

ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการ
ขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM กรณีศึกษา บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง
แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

Factors in Logistics and Supply Chain Management Affecting the Duration of
Metro Tunnel Excavation Using a Tunnel Boring Machine (TBM): A Case Study
of Unique Engineering and Construction Public Company Limited

นริศรา ชิมแป้น

Narisara Chimpaen

บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

Unique Engineering and Construction Public Company Limited, Thailand

E-mail: Narisara.chim@unique.co.th

Received February 4, 2026; Revised February 11, 2026; Accepted February 12, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM (2) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ และ (3) เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อลดระยะเวลาโครงการ ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสานวิธี โดยเก็บข้อมูลจากผู้บริหารโครงการ วิศวกร และบุคลากรด้านโลจิสติกส์ของบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) จำนวน 120 คน ด้วยแบบสอบถาม การสัมภาษณ์เชิงลึก และการสนทนากลุ่ม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติพรรณนาและสถิติอ้างอิง และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการวิจัยพบว่า (1) ปัจจัยด้านการวางแผนการจัดหา การบริหารคลังวัสดุ การขนส่ง และการสื่อสารข้อมูลในห่วงโซ่อุปทาน เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM ในระดับมาก (2) ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการจัดการที่มีประสิทธิภาพสามารถลดความล่าช้าของโครงการได้ และ (3) แนวทางปรับปรุงที่เสนอประกอบด้วย การบูรณาการแผนงาน การจัดการข้อมูล และการประสานงานระหว่างหน่วยงาน เพื่อเพิ่มความต่อเนื่องของการทำงานเครื่อง TBM และลด

ระยะเวลาโครงการโดยรวม งานวิจัยนี้ให้ความรู้เชิงระบบเกี่ยวกับบทบาทของการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในโครงการอุโมงค์ TBM และสามารถประยุกต์ใช้ในโครงการก่อสร้างระบบรางในอนาคต

คำสำคัญ: การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน; เครื่องเจาะอุโมงค์; ระยะเวลาโครงการก่อสร้าง

Abstract

This study aimed to (1) examine logistics and supply chain management factors related to metro rail tunnel excavation using Tunnel Boring Machines (TBMs), (2) analyze the relationship between logistics and supply chain factors and tunnel excavation duration, and (3) propose improvement strategies for logistics and supply chain management to reduce project timelines. A mixed-methods approach was employed, collecting data from 120 project managers, field engineers, and logistics personnel at Unique Engineering and Construction Public Company Limited through questionnaires, in-depth interviews, and focus group discussions. Quantitative data were analyzed using descriptive and inferential statistics, while qualitative data underwent content analysis.

The findings revealed that (1) procurement planning, material warehouse management, transportation, and supply chain information communication were significant factors highly related to TBM tunnel excavation, (2) logistics and supply chain management factors demonstrated statistically significant negative correlations with tunnel excavation duration, indicating that efficient management reduces project delays, and (3) proposed improvements include integrated planning, information management, and inter-departmental coordination to enhance TBM operational continuity and reduce overall project duration. This research provides systematic insights into the role of logistics and supply chain management in TBM tunnel projects and offers practical applications for future rail system construction projects.

Keywords: Logistics and Supply Chain Management; Tunnel Boring Machine; Construction Project Duration

บทนำ

การศึกษาศักยภาพด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine: TBM) นับเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ เนื่องจากโครงการก่อสร้างระบบรางขนาดใหญ่มีแนวโน้มประสบปัญหาความล่าช้าอันเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านการจัดส่งชิ้นส่วนเครื่องจักร การบริหารจัดการวัสดุและคลังสินค้า รวมถึงการประสานงานระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายฝ่าย งานวิจัยของ Nguyen และ Tang

(2023) พบว่า ความคล่องตัวของห่วงโซ่อุปทานสามารถลดระยะเวลาการหยุดชะงักของเครื่อง TBM ได้ประมาณร้อยละ 15–20 เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการที่ใช้ระบบการจัดการวัสดุแบบดั้งเดิม ขณะที่ รายงานของธนาคารโลก (World Bank, 2024) ระบุว่า ปัญหาด้านโลจิสติกส์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ โครงการโครงสร้างพื้นฐานในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกิดความล่าช้าเฉลี่ย 8–12 เดือนต่อโครงการ นอกจากนี้ Lee et al. (2023) ยังชี้ให้เห็นว่า ความสามารถในการพยากรณ์ความต้องการทรัพยากรและ ประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างทีมงานมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการขุดเจาะอุโมงค์ด้วย เครื่อง TBM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการศึกษาปัจจัยด้านโลจิสติกส์ในงานก่อสร้าง โดยทั่วไป แต่ยังขาดงานวิจัยที่มุ่งเน้นการวิเคราะห์ระบบซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ด้วย TBM ในบริบทขององค์กรก่อสร้างขนาดใหญ่ในประเทศไทย โดยเฉพาะกรณีของบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเชิงระบบที่เชื่อมโยงปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์กับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์อย่างเป็นรูปธรรม อันสะท้อนให้เห็นถึงช่องว่างทางองค์ความรู้ที่ การวิจัยนี้มุ่งเติมเต็มเพื่อสนับสนุนการพัฒนาประสิทธิภาพการดำเนินโครงการระบบรางในอนาคต

พื้นที่วิจัยของการศึกษานี้คือโครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าที่ใช้เครื่องเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine: TBM) ภายใต้การดำเนินงานของบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นผู้รับเหมาหลักที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาโครงการระบบรางขนาดใหญ่ของประเทศไทย ลักษณะการดำเนินงานในพื้นที่ดังกล่าวมีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับกิจกรรมด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนหลายมิติ อาทิ การจัดหาและขนส่งเครื่องจักร วัสดุ และชิ้นส่วนอะไหล่ รวมถึงการประสานงานระหว่างหน่วยงานภายในองค์กรและคู่ค้าภายนอก จากการดำเนินโครงการที่ผ่านมา พบว่าการขุดเจาะอุโมงค์ยังประสบปัญหาความล่าช้า ซึ่งส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดด้านการจัดส่ง การวางแผนและ จัดสรรทรัพยากร ตลอดจนการไหลเวียนของข้อมูลในห่วงโซ่อุปทาน กลุ่มเป้าหมายของการวิจัย ประกอบด้วยผู้บริหารโครงการ วิศวกรภาคสนาม และบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับโครงการ TBM โดยนักวิจัยมีประสบการณ์และมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงานและการ ประสานงานในบริบทของโครงการก่อสร้างระบบราง จึงสามารถเข้าถึงข้อมูลและเข้าใจสภาพปัญหาเชิง กระบวนการในพื้นที่จริงได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาด้าน เทคนิคการก่อสร้างหรือประสิทธิภาพของเครื่อง TBM เป็นหลัก ขณะที่การศึกษาปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในระดับโครงการของผู้รับเหมาหลักในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งสะท้อนถึง ความจำเป็นของการดำเนินการวิจัยในพื้นที่และกลุ่มเป้าหมายดังกล่าวอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน ที่มีความเกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine: TBM) รวมทั้งเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ โดยใช้ กรณีศึกษาของบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) การดำเนินการวิจัยใช้ ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้บริหารโครงการ วิศวกร และบุคลากรที่รับผิดชอบ

ด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนผ่านแบบสอบถาม และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ ทั้งนี้ ผลการวิจัยมีเป้าหมายเพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน อันจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและการลดระยะเวลาในการดำเนินโครงการก่อสร้างระบบรางในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM
3. เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อลดระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์

การทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎีการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในงานก่อสร้าง

แนวคิดการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในงานก่อสร้างมุ่งเน้นการบูรณาการการไหลของวัสดุ ข้อมูล และทรัพยากร ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงหางานก่อสร้าง เพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่า Christopher (2016) อธิบายว่า ซัพพลายเชนที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยการวางแผน การประสานงาน และการสื่อสารระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตลอดห่วงโซ่อุปทาน ขณะที่ Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) ชี้ว่า โลจิสติกส์เป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนความต่อเนื่องของกระบวนการผลิตและการก่อสร้าง งานวิจัยในช่วงปี 2022–2024 พบว่า การจัดซื้อจัดหา การบริหารคลังวัสดุ และการจัดการข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าและต้นทุนของโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ (Zhang et al., 2022; Meng & Li, 2023) โดยเฉพาะโครงการที่มีความซับซ้อนและมีผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายฝ่าย

2. งานวิจัยเกี่ยวกับการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine: TBM) ในอดีต ส่วนใหญ่มุ่งเน้นปัจจัยด้านวิศวกรรมและเทคนิคการก่อสร้าง เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา ความแข็งแรงของชั้นดิน สมรรถนะของเครื่อง TBM และอัตราความเร็วในการเจาะ (AFTES, 2022; Lee et al., 2023) งานวิจัยเหล่านี้ช่วยอธิบายประสิทธิภาพของเครื่องจักรและความเสี่ยงทางเทคนิคได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม รายงานของกรมการขนส่งทางราง (2566) ระบุว่า โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าในประเทศไทย

มีความล่าช้าเฉลี่ยร้อยละ 20–30 เมื่อเทียบกับแผนงานเดิม ซึ่งสาเหตุไม่ได้มาจากปัจจัยทางเทคนิคเพียงอย่างเดียว แต่ยังเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทรัพยากร การจัดส่งวัสดุ และการประสานงานในระดับโครงการ

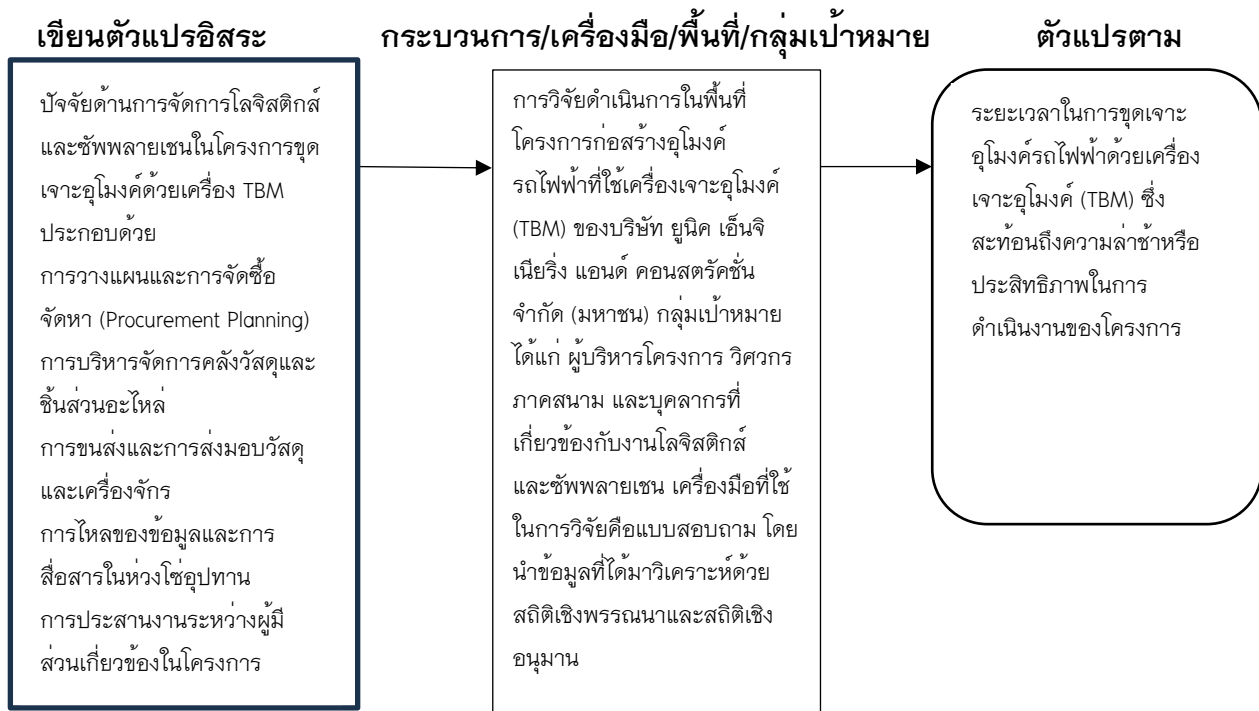
3. งานวิจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาโครงการก่อสร้าง

งานวิจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในโครงการก่อสร้างเริ่มให้ความสำคัญกับผลกระทบต่อระยะเวลาและความต่อเนื่องของงานมากขึ้น Nguyen และ Tang (2023) พบว่า การจัดการซัพพลายเชนที่มีความยืดหยุ่นและสามารถตอบสนองต่อความไม่แน่นอนได้ ช่วยลดเวลาหยุดชะงักของเครื่อง TBM ได้ประมาณร้อยละ 15–20 เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการที่มีระบบซัพพลายเชนแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังเป็นการศึกษาระดับภาพรวม หรือดำเนินการในบริบทต่างประเทศ และยังขาดการศึกษาที่มุ่งวิเคราะห์ปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในระดับโครงการของผู้รับเหมาหลักในบริบทประเทศไทยอย่างเป็นระบบ

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แม้จะมีการศึกษาทฤษฎีและแนวคิดด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน งานวิจัยด้านเทคนิคการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM และงานศึกษาประสิทธิภาพโครงการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย แต่ยังขาดการบูรณาการแนวคิดด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่ออธิบายผลกระทบต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM โดยเฉพาะในบริบทของผู้รับเหมาหลักในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดและทฤษฎีด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนมาใช้เป็นกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้ากรณีศึกษาบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) เพื่อเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้และสนับสนุนการพัฒนาการบริหารโครงการระบบรางในอนาคต

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมวิธี (Mixed Methods Research) โดยผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยตามแนวคิดและทฤษฎีการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนของ Christopher (2016) และแนวคิดการจัดการซัพพลายเชนในงานก่อสร้างของ Vrijhoef และ Koskela (2000) ซึ่งมุ่งเน้นการบูรณาการการไหลของวัสดุ ข้อมูล และทรัพยากรตลอดห่วงโซ่อุปทาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความล่าช้าในการดำเนินโครงการ โดยกรอบแนวคิดการวิจัยประกอบด้วยตัวแปรอิสระ กระบวนการวิจัย และตัวแปรตาม ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมวิธี (Mixed Methods Research) โดยบูรณาการการวิจัยเชิงปริมาณและการวิจัยเชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกและสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ (TBM) ได้อย่างครอบคลุม

พื้นที่วิจัย ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

พื้นที่วิจัย คือ โครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าที่ใช้เครื่อง TBM ของบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

ประชากรในการวิจัย คือ ผู้บริหารโครงการ วิศวกรภาคสนาม และบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในโครงการ TBM ของบริษัทฯ จำนวนประมาณ 120 คน (อ้างอิงข้อมูลโครงสร้างองค์กรและแผนกำลังคนของโครงการ)

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเชิงปริมาณ กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 92 คน โดยคำนวณจากสูตรของ Yamane (1973) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และใช้วิธีการคัดเลือกแบบ การสุ่มแบบเจาะจง โดยพิจารณาคัดเลือกเฉพาะบุคลากรที่มีประสบการณ์เกี่ยวข้องกับงานโลจิสติกส์ ซัพพลายเชน หรือการบริหารโครงการ TBM ไม่น้อยกว่า 1 ปี เพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การวิจัย

สำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จำนวน 10 คน ได้แก่ ผู้บริหารโครงการระดับหัวหน้างาน วิศวกรอาวุโส และผู้รับผิดชอบงานโลจิสติกส์หลัก โดยใช้การคัดเลือกแบบเจาะจงตามความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ตรงในโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่

1) แบบสอบถาม เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) แบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน (การจัดซื้อ การบริหารคลังวัสดุ การขนส่ง การไหลของข้อมูล และการประสานงาน)

ตอนที่ 3 ระยะเวลาและความล่าช้าในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM

แบบสอบถามพัฒนาขึ้นตามแนวคิดการจัดการซัพพลายเชนของ Christopher (2016) และ Vrijhoef & Koskela (2000) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน และทดสอบค่าความเชื่อมั่นด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) ได้ค่าเท่ากับ 0.87 ใช้ศึกษาเชิงปริมาณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปร

2) แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง เป็นแบบสัมภาษณ์เชิงลึกที่พัฒนาตามกรอบแนวคิดด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในงานก่อสร้าง เน้นประเด็นปัญหา อุปสรรค และแนวทางการจัดการเพื่อลดระยะเวลาในการขุดเจาะ TBM ตรวจสอบความเหมาะสมของคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้ศึกษาเชิงลึกเพื่ออธิบายผลการวิจัยเชิงปริมาณ

3) แนวทางการสนทนากลุ่ม ใช้ประเด็นการสนทนาเกี่ยวกับกระบวนการโลจิสติกส์ การประสานงาน และข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ สร้างตามแนวคิดการจัดการซัพพลายเชนเชิงบูรณาการ ดำเนินการสนทนากลุ่มกับตัวแทนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจำนวน 6–8 คน เพื่อสังเคราะห์แนวทางปรับปรุงเชิงระบบ

การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการระหว่างเดือน มกราคม ถึงมีนาคม พ.ศ. 2569 ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เอกสาร การวิเคราะห์เนื้อหา และการสังเคราะห์ข้อมูล แล้วนำเสนอในรูปแบบการบรรยายเชิงพรรณนา

ผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับการชุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและระดับความคิดเห็นต่อบ้างด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน

ปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	S.D.	ระดับความคิดเห็น
การวางแผนและการจัดซื้อจัดหา	4.32	0.51	มาก
การประสานงานระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง	4.25	0.55	มาก
การไหลของข้อมูลและการสื่อสาร	4.18	0.58	มาก
การบริหารจัดการคลังวัสดุและอะไหล่	4.05	0.60	มาก
การขนส่งและการส่งมอบวัสดุ	3.98	0.63	มาก
รวม	4.16	0.57	มาก

ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะด้านการวางแผนและการจัดซื้อจัดหา ซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของการบริหารทรัพยากรต่อการชุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์

ปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับความสัมพันธ์	นัยสำคัญทางสถิติ
การวางแผนและการจัดซื้อจัดหา	-0.68	สูง	$p < .01$
การไหลของข้อมูลและการสื่อสาร	-0.64	สูง	$p < .01$
การประสานงานระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง	-0.61	สูง	$p < .01$
การบริหารจัดการคลังวัสดุและอะไหล่	-0.53	ปานกลาง	$p < .01$
การขนส่งและการส่งมอบวัสดุ	-0.49	ปานกลาง	$p < .01$

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า เมื่อการจัดการโลจิสติกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM มีแนวโน้มลดลง

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อลดระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์

ตารางที่ 3 แนวทางการปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน

ปัจจัยหลัก	ปัญหาที่พบ	แนวทางปรับปรุง	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
การวางแผนและการจัดซื้อจัดหา	การจัดซื้อไม่สอดคล้องกับแผน TBM	จัดทำแผนจัดซื้อแบบบูรณาการกับแผนการชุดเจาะ	ลดเวลารอวัสดุ
การไหลของข้อมูล	ข้อมูลไม่เป็นปัจจุบัน	ใช้ระบบสารสนเทศร่วมกันแบบเรียลไทม์	ลดความล่าช้าในการตัดสินใจ
การประสานงาน	หน่วยงานทำงานแยกส่วน	จัดประชุมประสานงานเป็นรอบตามแผน TBM	เพิ่มความต่อเนื่องของงาน
การบริหารคลังวัสดุ	อะไหล่ขาดช่วง	กำหนดระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ	ลดการหยุดเครื่อง TBM
การขนส่ง	การส่งมอบล่าช้า	วางแผนเส้นทางและเวลาเชิงรุก	ลดผลกระทบต่อแผนงาน

แนวทางการปรับปรุงที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นกรอบเชิงปฏิบัติในการพัฒนาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์ เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินโครงการ และลดความเสี่ยงจากความล่าช้าในโครงการรถไฟฟ้า

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการชุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM กรณีศึกษา บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) สามารถอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ดังนี้

ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับการชุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับการชุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM โดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะปัจจัยด้านการวางแผนและการจัดซื้อจัดหา การประสานงานระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และการไหลของข้อมูลและการสื่อสาร ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการบริหารจัดการทรัพยากรและข้อมูลมีบทบาทสำคัญต่อความต่อเนื่องของกระบวนการชุดเจาะอุโมงค์ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนของ Christopher (2016) และ CSCMP ที่ระบุว่าการบูรณาการการไหลของวัสดุ ข้อมูล และการประสานงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงการขนาดใหญ่ โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างที่มีความซับซ้อนสูง เช่น งานชุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al. (2022) และ Meng และ Li (2023) ที่พบว่า การจัดซื้อจัดหาและการบริหารทรัพยากรที่ไม่มีประสิทธิภาพเป็น

สาเหตุสำคัญของความล่าช้าในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งยืนยันว่าปัจจัยด้านโลจิสติกส์ไม่ได้เป็นเพียงกิจกรรมสนับสนุน แต่เป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์ของโครงการโดยตรง

ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนทุกด้านมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะปัจจัยด้านการวางแผนและการจัดซื้อจัดหา และการไหลของข้อมูลและการสื่อสาร ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์สูงสะท้อนให้เห็นว่าการขาดแคลนวัสดุ อะไหล่ หรือข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน อาจนำไปสู่การหยุดชะงักของเครื่อง TBM และส่งผลให้แผนงานล่าช้า ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Nguyen และ Tang (2023) ที่ชี้ให้เห็นว่าการจัดการซัพพลายเชนที่มีความยืดหยุ่นสามารถลดเวลาหยุดชะงักของการทำงานของ TBM ได้อย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงสอดคล้องกับรายงานของกรมการขนส่งทางราง (2566) ที่ระบุว่าความล่าช้าในโครงการรถไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนหนึ่งเกิดจากการบริหารจัดการทรัพยากรและการส่งมอบวัสดุที่ไม่สอดคล้องกับแผนงาน

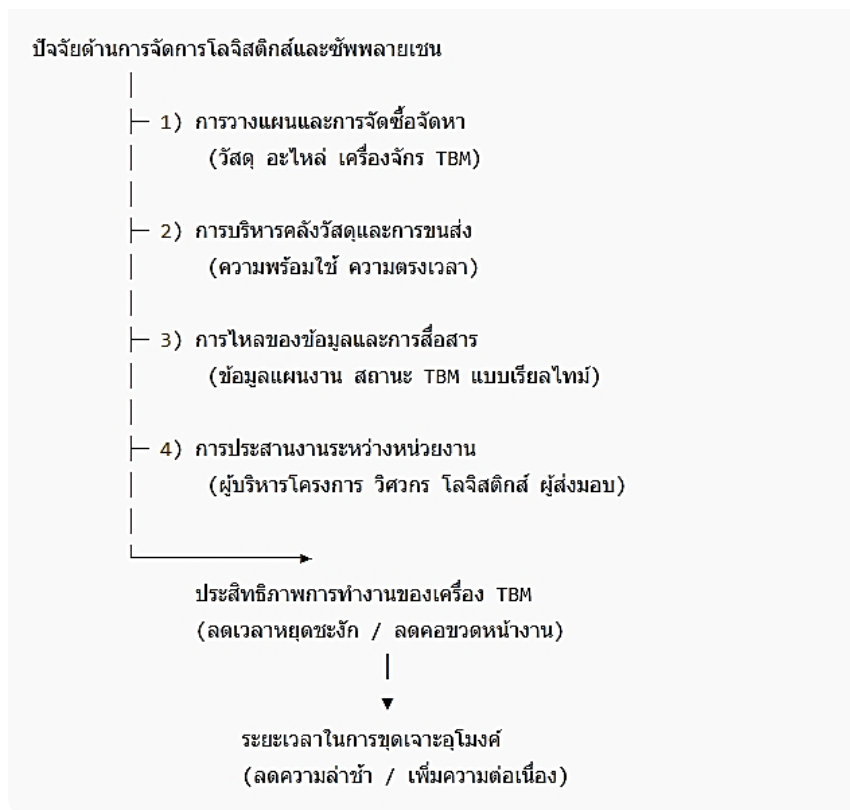
ผลตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อลดระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ จากผลการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ สามารถสังเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนได้หลายประการ โดยเน้นการบูรณาการการวางแผนโลจิสติกส์เข้ากับแผนการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM อย่างเป็นระบบ เช่น การจัดทำแผนจัดซื้อจัดหาและแผนคลังวัสดุที่สอดคล้องกับรอบการทำงานของเครื่อง TBM การใช้ระบบสารสนเทศโลจิสติกส์แบบเรียลไทม์ และการเสริมสร้างกลไกการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดซัพพลายเชนแบบบูรณาการ (Integrated Supply Chain Management) ซึ่งมุ่งเน้นการเชื่อมโยงทุกกระบวนการตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ เพื่อเพิ่มความคล่องตัว ลดความสูญเปล่า และลดระยะเวลาการดำเนินโครงการ โดยเฉพาะในโครงการก่อสร้างระบบรางที่มีข้อจำกัดด้านเวลาและพื้นที่ปฏิบัติงานสูง ดังนั้น ผลการวิจัยจึงชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนอย่างเป็นระบบไม่เพียงช่วยลดระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM เท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารโครงการ ลดต้นทุนแฝงจากความล่าช้า และสนับสนุนความสำเร็จของโครงการรถไฟฟ้าในระยะยาว

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่อง TBM

1. ลักษณะขององค์ความรู้ใหม่ องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการวิจัยนี้ คือ “แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงบูรณาการของการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในโครงการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM” ซึ่งอธิบายให้เห็นว่า ปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนไม่ได้ส่งผลต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์แบบแยกส่วน แต่ส่งผลเชื่อมโยงกันเป็นระบบ ตั้งแต่การวางแผนต้นน้ำไปจนถึงการปฏิบัติงานหน้างานของเครื่อง TBM

2. แผนผังทัศน์องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย (Conceptual Knowledge Map) ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน



3. คำอธิบายโครงสร้างองค์ความรู้ใหม่ (สอดคล้องกับวัตถุประสงค์)

ผลการวิจัยทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ว่าปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้องกับงาน TBM ต้องพิจารณาในลักษณะ “ระบบสนับสนุนการทำงานของเครื่องจักรหลัก” ไม่ใช่เพียงกิจกรรมสนับสนุนทั่วไป โดยเฉพาะการจัดหาอะไหล่ TBM การบริหารคลังวัสดุ และการสื่อสารข้อมูลหน้างาน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความต่อเนื่องของการขุดเจาะอุโมงค์

ความสัมพันธ์เชิงลบอย่างเป็นระบบ ระหว่างประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์กล่าวคือ เมื่อการจัดการโลจิสติกส์มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยลดเวลา

หยุดชะงักของเครื่อง TBM และส่งผลให้ระยะเวลาโครงการสั้นลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า “เวลา” ในงาน TBM ไม่ได้ขึ้นกับเทคนิคการขุดเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับความพร้อมของซัพพลายเชนเป็นสำคัญ

จากการสังเคราะห์ผลการวิจัย สามารถพัฒนาเป็นแนวคิดการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนเชิงบูรณาการสำหรับโครงการ TBM โดยเน้นการเชื่อมโยงแผนโลจิสติกส์ แผนการขุดเจาะ และการสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อให้เครื่อง TBM ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ลดคอขวด และลดระยะเวลาโครงการในภาพรวม

องค์ความรู้จากการวิจัยนี้ช่วยเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยเดิมที่มักแยกการศึกษาด้านเทคนิค TBM ออกจากการจัดการโลจิสติกส์ โดยนำเสนอ กรอบแนวคิดเชิงระบบ ที่เหมาะสมกับบริบทของผู้รับเหมาหลักในประเทศไทย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติในการบริหารโครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าในอนาคต

สรุป

บทความนี้มุ่งศึกษาบทบาทของการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่มีต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ (TBM) โดยใช้กรณีศึกษาของบริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน) ผ่านการวิจัยแบบผสมวิธีที่บูรณาการข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเข้าด้วยกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านการวางแผนการจัดหา การบริหารคลังวัสดุและอะไหล่ การขนส่ง การไหลของข้อมูล และการประสานงานระหว่างหน่วยงานในห่วงโซ่อุปทาน ล้วนมีความสำคัญต่อความต่อเนื่องของการทำงานของเครื่อง TBM และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชี้ให้เห็นว่าการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่มีประสิทธิภาพสามารถลดเวลาหยุดชะงักของเครื่องจักรและลดความล่าช้าของโครงการได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยยังได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในลักษณะเชิงบูรณาการ ตั้งแต่การวางแผนต้นน้ำ การจัดการข้อมูล ไปจนถึงการประสานงานในระดับหน่วยงาน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางเชิงปฏิบัติสำหรับผู้รับเหมาหลักและผู้บริหารโครงการระบบรางในอนาคต โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้ช่วยเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยเดิมที่ยังขาดการเชื่อมโยงปัจจัยด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชนกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM ในบริบทของอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยอย่างเป็นระบบ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 พบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน ได้แก่ การวางแผนการจัดซื้อจัดหา การบริหารคลังวัสดุและอะไหล่ การขนส่ง และการสื่อสารข้อมูลระหว่างหน่วยงาน มีบทบาทสำคัญต่อความต่อเนื่องของการทำงานของเครื่องเจาะอุโมงค์ (TBM) และมีความเกี่ยวข้อง

โดยตรงกับการดำเนินงานหน้างานในโครงการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้า ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการ ดังนี้ ควรให้ความสำคัญกับการวางแผนโลจิสติกส์และซัพพลายเชนตั้งแต่ระยะเริ่มต้นโครงการ โดยบูรณาการแผนการจัดหาและการบริหารคลังวัสดุให้สอดคล้องกับแผนการขุดเจาะอุโมงค์ เพื่อให้วัสดุและอะไหล่มีความพร้อมใช้อย่างต่อเนื่อง ลดความเสี่ยงของการหยุดชะงักในการทำงานของเครื่อง TBM

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 2 พบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการจัดการโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดระยะเวลาและความล่าช้าของโครงการได้ ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการ ดังนี้ ควรพัฒนาระบบการสื่อสารและการไหลของข้อมูลในห่วงโซ่อุปทานให้มีความถูกต้องและทันเวลา รวมถึงส่งเสริมการประสานงานระหว่างผู้บริหารโครงการ วิศวกรสนาม และหน่วยงานโลจิสติกส์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจและลดคอขวดในการดำเนินงานหน้างาน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ข้อค้นพบหรือองค์ความรู้ที่สำคัญ คือ กรอบแนวคิดเชิงบูรณาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างระบบรางหรือโครงการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดใหญ่ในบริบทอื่น ๆ ได้อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ควรให้ความสำคัญกับความแตกต่างของลักษณะโครงการ สภาพพื้นที่ และโครงสร้างการบริหารจัดการของแต่ละองค์กร สำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาในประเด็นเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น ระบบสารสนเทศโลจิสติกส์ การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ หรือระบบซัพพลายเชนอัจฉริยะ เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพการบริหารจัดการและลดระยะเวลาในการดำเนินโครงการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยเครื่อง TBM อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางราง. (2566). *รายงานสถานการณ์โครงการก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนทางราง ประจำปี 2566*. กรุงเทพฯ: กระทรวงคมนาคม.
- AFTES. (2012). Recommendations on mechanized tunneling with tunnel boring machines. *Tunnels et Espace Souterrain*, 289, 45–68.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). London, England: Pearson Education.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (n.d.). *CSCMP supply chain management definitions and glossary*. Retrieved October 13, 2025, from <https://cscmp.org>
- Lee, H., Kim, J., & Park, S. (2023). Impact of supply chain coordination on tunnel boring machine performance in metro projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(4), 04023015.

- Meng, X., & Li, Q. (2023). Supply chain management in large-scale infrastructure projects: A systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(5), 2103–2128.
- Nguyen, T. D., & Tang, L. C. (2023). Supply chain flexibility and its impact on tunnel boring machine downtime reduction. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 138, 105167.
- Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6(3–4), 169–178.
- World Bank. (2024). *Infrastructure project delays in Southeast Asia: Causes and solutions*. Washington, DC: World Bank Group.
- Zhang, Y., Liu, S., & Wang, H. (2022). Procurement planning and material management in mega construction projects: A comprehensive framework. *International Journal of Project Management*, 40(7), 823–841.