ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องของราง ตามมาตรฐาน UIC 712R

Factors that cause Rail Broken or Cracked with Standard Rail Defect Code number UIC 712R

ธวัชชัย ปัญญาคิด[1*] เอนก เนรมิตรครบุรี[2]

[1]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: thawatchai_ph@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

เมื่อระบบโครงสร้างทางรถไฟถูกใช้งานนาน ๆ ประสิทธิภาพของระบบจะค่อยๆลดลง เนื่องจากรางถือว่าเป็นองค์ประกอบของทางรถไฟส่วนที่จะต้องสัมผัสกับล้อรถโดยตรง จากรายงานสถิติที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับอุบัติเหตุที่เกิดจากรถไฟตกรางส่วนใหญ่ล้วนเกี่ยวข้องกับจุดชำรุดของรางรถไฟเกือบทั้งสิ้น ซึ่งจริง ๆ แล้วอุบัติเหตุเหล่านี้สามารถที่จะป้องกันได้หากได้รับการตรวจหาจุดชำรุดของราง อย่างสม่ำเสมอ จากสถิติของทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงชุมทางถนนจิระ-สถานีหนองคาย พบว่าในช่วงระยะเวลา 10 ปี มีจำนวนรางหักหรือร้าวมาก ถึง 122 ครั้ง โดยส่วนใหญ่เป็นรางหักหรือร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (UIC Code 712R) ผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล ผลการศึกษาพบว่ารางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากลมากที่สุดคือโค้ด 200 โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ37.70 รองลงมาอันดับสองคือโค้ด 135 มีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 23.70 รองลงมาอันดับสามคือโค้ด 421 มีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 18 และรองลงมาอันดับสี่ คือโค้ด 1321 ซึ่งเป็นโค้ดข้อบกพร่องของรางที่จะเกิดรางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดนี้น้อยที่สุดมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 17

คำสำคัญ: สมาคมรถไฟสากล, ทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง, ข้อบกพร่องของราง, รางหักหรือรางร้าว

Abstract

The effectiveness of the railway structure system gradually declines over time when it is in use. The portion of the rail that needs to make direct contact with the vehicle's wheels is the rail, which is a component of the rail. The majority of railway derailment occurrences are therefore linked to defective track, according to the pertinent data records about these accidents. These mishaps could be avoided if the broken point were identified. regularly according to Northeastern Railway data, it was discovered that 122 rails were damaged or cracked over the course of ten years at the Thanon Chira Junction-Nong Khai Station, the majority of which were due to fault codes in accordance with International Railway Association Standard (UIC Code 712R). The results of weighting for prioritizing factors that cause broken or cracked rail using defect code based on the standard of the International Union of Railways (UIC) showed that the first highest broken or cracked rail was code 200 (importance weight of 37.70%). The second highest one was code 135 (importance weight of 23.70%). The third highest one was code 421 (importance weight of 18 %). The fourth highest one was code 1321 (importance weight of 17 %). Code 200 demonstrated transverse break that had unidentified starting point. The break immediately happened particularly in very cold weather caused by the rail being used for a long time that led to fatigued rail. In addition, there were other causes that were from wheel slip, and rail wears leading to low strength to support the weight of the passing trains.

Keywords: International Union of Railways (UIC), Ballast Track, Rail Defects, Rail broken or rail cracks

1. บทนำ

1.1 ข้อได้เปรียบของระบบการขนส่งทางราง

ระบบการขนส่งทางรางเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นระบบการขนส่งที่มีความประหยัดพลังงานได้มากกว่าระบบการขนส่งทางบกรูปแบบอื่น เมื่อขนส่งในปริมาณสินค้าหรือผู้โดยสารที่เท่ากัน

สำหรับโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบขนส่งทางรางมักถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยเฉพาะโครงการระบบขนส่งทางรางในปัจจุบันถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งาน (Service Life) ถึง 100 ปี ดังนั้นการดำเนินงานด้านการบำรุงรักษาถือเป็นหัวใจของระบบขนส่งทางรางโดยมีเป้าหมายเพื่อความปลอดภัย (Safety) ความสะดวกสบายในการให้บริการ (Comfort) มีความพร้อมต่อการใช้งาน (Availability) และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุการใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้ (Economy) โดยปัจจัยสำคัญ 4 ข้อในการดำเนินการแสดงดังตารางที่ 1 (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [1]

ตารางที่ 1 ปัจจัยสำคัญของระบบขนส่งทางราง [1]

ปัจจัยสำคัญ	นิยาม	เป้าหมาย
ความปลอดภัย (Safety)	โอกาสและความน่าจะเป็นในการเกิดอุบัติเหตุ	ต้องทำให้โอกาสเกิดอุบัติเหตุน้อยที่สุด
ความสะดวกสบาย (Comfort)	รถไฟโดยสารและขนส่งสินค้าต่อผลกระทบจากเสียงและการสั่นสะเทือน (Noise and Vibration) ในการให้บริการ	มีค่าความสะดวกสบาย ทั้งรถโดยสารและสินค้าสูงสุด มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำสุด
ความพร้อมใช้งาน (Availability)	ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเสียหายและความเร็วในการใช้งานทางรถไฟ	มีความพร้อมในการให้บริการสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้
ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economy)	ทางรถไฟที่คุณภาพไม่ดีจะส่งผลถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง สภาพทางที่ไม่ดีทำให้เร่งการเสื่อมสภาพของทางรถไฟและตัวรถไฟ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาสูงขึ้นตามไปด้วย	ประสิทธิภาพของทาง ต่อค่าใช้จ่ายมีความคุ้มค่าที่สุด

1.2 รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟ [2]

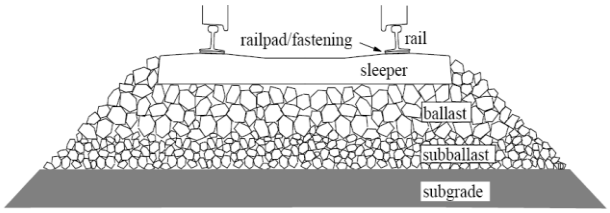
รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ (1) โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track) และ (2) โครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track)

1.2.1 โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track)

โครงสร้างของทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทางประกอบด้วย โครงสร้างทางส่วนบน และโครงสร้างทางส่วนล่าง แสดงดังรูปที่ 1 และ 2

- โครงสร้างทางส่วนบน (Supper Structure) ประกอบด้วย ราง (Rail) แผ่นรองราง (Rail pad) เครื่องยึดเหนี่ยวราง (Fastener) และหมอนรองรางรถไฟ (Sleeper)

- โครงสร้างทางส่วนล่าง (Sub Structure) ประกอบด้วยโครงสร้างส่วนที่อยู่ต่ำกว่าหมอนรองราง (Sleeper) ลงมา ได้แก่ หินโรยทาง (Ballast) ชั้นรองหินโรยทาง (Sub-Ballast) และชั้นคันทาง (Subgrade) มีหน้าที่หลักคือรองรับและกระจายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนลงไปยังชั้นดินพื้นทาง ระบายน้ำในชั้นโครงสร้างทาง



รูปที่ 1 โครงสร้างของทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Dahlberg, 2003)

(ก) รางวางบนหมอนไม้

(ข) รางวางบนหมอนคอนกรีต

รูปที่ 2 ทางรถไฟชนิดที่รางวางบนหมอนไม้ และหมอนคอนกรีต

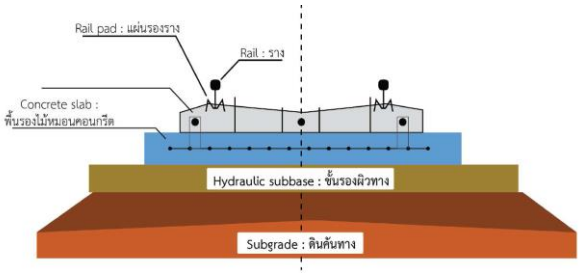
โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballasted Track) มีข้อดี คือ ต้นทุนที่ใช้ในการซ่อมบำรุงรักษาต่ำกว่าโครงสร้างชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) และขั้นตอนการซ่อมบำรุงรักษาในส่วนของโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่างสามารถทำได้ง่ายกว่าโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) นอกจากนี้โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballasted Track) ชนิดที่รางวางบนหมอนไม้ และวางบนหมอนคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 2 จะมีต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track)

แต่อย่างไรก็ตามหากต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาอยู่บ่อย ๆ เมื่อพิจารณารวมกับจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงรักษา ก็จะพบว่ามีค่าบำรุงรักษาทางที่ค่อนข้างสูงกว่าโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) ปัจจุบันจึงมีการพัฒนารูปแบบของทางรถไฟสมัยใหม่ด้วยการนำระบบทางรถไฟชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) เข้ามาใช้เพื่อลดต้นทุนและกระบวนการในการบำรุงรักษารวมถึงยืดอายุการใช้งานของทางรถไฟ

1.2.2 โครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track)

โครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) จะมีลักษณะแตกต่างจากโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track) ตรงที่โครงสร้างทางชั้นที่เป็นชั้นพื้นทางที่เป็นดิน (Sub-grade) จะถูกเปลี่ยนเป็นพื้นคอนกรีต (Concrete Slab) และในส่วนของชั้นรองพื้นทางที่เป็นหินโรยทาง (Sub-ballast) จะเปลี่ยนเป็นการเทคอนกรีต (Concrete Sleeper) เพื่อเชื่อมกับตัวหมอนรองรางรถไฟ แสดงดังรูปที่ 3 และ 4

ปัญหาการก่อสร้างโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track) ในปัจจุบันมีความยุ่งยากพอสมควรเนื่องจากการจัดหาหินโรยทาง (Ballast) ให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด เช่น สัดส่วนของหินไม่กลม หรือหินมีลักษณะที่แบนจนเกินไป และที่สำคัญในหลาย ๆ ประเทศ ได้มีนโยบายในการปกป้องสิ่งแวดล้อมซึ่งส่งผลให้การขอใบอนุญาตในการเปิดเหมืองหินก็ทำได้ยากขึ้นส่งผลให้มีการก่อสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast track) มีต้นทุนที่สูงขึ้นตามมา และนับวันเมื่อหินโรยทาง (Ballast) ยิ่งหายากขึ้นทุกวันก็ยิ่งจะทำให้ต้นทุนในการบำรุงรักษาทางรถไฟชนิดนี้ในอนาคตสูงขึ้นไปด้วยเมื่อมีการซ่อมบำรุงรักษาตามอายุการใช้งาน นอกจากนี้โครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) ยังมีความเสถียรภาพความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่สูง ซึ่งเหมาะสมกับการใช้กับรถไฟความเร็วสูง (High Speed Rail: HSR) รวมถึงยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track) อีกด้วย [3]



รูปที่ 3 รูปตัดทั่วไปของทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Slab Track) (สนข, 2561)

รูปที่ 4 ลักษณะของโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) (สนข, 2561)

ปัจจุบันทางรถไฟประเภทชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่นโครงสร้างทางของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน รถไฟลอยฟ้าและระบบรถไฟชาญเมือง ซึ่งเป็นเส้นทางรถไฟที่มีความถีการให้บริการของขบวนรถไฟต่อวันสูง มีเวลาในการบำรุงรักษาต่ำ ซึ่งหากว่าต้องหยุดเพื่อซ่อมบำรุงรักษาอาจเกิดการสูญเสียทางในแง่ของรายได้ค่อนข้างสูงแต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) ไม่นิยมนำมาใช้กับทางรถไฟที่มีระยะทางการขนส่งไกล ๆ เนื่องจากจะทำให้มีต้นทุนการก่อสร้างที่สูงและความถี่ของขบวนรถยังไม่มากพอ ทำให้ยังไม่คุ้มค่ากับการลงทุนที่จะใช้ โครงสร้างทางแบบนี้ ซึ่งราคาแพงกว่าโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track) อยู่ประมาณ 30-50% หรือว่าในบางครั้งอาจจะแพงกว่านี้ถึงเท่าตัว (Esveld, 2001)

2. ปัจจัยที่ทำให้รางหักหรือรางร้าว (Factors that cause rail broken or rail cracked) [3]

การระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางที่มีผลมาจากรางหักหรือรางร้าวในการศึกษานี้ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญงานซ่อมบำรุงทางรถไฟของฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 สภาพของวัสดุทาง

สภาพของวัสดุทางที่ชำรุด เช่น หมอนรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หินโรยทางฯ ลฯ วัสดุทางที่มีสภาพชำรุดทรุดโทรมจะเป็นตัวเร่งทำให้รางมีอัตราที่เสื่อมสภาพตามมา เช่น สลักเกลียวต่อรางหลวมจะเป็นสาเหตุให้

หัวต่อรางชนกันหรือห่างกันมากเกินไป เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง ก็อาจเกิดรางคดหรือหัวต่อรางชำรุดเสื่อมสภาพ ลักษณะสภาพของวัสดุทางที่ชำรุดที่พบอยู่ในทางมีดังนี้ ราง, รอยเชื่อม, หมอนรองราง, (Lichtberger, 2005)

2.2 อายุของราง

การเปลี่ยนรางแทนรางเดิมที่เสื่อมสภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่สุด อายุการใช้งานของรางขึ้นอยู่กับน้ำหนักผ่านทางสะสมจะแสดงถึงความหนาแน่นหรือความจุของขบวนรถที่ผ่านทาง ซึ่งทุกประเภทของลักษณะความเสื่อมทาง เช่น การเติบโตขึ้นของความคลาดเคลื่อนมิติเรขาคณิตทาง, การเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวและรางสึก เป็นต้น (Esveld, 2001)

Masanobu and Keita (2006) ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของรางมีหลายปัจจัยแต่ปัจจัยหลัก มีดังนี้

- ความล้า (Fatigue) เกิดจากความเค้นของแรงดึง (Tensile Stress) ที่กระทำซ้ำ ๆ ที่หัวต่อรางหรือรอยเชื่อม
- การสึกหรอ (Wear) เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง
- ข้อบกพร่อง (Defect) สาเหตุเกิดจากการกัดกร่อนทางเคมีเมื่อรางเหล็กทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับน้ำ ออกซิเจน หรือกรดแล้วเกิดสนิมลุกลาม

2.3 น้ำหนักบรรทุกเพลา

น้ำหนักเพลายิ่งสูงจำนวนข้อบกพร่องรางก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วยน้ำหนักเพลาที่สูงบริเวณจุดสัมผัสระหว่างล้อเลื่อนกับรางจะเกิดแรงเค้นในรางสูงขึ้นทำให้อัตรารางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (Esveld, 2001)

2.4 น้ำหนักบรรทุกเพลา

น้ำหนักเพลายิ่งสูงจำนวนข้อบกพร่องรางก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วยน้ำหนักเพลาที่สูงบริเวณจุดสัมผัสระหว่างล้อเลื่อนกับรางจะเกิดแรงเค้นในรางสูงขึ้นทำให้อัตรารางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (Esveld, 2001)

2.5 ความเร็วของขบวนรถ

เมื่อขบวนรถไฟวิ่งผ่านบนราง โดยธรรมชาติของการเคลื่อนตัวของล้อบนรางจะมีการเคลื่อนตัวในแนวทิศทางสลับไปสลับมาเหมือน Sine Curve ซึ่งส่งผลทำให้เกิดแรงดันด้านข้างทำลายขนาดทางและแนวราง ทำให้ทางไม่มีความสม่ำเสมอ ยิ่งความเร็วยิ่งสูงแรงดันด้านข้างก็จะเพิ่มขึ้นมากตามด้วย ส่วนในทางโค้งเมื่อขบวนรถเข้าโค้งล้อจะเบียดรางไปตามรูปโค้งเป็นผลทำให้เกิดรางสึกในโค้ง (มนต์ชัย ตัจฉกานันท์, 2532)

2.6 การอัดหินโรยทาง

การอัดหินโรยทางเข้าใต้ท้องหมอน ก็เพื่อรักษาระดับทางให้ถูกต้องโดยเฉพาะระดับตามขวาง (Cross Level) หินโรยทางจะทำหน้าที่รับและกระจายน้ำหนักที่ถ่ายจากหมอนลงสู่ดินคันทางเบื้องล่าง) โดยหมอนจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับรางทำหน้าที่รักษาขนาดทาง, รับน้ำหนักของขบวนรถไฟที่ถ่ายลงมาที่ราง และรักษาแนวทาง (Esveld, 2001)

2.7 ความสะอาดของหินโรยทาง

Lichtberger (2005) หินโรยทางที่สกปรกมีผลทำให้ไม่สามารถรองรับน้ำหนักของโครงสร้างทางส่วนบนได้อย่างสมบูรณ์นัก เนื่องจากหินจะสูญเสียคุณสมบัติความยืดหยุ่นตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักตลอดจนคุณสมบัติในการระบายน้ำในแต่ละตำแหน่งบนทาง ความสะอาดของหินโรยทางที่แตกต่างกันก็ทำให้เกิดแรงเค้นที่แตกต่างกัน หินโรยทางที่สกปรกมากจะเกิดแรงเค้นสูงและทำให้หินสึกกร่อนเร็วกว่า ซึ่งเป็นผลให้อัตราการเสื่อมสภาพของทางในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน ถึงแม้แต่ตำแหน่งของโครงสร้างทางที่อยู่ใกล้กันเป็นโครงสร้างชนิดเดียวกันและมีน้ำหนักผ่านทางสะสมที่เท่ากัน แต่อัตราเสื่อมสภาพของทางก็ยังมีความแตกต่างกัน

2.8 ความหนาแน่นของขบวนรถ

Lichtberger (2005) เมื่อล้อเลื่อน (Rolling stock) เคลื่อนที่บนรางก็จะเกิดแรงเค้นบนพื้นที่ที่ล้อสัมผัสเนื่องจากน้ำหนักล้อเลื่อนกระทำต่อราง ซึ่งในทางที่มีความหนาแน่นของปริมาณการจราจรสูงจะทำให้เกิดแรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างล้อกับรางสูงมีผลทำให้รางสึกและเกิด Rolling Contract Fatigueโดยเฉพาะจุดที่ล้อเลื่อนกับรางสัมผัสที่ตำแหน่งเดียวทำให้เกิดแรงเค้นสูงโดยส่วนใหญ่จะเกิดในรางที่มีการสึกไม่มากอยู่ในระดับกลาง

2.9 ประเภทของขบวนรถไฟ

ประเภทของขบวนรถที่มีน้ำหนักเพลามากเกินไปจนทำให้แรงเค้นในรางเกิน Elastic Limit จะทำให้เนื้อรางปลิ้นออกข้าง ๆ เรียกว่า “Flow” ซึ่งจะส่งผลต่ออัตรารางเสื่อมสภาพ

2.10 ลักษณะแคร่รถไฟ

ลักษณะของแคร่รถไฟที่มีคุณภาพต่ำส่วนใหญ่จะมีราคาถูกแต่จะเพิ่มอัตราความเสื่อมของทาง ดังนั้นลักษณะของแคร่รถจึงมีอิทธิพลต่ออัตรารางเสื่อมสภาพ

2.11 ปฏิกิริยาระหว่างล้อกับราง

Lichtberger (2005) ปฏิกิริยาระหว่างล้อและรางเกิดจากพลศาสตร์ของการเคลื่อนที่ขบวนรถซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของล้อเลื่อนและแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการเดินรถ เนื่องจากการสัมผัสระหว่างล้อและรางบริเวณพื้นที่จุดสัมผัสที่เกิดขึ้นบนสันรางประกอบด้วย ส่วนที่พื้นล้อเกาะติดกับผิวรางและส่วนพื้นที่ที่เกิดการลื่นไถล ทำให้พื้นล้อและรางที่สัมผัสกันเกิดแรงเค้นสูงซึ่งจะนำมาซึ่งเกิดการปลิ้นและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณขอบเขตพื้นสัมผัสดังนั้นมิติเรขาคณิตของพื้นที่สัมผัสล้อ/ราง จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับพฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถไฟ

Anil, Paul, Vishram and Gupta (2006) ข้อบกพร่องของรางที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างล้อกับรางมีสาเหตุดังนี้

- ความเร็ว น้ำหนักเพลา และประเภทของการจราจร
- ข้อบกพร่องบนพื้นผิวของราง
- แรงเค้นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของขบวนรถ (Dynamic Stress)
- การลงห้ามล้อ

2.12 ทางโค้ง

Lichtberger (2005) ในทางโค้งระยะทางที่ล้อเลื่อนเคลื่อนที่บนรางสูงจะมีระยะทางมากกว่าที่ล้อเลื่อนเคลื่อนที่บนรางต่ำ ทำให้การหมุนของ

ล้อเลื่อนทั้งสองข้างขณะเคลื่อนที่บนรางจึงแตกต่างกัน โดยล้อเลื่อนด้านรางสูงจะเบียดหัวรางทำให้รางสึกและล้อเลื่อนด้านรางต่ำจะมีอาการฟรีโดยเฉพาะในโค้งรัศมีแคบ (200-400 ม.) ทำให้ผิวสันรางเป็นลูกคลื่น

2.13 ทางลาดชัน

ความลาดชันของทางมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถอย่างมากเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกบางส่วนดึงรถลงไปตามแนวลาดชันก็มีแรงดึงมากขึ้น ดังนั้นถ้าจะขึ้นลาดชันรถจักรก็ต้องเพิ่มกำลังขับเคลื่อนมากกว่าเดิม และเมื่อลงลาดชันก็ต้องใช้แรงจากห้ามล้อมากกว่าเดิมด้วย ซึ่งโดยปกติอัตราการสึกของรางที่วางในทางลาดจะมากกว่ารางที่วางในทางราบอันเป็นผลมาจากการลงห้ามล้อ (ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย, เอกสารการอบรมวิชาความรู้เกี่ยวกับทางถาวร, 2537)

2.14 การยกโค้ง

การยกโค้งทำได้โดยยกระดับรางด้านโค้งนอกขึ้นให้สูงกว่ารางด้านในโค้งเพื่อลดแรงหนีศูนย์กลางให้ขบวนรถเดินผ่านด้วยความเร็วสูงขึ้น การยกโค้งป้องกันมิให้รถพลิกคว่ำได้ขณะวิ่งผ่านทางโค้ง ขณะที่การเสื่อมของรางสูงหรือรางต่ำถ้าวางอยู่ในโค้งรัศมีเดียวกันจะขึ้นอยู่กับความเร็ว ถ้าความเร็วขบวนรถที่วิ่งสูงกว่าความเร็วพิกัดทางที่กำหนดไว้ซึ่งพิจารณาจากค่ายกโค้งจะทำให้รางสูงเสื่อมมากกว่ารางต่ำแต่ถ้าขบวนรถวิ่งด้วยความเร็วต่ำกว่าพิกัดทางรางต่ำก็จะเสื่อมมากกว่ารางสูง (Mundray, 2000)

2.15 สภาพแวดล้อมของการใช้งาน

การสึกของรางขึ้นอยู่กับคุณสมบัติส่วนประกอบ ของเงื่อนไขสภาวะแวดล้อมขณะใช้งาน(เช่นโคลนทะลัก, ฝนตก) และสภาวะอากาศ เช่น น้ำฝนจะเพิ่มอัตราการร้าวของรางเนื่องจากผลของ Hydrostatic ที่ติดอยู่ในร้อยร้าว และฝุ่นที่จับรางและสภาวะแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนจะเป็นตัวเร่งของอัตราการสึกของราง และสำหรับอุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุของการขยายของรางทำให้รางคดโก่ง ซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อการรถตกราง

2.16 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำรางและล้อเลื่อน

วัสดุที่ใช้ทำรางจะเป็นเหล็กกล้าซึ่งจะมีคุณภาพดีหรือเลวขึ้นอยู่กับส่วนผสม ซึ่งส่วนผสมแต่ละอย่างจะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป การกำหนดคุณภาพของรางมีมาตรฐานที่ยึดถือกันอยู่หลายมาตรฐานเช่น IRS, BSS, AREA, UIC เป็นต้น โดยคุณสมบัติของวัสดุของรางต้องมีความแข็งเหมาะสมกับความแข็งของวัสดุที่ใช้ทำล้อเลื่อน

2.17 ความแข็งของราง

ความแข็งของรางเป็นคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอรางจะมีคุณสมบัติแข็งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคาร์บอน ถ้ามีคาร์บอนมากก็มีความแข็งและทนต่อการสึกหรอมาก แต่อย่างไรก็ตามในทางบางตอนที่เป็นทางโค้งและมีขบวนรถวิ่งหนาแน่นในความเร็วสูงก็ยังไม่สามารถทนต่อการเสียดสีได้ เป็นเหตุให้รางเกิดการสึกหรอได้เร็วเช่นกัน ต่อมาจึงมีการวิจัยคิดค้นหาวิธีทำหัวรางให้แข็งขึ้นโดยการอบหัวราง ผลปรากฏว่ารางจะสามารถทนต่อการเสียดสีหรือสึกหรอได้เป็น 2-3 เท่าของรางธรรมดา รางชนิดนี้เรียกว่ารางอบหัว (ชุมสิน, 2512)

2.18 ขนาดของราง

ขนาดของรางจะระบุเป็นน้ำหนักต่อ 1 หน่วยความยาว คือ ปอนด์/หลา หรือ กิโลกรัม/เมตร จะแสดงถึงขนาดหน้าตัดรางซึ่งรางที่มีขนาดแตกต่างกันจะมีอัตราความเสื่อมที่แตกต่างกัน เช่น การใช้รางที่มีน้ำหนักเบาไม่สมดุลย์กับน้ำหนักของล้อเลื่อน (Rolling stock) แล้วจะทำให้เกิด Wave Motion ซึ่งเป็นผลที่เกิดเนื่องจากรางมีการขยับตัวหรือรางเดิน (Esveld, 2001)

ขนาดรางที่ใช้ต้องมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุก และความเร็ว ราง ที่มีขนาดเล็กแล้วค่าลงทุนขั้นต้นจะต่ำแต่ต้องเปลืองค่าบำรุงรักษามากทั้งด้านบำรุงทางและล้อเลื่อน นอกจากนั้นอายุการใช้งานก็ไม่นานเท่าที่ควร ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้รางขนาดใหญ่แล้วค่าลงทุนขั้นต้นจะสูงก็จริงแต่ต่อไปค่าบำรุงรักษาทางและล้อเลื่อนจะน้อยกว่ามาก (ชุมสิน ทัพภะสุต, 2512)

3. การสึกหรอและการล้าของราง

Saurabh (2006) การสึกหรอและการล้าของรางเป็นปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการรถไฟฯ ปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้รางเกิดการชำรุดและเสื่อมสภาพมีปัจจัยที่มีอิทธิพลแตกต่างกันในระหว่างการใช้งาน เช่น ความเร็ว น้ำหนักเพลา ชนิดวัสดุของล้อและราง ขนาดและความโค้งของราง โครงสร้างทางลักษณะแคร่รถ น้ำหนักผ่านทางสะสม ทางโค้ง ประเภทของขบวนรถ สภาพอากาศ และสิ่งแวดล้อมเป็นต้น ซึ่งการสึกที่หัวรางเกิดจากการเบียดของล้อเลื่อน ส่วนการสึกที่ฐานรางเกิดจากการเสียดสีกับจานรองรางหรือหมอนรองราง ที่อยู่ข้างใต้ฐานราง เมื่อรางถูกกัดกร่อนทำให้รางสูญเสียหน้าตัด และเกิดรอยร้าวบนพื้นผิวทำให้ลดความสามารถในการต้านทานการล้า รางที่มีการสึก การล้าจากการสัมผัสของล้อเลื่อน และการปลิ้น เป็นปัญหาสำหรับทางรถไฟสมัยใหม่เนื่องจากมีการเพิ่มความเร็ว น้ำหนักเพลา ปริมาณขบวนรถโดยสารและขบวนรถสินค้าทำให้นำมาซึ่งการเกิดรอยร้าวบนราง (Rail crack) สำหรับรางหักนั้นเป็นระยะสุดท้ายของขบวนการพัฒนารอยร้าวซึ่งรอยร้าวจะมีการขยายความกว้างและความลึกเพิ่มขึ้น

ทวี ธรรมารักษ์, ชุมสิน ทัพพะสุต และ ชวาล บุณยะวัฒน์ (2506) พบว่ารางที่ชำรุด และเสื่อมสภาพ มี 3 ลักษณะดังนี้ [4]

1) รางสึก

- สึกทางด้านบนหัวราง เกิดจากการเสียดสีระหว่างพื้นล้อกับสันราง ยิ่งน้ำหนักเพลามากก็ยิ่งมีการสึกหรอมากขึ้นในกรณีน้ำหนักเพลามากเกินไปจนทำให้ Stress ในรางเกิน Elastic Limit จะทำให้เนื้อรางปลิ้นออกข้างๆ เรียกว่า “Flows” การสึกแบบนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอื่น ๆ อีกเช่น ฤดูกาล ในฤดูฝนรางมีสภาพเปียกลื่นการสึกหรอของรางจะมีน้อยกว่าในฤดูแล้งเนื่องจากรางอาจจะมีฝุ่นจับมากกว่ามีโอกาสที่จะทำให้รางสึกหรอได้เร็วขึ้นมากกว่าฤดูฝน นอกจากนั้นทางที่มีทางลาดชัน ทางโค้ง ทางตอนที่รถลงห้ามล้อ หรือทางตอนที่หมอนหลวมก็เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความสึกหรอให้มากขึ้นด้วยตามสถิติปรากฏว่าน้ำหนักของรางที่สูญเสียไปอันเนื่องมาจากความสึกหรอจะเกิด 1/2 ถึง 1 ปอนด์ ต่อรางยาว 1 หลา เมื่อมีน้ำหนักผ่าน 10 ล้านตัน

- สึกที่หัวต่อราง ความสึกชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากล้อรถกระโดดข้ามช่องว่างระหว่างหัวต่อรางแล้วกระแทกกับหัวต่อรางอีกข้างหนึ่ง อัตราการสึกที่หัวต่อรางนี้มากที่สุด ยิ่งสลักเกลียวต่อรางหลวม หรือหมอนไม้หลวมยิ่งทำให้มีการสึกหรอมากขึ้น บางคราวเนื้อเหล็กที่หัวต่อรางจะเยินจดติดกัน
- สึกที่ด้านข้างของหัวราง เมื่อรถวิ่งเข้าทางโค้งบังใบล้อจะเบียดกับด้านข้างหัวรางทางด้านนอกโค้ง เนื่องจากแรงเหวี่ยงศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ทำให้เกิดการสึกหรอที่ข้างหัวรางด้านนอกโค้งมากกว่าทางด้านในโค้ง รางทางด้านในโค้งก็มีการสึกหรอเหมือนกัน เพราะเหตุว่าเมื่อรถวิ่งเข้าทางโค้งล้อทางด้านนอกโค้งจะหมุนไปตามปกติ ส่วนล้อทางด้านในโค้งเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางสั้นกว่า แต่โดยเหตุที่เพลาและล้อทั้งสองยึดติดกัน Rigid ฉะนั้นล้อทางด้านในโค้งจึงต้องหมุนฟรี(Wheel Slip) อยู่ตลอดเวลา ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้เกิดการสึกหรอที่รางทางด้านในโค้งด้วย

2) รางเกิดสนิม

รางที่เป็นสนิมเกิดขึ้นเพราะมีความชื้นมากเกินไปหรือไม่ก็มีกำมะถันและเกลือต่างๆ ปะปนอยู่ในอากาศมากเกินควร สิ่งหล่านี้ล้วนแต่เป็นส่วนประกอบที่ช่วยทำให้เกิดสนิม เกลือที่อยู่ในพื้นดินก็เป็นส่วนช่วยทำให้เกิดสนิมได้มากส่วนใหญ่สนิมมักจะเกิดในบริเวณที่อยู่ริมทะเลหรือในย่านอุสาหกรรมใหญ่ ๆ หรือบริเวณย่านสถานี ถ้ำและทางผ่านจะเกิดเป็นสนิมมากเป็นพิเศษบางทีก็อาจเกิดจากความไม่บริสุทธิ์ที่มีปะปนอยู่ในเนื้อรางเมื่อถูกอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดมีสนิมขึ้น ในการทดลองได้ผลว่าความชื้นต่ำกว่า 30% เหล็กจะไม่เกิดสนิมแต่ถ้าความชื้นเกินกว่า 80% จะเกิดสนิมอย่างรวดเร็วในอากาศบริสุทธิ์จะมีสนิมเกิดขึ้นในเหล็ก 1 mil. ต่อปี

3) รางเป็นคลื่น

เกิดจากความสึกหรอที่สันรางไม่เท่ากันเวลารถวิ่งจะรู้สึกสั่นสะเทือนและมีเสียงดังกราว ๆ ตลอดทาง แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ คลื่นสั้น และคลื่นยาว

จากการศึกษาได้แบ่งการชำรุดและเสื่อมสภาพของรางออกเป็นดังนี้ (ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2516)

1) รางสึก เป็นการสึกหรอบนสันรางและสึกหรอที่หัวต่อราง และด้านข้างของหัวราง เช่น ในโค้ง

2) รางร้าว อาจเกิดได้ เช่นที่สันรางและที่ฐานราง

3) รางหัก มีรอยหักแบบธรรมดา และหักที่รอยเชื่อมเทอร์มิต

4) รางเป็นแผลบนสันราง

5) รางเป็นสนิม ทั้งชนิดเป็นแผ่น เป็นเกล็ด และสนิมขุม

6) รางคดและโก่ง

7) สันรางเป็นคลื่น

8) การมีตะเข็บที่รอยเชื่อมรางบนสันราง

ลักษณะการชำรุดของรางแต่ละแบบดูจากรูปที่ 5-6

รูปที่ 5 ที่ผิวมีจุดชำรุดด้านบนหัวรางขอบด้านข้าง (สนข,2561)

รูปที่ 6 รางหัก (สนข,2561)

4. โค้ดข้อพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (Rail Defect Code of International Union of Railways, UIC 712R)

สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในรางเริ่มแรกตลอดจนความเสียหายที่ลุกลามประกอบด้วยสาเหตุจากความล้าที่เกิดจากการสัมผัสของล้อ (Rolling Contact Fatigue), ความเค้น, แรงเฉือน, การสึกหร่อ, Ratcheting และปัญหารอยเชื่อมฯลฯ สาเหตุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการรางเสื่อม ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในรางเริ่มแรก เช่น รอยร้าวบนพื้นผิวและใต้พื้นผิว, รอยร้าวแบบเครื่องหมายขีดถูก, การยุบแบนของหัวราง, รอยสะเก็ดบนหัวราง, การร้าวแบบเปลือกหอย ฯลฯ ข้อบกพร่องหล่านี้จะส่งผลต่อการเติบโตของขบวนการความเสื่อมของทาง ดังนั้นโอกาสการเกิดเหตุการณ์ความชำรุดจากข้อบกพร่องนี้สามารถสร้างแบบจำลองได้ถ้าเงื่อนไขสภาพของความเสื่อมสามารถนิยามได้ชัดเจนสมาคมการรถไฟสากล (UIC.) ได้แบ่งมาตรฐานข้อบกพร่องของรางโดยนิยามชนิดความแตกต่างของข้อบกพร่องของรางในสภาพความเสื่อมที่แตกต่างกันโดยเปรียบเทียบกับลักษณะตำแหน่งและการลุกลามของรอยร้าวและได้กำหนดโค๊ดลงไปเพื่อแทนข้อบกพร่องของรางแต่ละชนิด สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำโค๊ดข้อบกพร่องของ

UIC มากำหนดลงในลักษณะข้อบกพร่องที่ทำให้รางเกิดความชำรุดในทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงชุมทางถนนจิระ-สถานีหนองคาย มีดังนี้

Saurabh (2006) พบว่าเมื่อแรงเค้นกระทำซ้ำๆ บนรางจนครบจำนวนรอบของวงจรการใช้งานของรางจะทำให้หน้าตัดรางเริ่มร้าวและลุกลามขยายรอยร้าวโดยทิศทางแนวการร้าวที่ขยายขึ้นอยู่กับวัสดุราง จุดที่รางเริ่มมีรอยร้าวที่แรกและรูปแบบขบวนการโลหะวิทยาที่ใช้ผลิตรางหรือวิธีการอบหัวรางเพื่อปรับปรุงสันรางให้แข็งซึ่งขบวนการพัฒนารอยร้าวแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

1) ช่วงการเริ่มร้าว

2) ช่วงการขยายรอยร้าว

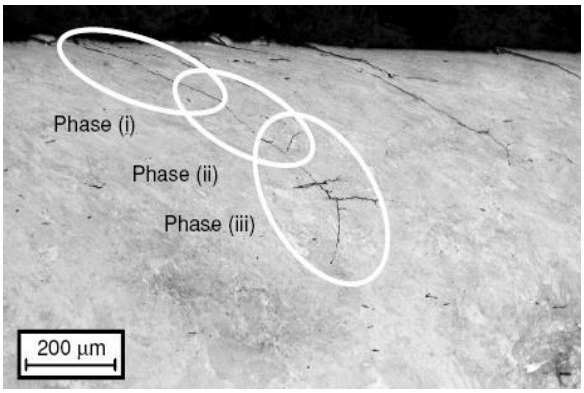
3) ช่วงการแตกหรือการหักของราง

รอยร้าวเริ่มเกิดในชั้นพื้นผิวบาง ๆ ของหัวรางและลุกลามขยายเข้าไปด้านในหัวรางโดยการทำปฏิกริยากับน้ำหรือความชื้นถ้ารอยร้าวลุกลามขยายตัวไปยังด้านบนของพื้นผิวสันรางก็จะเกิดการแตกออกหลุดออกของเหล็กบริเวณพื้นผิวสันรางแต่ถ้ารอยร้าวลุกลามขยายตัวลงด้านล่าง ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดรางหักมีโมเดลหลายโมเดลที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาการเริ่มร้าวและการขยายรอยร้าว Miller (1997) เสนอโมเดลการขยายตัวของรอยร้าว โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 7

ระยะที่ 1 แรงเฉือนทำให้เกิดการเริ่มร้าวที่พื้นผิว (phase i)

ระยะที่ 2 ลักษณะการขยายตัวของรอยร้าว (phase ii)

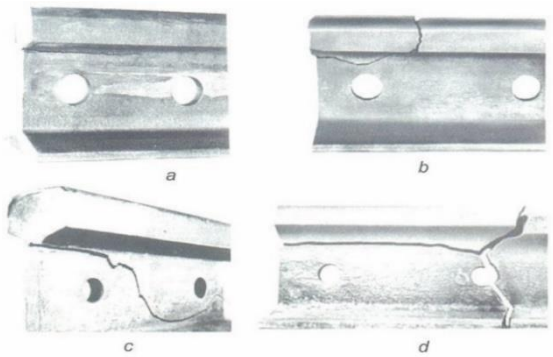
ระยะที่ 3 แรงดึงใต้พื้นผิวและ/หรือแรงเฉือนทำให้เกิดการลุกลามขยายตัวของรอยร้าว (phase iii)



รูปที่ 7 การขยายตัวของรอยร้าวทั้ง 3 ระยะ (Miller, 1997)

4.1 ข้อบกพร่องที่พบที่หัวต่อราง [5]

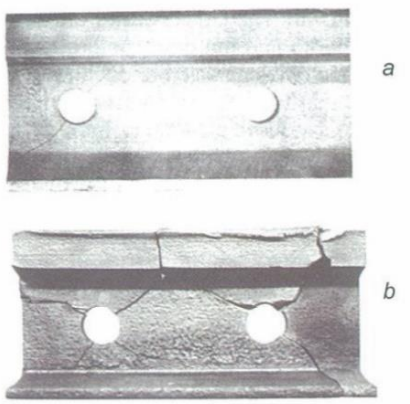
- Defect Code 132: รอยร้าวในแนวนอนที่หัวราง-เอวราง (Horizontal Cracking at Web-Head) รอยแตกร้าวที่เริ่มเกิดบริเวณหัวต่อรางและลุกลามแยกหัวรางออกจากเอวราง โดยระยะเริ่มแรกรอยร้าวลุกลามแตกเป็นเส้นขนานระหว่างหัวรางกับเอวราง แสดงดังรูปที่ 8(a) และต่อมารอยร้าวอาจลุกลามโค้งขึ้นด้านบนหัวรางตามรูปที่ 8(b) หรืออาจโค้งลงผ่านใต้รูสลักเกลียวต่อราง แสดงดังรูปที่ 8(c) หรือทั้งโค้งขึ้นและลงแสดงดังรูปที่ 8(d) สาเหตุเกิดจากหัวต่อรางห่าง หัวต่อรางตก หรือ/และหัวต่อแบนอันก่อให้เกิดแรงกระแทกบริเวณหัวต่อสูงกว่าปกติ



รูปที่ 8 Code 132 รอยร้าวในแนวนอนที่หัวราง-เอวราง

- Code 135: รอยร้าวลักษณะดาวที่รูสลักเกลียวต่อราง (Star-Cracking of Fish Bolt Holes)

การร้าวเริ่มจากรูสลักเกลียวต่อรางลุกลามเป็นรัศมีถึงเอวรางทำมุม 45 องศา แสดงดังรูปที่ 9(a) จนในที่สุดทำให้เกิดรางหัก แสดงดังรูปที่ 9(b) สาเหตุเกิดจากการเจาะรูที่เอวรางไม่ได้เป็นวงกลมที่เรียบสนิทจึงเกิด Point Stress อีกทั้งเกิดสนิมเกาะที่รอยไม่เรียบและภายในมีรอยร้าวเล็ก ๆ ที่เกิดจาก Point Stress ทำให้รอยร้าวขยายต่อจนแตกออก



รูปที่ 9 Code 135 รอยร้าวลักษณะดาวที่รูสลักเกลียวต่อราง

4.2 โค้ดข้อบกพร่องที่ห่างจากหัวต่อราง

- Defect Code 200: รอยหักตามขวาง (Transverse Break)

รอยหักตามขวางมีจุดเริ่มไม่สามารถทราบได้แน่ชัดรอยหักจะเกิดขึ้นทันทีทันใดโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาอากาศหนาวเย็น แสดงดังรูปที่ 10 สาเหตุเกิดจากอายุของรางที่ถูกใช้งานมานานจนเกิดการล้าประกอบกับสันรางเป็นแผลเนื่องจากล้อดิ้นและการสึกกร่อนของรางจึงไม่สามารถต้านทานน้ำหนักของขบวนรถที่ผ่านไปมาได้

รูปที่ 10 Code 200 รอยหักตามขวาง (Transverse Break)

4.3 โค้ดข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมพอกแผลสันรางและการเชื่อมต่อราง

- Defect Code 421: รอยร้าวตามขวางที่รอยเชื่อมเทอร์มิต (Transverse Cracking of Profile Thermit Weld)

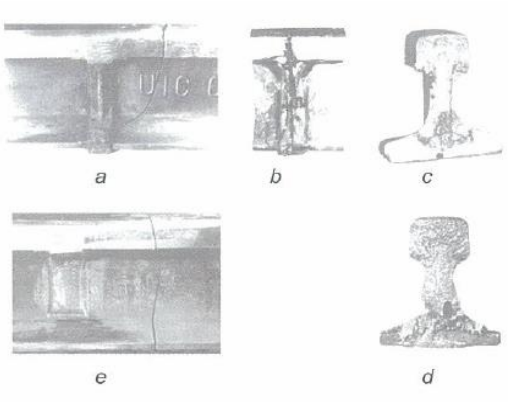
รอยร้าวจะเกิดและลุกลามเติบโตอยู่ใกล้กับหน้าตัดของรอยเชื่อมจนทำให้เกิดรางหักลักษณะของข้อบกพร่องอาจเป็นดังนี้

1) รอยร้าวเริ่มในปีกใต้ฐานรางและลุกลามขึ้นมาอยู่ในระนาบตามขวางใกล้กับรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่10(a)

2) รอยร้าวในแนวดิ่งตรงตำแหน่งของรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 11 (b), (c), (d)

3) รอยร้าวในแนวดิ่งใกล้กับรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 11(e)

สาเหตุเกิดจากความผิดปกติอันเกิดจากการเชื่อมรางไม่สมบูรณ์ ประกอบกับรางบริเวณนี้เป็นคลื่นใกล้รอยเชื่อมไม่เรียบเกิดแรงกระแทกอยู่ตลอดเวลาทำให้หมอนหลวมเร็วเกิดหินฟอกขาวได้



รูปที่ 11 Code 421 รางหักตามขวางที่รอยเชื่อมเทอร์มิต

4.4 ปัจจัยที่ทำให้รางหักหรือรางร้าวตามโค้ดข้อบกพร่องของ UIC

การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลทำให้รางเสื่อมสภาพ สำหรับในส่วนของโครงสร้างทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ (ช่วงชุมทางถนนจิระ-สถานีหนองคาย) เนื่องจากโครงสร้างทางรถไฟสายนี้ถูกก่อสร้างขึ้นมาไม่ต่ำกว่า 30 ปี อีกทั้งรางที่วางในทาง เป็นรางที่ถูกออกแบบ และผลิตขึ้นจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจากรายงานของรางหักหรือรางร้าว ระหว่างปี 2550-2559 ไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดจากการออกแบบ และ การผลิต ดังนั้นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องของรางจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญของการรถไฟแห่งประเทศไทย พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องรางตามโค้ดข้อบกพร่องตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล เป็นผลมาจากปัจจัยด้านการใช้งาน ซึ่งมีจำนวน 8 สาเหตุดังนี้

1) อายุของราง อายุการใช้งานของรางขึ้นอยู่กับน้ำหนักผ่านทางสะสม จะแสดงถึงความหนาแน่นหรือความจุของขบวนรถที่ผ่านทางซึ่งทุกประเภทของลักษณะความเสื่อมทาง เช่น การเติบโตขึ้นของความคลาดเคลื่อนมิติเรขาคณิตทาง, การเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวและรางสึก เป็นต้น สามารถแสดงเป็นฟังก์ชั่นของน้ำหนักผ่านทางสะสม (Esveld, 2001)

Masanobu and Keita (2006) ศึกษา ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของรางมีมากมายหลายปัจจัยแต่ปัจจัยหลัก มีดังนี้

- ความล้า (Fatigue) เกิดจากความเค้นของแรงดึง (Tensile Stress) ที่กระทำซ้ำ ๆ ที่หัวต่อรางหรือรอยเชื่อม
- การสึกหรอ (Wear) เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง
- ข้อบกพร่อง (Defect) สาเหตุเกิดจากการกัดกร่อนทางเคมีเมื่อรางเหล็กทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับน้ำ ออกซิเจนหรือกรดแล้วเกิดสนิมลุกลาม

2) หมอนชำรุด เนื่องจากหมอนที่วางอยู่ในทางต้องรับแรงกระแทกจากล้อเลื่อนของขบวนรถเป็นเวลานาน ทำให้เครื่องยึดเหนียวรางชำรุดไม่สามารถยึดฐานรางกับหมอนให้แนบสนิทกัน และท้ายสุดหากปล่อยไว้หมอนก็จะเกิดการหักที่คอบริเวณใต้ฐานรางทำให้รางต้องรับแรงเค้นที่เกิดจากล้อเลื่อนสูงขึ้นกว่าปกติเนื่องจากระยะระหว่างหมอนกว้างขึ้น [6]

3) หัวต่อรางตก เนื่องจากระดับตามยาวของหัวต่อรางตก เมื่อขบวนรถเคลื่อนที่ผ่านที่หัวต่อนั้นก็จะเกิดแรงกระแทกจากล้อเลื่อนกระทำต่อปลายรางที่บริเวณหัวต่อสูงมากกว่าปกติ ทำให้หัวต่อรางไม่สามารถยกขึ้นได้

4) หัวต่อรางห่าง เนื่องจากรางเหล็กมีการยืดหรือขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและหดตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลงแล้วขยับเคลื่อนที่ไปไม่กลับคืนที่เดิม เนื่องจากสภาพของวัสดุทางไม่สมบูรณ์ เช่น เครื่องยึดเหนี่ยวรางไม่กระชับหินโรยทางพร่อง ทำให้หัวต่อรางห่างเกินไปไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เมื่อขบวนรถเคลื่อนที่ผ่านที่หัวต่อนั้นก็จะเกิดแรงกระแทกจากล้อเลื่อนกระทำต่อปลายรางที่บริเวณหัวต่อสูงมากกว่าปกติ

5) เครื่องยึดเหนียวชำรุด เนื่องจากสภาพของวัสดุถูกใช้งานมานานทำให้เครื่องยึดเหนียวชำรุด คด งอ หรือแหวนสปริงตาย เป็นสนิม เกิดการคลายตัวทำให้แรงเค้นที่กระทำที่ผิวขอบของเครื่องยึดเหนียวสูงมากกว่าปกติ

6) สันรางเป็นคลื่น เนื่องจากการสั่นสะเทือนเลื่อนไถลของล้อ ความบกพร่องของล้อและปริมาณการจราจรที่หนาแน่นทำให้สันรางเป็นคลื่นก็จะเกิดแรงกระแทกบริเวณนั้นสูงกว่าปกติ [7]

7) แผลล้อดิ้น เนื่องจากล้อเลื่อนของรถจักรเกิดการหมุนฟรีทำให้ล้อเกิดการตะกุยกัดสันรางเป็นแผล เมื่อขบวนรถผ่านก็จะเกิดแรงกระแทกบนสันรางสูงกว่าปกติการจัดทำตาราง [8]

8) การล้าของรอยเชื่อมเทอร์มิต เนื่องจากหัวต่อรางที่เป็นรอยเชื่อมเทอร์มิตรับน้ำหนักผ่านทางสะสมมาเป็นเวลานานทำให้เนื้อเหล็กของรอยเชื่อมเกิดการล้าตัวทำให้รางเกิดการร้าวและหักในที่สุด [8]

5. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (UIC) สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 12

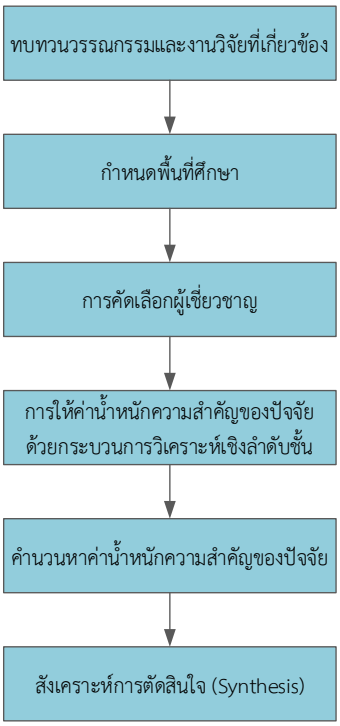
การศึกษานี้ได้คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยแบ่งผู้เชี่ยวชาญออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงทางรถไฟในระดับปฏิบัติการที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา และ กลุ่มที่ 2 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงทางรถไฟในระดับผู้บริหารและเป็นวิศวกรที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา และไม่อยู่ในพื้นที่ศึกษาซึ่งรายเอียดของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่ม โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญนั้นอ้างอิงจาก (Hakan, 2013) มีรายละเอียดดังนี้

1) ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มแรกจบการศึกษาไม่น้อยกว่าระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส) ถึงระดับปริญญาตรี สังกัดอยู่ในหน่วยงาน ฝ่ายการช่างโยธา ของการรถไฟแห่งประเทศไทย

2) ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มสองจบการศึกษาระดับปริญญาตรี ถึงปริญญาเอกด้านวิศวกรรมโยธา และอยู่ในตำแหน่งผู้บริหารระดับสูงของฝ่ายการช่างโยธา ของการรถไฟแห่งประเทศไทยโดยเป็นกลุ่มวิศวกรทั้งหมด

3) ผู้เชี่ยวชาญทั้งสองกลุ่มจะต้องมีประสบการณ์ในการทำงานด้านการตรวจสอบสภาพทางและการซ่อมบำรุงทางรถไฟไม่น้อยกว่า 15 ปี

โดยมีโครงสร้างการให้น้ำหนักของปัจจัยแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 2



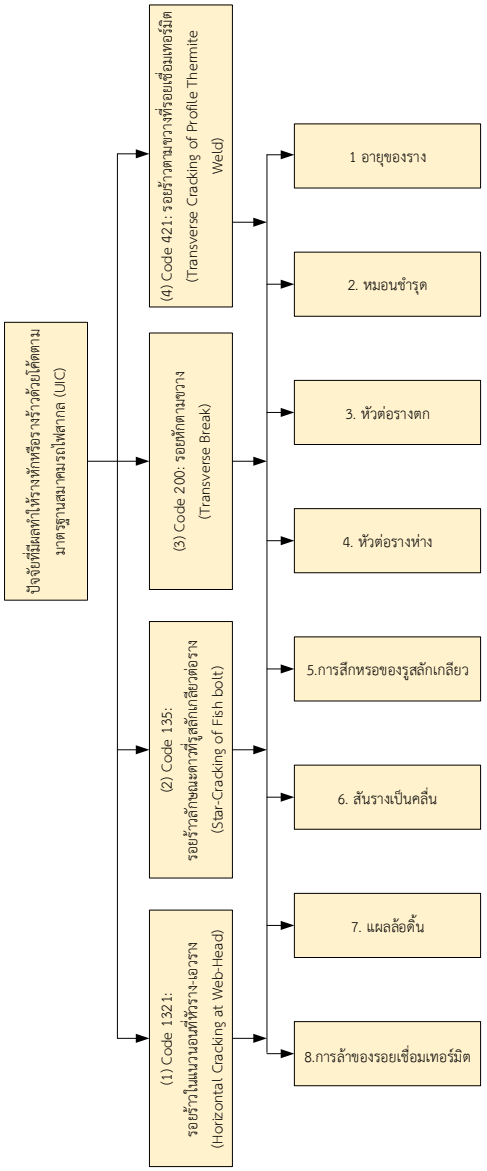
รูปที่ 12 ขั้นตอนการศึกษา

โครงสร้างลำดับชั้นการตัดสินใจเพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญของโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (UIC Defect Code) ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย ได้แก่ (1) โค้ด1321 รอยร้าวในแนวนอนที่หัวราง-เอวราง (Code 1321: Horizontal Cracking at Web-Head) (2) โค้ด135 รอยร้าวลักษณะดาวที่รูสลักเกลียวต่อราง (Code 135: Star-Cracking of Fish bolt) (3)โค้ด200 รอยหักตามขวาง (Code 200: Transverse Break) และ (4)โค้ด 421 รอยร้าวตามขวางที่รอยเชื่อมเทอร์มิต (Code 421: Transverse Cracking of Profile Thermite Weld) ซึ่งในแต่ละปัจจัยหลักก็จะประกอบด้วยปัจจัยรอง 8 ปัจจัยได้แก่ (1) อายุของราง (2) หมอนชำรุด (3) หัวต่อรางตก (4) หัวต่อรางห่าง (5) การสึกหรอของรูสลักเกลียว (6) สันรางเป็นคลื่น (7) แผลล้อดิ้น (8) การล้าของรอยเชื่อมเทอร์มิต และปัจจัยรองที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (UIC) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (UIC)

ปัจจัยหลัก (Main Criteria)	ปัจจัยรอง (Sub Criteria)
(1) Code 1321: รอยร้าวในแนวนอนที่หัวราง-เอวราง (Horizontal Cracking at Web-Head)	1 อายุของราง 2. หมอนชำรุด 3. หัวต่อรางตก 4. หัวต่อรางห่าง 5.การสึกหรอของรูสลักเกลียว
(2) Code 135: รอยร้าวลักษณะดาวที่รูสลักเกลียวต่อราง (Star-Cracking of Fish bolt)	
(3) Code 200: รอยหักตามขวาง (Transverse Break)	

(4) Code 421: รอยร้าวตามขวางที่รอยเชื่อมเทอร์มิต (Transverse Cracking of Profile Thermite Weld)	6. สันรางเป็นคลื่น 7. แผลล้อดิ้น 8.การล้าของรอยเชื่อมเทอร์มิต



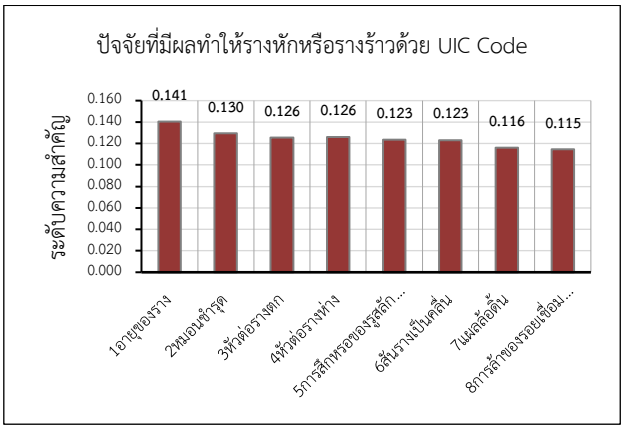
รูปที่ 13 โครงสร้างการตัดสินใจปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว

6. ผลการศึกษา

หลังจากที่ได้คำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านทั้ง 20 ท่านซึ่งจะเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ พบว่าผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญของปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากลโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น แสดงดังตารางที่ 3 และตัวอย่างของปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว ดังรูปที่ 15 และ 16

ตารางที่ 3 ผลการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐาน (UIC) ที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าว

ปัจจัยที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าว	Code 1321	Code 135	Code 200	Code 421	Avg. wt.	Priority	
1อายุของราง	0.031	0.075	0.144	0.029	0.279	0.141	1
2.หมอนชำรุด	0.033	0.042	0.126	0.057	0.259	0.130	2
3.หัวต่อรางตก	0.027	0.050	0.107	0.067	0.252	0.126	3
4.หัวต่อรางห่าง	0.033	0.042	0.113	0.063	0.251	0.126	4
5.การสึกหรอของรูสลักเกลียว	0.055	0.084	0.078	0.030	0.246	0.123	5
6.สันรางเป็นคลื่น	0.055	0.087	0.075	0.028	0.246	0.123	6
7.แผลล้อดิ้น	0.033	0.071	0.060	0.068	0.233	0.116	7
8.การล้าของรอยเชื่อมเทอร์มิต	0.047	0.053	0.067	0.063	0.230	0.115	8
Total						1.000	

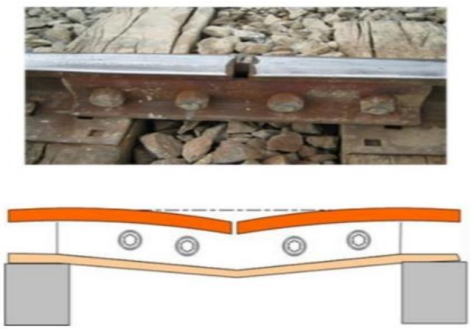


รูปที่14 สรุประดับความสำคัญของสาเหตุที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวตามโค้ดข้อบกพร่องตามมาตรฐาน (UIC)

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวตามรูปแบบโค้ดข้อบกพร่องตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากล (UIC Defect Code) มากที่สุด ได้แก่ อายุของราง มีค่าน้ำหนักความสำคัญ คือ 0.141 หรือร้อยละ 14.1 รองลงมาอันดับสอง คือสาเหตุเนื่องจากหมอนชำรุด มีค่าน้ำหนักความสำคัญ คือ 0.131 หรือร้อยละ 13.1 รองลงมาอันดับสาม คือหัวต่อรางห่าง มีค่าน้ำหนักความสำคัญ คือ 0.1263 หรือร้อยละ 12.63 รองลงมาอันดับสี่ คือสาเหตุเนื่องจากหัวต่อรางตก มีค่าน้ำหนักความสำคัญ คือ 0.1258 หรือร้อยละ 12.58 รองลงมาอันดับห้า คือสาเหตุเนื่องจากการสึกหรอของรูสลักเกลียว มีค่าน้ำหนักความสำคัญ คือ 0.1234 หรือร้อยละ 12.34 รองลงมาอันดับหก คือสาเหตุเนื่องจากสันราง

เป็นคลื่นมีค่าน้ำหนักความสำคัญ0.1233 หรือร้อยละ 12.33 รองลงมาอันดับเจ็ด คือสาเหตุเนื่องจากแผลล้อดิ้นมีค่าคะแนนรวม 0.1163 หรือร้อยละ 11.63 และรองลงมาอันดับแปด คือสาเหตุเนื่องจากการล้าของรอยเชื่อมเทอร์มิต มีค่าคะแนนรวมน้อยที่สุด 0.1147 หรือร้อยละ 11.47

รูปที่ 15 ลักษณะของหัวต่อรางห่างมีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว



รูปที่ 16 ลักษณะของหัวต่อรางตกมีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว

7. สรุปผลการศึกษา

จากข้อมูลสถิติรางหักหรือรางร้าวมากที่สุดช่วง 10 ปี ในพื้นที่ศึกษามีสถิติของรางหักหรือรางร้าวตามรูปแบบโค้ด 200 มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 40 จากจำนวนรางหักหรือรางร้าวทั้งหมดซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่ล้วนเป็นสาเหตุที่มาจากอายุการใช้งานของรางเกือบทั้งสิ้นโดยจากผลการศึกษาตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวมากที่สุดเรียงจากค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดได้แก่ อายุของราง หมอนชำรุด หัวต่อรางห่าง หัวต่อรางตก การสึกหรอของรูสลักเกลียว สันรางเป็นคลื่น แผลล้อดิ้น และการล้าของรอยเชื่อมเทอร์มิต ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3 และ จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสาเหตุสำคัญของรางหักหรือรางร้าวล้วนเกิดจากอายุการใช้งานของรางทั้งสิ้นการเปลี่ยนรางแทนรางเดิมที่มีอายุการใช้งานมานานเกินกำหนดเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก เพราะเมื่อรางถูกใช้งานนาน ๆ คุณสมบัติของวัสดุองค์ประกอบของรางจะค่อย ๆ เสื่อมสภาพลงจนหมดสภาพไปในที่สุด [9]

สำหรับการหักหรือร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องโค้ด 200 นั้นเป็นลักษณะการหักของรางตามขวาง (Transverse Break) เป็นรอยหักที่ไม่สามารถทราบจุดเริ่มได้อย่างแน่ชัดแต่รอยหักจะเกิดขึ้นทันทีทันใดโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาที่อากาศเย็นมาก ๆ สาเหตุเกิดจากรางมีอายุการใช้งานมานานจนเกิดการล้าประกอบกับสันรางเป็นแผลเนื่องจากล้อดิ้น และการสึกกร่อนของราง จนรางไม่สามารถรองรับน้ำหนักผ่านทางของขบวนรถที่ผ่านทางได้

Federal Railway Administration: FRA (2002) รอยแตกที่อยู่ภายในรางจนทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวส่วนใหญ่เกิดจากความล้าของรางเนื่องจากรางมีอายุการใช้งานมานานซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุรถไฟตกรางจากข้อมูลของทางรถไฟในอเมริกาในช่วงระยะเวลา 8 ปี (พ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2545) พบว่ามีจำนวนขบวนรถไฟตกรางทั้งสิ้น 122 ครั้งโดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดเนื่องมาจากรางหักที่มีสาเหตุมาจากอายุการใช้งานทั้งสิ้นซึ่งรายงานนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าการชำรุดของรางเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุรถไฟตกราง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท) และผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาและขอขอบคุณฝ่ายจัดการประชุมทุกฝ่าย ของการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 ในครั้งนี้ที่ให้โอกาสแก่ผู้วิจัยมานำเสนอผลการวิจัยเพื่อเผยแพร่แก่ผู้ที่สนใจได้นำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อไป ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับการสนับสนุนจากผู้จัดการประชุมในครั้งนี้ได้นำไปเผยแพร่ผลงานลงในวารสารโยธาแห่งชาติครั้งนี้ต่อไป ผู้เขียนขอขอบพระคุณยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [สนข.]. คู่มือการบำรุงรักษา โครงสร้างทางรถไฟ. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; 2561.

[2] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบราง. หลักสูตรฝึกอบรมฐานสมรรถนะมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพรถไฟความเร็วสูงและระบบราง. ธนบุรี: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2563.

[3] การรถไฟแห่งประเทศไทย. คู่มือบำรุงทาง. กรุงเทพฯ: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย; 2559.

[4] ทวี ธรรมารักษ์, ชุมสิน ทัพพะสุต และ ชวาล บุณยะวัฒน์ “รายงานการอบรม วิชาการบำรุงทางชั้นสูง ณ เมือง Poona ประเทศอินเดีย”, การรถไฟแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2506

[5] International Union of Rails, Handbook of Rail Defects. Netherlands, UIC Code 712R; 4th edition January 2004.

[6] วิศรุต แสงวิมาน และคณะ. การปรับปรุงตัวแปรในการเชื่อมรางรถไฟด้วยวิธีเทอร์มิทให้เหมาะสมกับประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 2564; 13(1): 262-278.

[7] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบราง. หลักสูตรฝึกอบรมฐานสมรรถนะมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพรถไฟความเร็วสูงและระบบราง. ธนบุรี: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2563.

[8] อุดม เหมาเพชร. การประเมินปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความชำรุดทางรถไฟ กรณีศึกษาทางรถไฟสายเหนือระหว่างสถานีพรหมพิราม ถึงสถานีเชียงใหม่. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2550.

[9] Esveld E. Modern Railway Track. 2 nd Edition. Nederland: Delft University of Technology; 2001.