

# Tunnel Convergence Monitoring

## เบื้องหลังความปลอดภัยของอุโมงค์รถไฟฟ้า



การรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

งานก่อสร้างขนาดใหญ่มักมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก โดยเฉพาะเมื่ออุบัติเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นที่และโครงสร้างที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า โครงการก่อสร้างจึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันและระบบติดตามตรวจสอบเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างปลอดภัย หนึ่งในมาตรการสำคัญคือ “การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์” หรือ “Tunnel Convergence Monitoring”

### Convergence Monitoring คืออะไร ทำไมต้องทำ?

เมื่อมีการขุดเจาะอุโมงค์ หินรอบอุโมงค์จะเสียสมดุลและเกิดการขยับตัวตามธรรมชาติ จึงต้องติดตั้งระบบค้ำยันผนังอุโมงค์หลังขุดเจาะ เช่น คอนกรีตพ่นเสริมตะแกรงเหล็ก เหล็กสลักยึดหิน และโครงเหล็กค้ำยัน แต่เท่านั้นยังไม่เพียงพอ เพราะสภาพธรณีวิทยาในพื้นที่ทุกขุมมีความซับซ้อนและแปรปรวน ข้อมูลจากการสำรวจล่วงหน้าอาจยังไม่สะท้อนพฤติกรรมของหินได้ครบถ้วน การติดตามผลจริงระหว่างการก่อสร้างจึงมีความจำเป็น

**Convergence Monitoring** คือ การวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ หลังการขุดเจาะเมื่อมวลหินรอบอุโมงค์ปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ โดยติดตั้งเป้าสะท้อนแสง (Reflective Targets) หรือเป้าแบบปริซึม (Prism Targets) บนผนังและเพดานอุโมงค์ แล้วเปรียบเทียบกับระยะห่างกับค่าที่กำหนดไว้ตั้งแต่เริ่มต้น ข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้วิศวกรและผู้ปฏิบัติงานทราบว่าจะระบบค้ำยันที่ติดตั้งยังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือควรเสริมความแข็งแรงเพิ่มเติม

### ตรวจวัดและดูผลลัพธ์อย่างไร?

#### การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ (Tunnel Convergence Monitoring): ภูเขาสำคัญสู่ความปลอดภัยในการขุดเจาะ

การขุดเจาะอุโมงค์ด้วยวิธี Drill and Blast ส่งผลต่อความสมดุลของชั้นหิน การตรวจวัด Convergence monitoring จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยให้วิศวกรทราบว่าจะระบบค้ำยันที่ติดตั้งไปนั้นเพียงพอหรือไม่ โดยวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์เพื่อประเมินเสถียรภาพและป้องกันภัยพิบัติระหว่างปฏิบัติงาน

**วิธีการและเทคนิคการตรวจวัด**

วัดการเคลื่อนตัวครอบคลุม 3 ทิศทาง (ความถี่แนวตั้ง) แนวขวาง (ความถี่แนวตั้ง) และแนวตามยาว (ผลกระทบจากการระเบิด)

ติดตั้งเป้าสะท้อนแสงตามคุณภาพชั้นหิน

หินดี (Fair to Good) ติดตั้ง 3 จุดทุก 50 เมตร

หินแย (Poor to Very Poor) ติดตั้ง 5 จุดทุก 25 เมตร

**การแปลผลและการตัดสินใจ**

ระยะ 3-5 มม. คือระดับที่ปลอดภัย มีระบบค้ำยันทำงานที่มีประสิทธิภาพและไม่ต้องตัดค้ำยันการเสริมเติม

วิกฤต หากเคลื่อนตัวมากกว่า 10 มม. ต้องรีบเสริมระบบค้ำยันทันที เช่น เพิ่มความหนา ข้อต่อค้ำยันหรือเพิ่มจำนวนค้ำยัน

**กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีแดง**

พบการเคลื่อนตัวเฉลี่ยเพียง 3-5 มม. สะท้อนการออกแบบระบบค้ำยันที่สมบูรณ์

**เปรียบเทียบมาตรฐานการติดตั้งจุดวัดตามคุณภาพของหิน**

คุณภาพหิน (Rock Type)	จำนวนจุดตรวจวัด	ระยะห่างในการติดตั้ง
หินดี (Fair to Good)	3 ตำแหน่ง	ทุก 50 เมตร
หินแย (Poor to Very Poor)	5 ตำแหน่ง	ทุก 25 เมตร

**ความถี่สูงสุดในสัปดาห์แรกที่ขุดเจาะ**  
ตรวจวัดทุกวันในสัปดาห์แรก และลดความถี่ลงจนกว่าทำการเคลื่อนตัวคงที่

การตรวจวัด จะดูการเคลื่อนตัว ใน 3 ทิศทาง ได้แก่

- **แนวตั้ง**  
วัดการเคลื่อนตัวของเพดานและพื้นอุโมงค์
- **แนวขวาง**  
วัดการเคลื่อนตัวของผนังซ้าย-ขวา
- **แนวแกนอุโมงค์**  
วัดการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของอุโมงค์

### จำนวนและตำแหน่งของจุดตรวจวัดขึ้นอยู่กับคุณภาพของหิน

ตามการประเมินของวิศวกรอุโมงค์และนักธรณีวิทยาพร้อมกัน “กรณีหินดี” (Fair to Good) จะติดตั้งจุดวัด 3 ตำแหน่ง ระยะห่าง 50 เมตร “กรณีหินแย” (Very Poor to Poor) จะติดตั้งจุดวัด 5 ตำแหน่ง ระยะห่าง 25 เมตร

ในช่วงสัปดาห์แรกหลังขุดเจาะการเคลื่อนตัวของ ผนังอุโมงค์ จะเกิดขึ้นรวดเร็ว จึงต้องตรวจวัดทุกวัน เมื่อแนวโน้มเริ่มคงที่จึงลดความถี่ลงเหลือวันเว้นวัน เดือนละครั้ง และหยุดการตรวจวัดได้เมื่อผลค่าการเคลื่อนตัวคงที่

### ผลการตรวจวัด

หากพบการเคลื่อนตัวเพียง 3-5 มิลลิเมตร แสดงว่าระบบค้ำยันยังทำงานได้ดีและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่หากการเคลื่อนตัวมากกว่า 10 มิลลิเมตร จะถือว่าระบบค้ำยันไม่เพียงพอและต้องเสริมความแข็งแรงทันที

### ตัวอย่างผลการตรวจวัดจากโครงการจริง

ในโครงการรถไฟฟ้าสายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ สัญญาที่ 1 ช่วง เด่นชัย-งาว อุโมงค์สองและอุโมงค์ยาว พบว่าจุดส่วนใหญ่มีการเคลื่อนตัวเพียง 3-5 มิลลิเมตร และไม่มีจุดใดเกิน 10 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าระบบค้ำยันที่ออกแบบไว้มีประสิทธิภาพ และการก่อสร้างเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย

การตรวจวัด Tunnel Convergence Monitoring เป็นเครื่องมือสำคัญในการเฟ้ระวังความมั่นคงของอุโมงค์อย่างต่อเนื่อง ใช้เวลาไม่นาน ค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่ให้ข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจด้านความปลอดภัยได้อย่างชัดเจน เพื่อให้งานก่อสร้างอุโมงค์ ปลอดภัยและรองรับการใช้งานในระยะยาว