การคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้ค่าคะแนนปัจจัยในการตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก

Selection of Appropriate Construction for Mass Rapid Transit Project by AHP and Ranking method

รศ.ดร.ทรงพล จารุวิศิษฏ์[1,*], รศ.ดร.ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี[2], รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช[3], ศ.ดร.ปิยะ โชติกไกร[4], ศ.ดร.วันชัย ยอดสุดใจ[5], ผศ.ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว[6] และ อัญชลี เจนพานิชทรัพย์[7]

[1,2,4-6] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[7] การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย
**Corresponding author; E-mail address: fengspc@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จำกัดที่มีอุปสรรคยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่ชัดเจน ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรม และ ด้านสังคมฯ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยและหาค่าน้ำหนักของปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ด้วยการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นสำหรับปัจจัยหลักทั้ง 3 และวิเคราะห์ด้วยวิธี ROC สำหรับปัจจัยรองจำนวน 7-8 ปัจจัยในแต่ละปัจจัยหลักที่แยกตามส่วนโครงสร้างที่พิจารณา โดยพบว่าสำหรับโครงการรถไฟฟ้าแบบ Monorail ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมฯ มีความสำคัญที่สุด 54% ปัจจัยด้านสังคมฯ 26% และ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ 20% ตามลำดับ ค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกวิธีก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลช่วงบริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจ ที่มีแนวเส้นทางซ้อนทับกับโครงการก่อสร้างทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: โครงการรถไฟฟ้า, การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น, วิธี ROC, MRT, ปัจจัยการก่อสร้าง

Abstract

Nowadays, there is no appropriate criteria considering various important factors for selection of the proper construction technology or methods on Mass rapid transit project in restricted area with obstructions in Thailand. This research aims to study those criteria that affect decision making of construction technology and their importance in terms of criteria weight for various types of Mass rapid transit project by interview and questionnaire. Three main criteria including Economic, Engineering and Social & Environment were analyzed by using the analytic hierarchy process (AHP), while the sub-criteria were identified by using Rank order centroid method (ROC), for various categories of structure. It is found that, for the Monorail project, Engineering is the most important criteria of 54% weight, Social & Environment and Economic are 2nd and 3rd criteria of 26% and 20%, respectively. The obtained relative weights of all main and sub-criteria were applied to the case study of the monorail Brown line project on Prasert-Manukitch road section which the alignment is overlapped with the new expressway project. The results show that the analyzed construction methods consistent with the project feasibility report. This can be implied that the relative criteria weights obtained from this study are reliable and applicable.

Keywords: Mass rapid transit project, AHP, ROC method, MRT, Construction factor

1. คำนำ

ในการก่อสร้างโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่ง สถานี หรืออาคารต่างๆ จำเป็นต้องเลือกวิธีการหรือเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มีความเหมาะสม มีความคุ้มค่า และลดผลกระทบในด้านต่างๆ ให้ได้มากที่สุด ซึ่งปัจจุบันการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จำกัดที่มีอุปสรรค ยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรม และ ด้านสังคมฯ โดยวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้ จะมาจากการนำเสนอโดยผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งอาจไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าและหาค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นๆ เพื่อสร้างเกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่เหมาะสม

โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) เป็นโครงการที่มีแนวคิดมาจากการศึกษาทบทวนความเป็นไปได้ในเบื้องต้นของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) [1] จากโครงการระบบทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 สายเหนือ ที่มีการก่อสร้างเสาตอม่อที่เตรียมไว้ในแนวกึ่งกลางของถนนประเสริฐมนูกิจ (ถนนเกษตร-นวมินทร์) ซึ่งการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) กำหนดให้เป็นเส้นทางเชื่อมกับระบบทางพิเศษระหว่างเมืองด้านตะวันออก-ตะวันตก โดยท้ายสุดกระทรวงคมนาคมได้มอบหมายให้การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) และ กทพ. พิจารณาวางแผนร่วมกันให้เกิดผลกระทบระหว่างการก่อสร้าง

ต่อประชาชนในพื้นที่ก่อสร้างที่ต้องใช้ร่วมกันให้น้อยที่สุด [2, 3] โดยจากผลการศึกษาความเหมาะสม โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีแนวเส้นทางซ้อนทับกับโครงการทางด่วนระยะทางรวมประมาณ 7 กิโลเมตร บนถนนประเสริฐมนูกิจที่โครงการทางด่วนจะก่อสร้างแล้วเสร็จก่อนโดยใช้ประโยชน์จากเสาฐานรากเดิมที่ได้ก่อสร้างไว้แล้ว [4] ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เกิดข้อจำกัดต่างๆ ในการก่อสร้างโครงการ เช่น พื้นที่ก่อสร้างของโครงการที่จำกัด ปัญหาการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง ผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่ งบประมาณ ฯลฯ จึงเป็นโอกาสที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา ในการประยุกต์ผลของการศึกษาวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยหรือเกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ที่จะช่วยลดผลกระทบจากการก่อสร้าง เสริมสร้างประสบการณ์ที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ประชาชนตามแนวสายทาง

2. การทบทวนงานวิจัยในอดีต

มีงานวิจัยหลากหลายที่ได้พยายามศึกษาหาหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในหลายรูปแบบของสิ่งก่อสร้าง เช่น งานก่อสร้างสะพานที่พิจารณาวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกัน เช่น วิธี Full-span and Pre-cast Launching วิธี Balanced Cantilever [5] และพิจารณาการก่อสร้างในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ การก่อสร้างภายใต้สภาพการจราจรปกติ การก่อสร้างข้ามทางน้ำที่สามารถเดินเรือได้ เป็นต้น [6] หรืองานวิจัยประเมินการก่อสร้างอาคาร ซึ่งมีทั้งที่พิจารณาการก่อสร้างอาคารเขียวระหว่าง วิธีก่อสร้างแบบหล่อในที่และชิ้นส่วนหล่อสำเร็จทั้งแบบอัดแรงและไม่อัดแรง ด้วยการวิเคราะห์แบบ AHP และการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง [7,8,9] หรือการก่อสร้างในส่วนงานต่างๆ อาทิ แผ่นพื้น แผ่นผนัง เสา บล็อกสำเร็จรูป ด้วยวิธีก่อสร้างสมัยใหม่ที่พิจารณาประสิทธิภาพของวงจรชีวิตในแง่ของความยั่งยืน [10] และงานวิจัยที่พิจารณาแยกตามองค์ประกอบของอาคาร เช่น ฐานราก โครงสร้าง หลังคา กำแพง พื้น ผิวอาคาร เพื่อหาวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละส่วน [11] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนใจมุ่งเน้นความเหมาะสมของเทคนิควิธีการก่อสร้าง เช่น การคัดเลือกเทคนิคการก่อสร้างในงานขุดดินแบบลึกวิธีต่างๆ เช่น สร้างจากบนลงล่าง จากล่างขึ้นบน หรือ Double Down-Up หรือวิธี Island และวิธีแบบขุดเปิด [12] รวมถึงงานวิจัยในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างในภาพรวมทั้งโครงการ เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง [13]

ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ จะพบว่าปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาจะมีลักษณะคล้ายคลึงซ้ำๆ กัน โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมาก จะได้รับการพิจารณาในทุกงานวิจัย และบางปัจจัยที่สำคัญน้อยอาจไม่ได้อยู่ในการพิจารณาของบางงานวิจัย โดยรวมมีปัจจัยดังนี้ ค่าก่อสร้าง ความยากง่ายในการก่อสร้าง คุณภาพ ความปลอดภัย ระยะเวลา เวลารอคอย การขนส่ง ความเหมาะสม ความทนทาน โครงสร้างทางธรณีวิทยา ระดับน้ำใต้ดิน วิธีการขุด ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ การเข้าถึงพื้นที่ การจราจร สภาพพื้นที่ก่อสร้าง สภาวะอากาศ ภูมิประเทศ อัตราคืบหน้าในการก่อสร้าง ความจุในการใช้งาน ปัจจัยการออกแบบ รูปร่าง ค่าแรงงาน ค่าความเสียหาย ค่าซ่อมบำรุง อายุการใช้งาน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อหมดอายุ ค่าใช้จ่ายที่ซ่อนอยู่ ค่าใช้จ่ายจากนโยบาย อิทธิพลต่อตลาดงาน อัตราการทำงาน ความยืดหยุ่นในการทำงาน ผลตอบแทนการลงทุน สิ่งแวดล้อม ความพร้อมของทรัพยากร มลภาวะ ฯลฯ

3. การคัดกรองสรุปปัจจัย

งานวิจัยนี้ได้นำปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการทบทวนข้างต้นมาพิจารณาระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อทำการคัดเลือกจัดกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในรูปแบบการก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ (1) โครงสร้างรถไฟฟ้ายกระดับรางเดี่ยว (Monorail) : ฐานราก/เสาเข็ม เสา/คานขวาง คานทางวิ่ง และ สถานี (2) โครงสร้างรถไฟฟ้ายกระดับรางหนัก (Heavy rail) : ฐานราก/เสาเข็ม เสาตอม่อ คานทางวิ่ง และ สถานี (3) โครงสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Heavy rail) : อุโมงค์ทางวิ่ง และ สถานี และ (4) โครงการระดับดิน : อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดแล้วจร

การประชุมระดมความคิดเห็นจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อ เพิ่ม ลด ปรับปรุง และประเมินความเกี่ยวข้องของปัจจัย และนำไปออกแบบแบบสอบถาม เก็บข้อมูลแบบสอบถาม และทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักและเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า เพื่อสรุปผลและนำเกณฑ์ที่ได้ไปใช้คัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกับการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ โดยสามารถสรุปปัจจัยที่ได้ทำการคัดกรองและจัดกลุ่มแล้วดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกวิธีก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

เป้าหมาย (A)	ปัจจัยหลัก (B : Main Criteria)	ปัจจัยย่อย (C : Sub-criteria)
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	B1: ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	C1: ค่าก่อสร้าง
		C2: ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค
		C3: ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว
		C4: ค่าใช้จ่ายป้องกันผลกระทบด้านสังคม สิ่งแวดล้อม
		C5: ค่าใช้จ่ายในการจัดการจราจรและประชาสัมพันธ์
		C6: ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน
		C7: ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง
		C8: ค่าใช้จ่ายอื่นๆ
	B2: ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง	C9: ระยะเวลาการก่อสร้าง
		C10: ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอย วัสดุอุปกรณ์
		C11: ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง วัสดุอุปกรณ์
		C12: ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง
		C13: ความปลอดภัยและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ
		C14: ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง ตำแหน่งก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย
		C15: ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง
		C16: คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดระดับความลึกในการขุด
	B3: ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	C17: ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรฯ
		C18: การรบกวนชุมชนข้างเคียง
		C19: ผลกระทบต่อสภาพจราจร (ระยะเวลาปิดจราจร)
		C20: ความยั่งยืนในการก่อสร้าง
		C21: การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้
		C22: การตอบสนองนโยบายภาครัฐ
		C23: ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยหลักในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามีจำนวน 3 ปัจจัย (B1, B2 และ B3) ส่วนปัจจัยรองจะมีจำนวน 8 ปัจจัยย่อยภายใต้ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ (C1 ถึง C8) และอีก 8 ปัจจัยย่อยภายใต้ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมฯ (C9 ถึง C16) แต่จะมีจำนวน 7 ปัจจัยย่อยภายใต้ปัจจัยหลักด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมฯ (C17 ถึง C23)

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาค่าความสำคัญค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยสำหรับการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ทั้ง 4 รูปแบบที่นำเสนอข้างต้นพร้อมทั้งแบ่งแยกย่อยในส่วนของโครงสร้างที่แตกต่างกันของแต่ละรูปแบบ โดยสำหรับปัจจัยหลักจะใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ส่วนปัจจัยย่อย เนื่องจากมีจำนวนปัจจัยค่อนข้างมาก เพื่อลดความซับซ้อนและความสับสนในการตอบแบบสอบถามของผู้ที่เกี่ยวข้อง จะใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการจัดลำดับ (ROC) แทน

ในปัจจัยย่อยทั้งหมด จะสังเกตได้ว่า ปัจจัยย่อยทางด้านเศรษฐศาสตร์จะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถวัดค่าเป็นจำนวนเงินได้ ส่วนปัจจัยย่อยอื่นๆ ที่เหลือ จะเห็นได้ว่ามีเพียงปัจจัย C9-ระยะเวลาก่อสร้าง, C10-ระยะเวลารอคอย และ C19-ระยะเวลาในการปิดจราจร ที่เป็นปัจจัยเกี่ยวข้องกับเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ส่วนปัจจัยอื่นๆ นอกจากนั้นจะเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ ที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้โดยตรง ต้องมีการกำหนด

4. การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยหลักด้วยวิธี AHP

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Thomas L. Saaty [14] เพื่อใช้ในการตัดสินใจและวิเคราะห์ทางเลือกต่างๆ ที่มีความซับซ้อนและต้องการลำดับอย่างมีเหตุผล โดยปัจจัยต่างๆ มีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงลำดับชั้น (Hierarchy) หลักการของ AHP คือการแบ่งโครงสร้างของปัญหาแยกลำดับความสำคัญออกเป็นลำดับชั้น ได้แก่ เป้าหมาย (Goal) เกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Sub-criteria) และทางเลือก (Alternatives) จากนั้นจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนได้แก่ การคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง การระบุปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และใช้แบบสอบถาม การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม และทำการวิเคราะห์ AHP ด้วยการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ (Pairwise comparison) [15-18] โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่มีผลในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างจากการคัดกรองปัจจัยในข้อก่อนหน้าดังแสดงในตารางที่ 1

4.1 ปัจจัยที่พิจารณาในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP

ในงานวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP เฉพาะสำหรับปัจจัยหลัก ซึ่งมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ปัจจัยด้านสังคมสิ่งแวดล้อมและนโยบาย

4.2 การเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ (Pairwise comparison)

กระบวนการพื้นฐานในการวิเคราะห์ทางเลือกและปัจจัยต่างๆ ของ AHP คือการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่กันเอง โดยปกติการเปรียบเทียบแต่ละคู่จะถูกเทียบกันเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 9 [15-18] แต่ในงานวิเคราะห์ครั้งนี้เพื่อให้ผู้ตัดสินใจในการเปรียบเทียบเข้าใจง่ายขึ้น จึงได้ปรับลำดับการเปรียบเทียบเชิงตัวให้เหลือเพียง 1 ถึง 5 โดยมีค่าตัวเลขการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปัจจัยคู่จะได้รับการตัดสินโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่ในทุกๆ มิติของการวิเคราะห์ในครั้งนี้ เมื่อได้รับผลการเปรียบเทียบของปัจจัยต่างๆ แล้ว ข้อมูลเชิงตัวเลขจะถูกนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักโดยการวิเคราะห์ weighting metric

4.3 การวิเคราะห์ความคงเส้นคงวา (Consistency analysis)

ในการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ เป็นผลจากการตัดสินใจของแต่ละบุคคล ซึ่งในการเปรียบเทียบนั้นอาจมีความไม่คงที่ (inconsistency) ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความคงเส้นคงวา (consistency analysis) สำหรับ AHP จึงมีความจำเป็นเพื่อพิสูจน์ว่าค่าการเปรียบเทียบนั้นมีความถูกต้องเพียงพอในการนำไปตัดสินใจหรือวิเคราะห์ต่อไปได้หรือไม่ ค่า Consistency ratio (*CR*) เป็นตัวบ่งชี้ว่าการเปรียบเทียบนั้นสามารถนำไปวิเคราะห์ได้หรือไม่ ค่า *CR* สำหรับการเปรียบเทียบของระดับชั้นของปัจจัยเดียวกันจะต้องไม่เกิน 0.1 และค่า *CR* สามารถหาได้ดังสมการที่ (1)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเชิงตัวเลขในการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่

ระดับการเปรียบเทียบ	ค่าเชิงตัวเลข	ค่าส่วนกลับ
สำคัญกว่ามากที่สุด	5	1/5
สำคัญกว่ามาก	4	1/4
สำคัญกว่าพอสมควร	3	1/3
สำคัญกว่าเล็กน้อย	2	1/2
สำคัญใกล้เคียงกัน	1	1

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{1}$$

เมื่อ CR คือค่า Consistency ration CI คือค่า Consistency index และค่า RI คือค่า Random Index

Consistency Index (CI) เป็นค่าที่ถูกคำนวณจากค่า Maximum Eigen value (λ_{max}) ของเมตริกซ์ปัจจัยดังสมการที่ (2) [19]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \tag{2}$$

เมื่อ n คือ order ของเมตริกซ์หรือจำนวนของปัจจัยที่เปรียบเทียบกันในเมตริกซ์นั้น ค่า Random Index (RI) คือค่า Consistency Index สูงสุด (CI_{max}) ที่ได้จากการคำนวณตาม order "n" ของเมตริกซ์ โดยค่า RI แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า Random consistency index, *RI* [13,14]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล AHP

ในขั้นตอนนี้จะเป็นวิเคราะห์หาค่าความสำคัญน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบที่กำหนด (4 รูปแบบ) โดยใช้แบบสอบถามซึ่งจะประกอบไปด้วยคำถามที่ถูกใช้ในการวัดความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง ครอบคลุมทั้งผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมปฐพี การบริหารงานก่อสร้าง ฯลฯ เพื่อให้ได้มุมมองที่สะท้อนความคิดเห็นของทุกภาคส่วน เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลักคือ เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมการก่อสร้าง และ สังคมสิ่งแวดล้อมฯ โดยใช้การวัดแบบสัมพัทธ์ 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 2 ข้างต้น และจากนั้นจึงเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยรองภายในแต่ละปัจจัยย่อยอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ด้วยการจัดลำดับ (ROC) โดยเป็นคนละวิธีกับ AHP ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

4.5 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ AHP ของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทั้ง 4 รูปแบบแสดงดังตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งสิ้น 23 ท่าน การวิเคราะห์ Consistency Analysis ของผลการเปรียบเทียบปัจจัยของทุกรูปแบบโครงการพบว่าค่า *CR* ของทุกรูปแบบการก่อสร้างที่พิจารณา

มีค่าไม่เกิน 0.1 แสดงว่าผลการวิเคราะห์นั้นสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาและวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ โดยผลการวิเคราะห์ค่าความสำคัญน้ำหนักของปัจจัยพบว่า ปัจจัยทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (B2) เป็นปัจจัยที่ถูกจัดให้มีความสำคัญที่สุดในการพิจารณารูปแบบโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทั้ง 4 รูปแบบ โดยในรูปแบบโครงการรถไฟฟ้า Monorail, Heavy rail และ Underground มีค่าน้ำหนักจากการเปรียบเทียบของปัจจัยทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างสูงมากกว่า 45% แต่ในส่วนของรูปแบบโครงการก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุงและจอดแล้วจรนั้นพบว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างนี้ (B2) มีค่าน้ำหนักลดลง แต่ก็ยังคงมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่ 41% เนื่องจากในส่วนงานก่อสร้างอาคารงานทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง ไม่ได้มีความซับซ้อนมากเมื่อพิจารณาเทียบกับทางเลือกของการก่อสร้างโครงการทางรถไฟ แต่ถึงอย่างนั้นก็ตาม ปัจจัยทางวิศวกรรมและการก่อสร้างก็ยังคงเป็นปัจจัยอันดับแรกที่มีความสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึง

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักจากการวิเคราะห์ AHP

ปัจจัย	Monorail	Heavy rail	Under-ground	Building
(B1) เศรษฐศาสตร์	0.20	0.34	0.25	0.32
(B2) วิศวกรรมฯ	0.54	0.45	0.51	0.41
(B3) สังคม สิ่งแวดล้อมฯ	0.26	0.21	0.24	0.27
ค่า CR*	0.000004	0.01	0.004	0.002

**การวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบคู่ในการวิเคราะห์ AHP ยอมรับค่า CR ≤ 0.1*

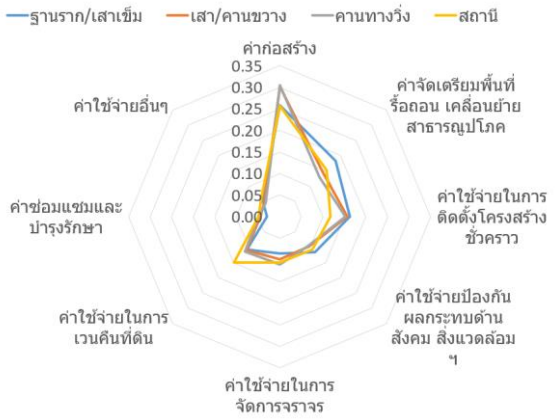
5. การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยรองด้วยวิธี ROC

วิธีการจัดลำดับ (Ranking method) เป็นวิธีที่ใช้งานง่าย การประเมินความสำคัญของค่าถ่วงน้ำหนักถูกจัดอยู่ในรูปลำดับภายใต้การพิจารณาของผู้ตัดสินใจ โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดถูกำหนดให้เป็นลำดับ = 1, สำคัญลำดับสอง = 2 และอื่นๆ การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใช้หลักการ Rank-order Centroid (ROC) โดยให้ผู้ตัดสินใจจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยตามสมการที่ (3) [20,21]

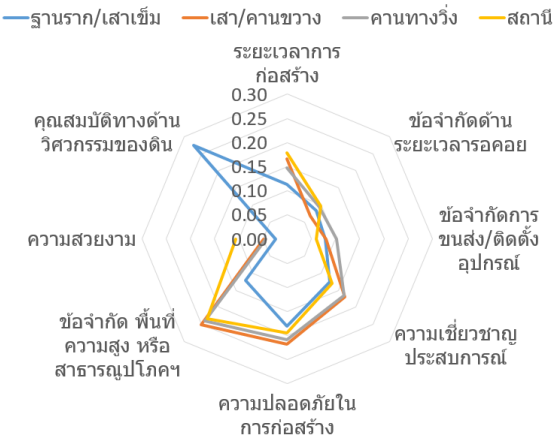
$$w_j = \frac{1}{n}\sum_{k=j}^{n}\frac{1}{r_k} \qquad (3)$$

โดยที่ w_j = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่พิจารณา j
n = จำนวนปัจจัยทั้งหมด
r_k = อันดับความสำคัญของปัจจัยที่ k

ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการนี้จะเป็นค่า Centroid ของค่าน้ำหนักที่เป็นไปได้ของลำดับนั้น ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการนี้จะค่อนข้างเสถียร ผู้วิจัยจึงพิจารณานำมาใช้ในการหาค่าน้ำหนักของปัจจัยรองในการศึกษานี้ เนื่องจากมีจำนวนปัจจัยมากถึง 78 ปัจจัย ทำให้การทำการเปรียบเทียบแบบ Pairwise ของ AHP ทำได้ยาก ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ด้านสังคม สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบ Monorail แสดงดังในรูปที่ 1-3 (เนื่องจากผลการวิเคราะห์มีจำนวนมาก ในบทความนี้จึงคัดนำเสนอเฉพาะผลของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบ Monorail) ผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยของแต่ละปัจจัยหลักพบว่า ปัจจัยย่อยค่าก่อสร้างเป็นปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดสำหรับปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยเรื่องข้อจำกัดด้านพื้นที่เป็นปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดสำหรับปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ และปัจจัยย่อยเรื่องความปลอดภัยของชุมชนฯ เป็นปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดสำหรับปัจจัยด้านสังคมสิ่งแวดล้อมฯ



รูปที่ 1 ค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยด้านเศรษฐศาสตร์ การก่อสร้างโครงการรูปแบบ Monorail

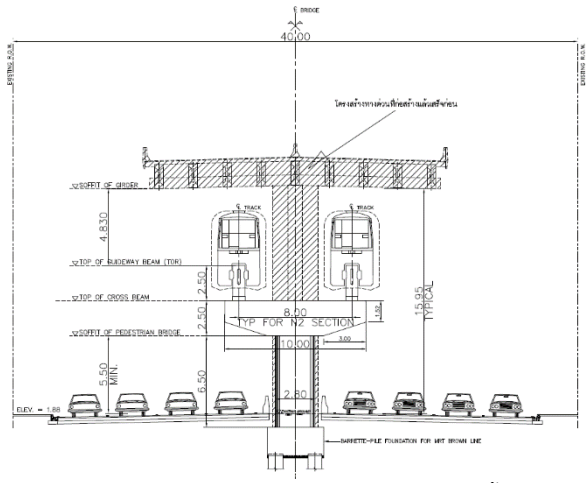


รูปที่ 2 ค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง การก่อสร้างโครงการรูปแบบ Monorail

รูปที่ 3 ค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยด้านสังคมสิ่งแวดล้อมฯ การก่อสร้างโครงการรูปแบบ Monorail

6. กรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น มาทดลองประยุกต์ใช้กับการคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจ เนื่องจากในบริเวณดังกล่าว แนวเส้นทางของโครงการจะซ้อนทับกันกับโครงการทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ของ กทพ. ซึ่งมีแผนจะดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดใช้งานก่อนการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ โดยจะส่งผลให้เมื่อทำการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในภายหลังจะมีอุปสรรคจากโครงสร้างของทางด่วนที่มีอยู่ก่อนแล้ว โดยลักษณะทางกายภาพของรูปแบบโครงสร้างดังแสดงภาพรูปตัดในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปสรรคของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณนี้คือข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงาน ที่มีระยะความสูงจำกัดจากพื้นถนนถึงใต้ท้องคานทางด่วน 15.95 ม. เช่น การก่อสร้างส่วนงานเสาเข็มด้วยการใช้เสาเข็มเจาะ จะต้องเผื่อระยะความสูงของปลอกเหล็ก (Casing) และระยะในการยกปลอก ทำให้เสาเข็มเจาะอาจไม่ใช้วิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในบริเวณดังกล่าว หรือในส่วนของการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง รวมถึงคานทางวิ่ง การก่อสร้างด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่หรือการยกชิ้นส่วนเสาคานหล่อสำเร็จด้วยการใช้เครนหรืออาจพิจารณาวิธีอื่นที่เป็นไปได้ วิธีใดมีความเหมาะสมกว่ากัน เป็นต้น ในที่นี้จึงได้นำค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบ Monorail มาใช้คัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละส่วนของโครงสร้าง โดยทำการให้ค่าคะแนนในแต่ละปัจจัยและนำผลรวมค่าคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยทั้งหมดคำนวณตามสมการที่ (4) มาสรุปผลการคัดเลือก โดยทางเลือกที่ได้คะแนนสูงสุดจะเป็นวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณถนนประเสริฐมนูกิจนี้มีทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่พิจารณาแล้วว่ามีความเป็นไปได้ เพื่อนำมาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในขั้นตอนสุดท้ายดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 กรณีศึกษาการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณถนนประเสริฐมนูกิจ

โครงสร้างฐานรากและเสาเข็ม พิจารณา 2 ทางเลือก คือ การก่อสร้างด้วยเสาเข็ม Barrette และเสาเข็มเจาะแบบกลม

โครงสร้างเสาตอม่อและคานขวาง พิจารณา 2 ทางเลือก คือ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ และการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน

โครงสร้างคานทางวิ่ง พิจารณา 3 ทางเลือก คือ การยกคานติดตั้งด้วยเครน, ติดตั้งด้วย Launcher และ ติดตั้งด้วย Heavy Lift

6.1 การเก็บข้อมูลดิบของแต่ละปัจจัย

ปัจจัยทั้งหมดที่พิจารณาดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยทั้งหมดจำนวน 23 ปัจจัย (C1-C23) ที่ต้องทำการเก็บข้อมูลเพื่อการให้คะแนนของแต่ละปัจจัย ซึ่งต้องรวบรวมข้อมูลทั้งหมดตามทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่ต้องการพิจารณา โดยในที่นี้ใช้วิธีการตอบแบบสอบถามรวมถึงการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง และ ข้อมูลราคากลางของทาง รฟม. จากโครงการก่อสร้างในอดีต อาทิ โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สีม่วง สีเขียว สีเหลือง สีชมพู เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและทำการประมาณราคาค่าก่อสร้างที่เกี่ยวข้องของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ นี้ โดยประมาณราคาค่าก่อสร้างในส่วนต่างๆ และข้อมูลการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง

6.2 การให้คะแนนในแต่ละปัจจัย

เมื่อรวบรวมข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ ครบถ้วนแล้ว จะสามารถให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของแต่ละปัจจัยโดย

สำหรับข้อมูลที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ เช่น ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (C1-C8) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ จะให้คะแนนโดยข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดจะได้คะแนนเต็ม = 10 และสำหรับข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า จะคิดเทียบสัดส่วนกันว่าควรได้คะแนนลดลงเท่าใด ทั้งนี้คะแนนที่ได้จะขึ้นอยู่กับการกำหนดเกณฑ์ว่าค่าใช้จ่ายแพงขึ้นถึงเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 และถ้าไม่มีค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้จ่ายเท่ากัน จะคิดคะแนนเท่ากับ 10 เช่นเดียวกัน สำหรับข้อมูลด้านวิศวกรรมฯ และข้อมูลด้านสังคมสิ่งแวดล้อมฯ ที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปัจจัย C9, C10, C19 โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาก่อสร้างหรือระยะเวลารอคอย จะให้คะแนนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด = 10 และคิดเป็นสัดส่วนลดลงสำหรับค่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดเกณฑ์ว่าระยะเวลานานเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 และสำหรับข้อมูลปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ เรียกได้ว่าเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ (C11-C18 และ C20-23) จะใช้วิธีการจัดลำดับ (Ranking) และให้คะแนนทางเลือกตามลำดับที่ถูกจัดแล้ว ทางเลือกที่ดีที่สุดจะได้คะแนนสูงสุด = 10 และทางเลือกที่แย่ที่สุดจะได้คะแนน =0 ในกรณีที่ทางเลือกมีลำดับเท่ากัน จะเอาคะแนนของลำดับที่เท่ากันนั้น มารวมกันและแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กันให้แต่ละทางเลือกที่มีลำดับเดียวกัน โดยสามารถสรุปค่าคะแนนของปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

6.3 ผลการคัดเลือกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง

จากค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยย่อยดังแสดงในตารางที่ 5 เมื่อนำมาคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามสมการที่ (4) และรวมผลคูณทั้งหมดจะได้ผลลัพธ์คะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่พิจารณานั้นๆ ดังแสดงผลการคำนวณของทางเลือกที่พิจารณาสำหรับกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ในบรรทัดสุดท้ายของตารางที่ 5

$$Score(a_k) = \sum_{i=1}^{m}\left[w_i^{AHP} \cdot \sum_{j=1}^{n} w_{ij}^{ROC} \cdot f_{ij}(a_k) \right] \quad (4)$$

โดยที่ w_i^{AHP} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยหลักที่พิจารณา i

w_{ij}^{ROC} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยย่อย j สำหรับปัจจัยหลัก i

n = จำนวนปัจจัยย่อยทั้งหมดภายใต้ปัจจัยหลัก i
m = จำนวนปัจจัยหลักทั้งหมด
$f_{ij}(a_k)$ = คะแนนของทางเลือก a_k สำหรับปัจจัยย่อย j ภายใต้ปัจจัยหลัก i

ตารางที่ 5 ผลสรุปคะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาฯ

		เสาเข็ม/ฐานราก			ตอม่อ/คานขวาง			คานทางวิ่ง			
			คะแนน			คะแนน			คะแนน		
		น้ำหนัก	Barrett	เข็มเจาะ	น้ำหนัก	หล่อในที่	Precast	น้ำหนัก	Crane	Launcher	Heavy lift
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	C1	0.26	10	7.47	0.30	8	10	0.30	10	10	10
	C2	0.18	10	10	0.14	10	10	0.13	10	10	10
	C3	0.16	10	10	0.16	4.89	10	0.15	10	0.62	6.98
	C4	0.12	10	10	0.10	10	10	0.09	10	10	10
	C5	0.09	7.5	10	0.10	3.44	10	0.11	10	7.78	5
	C6	0.11	10	10	0.11	10	10	0.11	10	10	10
	C7	0.03	10	10	0.04	10	0	0.05	10	10	10
	C8	0.06	10	7.47	0.05	8	10	0.05	10	10	10
0.2	รวม		9.79	9.20		7.85	9.56		10.0	8.32	8.98
ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ	C9	0.11	7.5	10	0.17	0	10	0.15	10	0	0
	C10	0.08	10	10	0.07	10	10	0.09	10	6.67	6.67
	C11	0.08	5	5	0.08	10	0	0.10	5	5	5
	C12	0.13	5	5	0.17	10	0	0.17	5	5	5
	C13	0.18	5	5	0.22	0	10	0.21	10	2.5	2.5
	C14	0.12	10	0	0.25	5	5	0.24	2.5	2.5	10
	C15	0.02	5	5	0.05	0	10	0.04	5	5	5
	C16	0.27	0	10							
0.54	รวม		4.94	6.74		4.41	6.26		6.67	3.31	5.11
ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ	C17	0.25	10	0	0.25	10	0	0.27	0	7.5	7.5
	C18	0.21	10	0	0.21	0	10	0.19	5	5	5
	C19	0.18	5	5	0.18	10	7.9	0.19	6	10	10
	C20	0.09	5	5	0.11	0	10	0.11	5	5	5
	C21	0.07	10	0	0.07	10	0	0.05	0	5	10
	C22	0.03	5	5	0.04	5	5	0.04	0	7.5	7.5
	C23	0.17	5	5	0.15	5	5	0.14	5	5	5
0.26	รวม		7.63	2.37		5.89	5.58		3.36	6.73	7.00
			6.61	6.10		5.48	6.74		6.48	5.20	6.38

คะแนนทางเลือก (*Score*) ที่คำนวณได้จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกันระหว่างเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้ โดยทางเลือกที่ได้คะแนนสูงสุดจะเป็นเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตารางจะสรุปได้ว่า การก่อสร้างฐานรากและเสาเข็ม, เสาตอม่อและคานขวาง และ การติดตั้งคานทางวิ่ง ใช้วิธีก่อสร้างด้วยเสาเข็ม Barrette, ใช้ชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางคอนกรีตหล่อสำเร็จติดตั้งด้วยเครน และ การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความความเหมาะสมของโครงการฯ [1,2,3]

7. บทสรุป

ค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ AHP สำหรับปัจจัยหลัก และการจัดลำดับสำหรับปัจจัยย่อย ในแต่ละส่วนโครงสร้างและรูปแบบของโครงการรถไฟฟ้า โดยได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด ได้แก่ บริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจที่มีการซ้อนทับกับทางด่วน การให้คะแนนของปัจจัยต่างๆ เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับค่าก่อสร้าง ใช้การอ้างอิงจากข้อมูลโครงการในอดีต ร่วมกับการประมาณราคา ส่วนคะแนนของปัจจัยเชิงคุณภาพ จะใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ ที่มีประสบการณ์งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ได้คำตอบทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่สอดคล้องกับการศึกษาความเหมาะสมของโครงการฯ [1,2,3] แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยรวมถึงเกณฑ์การให้คะแนนปัจจัยที่นำเสนอ มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้งานได้จริง โดยหากสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีความละเอียดและเกณฑ์ในการให้คะแนนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จะช่วยให้สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้

8. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาต่อในอนาคต สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่นำเสนอในบทความไปประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากรูปแบบโครงการ Monorail (ระบบรางเบา) อาทิ โครงการรถไฟฟ้ายกระดับรางหนัก (Heavy rail) โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Heavy rail) และ โครงสร้างระดับดิน เช่น อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง อาคารจอดแล้วจร หรือการก่อสร้างในบริเวณที่มีอุปสรรคข้อจำกัดในตำแหน่งอื่นๆ ได้

นอกจากนี้แนะนำให้ใช้การสำรวจแบบสัมภาษณ์สำหรับข้อมูลแบบสอบถามที่มีความซับซ้อน เพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถให้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ไม่เกิดความสับสนในการให้ค่าน้ำหนัก หรือ ตอบแบบสอบถามเรียงลำดับและน้ำหนักของปัจจัยสลับไปมา ซึ่งการสัมภาษณ์จะช่วยให้สามารถแก้ไขข้อมูลได้ทันทีเมื่อเกิดความผิดพลาด และพบว่า ไม่ควรพิจารณาจำนวนปัจจัยมากจนเกินไป เพราะจะทำให้เกิดปัจจัยที่มีความซ้ำซ้อนหรือปัจจัยที่มีความหมายคล้ายคลึงกัน มีผลทำให้เกิดความสับสนในการให้คะแนนทางเลือกของผู้เชี่ยวชาญ เกิดการผิดพลาดหรือไม่สอดคล้องกันได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย และ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสัมภาษณ์และทำแบบสอบถาม พร้อมทั้งข้อมูลการก่อสร้างและแบบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย การให้คำปรึกษาและช่วยในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] การศึกษาความเหมาะสมโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) รายงานการศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจและการเงิน, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.), 2561

[2] การศึกษาความเหมาะสมโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) รายงานการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design Report), สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.), 2561

[3] การศึกษาความเหมาะสมโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) รายงานการศึกษาและวิเคราะห์โครงการตามวิธีที่สอดคล้องกับพระราชบัญญัติให้เอกชนร่วมลงทุนในกิจการของรัฐ พ.ศ. 2556 ในกรณีที่ให้เอกชนร่วมลงทุน, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.), 2561

[4] งานจ้างผู้ให้บริการงานศึกษาทบทวน สำรวจ ออกแบบรายละเอียดฐานราก และจัดเตรียมเอกสารประกวดราคา เพื่อรองรับโครงการระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ที่อยู่บนถนนประเสริฐมนูกิจ, รายงานฉบับสุดท้าย (Final Report), การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2563

[5] Pan, N. F. (2008) Fuzzy AHP Approach For Selecting The Suitable Bridge Construction Method, *Automation in Construction*, 17(8), Pages 958-965, DOI: 10.1016/j.autcon.2008.03.005

[6] Basha, I. M. and Gab-Allah, A. A. (1991) Value Engineering In Egyptian Bridge Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(3), https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1991)117:3(393)

[7] Bansal, S., Biswas, S. and Singh, S. (2017) Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings, *International Journal of Sustainable Built Environment,* 6(1), Pages 122-132

[8] Chen, Y., Okudan, G.E. and Riley, D.R. (2010) Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings, *Automation in Construction*, 19(2), Pages 235-244

[9] Reda, M., Elshikh, M.Y. and Dawood, M. (2017) Selection of Sustainable Construction Method Using Analytical Hierarchy Process (AHP), *Mansoura Engineering Journal (MEJ)*, 42(2), Pages C:1-C:9

[10] Garrido, A. S., Navarro, I. and Yepes, V. (2021) Multi-Criteria Decision-Making Applied To The Sustainability Of Building Structures Based On Modern Methods Of Construction, *Journal of Cleaner Production,* (IF9.297), *DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129724*

[11] Moghayedi, A. and Windapo, A. (2017) Key Performance Criteria Influencing the Selection of Construction Methods Used for the Fabrication of Building Components in the Middle East, *Sustainable Construction and Building Material*, IntechOpen

[12] Qi, J., Zhao, X. and Yang, H.C. (2020) Selection of Deep Excavation Construction Methods in Building Construction, *Proceedings of IEEE 2nd International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)*, 25-27 December, 2020, Taiwan

[13] Ferrada X. and Serpell, A. (2014) Selection of Construction Methods for Construction Projects: A Knowledge Problem, *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4) : B4014002-1 - B4014002-7, DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000715

[14] Saaty, R. W. (1987) The analytic hierarchy process-what it is and how it is used, *Mathematical Modelling* 9(3):161-176

[15] Saaty, T. (2008) Decision making with the Analytic Hierarchy Process, *Int. J. Services Sciences Int. J. Services Sciences*, 1, Pages 83-98

[16] วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2546) การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, ชลกรณบับวันชูชาติ, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546, หน้า 57-76

[17] วิฑูรย์ ตันศิริคงคล (2542) AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก, กรุงเทพมหานคร, กราฟิก แอนด์ปริ้นติ้ง

[18] วิฑูรย์ ตันศิริคงคล (2557) AHP การตัดสินใจขั้นสูงเพื่อความก้าวหน้าขององค์กรและความอยู่ดีมีสุขของมหาชน, ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557, ISBN 978-616-374-840-9

[19] Mu, E. and M. Pereyra-Rojas (2017) Practical Decision Making using Super Decisions v2: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process, Springer International Publishing

[20] Solymosi T., Dompi J., 1985, Method for Determining the Weights of Criteria: the Centralized Weights, *European Journal of Operational Research*, 26, Pages 35-41

[21] Barron, F.H. and Barrett, B.E. (1996) Decision quality using ranked attribute weights, *Management Science*, 42(11), Pages 1515-1525