

# สาเหตุความล่าช้าระหว่างการขุดเจาะอุโมงค์และก่อสร้างกำแพง ทึบน้ำในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน

## Cause of Delay During Tunnel and Diaphragm Wall Construction in A Subway Project

ปรีชาดี ชูบ่อฝ้าย สุวีรัตน์ ฤศลาชัย

สาขาวิชาบริหารการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### บทคัดย่อ

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นโครงการขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน การก่อสร้างดำเนินงานในชั้นใต้ดินจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีและเทคนิคการก่อสร้างขั้นสูง อีกทั้งยังมีความไม่แน่นอนระหว่างการดำเนินงานที่ผู้ก่อสร้างพึงคำนึงถึงในหลายๆด้าน ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงและความยุ่งยากที่จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างโครงการ อาทิ เช่น ลักษณะชั้นดินที่แตกต่างกัน ระบบน้ำใต้ดิน และสิ่งกีดขวางเส้นทางการก่อสร้าง เป็นต้น อีกทั้งในขั้นตอนของการขุดเจาะอุโมงค์ที่ผู้ก่อสร้างต้องมั่นใจว่า กำแพงทึบน้ำซึ่งเป็นผนังของสถานีรถไฟฟ้าจะต้องเสร็จสมบูรณ์ก่อนที่เครื่องขุดเจาะอุโมงค์จะมาถึง เนื่องจากการหยุดทำงานของหัวเจาะอุโมงค์ในระยะเวลาที่นานเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาทำให้หัวเจาะจมได้ บทความนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีผลต่อความไม่แน่นอนของอัตราการทำงานในส่วนของการขุดเจาะอุโมงค์และก่อสร้างกำแพงทึบน้ำของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ทั้งความถี่และระยะเวลาความล่าช้าที่เกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดความล่าช้าต่อครั้งที่นานที่สุดในการขุดเจาะอุโมงค์คือการเปลี่ยนกะการทำงาน และสภาพอากาศ รวมถึงความล่าช้าที่เกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งคานผนังอุโมงค์ ส่วนสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าของการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ คือ ความเสียหายของเครื่องจักร ทั้งในส่วนของหัวเจาะและรถเครน โดยสาเหตุดังกล่าวนี้มีทั้งค่าเฉลี่ยความล่าช้าต่อครั้งที่เกิดขึ้นและความถี่สูงสุด

**คำสำคัญ:** อัตราการทำงาน, อุโมงค์, กำแพงทึบน้ำ, รถไฟฟ้าใต้ดิน, ความล่าช้า

### Abstract

A subway construction project is a large and complex project. Underground construction requires advanced technologies and involves various risks that have direct effects on final cost and project duration. These risks include soil conditions, underground water level, and physical obstructions. Besides, during the process of drilling tunnel, the contractor must ensure that the construction of diaphragm walls is completed before the boring machine arrives. This is because TBM machine may sink if it is kept stationary. This paper presents the factors causing delays in tunnel and diaphragm wall construction of a subway project. Both the frequencies and the durations of delay are recorded and analyzed. The result shows that the main reasons causing delay during tunnel construction are the rotations of working shifts, bad weather conditions, and the delay occurred during the process of segment installation. During

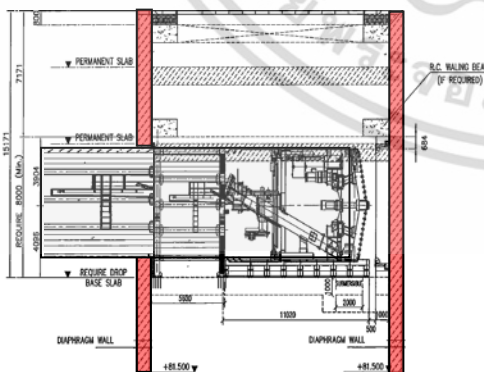
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

diaphragm wall construction, the production rates are mostly affected by the breakdown of either clamshells or cranes.

**Keywords:** Production rate, tunnel, diaphragm walls, subway, delay

## 1. บทนำ

โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นหนึ่งในโครงการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างวิถีชีวิตของชุมชนรอบข้างได้ดี ปัจจุบันในประเทศไทยมีรถไฟฟ้าใต้ดินที่เปิดให้บริการ คือ รถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล (สายสีน้ำเงิน) ซึ่งมีระยะทาง 21 กิโลเมตร และมีโครงการที่จะก่อสร้างในอนาคตอีก 54.3 กิโลเมตร (แผนแม่บทระบบขนส่งมวลชนทางรางในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พ.ศ. 2553 – 2572) การก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ส่วน คือ 1. อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ทำหน้าที่เป็นทางวิ่งรถไฟฟ้า 2. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ทำหน้าที่เป็นจุดจอดรับ-ส่งผู้โดยสารและ 3. ปylon ระบายอากาศมีลักษณะคล้ายสถานีแต่มีขนาดเล็กกว่า ทำหน้าที่ระบายอากาศภายในอุโมงค์และเป็นทางออกฉุกเฉิน ซึ่งอุโมงค์จะเป็นเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างสถานีรวมถึงปylon ระบายอากาศ โดยเครื่องขุดเจาะอุโมงค์จะขุดเจาะผ่านผนังของสถานีหรือกำแพงทึบน้ำ เพื่อทะลุออกไปยังสถานีถัดไป ดังนั้นการดำเนินการก่อสร้างอุโมงค์และกำแพงทึบน้ำของสถานีต้องมีความสอดคล้องกัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: เครื่องขุดเจาะอุโมงค์เจาะผ่านกำแพงทึบน้ำของสถานี

ระหว่างการดำเนินงานผู้ก่อสร้างต้องมั่นใจว่า กำแพงทึบน้ำซึ่งเป็นผนังของสถานีรถไฟจะต้องเสร็จสมบูรณ์

ก่อนที่เครื่องขุดเจาะอุโมงค์จะมาถึง เนื่องจากการหยุดทำงานของหัวเจาะอุโมงค์เป็นระยะเวลาที่นานเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาหัวเจาะจมได้ อีกทั้งการก่อสร้างยังมีความไม่แน่นอน อาทิเช่น ลักษณะพื้นที่ก่อสร้าง ชั้นดินที่แตกต่างกัน ระบบน้ำใต้ดิน สิ่งกีดขวางเส้นทางการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าอุปสรรคที่เกิดจากการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำมีหลากหลาย เช่น สุรจักร (2551) กล่าวว่า ปัญหาพฤติกรรม การเคลื่อนตัวทั้งในแนวดิ่งและแนวราบของกำแพงทึบน้ำระหว่างการขุด มีหลายปัจจัยตั้งแต่ ขั้นตอนการออกแบบ การเลือกวิธีการก่อสร้าง คุณภาพ และประสิทธิภาพของผู้ขุด โดยการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความลึกของกำแพงทึบน้ำ ดังนั้นสิ่งสำคัญในการก่อสร้างคือ การค้ำยันกำแพงทึบน้ำให้รวดเร็วและแน่นอนหนาเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัว[1] ณรงค์และชาญชัย (2552) กล่าวว่า การก่อสร้างกำแพงทึบน้ำของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินมักเกิดขึ้นบริเวณที่มีการจราจรแน่นหนา ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาทำงานของกิจกรรมจึงต้องถูกวางแผนเพื่อลดผลกระทบต่อจราจร เช่น การเทคอนกรีตและการขนย้ายดินออก มักหลีกเลี่ยงให้ไม่ตรงกับเวลาเร่งด่วน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เวลาในตอนกลางคืนเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น[2] นอกจากนี้ Poh and Wong. (1998) ได้ทำการตรวจสอบพฤติกรรมของกำแพงทึบน้ำโดยติดตั้งเครื่องทดสอบไว้ภายในผนังคอนกรีตพบว่า มี 2 สาเหตุหลักที่ทำให้คอนกรีตแตกร้าว คือ 1. ความเครียดและความร้อนเกิดขึ้นขณะที่คอนกรีตยังไม่ครบกำหนดอายุรับแรง และ 2. แรงดันดินและแรงดันน้ำทำให้คอนกรีตแตกร้าว ซึ่งมักจะพบเป็นรอยแตกในแนวนอน[3] Mohamed. (1999) ได้อธิบายถึงอุปสรรคระหว่างการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำว่าประกอบไปด้วย 4 สาเหตุหลักคือ การเกิด excessive slurry loss ระหว่างการขุด ซึ่งการเติมวัสดุประเภท plugging material เช่น ทรายในสารละลายเบนโทไนท์ช่วยให้การก่อสร้างทำได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหาการไม่ได้ตั้งระหว่างการขุดเจาะ 3. การรั่วซึมของคอนกรีตผ่าน end-plate ระหว่างการเท 4. ปัญหาน้ำซึมตามรอยต่อหลังจากขุดดินด้านในกำแพงที่บ่อน้ำซึ่งอาจจะแก้ไขโดยการ jet grouting ด้านหลังกำแพง [4] จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้ก่อสร้างต้องวางแผนงานอย่างรอบคอบ หากเกิดเหตุขัดข้องขึ้นจะส่งผลกระทบต่อโครงการก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องเรียนรู้ข้อมูลจากโครงการในอดีต บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีผลต่ออัตราการทำงานในส่วนของ การขุดเจาะอุโมงค์และก่อสร้างกำแพงที่บ่อน้ำของสถานีรถไฟใต้ดิน

## 2. การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดิน (Tunnel)

โครงการในกรณีศึกษา คือ โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน ส่วนต่อขยาย (หัวลำโพง-บางแค) มีระยะทางทั้งหมด 26.93 กิโลเมตร เป็นทางยกระดับประมาณ 21.5 กิโลเมตร โดยทำการเก็บข้อมูลในส่วนของ การก่อสร้างใต้ดินช่วงหัวลำโพง-ท่าพระ เป็นระยะทางประมาณ 5.42 กิโลเมตร แบ่งเป็น 2 สัญญา ดังนี้ สัญญาที่ 1 ช่วงหัวลำโพง-สนามไชย ระยะทางประมาณ 2.85 กิโลเมตร ประกอบด้วย 2 สถานี คือ สถานีวัดมังกรและสถานีวังบูรพา และ 2 ปล่องระบายอากาศ คือ IVS1 และ IVS2 มีผู้รับจ้างคือ บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเมนต์ จำกัด (มหาชน) และสัญญาที่ 2 ช่วงสนามไชย-ท่าพระ ระยะทาง 2.57 กิโลเมตร ประกอบด้วย 2 สถานี คือ สถานีสนามไชยและสถานีอิสรภาพ และ 1 ปล่องระบายอากาศ คือ IVS3 มีผู้รับจ้างคือ บริษัท ช.การช่าง จำกัด (มหาชน)

การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดินอาศัยเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ชนิดแรงดันดินสมดุล เรียกว่า Tunnel Boring Machine (TBM) ใช้ระบบ Earth Pressure Balance (EPB) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยเฉพาะการขุดผ่านชั้นดินเหนียวซึ่งพบมากในกรุงเทพมหานคร โดยจะทำการก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นดินที่มีความลึกประมาณ 20-30 เมตร. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.7 เมตร ประกอบด้วยขั้นตอนการก่อสร้างทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือการขุดเจาะอุโมงค์ (Excavation) การติดตั้งคานผนังอุโมงค์ (Segment Erection) การอัดฉีดน้ำปูน (Grouting) อธิบายได้ดังรูปที่ 2

| ระยะเวลา (min) | 30      | 60         | 90        | 120        | 150       | 180        | 210       |
|----------------|---------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| วันที่         | ขุดเจาะ | ติดตั้งคาน | ฉีดน้ำปูน |            |           |            |           |
| วันที่         |         |            | ขุดเจาะ   | ติดตั้งคาน | ฉีดน้ำปูน |            |           |
| วันที่         |         |            |           |            | ขุดเจาะ   | ติดตั้งคาน | ฉีดน้ำปูน |

รูปที่ 2: ขั้นตอนการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้

เครื่องขุดเจาะ TBM

ขั้นตอนการขุดเจาะอุโมงค์ (Excavation) แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การขุดเจาะอุโมงค์ในช่วงแรก (Initial Drive) เป็นการขุดเจาะอุโมงค์ในช่วงเริ่มต้นมีระยะทางประมาณ 100-150 เมตร อัตราการขุดเจาะจะถูกกำหนดให้ต่ำกว่าปกติ เพราะอยู่ในช่วงทดลองเครื่องและอยู่ในช่วงการเรียนรู้การทำงานของบุคลากร (Learning Period) เมื่อขุดเจาะได้ครบระยะทาง จะหยุดเดินเครื่องเพื่อติดตั้งระบบสนับสนุนจนเสร็จสมบูรณ์จึงจะเข้าสู่การขุดเจาะอุโมงค์ในช่วงหลัก (Main Drive) ซึ่งกำหนดให้มีอัตราการขุดเจาะตามปกติ มีระบบลำเลียงดินออกด้วยระบบสายพาน (Belt Conveyor) การก่อสร้างมี 2 อุโมงค์สำหรับขาไปและขากลับ การวางตัวของอุโมงค์มี 2 แบบ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสถานี คือ การก่อสร้างอุโมงค์แบบคู่ขนานแนวราบ (Horizontal dual tunnel) และการก่อสร้างอุโมงค์แบบคู่ขนานแนวตั้ง (Vertical stack tunnel) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3a: Horizontal dual tunnel

รูปที่ 3b: Vertical stack tunnel

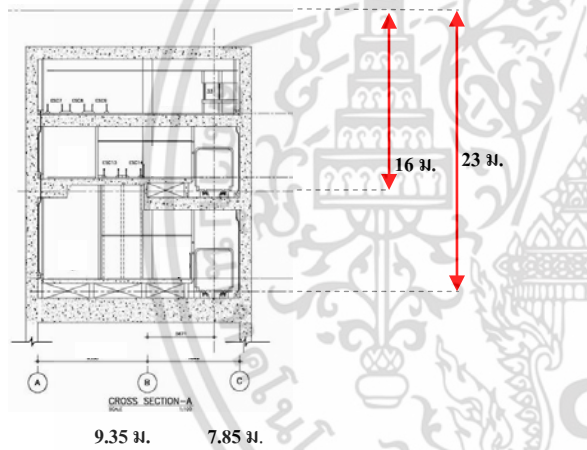
ในแต่ละรอบการทำงาน เริ่มจากการขุดเจาะดินจากนั้นเป็นการติดตั้งคานผนังอุโมงค์ (Erection segment) ซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ (Pre-Cast Reinforce Concrete Segmental) มีความกว้าง 1.20 เมตร หนา 0.30 เมตร รอบขอบคานผนังอุโมงค์จะติดแผ่นยาง (Neoprene) ที่สามารถพองตัวได้เมื่อสัมผัสกับน้ำซึ่งจะช่วยปิดรอยต่อระหว่างคานผนังอุโมงค์ให้ที่บ่อน้ำ การติดตั้งคานผนังอุโมงค์จะเริ่มจากส่วนล่าง (Invert) และติดตั้งชิ้นส่วนที่เล็กที่สุดเป็นชิ้นสุดท้าย เรียกว่า Key Segment เพื่อกำหนดทิศทางของอุโมงค์ โดยแต่ละชิ้นส่วนจะถูกยึดเข้ากันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลักเกลียวทั้งสองแนวเพื่อยึดแน่น สุดท้ายเป็นชั้นตอนของการฉีดน้ำปูน (Grouting) เพื่อปิดรอยต่อป้องกันน้ำไหลซึมเข้าสู่อุโมงค์ น้ำปูนที่นำมาใช้งานต้องมีกำลัง (Strength) ที่เพียงพอต่อการรับแรงดันดินบริเวณรอบคาคมนั่งอุโมงค์โดยกำลังการรับแรงของน้ำปูนจะแปรผันตามสภาพดินที่ขุดเจาะ ซึ่งในขณะที่ส่วนท้ายของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์อัดฉีดน้ำปูนอยู่นั้นส่วนหน้าของเครื่องขุดเจาะจะขุดดินไปพร้อมกัน

**3. การก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ (Diaphragm walls)**

กำแพงทึบน้ำทำหน้าที่เป็นผนังของสถานีรถไฟใต้ดิน โดยลักษณะโครงสร้างส่วนใหญ่ของสถานีเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความกว้างประมาณ 18-25 เมตร ยาวประมาณ 150-200 เมตร ความลึกขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของสถานี ตั้งแต่ 15-50 เมตร ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4: ภาพตัดของสถานีรถไฟใต้ดิน

งานก่อสร้างกำแพงทึบน้ำเริ่มต้นหลังจากการรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคเสร็จสิ้นลง โดยจะทำการก่อสร้างทีละแผง มีขนาดความหนาไม่น้อยกว่า 1.0 เมตร ความกว้าง 3.0 เมตร และ 4.5 เมตร ความลึกขึ้นอยู่กับสถานี ชั้นตอนการก่อสร้างเริ่มจากการขุดดินเพื่อทำร่องคอนกรีตเสริมเหล็กหรือเรียกว่า Guide wall ลึกประมาณ 1.0-2.0 เมตร จากนั้นใช้ Hydraulic bucket clamshell ขุดดินตามแนวตั้ง ขณะเดียวกันผนังดินจะถูก Bentonite slurry ดันดันไว้ไม่ให้ดินพัง เมื่อขุดได้ความลึกตามที่ต้องการ จึงทำความสะอาดก้นหลุม (Desand) และหย่อนแผงเหล็กเสริมลงในหลุม จากนั้นจึงใช้ Tremie Pipe เทคอนกรีตจากก้นหลุมให้ท่วมจมอยู่ในเนื้อคอนกรีตประมาณ 1-3 เมตร

**4. ความล่าช้าในงานก่อสร้างรถไฟใต้ดิน**

การวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการก่อสร้างอุโมงค์ และ การก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ ในส่วนของการก่อสร้างอุโมงค์ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลบันทึกการทำงานในแต่ละวันจากผู้ประกอบการ พบว่าจากรอบการทำงานของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์จำนวน 585 รอบ มีสาเหตุหลักของความล่าช้าที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม ดังตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระยะเวลาที่ล่าช้ารวมถึงความถี่แสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 1. สาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างอุโมงค์

| กลุ่มความล่าช้า                       | สาเหตุความล่าช้าที่เกิดขึ้น   |
|---------------------------------------|---|
| ช่วงการขุดเจาะอุโมงค์                 | - ระบบไฮดรอลิกขัดข้อง<br>- สายพานลำเลียงดินขัดข้อง<br>- สกรูลำเลียงดินขัดข้อง<br>- ระบบสำรวจขัดข้อง |
| ช่วงการติดตั้งคาคมนั่งอุโมงค์         | - รอกและเครนขัดข้อง<br>- ระบบติดตั้งคาคมนั่งอุโมงค์ขัดข้อง  |
| ช่วงการอัดฉีดน้ำปูน                   | - ระบบอัดฉีดน้ำปูนขัดข้อง<br>- ระบบการผลิตน้ำปูนขัดข้อง   |
| การขนส่งวัสดุอุปกรณ์ภายในอุโมงค์      | - รอคอยวัสดุ<br>- รอคอยสายพานลำเลียงดิน<br>- รอคอยคาคมนั่งอุโมงค์<br>- รอคอยบอดินระบายดินออก        |
| การติดตั้งและตรวจสอบระบบสนับสนุนอื่นๆ | - ติดตั้งสายพานลำเลียงดิน<br>- ต่อราง, ไฟฟ้า, งานระบบ<br>- เปลี่ยนกะทำงาน, ฝนตกหนัก                 |

ตารางที่ 2. การกระจายตัวและระยะเวลาเฉลี่ยของแต่ละสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างอุโมงค์

| ความล่าช้า                       | ประเภทการกระจายตัว | ค่าเฉลี่ย | ส่วนเบี่ยงเบน |
|----------------------------------|--------------------|-----------|---------------|
|                                  |                    | (นาที)    | มาตรฐาน       |
| ช่วงการขุดเจาะอุโมงค์            | Weibull            | 60.6      | 39.8          |
| ช่วงการติดตั้งคาคมนั่งอุโมงค์    | Gamma              | 69.1      | 62.9          |
| ช่วงการอัดฉีดน้ำปูน              | Weibull            | 49.6      | 76.6          |
| การขนส่งวัสดุอุปกรณ์ภายในอุโมงค์ | Lognormal          | 44.1      | 55.3          |

เข้าสู่วาระอันเป็นที่ประจักษ์แก่สายตาของสาธารณชน ซึ่งการดำเนินงานเพื่อการศึกษานี้จะไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                      |         |      |      |
|----------------------|---------|------|------|
| การติดตั้งและตรวจสอบ | Weibull | 59.9 | 39.2 |
| ระบบสนับสนุนการทำงาน |         |      |      |
| อื่นๆ                | Weibull | 69.4 | 65.3 |

จากข้อมูลการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำของโครงการในกรณีศึกษาทั้งหมดจำนวน 158 แห่ง สามารถวิเคราะห์หาความล่าช้าได้ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มหลักดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3. ความถี่ของแต่ละสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างอุโมงค์

| ความล่าช้า                                      | ความถี่ (ครั้ง) | ร้อยละของความถี่ |
|---|-----------------|------------------|
| <b>ช่วงการขุดเจาะอุโมงค์</b>                    | <b>121</b>      | <b>24.74</b>     |
| ระบบไฮดรอลิกขัดข้อง                             | 8               | 1.64             |
| สายพานลำเลียงดินขัดข้อง                         | 11              | 2.25             |
| สกรูลำเลียงดินขัดข้อง                           | 3               | 0.61             |
| ระบบสำรวจขัดข้อง                                | 99              | 20.25            |
| <b>ช่วงการติดตั้งดาตผนังอุโมงค์</b>             | <b>38</b>       | <b>7.77</b>      |
| รอกและเครนขัดข้อง                               | 35              | 7.16             |
| ระบบติดตั้งดาตผนังอุโมงค์ขัดข้อง                | 3               | 0.61             |
| <b>ช่วงการอัดคาน้ำปูน</b>                       | <b>48</b>       | <b>9.82</b>      |
| ระบบอัดคาน้ำปูนขัดข้อง                          | 5               | 1.02             |
| ระบบการผลิตน้ำปูนขัดข้อง                        | 43              | 8.79             |
| <b>การขนส่งวัสดุอุปกรณ์ภายในอุโมงค์</b>         | <b>125</b>      | <b>25.56</b>     |
| รอกยกวัสดุ                                      | 16              | 3.27             |
| รอกยกสายพานลำเลียงดิน                           | 50              | 10.22            |
| รอกยกดาตผนังอุโมงค์                             | 43              | 8.79             |
| รอกยกบ่อดินระบายดินออก                          | 16              | 3.27             |
| <b>การติดตั้งและตรวจสอบระบบสนับสนุนการทำงาน</b> | <b>141</b>      | <b>28.83</b>     |
| ติดตั้งสายพานลำเลียงดิน                         | 6               | 1.23             |
| ต่อราง, ไฟฟ้า, งานระบบ                          | 135             | 27.61            |
| <b>อื่นๆ</b>                                    | <b>16</b>       | <b>3.27</b>      |
| เปลี่ยนกะทำงาน                                  | 7               | 1.43             |
| ฝนตกหนัก  | 9               | 1.84             |

ตารางที่ 4. สาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ

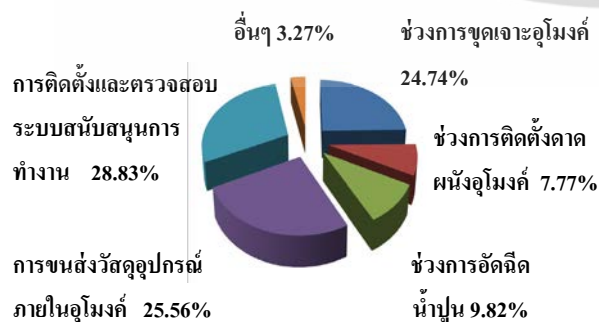
| กลุ่มความล่าช้า               | สาเหตุความล่าช้าที่เกิดขึ้น |
|-------------------------------|-----------------------------|
| ช่วงการขุดดินและวางเหล็กเสริม | - ขุดดินไม่ได้ตั้ง          |
|                               | - ดินถล่มภายในหลุมเจาะ      |
| ช่วงการเทคอนกรีต              | - เตรียมพื้นที่เทปูน        |
|                               | - รอรอดดิน                  |
| การรอกคอยอุปกรณ์ในการทำงาน    | - รอรอดเครน                 |
|                               | - หัวเจาะเสีย               |
| ความเสียหายของเครื่องจักร     | - รถเครนเสีย                |
|                               | - หยุดทำงานเพราะเสียงดัง    |
| อื่นๆ                         | - เปลี่ยนกะการทำงาน         |

ตารางที่ 5. การกระจายตัวและระยะเวลาเฉลี่ยของแต่ละสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ

| ความล่าช้า                 | ประเภทการกระจายตัว | ค่าเฉลี่ย (นาทีก) | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| ช่วงการขุดดินและวางเหล็ก   | Exponential        | 91.4              | 73.4                 |
| ช่วงการเทคอนกรีต           | Beta               | 73.3              | 27.1                 |
| การรอกคอยอุปกรณ์ในการทำงาน | Exponential        | 99.5              | 94.7                 |
| ความเสียหายของเครื่องจักร  | Exponential        | 169               | 150                  |
| อื่นๆ                      | Exponential        | 127               | 107                  |

ตารางที่ 6. ความถี่ของแต่ละสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ

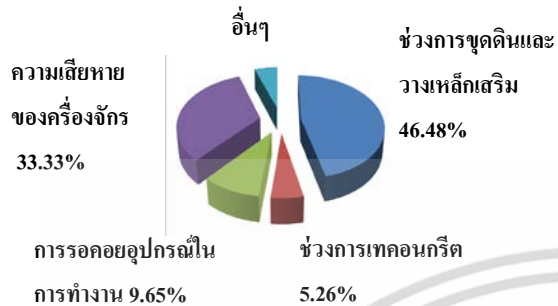
| ความล่าช้า                    | ความถี่ (ครั้ง) | ร้อยละของความถี่ |
|-------------------------------|-----------------|------------------|
| ช่วงการขุดดินและวางเหล็กเสริม | 53              | 46.48            |
| ขุดดินไม่ได้ตั้ง              | 46              | 40.34            |
| ดินถล่มภายในหลุมเจาะ          | 7               | 6.14             |
| ช่วงการเทคอนกรีต              | 6               | 5.26             |
| เตรียมพื้นที่เทปูน            | 6               | 5.26             |
| การรอกคอยอุปกรณ์ในการทำงาน    | 11              | 9.65             |
| รอรอดดิน                      | 4               | 3.51             |
| รอรอดเครน                     | 7               | 6.14             |
| ความเสียหายของเครื่องจักร     | 38              | 33.33            |
| หัวเจาะเสีย                   | 22              | 19.30            |



รูปที่ 5: แผนภาพแสดงสัดส่วนความล่าช้าในการก่อสร้างอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                        |    |       |
|------------------------|----|-------|
| รถเครนเสีย             | 16 | 14.03 |
| อื่นๆ                  | 6  | 5.26  |
| หยุดทำงานเพราะเสียงดัง | 4  | 3.51  |
| เปลี่ยนกะการทำงาน      | 2  | 1.75  |



รูปที่ 6: แผนภาพแสดงสัดส่วนความล่าช้าในการก่อสร้างกำแพงทึบหน้า

## 5. สรุปผล

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่มีผลต่ออัตราการทำงานในส่วนของการขุดเจาะอุโมงค์พบว่า ความล่าช้าอื่นๆ (3.27%) และการติดตั้งคานผนังอุโมงค์ (7.77%) มีค่าเฉลี่ยของความล่าช้าเกิดขึ้นสูงที่สุด แต่เมื่อวิเคราะห์ความถี่ที่เกิดขึ้นกลับพบว่าความถี่ของทั้งสองสาเหตุไม่สูงนักเมื่อเทียบกับ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งและตรวจสอบระบบสนับสนุนการทำงาน (28.83%) ส่วนสาเหตุหลักที่หลักที่มีผลต่อการก่อสร้างกำแพงทึบหน้าซึ่งก่อให้เกิดการหยุดชะงักของการทำงาน คือ ความเสียหายของเครื่องจักร ซึ่งก่อให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่อครั้งนานที่สุดและมีความถี่เกิดขึ้นถึงร้อยละ 33.33 และเมื่อได้วิเคราะห์ในเชิงลึกพบว่า ความล่าช้าดังกล่าวเกิดจากหัวเจาะและรถเครนเสีย โดยมีค่าเฉลี่ยเกิดขึ้นต่อครั้งนานถึง 158 นาที และ 184 นาทีตามลำดับ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการทำงานอย่างชัดเจน

จากข้อมูลดังกล่าวผู้ก่อสร้างสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการป้องกันความล่าช้าที่เกิดขึ้นเพื่อลดความไม่แน่นอนที่จะส่งผลกระทบต่ออัตราการทำงานของโครงการ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจาก การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) บริษัทที่ปรึกษาด้านการบริหารจัดการโครงการ (PMCBL) โดยกลุ่ม PMC INDEX GROUP CONSORTIUM และบริษัทที่ปรึกษาควบคุมการก่อสร้าง (CSCBL) จากกลุ่ม CSC MAA CONSORTIUM รวมถึงบริษัทผู้รับเหมางานก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน ส่วนต่อขยาย

สัญญาที่ 1 โดยบริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด มหาชน และ สัญญาที่ 2 โดยบริษัท บริษัท ช.การช่าง จำกัด มหาชน

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Sampantarak, "The selection of soft clay retaining structure for prevention of movements and soil parameters selection for design," Civil engineering magazine, Vol.20, No.1, pp. 20-34, Jan.-Feb, 2551.
- [2] N. Thasnanipan and C. Submanee Wong, "Evolution of diaphragm wall works in Thailand," Civil engineering magazine, Vol.21, No.3, pp.13-25, 2552.
- [3] T. Y. Poh and I. H. Wong, "Effect of construction of diaphragm wall panels on adjacent ground: Field trial," Journal of geotechnical and geo-environmental engineering. Pp.749-756, 1989.
- [4] M. Emam Abd, "New method for construction of diaphragm walls," Journal of construction engineering and management, pp.233-241, May-Jun, 1999.
- [5] K. Singtogaw, S. Suraunggool and S. Pravesvararat, "Construction of diaphragm wall and barrette for Thiam-ruam-mit station box, Chaloen - Ratchamongkhon line," Civil engineering Journal, Vol.16, No.2, pp.18-23, Mar.-Apr, 2556.
- [6] P. Pokakon and V. Likhitrungsilp, "Analysis of delay tunneling processes: a case study of an EPB shield tunneling project," 14th National Convention on Civil Engineering journal, pp.713-719, 1992.

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้