

## การวิเคราะห์สภาพทางเพื่อวางแผนซ่อมบำรุงทางรถไฟแบบหินโรยทางในประเทศไทย Condition Analysis of Ballasted Track for Maintenance Planning in Thailand

โอจักรพรรดิ สุขชัยสิทธิ์<sup>1,\*</sup> และ พิษณุ พลกายนุวัตร<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์บำรุงทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย จ.สระบุรี

<sup>2</sup> กองวิเคราะห์วิจัย ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร

\*Corresponding author; E-mail address: japanji1@outlook.com

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานระบบรางอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่เส้นทางใหม่ สายบ้านไผ่-นครพนม และ สายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ และโครงการรถไฟความเร็วสูงเพื่อเชื่อมโยงภูมิภาคช่วงกรุงเทพมหานคร-หนองคาย ทั้งนี้ทางรถไฟส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นทางประเภทหินโรยทางที่มีพฤติกรรมสามารถเคลื่อนตัวได้เมื่อได้รับปัจจัยทำลายสภาพทางเช่น น้ำหนักผ่านทาง และสภาพอากาศส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวของหินโรยทาง หรือทำให้หินโรยทางสึกกร่อน มีขนาดเปลี่ยนแปลง ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้มีมิติทางเรขาคณิตของทางรถไฟเกิดความคลาดเคลื่อน และเกิดความไม่ปลอดภัยต่อการเดินรถ ในการวิเคราะห์สภาพทาง ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตเช่นระดับตามยาว, แนวราบ ฯลฯ จะถูกนำมาคำนวณเป็นดัชนีสภาพทาง (Track Quality Index) เมื่อเวลาผ่านไปปัจจัยทำลายสภาพทางจะส่งผลให้ดัชนีสภาพทางจะเพิ่มขึ้น จนกว่าจะมีการซ่อมทางรถไฟและทำให้ดัชนีสภาพทางลดลง ดังนั้นการวิเคราะห์สภาพทางคือ การคำนวณอัตราการเติบโตของดัชนีสภาพทาง และคาดการณ์ระยะเวลาที่ดัชนีสภาพทางจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับดัชนีสภาพทางเป้าหมาย ทำให้สามารถใช้งบประมาณในการบำรุงทาง ลดลงหนึ่งในสามเทียบกับการวางแผนงานบำรุงตามขั้นทางในอดีต

คำสำคัญ: ทางรถไฟ, ดัชนีสภาพทาง, การวิเคราะห์สภาพทาง

### Abstract

Thailand is currently undergoing significant development in railways infrastructure, including the construction of new double-track railways such as the Ban Phai - Nakhon Phanom route and the Den Chai - Chiang Rai - Chiang Khong route, as well as high-speed train projects to connect the Bangkok - Nong Khai region. The majority of railways in Thailand utilize ballast tracks, which are deformable under the influence of factors such as axle load and weather conditions. These factors can lead to ballast deformation, degradation, and changes in grain size distribution of ballast. Consequently, the geometric dimensions of the railway track deviate, posing safety risks to

train operations. In track condition analysis, geometric deviations such as longitudinal level and alignment are used to calculate the Track Quality Index (TQI). Over time, these deteriorating factors cause the TQI to increase until track maintenance is performed and the TQI is reduced. Therefore, track condition analysis involves calculating the rate of TQI growth and predicting the time it takes for the TQI to reach the target TQI value. This approach enables a reduction in track maintenance costs by one-third compared to traditional maintenance planning.

Keywords: Railway, Track quality index, Track condition analysis

### 1. บทนำ

การบำรุงรักษาทางรถไฟในอดีตมักใช้แนวทางการวางแผนตามวาระคงที่ เช่น กำหนดให้อัดหินทุก 1 ปี โดยไม่ได้คำนึงถึงสภาพทางจริงในแต่ละกิโลเมตร ส่งผลให้เกิดทั้งการซ่อมมากเกินจำเป็นในบางช่วง และขาดการบำรุงในช่วงที่ควรดำเนินการอย่างเร่งด่วน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ดัชนีสภาพทาง (Track Quality Index: Q.I. หรือ TQI) เพื่อคำนวณอัตราการเสื่อมสภาพ และกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานบำรุงทาง

บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อัตราการเติบโตของค่าดัชนีสภาพทางจากข้อมูลจริงในช่วง กม.91+000 ถึง กม.177+000 ระหว่างสถานีชุมทางบ้านภาชี (กม.89+950)-สถานีปากช่อง (กม.179+930) ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของแขวงบำรุงทางแก่งคอย กองบำรุงทางเขตสุรินทร์ ศูนย์บำรุงทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย และเปรียบเทียบแนวทางการวางแผนการบำรุงทางแบบเดิมกับแนวทางที่ใช้ข้อมูลจริงเป็นตัวกำหนด เพื่อให้สามารถเสนอแนวทางการวางแผนงานบำรุงทางที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

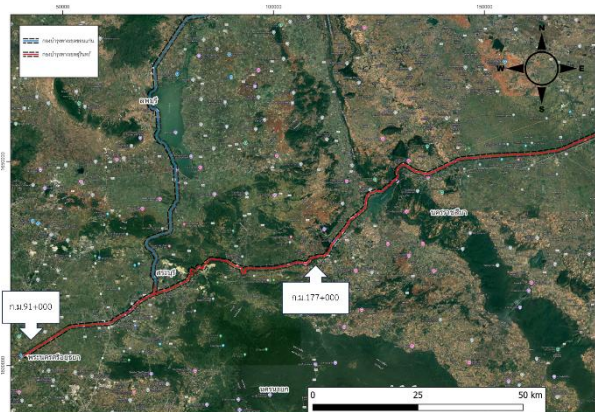
### 2. โครงสร้างทางรถไฟและบริบทของพื้นที่ศึกษา

โครงสร้างทางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบ "หินโรยทาง" (Ballasted Track) ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ รางเหล็ก

หมอนคอนกรีต หินโรยทาง และชั้นรองรับใต้หิน (Sub-ballast/Subgrade) โครงสร้างประเภทนี้มีข้อดีด้านความยืดหยุ่นในการดูดซับแรงและถ่ายต่อการซ่อมบำรุง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่ชัดเจน โดยเฉพาะความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและชนิดทาง เช่น แนวราง ระดับตามยาว-ขวาง หรือค่า ทวิสต์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าดัชนีสภาพทางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

พื้นที่ศึกษาคือพื้นที่รับผิดชอบของแขวงบำรุงทางแก่งคอย (สบท.กค.) การรถไฟแห่งประเทศไทย ช่วงทางรถไฟทางคู่ระหว่าง กม.91+000 ถึง กม.134+000 (ระยะทางรถไฟ 87.62 กิโลเมตร) และทางรถไฟทางเดี่ยวระหว่าง กม.135+000 ถึง กม.177+000 (ระยะทางรถไฟ 42.00 กิโลเมตร) รวมระยะทางรถไฟ 129.62 กิโลเมตร อยู่ระหว่างสถานีชุมทางบ้านภาชี (กม.89+950)-สถานีปากช่อง (กม.179+930) ในเส้นทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีลักษณะภูมิประเทศ ทางราบ ทางโค้ง และทางลาด รวมถึงบางช่วงที่ผ่านเขตภูเขา เช่น เขาแคน และบริเวณใกล้อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของทางอย่างรวดเร็ว

พื้นที่ดังกล่าวอยู่ในความรับผิดชอบของแขวงบำรุงทางแก่งคอย กองบำรุงทางเขตสุรินทร์ ศูนย์บำรุงทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการวางแผนการอัดหินและบำรุงทางอย่างสม่ำเสมอ โดยปัจจุบันมีการนำ รถตรวจสภาพทาง EM 120 มาใช้ในการประเมินคุณภาพทาง และจัดทำข้อมูลเพื่อวางแผนรื้อบวระการซ่อมทางด้วยรถอัดหินให้เหมาะสมกับสภาพจริงของแต่ละช่วงกิโลเมตร



รูปที่ 1 พื้นที่แขวงบำรุงทางแก่งคอย กม.91+000 ถึง กม.177+000

### 3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของทางรถไฟ

การเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางรถไฟเกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน ทั้งจากการใช้งานจริงและสภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนของรูปร่างและชนิดทางเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นปัจจัยได้ดังนี้

#### 3.1 น้ำหนักผ่านทางและปริมาณการจราจร

รถไฟที่วิ่งผ่านเส้นทางในแต่ละวัน โดยเฉพาะขบวนรถบรรทุกหนัก เช่น รถสินค้า หรือรถโดยสารทางไกล จะส่งแรงกระทำซ้ำ ๆ ลงบนโครงสร้างทาง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของหินโรยทาง การเสียสมดุลของหมอน และความเปลี่ยนแปลงในแนวราง

#### 3.2 ความเร็วขบวนรถไฟ

การเดินรถด้วยความเร็วสูงทำให้แรงสั่นสะเทือนและแรงเฉือนในจุดสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วงโค้งหรือเนินลาด ซึ่งมีผลต่อการเสื่อมของหินโรยและความเสถียรของแนวราง

#### 3.3 สภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศ

เส้นทางที่ผ่านพื้นที่ภูเขา หรือพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกสูง มักมีปัญหา น้ำซึมหรือน้ำไหลผ่านใต้โครงสร้างทาง ซึ่งอาจทำให้ดินใต้โครงสร้างทางชะล้างตัว ส่งผลให้หมอนทรุด และเกิดค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงยังส่งผลต่อการขยาย/หดตัวของรางด้วย

#### 3.4 อายุของโครงสร้างทาง

โครงสร้างทางที่ถูกใช้งานมายาวนาน โดยเฉพาะหมอนรุ่นเก่า หรือรางที่ผ่านการใช้งานซ้ำ อาจมีความสามารถในการต้านทานแรงลดลง ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของค่า Q.I.

#### 3.5 คุณภาพของวัสดุและการบำรุงรักษา

คุณภาพของหินโรย หมอน และราง รวมถึงประสิทธิภาพของการบำรุงรักษาที่ผ่านมา เช่น ความถี่ในการอัดหิน ความแม่นยำของการจัดแนวราง ล้วนส่งผลต่อเสถียรภาพและอายุการใช้งานของทาง

การเข้าไปปัจจัยเหล่านี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการเสื่อมสภาพของทางได้อย่างแม่นยำ และใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนรื้อบวระการบำรุงทางที่สอดคล้องกับสภาพจริงในพื้นที่ศึกษา

### 4. ดัชนีสภาพทาง (Track Quality Index)

ดัชนีสภาพทาง (Track Quality Index: TQI) คือค่าที่ใช้ในการประเมินความสมบูรณ์ของโครงสร้างทางรถไฟ โดยเฉพาะในด้านรูปร่างและชนิดของทาง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยและความนุ่มนวล (Comfort) ในการเดินรถ ค่านี้ได้มาจากการตรวจวัดโดยรถตรวจสภาพทาง EM120 ซึ่งสามารถวัดค่าความคลาดเคลื่อนของมิติทางเรขาคณิตได้อย่างต่อเนื่องตลอดแนวเส้นทาง

นอกจากประเทศไทยแล้ว หลายประเทศทั่วโลกมีการใช้ดัชนีลักษณะใกล้เคียงกับ TQI ในการประเมินคุณภาพทาง เช่น สหรัฐอเมริกาใช้ดัชนี Track Roughness Index ซึ่งพิจารณาทั้งทั้งโปรไฟล์ แนวราง และความคลาดเคลื่อนของระดับราง (cross-level) ในขณะที่สหราชอาณาจักรใช้ค่า SD Index ซึ่งเป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของรูปร่างและชนิดทางที่วัดได้ ออสเตรเลียมี Five-Parameter Index (w5) และอินเดียใช้ Track Geometry Index (TGI) ที่พัฒนาขึ้นเอง โดยดัชนีเหล่านี้ล้วนมีพื้นฐานมาจากการวัดความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตด้วยรถตรวจสภาพทาง และแสดงผลในรูปค่ารวมเพื่อใช้วางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างเป็นระบบ [6]

ข้อมูลที่ได้จากรถตรวจสภาพทาง EM120 จะถูกคำนวณซอฟต์แวร์ Offboard ซึ่งพัฒนาโดยผู้ผลิตรถตรวจทางเพื่อใช้สำหรับประมวลผลข้อมูลโดยตรง โดยซอฟต์แวร์ดังกล่าวจะคำนวณดัชนี TQI ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานพร้อมใช้งาน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถวิเคราะห์สภาพทางได้

อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ ซอฟต์แวร์ OFFboard ยังสามารถจัดทำรายงานแสดงค่าดัชนีในช่วงระยะต่าง ๆ เช่น 200 เมตร หรือ 1000 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจบำรุงทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย

สมการคำนวณดัชนีสภาพทางจะแตกต่างกันในแต่ละประเทศ สำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยการรถไฟแห่งประเทศไทยจะพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของมิติทางเรขาคณิตจำนวน 7 ค่า ได้แก่

1. ขนาดทาง (Gauge)
2. ระดับตามขวาง (Cross Level)
3. ทวิสต์ (Twist)
4. ระดับตามยาวด้านซ้าย (Left Longitudinal Level)
5. ระดับตามยาวด้านขวา (Right Longitudinal Level)
6. แนวรางด้านซ้าย (Left Alignment)
7. แนวรางด้านขวา (Right Alignment)

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่าดัชนี Q.I. รวม จะไม่รวมค่าขนาดทาง เนื่องจากถือว่าไม่มีความสำคัญในการแสดงถึงความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อ การเดินทาง

ขั้นตอนการคำนวณ TQI โดยสรุปมีดังนี้

1. ทำการแจกแจงความถี่ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้ในแต่ละหมวดมิติทาง
2. คำนวณค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) ของข้อมูลแต่ละหมวด
3. แปลงค่าเป็นพื้นที่ใต้โค้งปกติ (Normal Distribution) นอกขอบเขตค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ( $\pm 3$  มม. สำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทย)
4. พื้นที่ที่เกินเกณฑ์ดังกล่าว จะถูกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือเป็นค่า Q.I. ของแต่ละหมวด

การคำนวณ Q.I. รวม จะใช้สูตรถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญของแต่ละหมวด ดังนี้

$$QI_{รวม} = \frac{\left(\frac{QI_{LLL} + QI_{LLR}}{2}\right) + \left(2\left(\frac{QI_{LA} + QI_{RA}}{2}\right)\right) + QI_{CL} + QI_{TW}}{5} \quad (1)$$

โดยที่

Q. I. CL = Cross Level

Q. I. TW = Twist

Q. I. LLL = Left Longitudinal Level

Q. I. LRL = Right Longitudinal Level

Q. I. LA = Left Alignment

Q. I. RA = Right Alignment

ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่ต่ำกว่าหมายถึงทางยังคงอยู่ในสภาพดี หากค่าดัชนีสูงขึ้นแสดงถึงการเสื่อมสภาพที่เพิ่มขึ้น ซึ่งควรได้รับการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันผลกระทบต่อความปลอดภัยและคุณภาพการเดินทาง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบสภาพทางด้วยรถ EM 120 ที่ ก.ม.139+000 สายตะวันออกเฉียงเหนือ

| การตรวจสอบสภาพทางครั้ง<br>ที่ปี | เดือนที่ดำเนินการ | ดัชนีสภาพทาง |
|---------------------------------|-------------------|--------------|
| 1/2564                          | ธันวาคม 2563      | 28           |
| 1/2565                          | มีนาคม 2565       | 35           |
| 2/2565                          | กรกฎาคม 2565      | 39           |
| 1/2566                          | มกราคม 2566       | 25           |
| 1/2567                          | เมษายน 2567       | 34           |

## 5. การวิเคราะห์อัตราการเติบโตของค่าดัชนีสภาพทาง

ค่าดัชนีสภาพทาง (TQI) ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละช่วงเวลาสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเสื่อมสภาพของทางรถไฟได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการคำนวณคือการหาค่าเฉลี่ยอัตราการเติบโตของค่าดัชนีในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งจะสะท้อนถึงความเร็วในการเสื่อมของโครงสร้างทางรถไฟในสภาพการใช้งานจริง

การวิเคราะห์นี้สามารถทำได้โดยใช้สมการพื้นฐาน ดังนี้

$$\text{อัตราการเติบโตของ TQI (\%/เดือน)} = \frac{TQI_{\text{ก่อน}} - TQI_{\text{หลัง}}}{\text{ระยะเวลาห่างการวัด 2 ครั้ง}} \quad (2)$$

โดยที่

$TQI_{\text{ก่อน}}$  คือ ค่าดัชนีที่ตรวจวัดได้ในช่วงก่อน

$TQI_{\text{หลัง}}$  คือ ค่าดัชนีที่ตรวจวัดล่าสุด

เมื่อทราบอัตราการเติบโตของ TQI แล้ว จะสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการคาดการณ์ระยะเวลาที่ TQI จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ซึ่งเรียกว่า "TQI เป้าหมาย" (Target TQI) โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{รอบระยะเวลาบำรุงทาง (เดือน)} = \frac{TQI_{\text{เป้าหมาย}} - TQI_{\text{ปัจจุบัน}}}{\text{อัตราการเติบโตของ TQI}} \quad (3)$$

การคำนวณนี้จะช่วยให้สามารถกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงทางในเชิงรุกได้อย่างเหมาะสม โดยพิจารณาจากสภาพทางในพื้นที่จริง ไม่ใช่เพียงแค่ระยะเวลาคงที่แบบเดิม ซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นจากการซ่อมบำรุงในช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสม

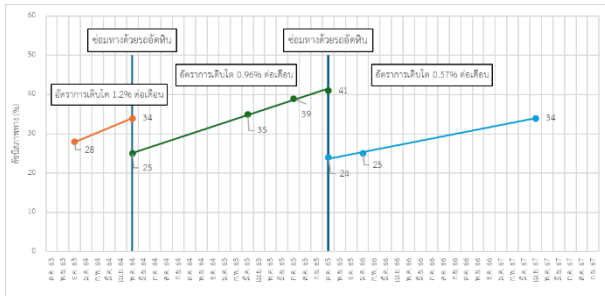
ตัวอย่างการคำนวณอัตราการเติบโตของดัชนีสภาพทางจากข้อมูลดัชนีสภาพทางในตารางที่ 1 ใน ก.ม.139+000 ในสายตะวันออกเฉียงเหนือ จะต้องพิจารณาประวัติการซ่อมทางด้วยรถอัดหินร่วมด้วย โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประวัติการซ่อมทางรถไฟด้วยรถอัดหิน ก.ม. 139+000 ในสายตะวันออกเฉียงเหนือ

| เดือนที่ดำเนินการ | ดัชนีสภาพทางก่อนการดำเนินการ | ดัชนีสภาพทางหลังการดำเนินการ |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| พฤษภาคม 2564      | 34                           | 25                           |
| ตุลาคม 2565       | 41                           | 24                           |

โดยจะต้องคำนวณอัตราการเติบโตในช่วงที่ไม่กิจกรรมการซ่อมทางด้วยรถอัดหินมาแทรก คือระหว่าง พฤษภาคม 2564 ถึง ตุลาคม 2565 จะมีอัตราการเติบโตของดัชนีสภาพทางเท่ากับ 0.96 % ต่อเดือน และช่วงเวลาหลังการซ่อมทางด้วยรถอัดหิน ในเดือนตุลาคม 2565 จะมีอัตราการเติบโตของ

ดัชนีสภาพทางเท่ากับ 0.57 % ต่อเดือน โดยการวางแผนบำรุงทางรถไฟจะเลือกอัตราการเติบโตของดัชนีสภาพทางจากช่วงเวลาใกล้กับปัจจุบันที่สุดคือ 0.57 % ต่อเดือน แต่เนื่องจากสภาพทางใน กม.139+000 มีค่าดัชนีสภาพทางหลังการซ่อมทางด้วยรถอัดหิน โดยเฉลี่ยสูงกว่า 20 % จึงกำหนดให้มีระยะเวลาซ่อมทางด้วยรถอัดหินที่ 6 เดือน



รูปที่ 2 การวิเคราะห์อัตราการเติบโตของค่าดัชนีสภาพทาง กม.139+00

## 6. การวางแผนรอบวาระการบำรุงทางจากข้อมูล TQI

การวางแผนรอบวาระการบำรุงทางโดยใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (TQI) เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาทางให้เหมาะสมกับสภาพจริง แผนการใช้รอบระยะเวลาคงที่แบบเดิมที่อาจไม่สอดคล้องกับความเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางในแต่ละพื้นที่

โดยทั่วไป เมื่อทราบค่า TQI หลังการซ่อมบำรุง และสามารถคำนวณอัตราการเติบโตของ TQI ได้แล้ว จะสามารถคาดการณ์ช่วงเวลาที่จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าขีดจำกัดเป้าหมาย (เช่น 20%) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับดำเนินการบำรุงซ้ำ

ตัวอย่างเช่น หากค่า TQI หลังอัดหินอยู่ที่ 13.5% และอัตราการเติบโตเฉลี่ยอยู่ที่ 0.89% ต่อเดือน จะสามารถคำนวณได้ว่า TQI จะถึง 20% ในอีก 7.3 เดือน ซึ่งอาจพิจารณาการบำรุงที่เหมาะสมคือทุก 6 เดือน

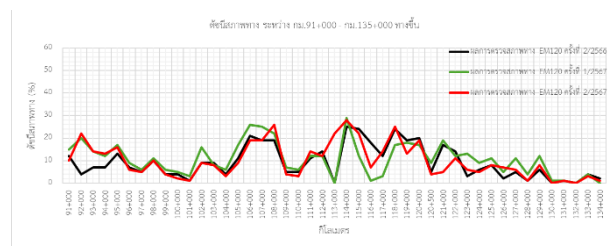
ข้อมูลจากการรถไฟแห่งประเทศไทยระบุถึงรอบวาระที่ใช้ในการวางแผนบำรุงทาง ได้แก่ 6 เดือน, 1 ปี, 1 ปี 6 เดือน และ 2 ปี โดยการเลือกการบำรุงที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์ TQI ของพื้นที่นั้น ๆ และความสามารถในการบริหารจัดการด้านเครื่องจักร อัตราค่าจ้าง และเวลาในการดำเนินงาน

การวางแผนรอบวาระซ่อมบำรุงทางโดยอิงค่าดัชนี TQI ที่สะท้อนสภาพทางจริง ช่วยลดความเสี่ยงในการอัดหินในช่วงที่ไม่จำเป็น และหลีกเลี่ยงการละเลยพื้นที่ที่ควรได้รับการบำรุงเร่งด่วน ในขณะที่แนวทางแบบเดิมที่กำหนดรอบคงที่ เช่น ทุก 1 ปี แม้จะทำให้เกิดความสม่ำเสมอในการบำรุง แต่ไม่สามารถสะท้อนสภาพทางเฉพาะพื้นที่ได้จริง ส่งผลให้เกิดทั้งการใช้ทรัพยากรเกินจำเป็น และการซ่อมบำรุงไม่ทันการณ์

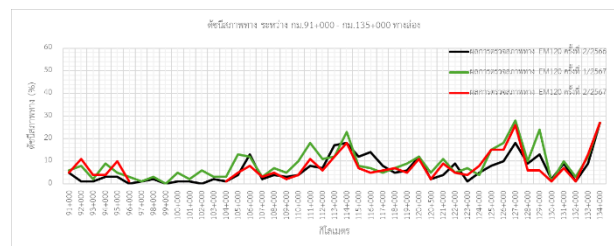
การวางแผนดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลความสามารถในการจัดกำลังเครื่องจักรและเวลาร่างของรถอัดหิน เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงสุด การวิเคราะห์อัตราการเติบโตของค่าดัชนีสภาพทาง

## 7. กรณีศึกษา: แขวงบำรุงทางแก่งคอย (สบท.กค.)

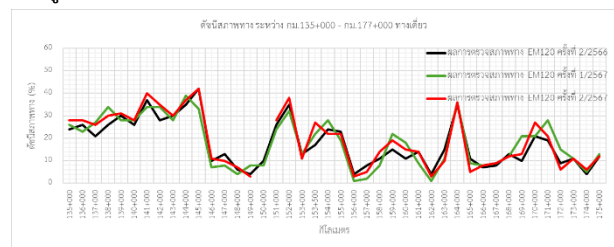
จากการตรวจวัดค่าดัชนีสภาพทาง ด้วยรถ EM.120 จำนวน 3 รอบ ได้แก่ ครั้งที่ 2/2566, 1/2567 และ 2/2567 ในพื้นที่แขวงบำรุงทางแก่งคอย พบว่าดัชนีสภาพทางในช่วง กม. 91+000 ถึง กม. 134+000 ซึ่งเป็นทางรถไฟทางคู่ใน รูปที่ 3 จะมีดัชนีสภาพทางตั้งแต่ 0 % ถึง 29 % มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.08 % ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นรถไฟทางคู่ตั้งแต่สถานีบ้านภาชีถึงสถานีมาบะเบา ส่วน กม. 135+000 ถึง กม. 177+000 ที่เป็นรถไฟทางเดี่ยวใน รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 มีดัชนีสภาพทางตั้งแต่ 0.5 % ถึง 42 % มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.02 % จากผลการตรวจสภาพทาง 3 รอบที่ผ่านมา ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรถไฟทางเดี่ยว ระหว่างสถานีมาบะเบาถึงสถานีบันไดม้า



รูปที่ 3 ดัชนีสภาพทาง (Q.I.) ระหว่าง กม.91+000 - กม.135+000 ทางขึ้น



รูปที่ 4 ดัชนีสภาพทาง ระหว่าง กม.91+000 - กม.135+000 ทางลง



รูปที่ 5 ดัชนีสภาพทาง ระหว่าง กม.135+000 - กม.177+000 ทางเดี่ยว

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนีสภาพทาง (TQI) ของช่วงเส้นทางรถไฟที่อยู่ในความรับผิดชอบของแขวงบำรุงทางแก่งคอย (สบท.กค.) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ กม.91+000 ถึง กม.177+000 พบว่าเส้นทางส่วนใหญ่เหมาะสมกับการดำเนินงานอัดหินในรอบวาระ 2 ปี โดยมีระยะทางรวมที่เหมาะสมกับรอบวาระ 2 ปี อยู่ที่ 113.12 กิโลเมตร จากทั้งหมด 129.62 กิโลเมตร (คิดเป็นประมาณ 87%) และรอบวาระการซ่อมบำรุงทาง 6 เดือน มีระยะทาง 16.50 กิโลเมตร (คิดเป็นประมาณ 13%)

ตารางที่ 3 ระยะทางรวมตามรอบวาระการอัดหินของแขวงบำรุงทางแก่งคอย

| วาระการซ่อมทางด้วยรถอัดหิน   | 6 เดือน | 1 ปี | 1 ปี 6 เดือน | 2 ปี  |
|------------------------------|---------|------|--------------|-------|
| ก.ม. 91+000 ถึง ก.ม.134+000  | 2.00    | -    | -            | 84.62 |
| ก.ม. 135+000 ถึง ก.ม.177+000 | 14.50   | -    | -            | 28.50 |

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สภาพทางดังกล่าว สามารถคำนวณปริมาณงานซ่อมทางด้วยรถอัดหินในช่วง 4 ปี เปรียบเทียบกับการวางแผนซ่อมบำรุงทางตามวาระแบบคงที่ 1 ปีได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ระยะทางรวมตามรอบวาระการอัดหินของแขวงบำรุงทางแก่งคอย

| รอบการซ่อมบำรุงทาง | ปริมาณงานซ่อมทางด้วยรถอัดหิน วาระแบบคงที่ (กิโลเมตร) | ปริมาณงานซ่อมทางด้วยรถอัดหิน วาระตามผลวิเคราะห์ (กิโลเมตร) |
|--------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| รอบที่ 1 ปีที่ 1   | 129.62                                               | 129.62                                                     |
| รอบที่ 2 ปีที่ 1   |                                                      | 16.50                                                      |
| รอบที่ 1 ปีที่ 2   | 129.62                                               | 16.50                                                      |
| รอบที่ 2 ปีที่ 2   |                                                      | 16.50                                                      |
| รอบที่ 1 ปีที่ 3   | 129.62                                               | 129.62                                                     |
| รอบที่ 2 ปีที่ 3   |                                                      | 16.50                                                      |
| รอบที่ 1 ปีที่ 4   | 129.62                                               | 16.50                                                      |
| รอบที่ 2 ปีที่ 4   |                                                      | 16.50                                                      |
| รวม                | 777.72                                               | 537.36                                                     |

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ยังช่วยยืนยันว่า การใช้ข้อมูล TQI จะมีส่วนช่วยในการวางแผนรอบวาระการบำรุงทาง เป็นแนวทางที่ช่วยลดการซ่อมบำรุงที่ไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในการบริหารจัดการเส้นทางได้อย่างมีนัยสำคัญ

## 8. บทสรุป

จากการศึกษานี้พบว่า การใช้ค่าดัชนีสภาพทาง (Track Quality Index: TQI) ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยรถ EM.120 เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพของทางรถไฟ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนรอบวาระการอัดหินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในช่วงเส้นทางระหว่างสถานีชุมทางบ้านภาชีถึง กม.177+000 ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของแขวงบำรุงทางแก่งคอย

การวางแผนโดยใช้ข้อมูลจริงช่วยลดความถี่ในการบำรุงที่ไม่จำเป็น และเน้นการดำเนินงานในจุดที่มีอัตราการใช้ของ Q.I. สูง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ทั้งเครื่องจักร เวลา และบุคลากรได้อย่างเหมาะสม

ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

ควรมีการตรวจวัด Q.I. อย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถติดตามแนวโน้มการเสื่อมสภาพได้อย่างแม่นยำ

มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการสร้างระบบฐานข้อมูลในการวางแผนการบำรุงทาง

ควรมีการเปรียบเทียบแนวทางการวางแผนซ่อมบำรุงโดยอิงค่าดัชนีสภาพทาง (TQI) กับแนวทางที่ใช้ในต่างประเทศ เช่น ดัชนี Q-index ที่ใช้ในประเทศสวีเดน หรือดัชนี TGI ที่ใช้ในประเทศอินเดีย เพื่อเสริมบริบทในการอธิบายและชี้ให้เห็นว่าแนวทางลักษณะเดียวกันนี้ได้รับการประยุกต์ใช้ในบริบทของหลายประเทศ และมีความเหมาะสมในระดับสากล

ควรพิจารณานำผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เช่น แนวโน้มความเสื่อมสภาพเฉพาะจุด มาใช้ควบคู่กับข้อมูลรอบวาระเพื่อวางแผนการอัดหินในระดับรายกิโลเมตร

## กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณการรถไฟแห่งประเทศไทยสำหรับข้อมูล และให้ความร่วมมือในการดำเนินการจัดทำบทความนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] การรถไฟแห่งประเทศไทย. (2566). หลักเกณฑ์การวางแผนงานบำรุงทางรถไฟด้วยรถอัดหิน. กรุงเทพฯ
- [2] Thawatchai Phanyakit., Thaned Satiennam (2018). Track-quality index and degradation of railway track structure: The construction track doubling project of northeast line from thanon chira junction to khon kaen station, Thailand. International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018), Phuket, Thailand, 4-7 June 2018
- [3] จิตินันท์ อินธนู, ธนันท์ ชูอุปการ, ธนิต เถลิมนานนท์, ชยุดพงศ์ มานะกุล (2023) พฤติกรรมของโครงสร้างฐานรากทางรถไฟภายใต้แรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักรถไฟ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 ภูเก็ต วันที่ 24-26
- [4] Younes Shahraki., Reza Zakeri (2021). Influences of ballast degradation on railway track buckling: A 3D finite element approach. Engineering Failure Analysis
- [5] Wei Wang., Zhanping You., Hongwei Wu., Jun Hu (2018). Investigation of track settlement and ballast degradation in the high-speed railway. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit
- [6] Soleimanmeigouni, I., Ahmadi, A., & Kumar, U. (2016). Track geometry degradation and maintenance modelling: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.