4.4	เห็นด้วยมาก
4. การจ้างบริษัทหรือบุคคลภายนอก (outsource) ที่มีประสบการณ์เข้ามาช่วยในส่วนงานที่มีบุคลากรหรือแรงงานไม่เพียงพอ	4.4	เห็นด้วยมาก
แนวทางป้องกัน		
$\bar{X}$ ระดับความคิดเห็น		
X₃ ปัจจัยด้านการควบคุมงาน		
1. การใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (drone) มาช่วยในการ - ตรวจหน้างานและติดตามความก้าวหน้า - ตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้างที่อยู่ในจุดเข้าถึงยาก หรือส่วนที่อยู่ในพื้นที่อันตราย - ถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อประกอบรายงานประจำเดือน - สำรวจพื้นที่ก่อสร้างทั้งหมด - ช่วยงานสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานในการตรวจจับและลดปริมาณฝุ่นละออง	4.0	เห็นด้วยมาก
X₁₀ ปัจจัยด้านเหตุสุดวิสัย		
1. จัดทำแผนรับสถานการณ์เหตุสุดวิสัย ทดสอบ และฝึกอบรมการนำแผนไปใช้	4.0	เห็นด้วยมาก
2. เตรียมเครื่องสูบน้ำเพื่อใช้ระบายน้ำออกจากหน้างาน	3.8	เห็นด้วยมาก
3. ขุดลอกท่อระบายน้ำเพื่อกำจัดสิ่งอุดตัน	3.8	เห็นด้วยมาก
4. ติดตามข่าวพยากรณ์อากาศ ทั้งปริมาณฝนและระดับน้ำ	4.0	เห็นด้วยมาก
5. ติดตั้งตาข่ายนิรภัย เพื่อป้องกันวัสดุก่อสร้างตกหล่น	4.0	เห็นด้วยมาก
6. ล้างและทำความสะอาดบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย	3.8	เห็นด้วยมาก
7. จัดสถานที่ล้างล้อรถ เพื่อป้องกันไม่ให้เศษวัสดุหรือดินติดออกไปสู่ถนนสาธารณะ	3.8	เห็นด้วยมาก
8. มีระบบสายด่วน เพื่อรับเรื่องร้องเรียนจากประชาชน	4.0	เห็นด้วยมาก
9. จัดทีมประชาสัมพันธ์ เพื่อเข้าไปพูดคุยกับประชาชนให้ได้รับข่าวสารที่ถูกต้อง	4.4	เห็นด้วยมาก
10. ประชาสัมพันธ์ล่วงหน้าหากมีการปิดจราจรหรือเบี่ยงถนน	4.6	เห็นด้วยมากที่สุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.จุฬาลักษณ์ โกมลตร ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ในการวิจัย และผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาและให้คำแนะนำในการปรับปรุงบทความ ทำให้งานวิจัยและบทความนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

8. รายการอ้างอิง

จิรวัดณ์ ดำริอนันต์ และตีวกร พ่วงกุล, 2548, แนวทางและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์งานก่อสร้าง : กรณีศึกษาเขื่อนคลองท่าด่าน, เอกสารการประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, พัทยา.

- จิรวุฒน์ ดำริอนันต์ และธนิศา ปานรังศรี, 2561, การจัดการทรัพยากรเพื่อลดเวลาในงานเทคนิคการก่อสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ในระบบคอมพิวเตอร์, Thai J. Sci. Technol. 7: 554-566.
- บุญชม ศรีสะอาด, 2545, การวิจัยเบื้องต้น, สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ.
- สุพฤทธิ์ ตั้งพฤทธิ์กุล และณัฐภูมิ สวัสดิ์สุข, 2558, การใช้งานและแนวทางการผลักดัน Building Information (BIM) ในประเทศไทย, เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, ชลบุรี.
- สมนึก ธนสารสุขสถิต, 2543, ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดำเนินการก่อสร้างในโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Anwar, N., Izhar, M.A. and Najam, A.F., 2018, Construction monitoring and reporting using drones and unmanned aerial vehicles (UAVs), 10th International Conference on Construction 21, Colombo.
- Douglas A.L., William G.M. and Samuel A.W., 2012, Statistic Techniques in Business and Economic, 15th Ed., McGraw Hill, Inc., New York.
- Gujarati, D.N. and Porter, D.C., 2009, Basic Econometrics, 5th Ed., McGraw Hill, Inc., New York.
- Hair, Jr.J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. and Tatham, R.L., 2006, Multivariate Data Analysis Upper Saddle River, 7th Ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Hendricks, E., How to Prevent Water Damage on Your Construction Site, Available Source: <http://onsiteco.com/how-to-revent-water-damage-on-your-construction-site>, July 8, 2019.
- Leenders, M.R., Johnson., P. F., Flynn, A.E. and Fearon, H.E., 2006, Purchasing and Supply Management with 50 Supply Chain Cases, 13th Ed., McGraw Hill, Inc., Singapore.
- Martin, K. and Osterling, M., 2013, Value Stream Mapping: How to Visualize Work AND Align Leadership for Organizational Transformation, McGraw Hill, Inc., New York.
- Noruris, M., 2005, SPSS 13.0 Guide to Data Analysis, Prentice Hall, Inc., New Jersey
- Rovinelli, R.J and Hambleton, R.K., 1977, On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity, Dutch J. Edu. Res. 2: 49-60.