การวิเคราะห์โครงสร้างการตัดสินใจเพื่อหาปัจจัยที่ทำให้รางหักหรือรางร้าว โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

Decision structure analysis to identify factors that cause rail broken or rail cracked using analytical hierarchy process

ธวัชชัย ปัญญาคิด*

อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

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

บทคัดย่อ

องค์ประกอบของโครงสร้างทางที่สำคัญที่สุดนั้น คือ ราง สภาพการชำรุดของรางที่ส่งผลให้มีความเสี่ยงสูงสุดต่อการเกิดอุบัติเหตุรถตกราง ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยด้านการใช้งาน โดยพบรูปแบบชำรุดของรางหักหรือรางร้าว โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process (AHP) เพื่อวิเคราะห์หาน้ำหนักและจัดลำดับความสำคัญของของปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว จากการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านการซ่อมบำรุงรักษาเป็นปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวมากที่สุดโดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 35.7 รองลงมาอันดับสอง คือ ปัจจัยเนื่องจากการใช้งานมีค่าน้ำหนักความสำคัญ ร้อยละ 30.4 รองลงมาอันดับสาม คือ ปัจจัยเนื่องจากการออกแบบมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 18.2 และลำดับสุดท้าย คือปัจจัยภายนอกมีค่าน้ำหนักความสำคัญ ร้อยละ 15.7 และค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักพบว่าปัจจัยรองเนื่องจากการอัดหินโรยทาง (Tamping) ซึ่งอยู่ภายใต้ปัจจัยหลักด้านการซ่อมบำรุงรักษามีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดร้อยละ 20.9 รองลงมาอันดับสอง คือปัจจัยเนื่องจากน้ำหนักผ่านทางต่อปีและสะสมมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 17.30 รองลงมาอันดับสามคือปัจจัยเนื่องจากการกำจัดวัชพืชและการทำความสะอาดหินโรยทางมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 10.10

คำสำคัญ: สมาคมรถไฟสากล, รางหักหรือรางร้าว, อายุของราง, หมอนรองราง

Abstract

The most important structural element is the rail. Be the dilapidation of a rail which be born from a rail deteriorates that have tall risk track car accident derails which there is the cause is from side usability factor. The aim of this study is to investigate the elements that lead to rail breaks or cracks by using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to weigh and rank each contributing component. According to the study's findings, the maintenance component was the one that contributed most to rail breaks or cracks, with a weight of relevance of 35.7%, followed by the second factor. The element resulting from design having a weight of importance of 18.2% was in third place, with users having an important weight of 30.4%, and last place. This means that the significant weight of the second factor was under the external factor's significance weight of 15.7%. and it was discovered that the secondary factor resulting from tamping under the main factor on maintenance had a value of 20.9% which was the weight that was the most significant. a factor due to weeding and paving stone cleaning had a significant weight of 10.10%.

Keywords: International union of rails (UIC), broken rails or rail cracks, Rail age, Sleeper

1. บทนำ

รางนับเป็นโครงสร้างส่วนบนที่สำคัญที่สุดของทางรถไฟทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของรถจักรและล้อเลื่อนที่วิ่งผ่านไปมา โดยบังคับให้ล้อวิ่งไปตามที่ต้องการ รางที่วางในทางรถไฟปัจจุบันเป็นรางแบบฐานแบน (Flat Bottom Rails) รูปร่างของรางที่เป็นอยู่ปัจจุบันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการพิจารณาในด้านการทำหน้าที่ของรางวิธียึดเหนี่ยวรางให้ติดกับหมอนรองรางและความประหยัดวัสดุ คือ เหล็กที่นำมาผลิตราง รูปหน้าตัดของรางแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ (แสดงดังรูปที่ 2)

- หัวราง (Head) เป็นส่วนที่สัมผัสกับล้อรถ จะต้องมีสันรางที่สอดคล้องกับรูปลักษณะ(Contour) ของล้อ
- ฐานราก(Base) เป็นส่วนที่สัมผัสและถูกยึดตรึงติดกับหมอนรองราง ฐานรางจะต้องกว้างพอที่รางจะนั่งบนหมอนได้อย่างมั่นคง และสะดวกต่อการติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยว
- เอวราง(Web) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงหัวรางเข้าด้วยกันเอวรางจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรับแรงดัด(Bending) แต่ต้องไม่หนาเทอะทะ

ทางรถไฟประกอบด้วยราง 2 รางเป็นตัวกำหนดระยะห่างของรางเรียกว่า "เกจ" (Gauge) และมีคันดินเป็นฐานรองรับทางรถไฟทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ รับน้ำหนักรถไฟ (Load Bearing) และกำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ (Direction Guiding)

1.1 รับน้ำหนักรถไฟ (Load bearing)ทาง (Ballast Track)

สิ่งที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของทางรถไฟเรียกว่าน้ำหนักกดเพลา (Axle Load) และการกระจายของน้ำหนักบนทาง (Load Distribution) ซึ่งใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบทางรถไฟและขบวนรถไฟ

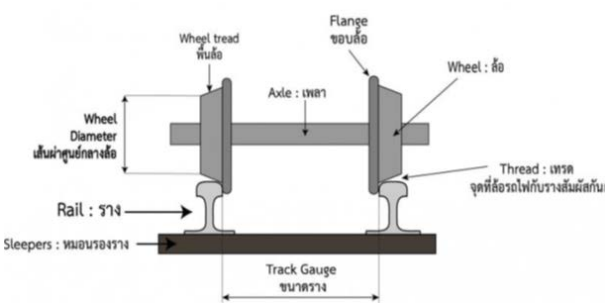
ทางรถไฟที่ออกแบบโดยใช้มาตรฐานน้ำหนักกดเพลาสูง หมายถึง ทางรถไฟต้องออกแบบให้ใช้รางขนาดใหญ่วางอยู่บนโครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งจะทำให้ค่าก่อสร้างแพงขึ้น แต่ก็จะมีขีดความสามารถในการขนส่งสูงด้วย ดังนั้นการนำรถไฟมาวิ่งบนทางต้องคำนึงถึงน้ำหนักของรถไฟที่วิ่งด้วย ทางรถไฟที่ออกแบบสำหรับรถสินค้าที่มีน้ำหนักกดเพลาสูงเมื่อนำรถโดยสารซึ่งเบากว่ามาวิ่งก็จะรู้สึกถึงความมั่นคงที่ดีแต่ในทางกลับกันถ้าเป็นทางที่ทำไว้ดีสำหรับรถโดยสารแล้ว การนำรถสินค้าไปวิ่งทางอาจจะชำรุดทรุดโทรมเร็วไม่ค่อยสมประโยชน์ในสมัยโบราณหัวรถจักรไอน้ำเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุด แต่ปัจจุบันรถสินค้าคือส่วนที่หนักไม่แพ้กันรถสินค้าในยุโรปมีน้ำหนักกดเพลาอยู่ที่ 25 ตัน ขณะที่รถสินค้าในออสเตรเลียน้ำหนักกดเพลาอยู่ที่ 26 ตัน การสร้างทางรถไฟความเร็วสูงโดยทั่วไปกำหนดน้ำหนักกดเพลาไว้ ที่ 17-19 ตัน

ถ้าย้อนกลับไปในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 จะพบว่าทางรถไฟของไทย สามารถรองรับน้ำหนักกดเพลาสูงสุดได้เพียงแค่ 10.5 ตัน ในขณะที่รถสินค้ามีน้ำหนักกดเพลาอยู่ที่ 8-10 ตัน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการปรับปรุงทางรถไฟเดิมให้สามารถรับน้ำหนักกดเพลาได้สูงสุด 16 ตัน ทั่วประเทศ แต่อย่างไรก็ตามในการปรับปรุงทางขนานใหญ่ (Rehabilitation) ก็ได้กำหนดออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักกดเพลาได้สูงสุดถึง 20 ตัน รถไฟโดยสารก็สามารถทำความเร็ว ได้สูงถึง 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในปัจจุบันโครงสร้างทางรถไฟได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับชั้น ถ้าเป็นขบวนรถไฟขนาดเล็กมีน้ำหนักรถเบาจะเป็นโครงสร้างทางรถไฟที่วิ่งในเมืองหรือรถรางเรียกกันว่า Light Rail ส่วนโครงสร้างทางสำหรับรถไฟขนาดใหญ่จะสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักขบวนรถไฟที่มีน้ำหนักมากประกอบด้วยโครงสร้างที่แข็งแรงเรียกว่า Heavy Rail การแบ่งระดับชั้นนี้ใช้บอกขีดความสามารถในการขนส่งของระบบขนส่งมวลชน เช่น Heavy Rail คือระบบขนส่งมวลชนที่มีขีดความสามารถขนคนได้มากกว่า 50,000- 60,0000 คน/ชั่วโมง/ทิศทาง เป็นต้น

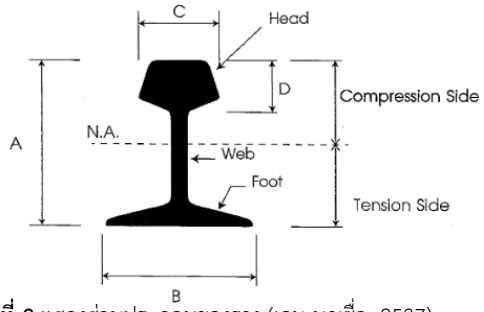
1.2 หน้าที่ในการกำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ

กำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ (Direction Guiding) ล้อรถไฟและรางรถไฟจะทำงานสัมพันธ์กันในการกำหนดเส้นทางวิ่งไปตามราง ส่วนประกอบหลักของล้อที่ทำหน้าที่ประคองตัวรถให้วิ่งไปตามราง และบังคับไม่ให้ตกราง คือ บังใบ (Flange) ซึ่งอยู่ด้านในล้อส่วนพื้นล้อตรงส่วนที่สัมผัสหัวราง เรียกว่าเทรด (Thread) เส้นผ่าศูนย์กลางล้อที่วัดตรงจุดสัมผัสนี้เรียกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ณ จุดสัมผัส (Diameter on Thread) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กำหนดทิศทางการวิ่งของขบวนรถไฟ (Direction Guiding) (มจธ, 2563)

รางรถไฟมีวิวัฒนาการมานานมากตามเทคโนโลยีในการผลิตที่หาได้ในแต่ละยุคสมัยจนถึงปัจจุบันทางรถไฟจะทำด้วยเหล็กเหนียวรีดร้อน รูปร่างของรางที่เป็นอยู่ปัจจุบัน เป็นผลสืบเนื่องมาจากการพิจารณาในด้านการทำหน้าที่ของราง วิธียึดเหนี่ยวรางให้ติดกับหมอนรองราง (Sleeper) และความประหยัดวัสดุ แสดงดังรูปที่ 2 รางที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายขนาดและมีหลายมาตรฐาน เช่นรางขนาด 80 ปอนด์ 100 ปอนด์ UIC 54 และ UIC 60 จะมีความยาวท่อนละ 18.00 เมตร และ 25.00 เมตร แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของราง (เจน บุญชื่อ, 2537)

ตารางที่ 1 หน้าตัดรางที่ใช้ในปัจจุบันในประเทศไทย

ขนาดราง	มาตรฐาน	ชื่อย่อ
UIC 60	European Standar	UIC 60
UIC 54	European Standard	UIC 54
100 ปอนด์ต่อหลา	British Standard	B.S. 100 A.
85 ปอนด์ต่อหลา	American Society of Civil Engineers	ASCE (8540)
80 ปอนด์ต่อหลา	British Standard	B.S. 80 A.
80 ปอนด์ต่อหลา	British Standard	B.S. 80 R.

(สนข, 2561)

1.3 รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟ

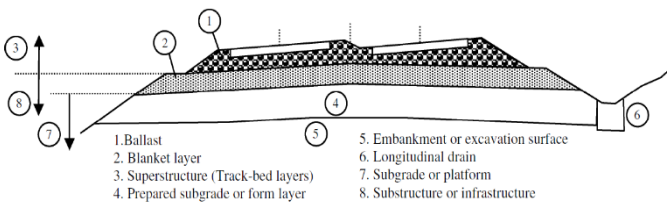
รูปแบบโครงสร้างทางรถไฟในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1.3.1 โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track)

โครงสร้างของทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทางประกอบด้วย โครงสร้างทางส่วนบน และโครงสร้างทางส่วนล่าง แสดงดังรูปที่ 3

- 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 (Hakan, 2013)



รูปที่ 3 โครงสร้างของทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track)

โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballasted Track) มีข้อดี คือ ต้นทุนที่ใช้ในการซ่อมบำรุงรักษาต่ำกว่าโครงสร้างชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) และขั้นตอนการซ่อมบำรุงรักษาในส่วนของโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่างสามารถทำได้ง่ายกว่าด้วยโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) นอกจากนี้โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballasted Track) ชนิดที่รางวางบนหมอนไม้ และวางบนหมอนคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 2 จะมีต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) แต่อย่างไรก็ตามหากต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาอยู่บ่อย ๆ เมื่อพิจารณารวมกับจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงรักษา ก็จะพบว่ามีค่าบำรุงรักษาทางที่ค่อนข้างสูงกว่าโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) ปัจจุบันจึงมีการพัฒนารูปแบบของทางรถไฟสมัยใหม่ด้วยการนำระบบทางรถไฟชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) เข้ามาใช้เพื่อลดต้นทุนและกระบวนการในการบำรุงรักษารวมถึงยืดอายุการใช้งานของทางรถไฟ

1.3.2 โครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track)

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

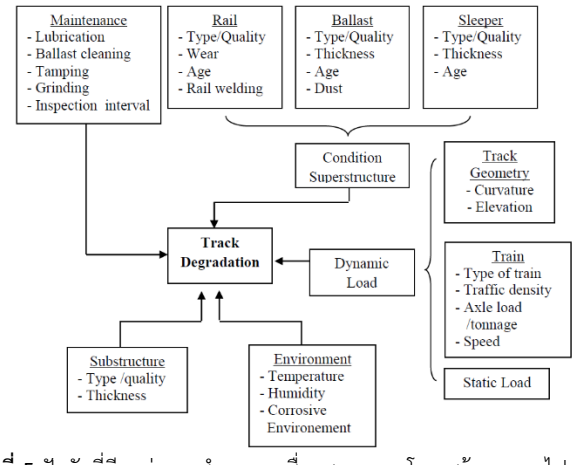
รูปที่ 4 ลักษณะของโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track)

ปัจจุบันทางรถไฟประเภทนี้ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน รถไฟลอยฟ้าและระบบรถไฟชาญเมือง แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างทางชนิดไม่ใช้หินโรยทาง (Slab Track) ไม่นิยมนำมาใช้กับทางรถไฟที่มีระยะทางการขนส่งไกล ๆ เนื่องจากจะทำให้มีต้นทุนการก่อสร้างที่สูงและความถี่ของขบวนรถยังไม่มากพอ ทำให้ยังไม่คุ้มค่ากับการลงทุนที่จะใช้ โครงสร้างทางแบบนี้ ซึ่งราคาแพงกว่าโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทาง (Ballast Track) อยู่ประมาณ 30-50% หรือว่าในบางครั้งอาจจะแพงกว่านี้ถึงเท่าตัว (Esveld, 2001)

2. การชำรุดและเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางรถไฟ

ทางรถไฟเมื่อต้องใช้งานอยู่เป็นประจำย่อมเกิดความเสื่อมและชำรุดได้ เนื่องจากขบวนรถมีน้ำหนักมากและมีความเร็วสูง จึงมีแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างล้อเลื่อนกับทางที่กระทำต่อกันในหลายลักษณะจำนวนมาก ทำให้ล้อเลื่อนและทางถูกทำลาย จึงต้องมีการบำรุงรักษาทั้งล้อเลื่อนและทางไปพร้อม ๆ กันเพื่อให้อายุการใช้งานของล้อเลื่อนและทางมีอายุใช้งานที่นานขึ้น การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท) แบ่งฝ่ายการซ่อมบำรุงเป็น 2 ฝ่ายได้แก่ ฝ่ายการช่างกลทำหน้าที่บำรุงรักษาล้อเลื่อน และฝ่ายการช่างโยธา ทำหน้าที่บำรุงรักษาทาง ความชำรุดที่เป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาระหว่างล้อเลื่อนกับทางสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ประเภทความชำรุดที่เกิดจากตัวรถไฟและความชำรุดที่เกิดจากโครงสร้างทางรถไฟ ซึ่งบางสาเหตุความชำรุดอาจมีความสัมพันธ์กันเป็นปัจจัยก่อให้เกิดการสนับสนุนซึ่งกันและกัน

ดังนั้นปัจจัยการชำรุดและเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางจึงมีหลายปัจจัย ขึ้นอยู่กับการชำรุดและเสื่อมสภาพขององค์ประกอบทางส่วนใดที่เป็นสาเหตุหลักทำให้ทางรถไฟขาดความมั่นคงแข็งแรงจึงต้องมีการวิเคราะห์รูปแบบความเสื่อมขององค์ประกอบนั้นอย่างละเอียด เพื่อที่จะช่วยเป็นกรอบในการตัดสินใจเลือกแผนการซ่อมบำรุงและปรับปรุงโครงสร้างทางให้แข็งแรงขึ้นตามวัฏจักรวงจรชีวิตของทางรถไฟให้มีประสิทธิภาพต่อไป เมื่อไม่สามารถควบคุมอัตราการชำรุดและเสื่อมสภาพของทางได้ก็จะทำให้ความแข็งแรงของทางรถไฟก็จะลดลงตามมา หากองค์ประกอบของโครงสร้างทางช่วงใดเกิดความชำรุด และไม่ได้รับการตรวจพบและซ่อมฉุกเฉินเสียก่อนก็จะทำให้สภาพทางช่วงนั้น มีความเสี่ยงสูงต่ออุบัติเหตุรถไฟตกรางได้ ซึ่งเมื่อเกิดเหตุรถไฟตกรางก็จะส่งผลต่อความสูญเสียของชีวิตทรัพย์สินและงบประมาณในการซ่อมบำรุงและปรับปรุงสภาพทางและทำให้ภาพลักษณ์ขององค์กรต่อสาธารณะชนเกิดความเสียหายส่งผลให้ผู้โดยสารที่ใช้บริการเกิดความไม่มั่นใจต่อความปลอดภัยในการโดยสารรถไฟ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาค้นคว้าอย่างละเอียดถึงปัจจัยที่ทำให้ระบบหรือองค์ประกอบของโครงสร้างทางเสื่อมสภาพ จนชำรุด และประเมินความเสี่ยงของโอกาสการเกิดความชำรุดเพื่อตัดสินใจวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปัจจัยที่มีผลต่อการชำรุดและเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางรถไฟ (Ferreira, 1997)

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการชำรุดและเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางรถไฟ

1) การซ่อมบำรุงรักษาทางรถไฟ (Maintenance) ในการซ่อมบำรุงรักษาทางรถไฟมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเดินขบวนรถเป็นการยืดอายุการใช้งานให้ยาวนาน และช่วยป้องกันเหตุอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับขบวนรถไฟ

2) โครงสร้างทางส่วนบน (Super Structure) เป็นตัวที่รับน้ำหนักจากขบวนรถไฟโดยตรงโดยส่วนที่รับขบวนรถไฟก็คือราง สาเหตุเนื่องจากถ้าเกิดรางหักหรือเป็นแผลจะมีผลกระทบต่อเนื่องจนถึงโครงสร้างส่วนล่าง (Sub Structure) เมื่อมีแรงกระแทกกับหมอนคอนกรีตมาก ๆ จะทำให้หินรองรางแตกได้ และเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ขบวนรถอาจตกรางได้

3) โครงสร้างทางส่วนล่าง (Sub Structure) มีความสำคัญ เพราะเป็นตัวรับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบน ถ้าชั้นดินคันทางไม่ดีหรือมีน้ำขังในทางจะทำให้ทางเสียหายได้ และ ถ้าทางเสียมาก ๆ น้ำหนักของขบวนรถจะไปกดหรือกระแทกรางจนรางหักได้ สภาพแวดล้อมมีผลต่อโครงสร้างทางส่วนล่างเป็นอย่างมาก ถ้าชั้นดินไม่หนาแน่นพอหรือมีน้ำขัง อาจไม่สามารถรับน้ำหนักของขบวนรถได้ตามที่ต้องการน้ำหนักของขบวนรถอาจทำให้รางหักหรือร้าวได้

4) แรงที่กระทำต่อโครงสร้างทาง (Dynamic and Static Load) ถ้าทางไม่ดีเมื่อมีน้ำหนักผ่านทางจากขบวนรถไปกดหรือกระแทก อาจส่งผลทำให้รางหักได้ถ้าเป็นทางโค้งหรือทางลาด อาจจะทำให้รางเป็นแผล หรือรางเดิน (รางเคลื่อนได้) ถ้ารางเคลื่อนมาก ๆ อาจทำให้เครื่องยึดเหนี่ยวรางขาดหรือชำรุดได้โดยความเร็วของขบวนรถไฟยังมีผลต่อแรงที่กระทำต่อโครงสร้างทางด้วยเช่นกัน ทางรถไฟในกรุงเทพ ฯ หรือในเขตเมืองแรงที่มากระทำกับโครงสร้างทางรถไฟนอกจากแรงที่เกิดจากการขบวนรถไฟ ฯ ที่มากระทำเองแล้วยังมีแรงกระทำด้านข้างที่มาจากรถยนต์ที่วิ่งผ่านในบริเวณทางรถไฟได้ด้วยเช่นกันมีผลทำให้ทางรถไฟมีโอกาสที่จะเสียหายได้เร็วขึ้นเช่นกัน

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

6) การกำจัดวัชพืชและการล้างหินโรยทาง (Ballast Cleaning) มีความสำคัญในระดับหนึ่ง เช่น ถ้าหินโรยทางทางมีความสกปรกหรือมีเศษดินอยู่ในทางเป็นจำนวนมากในสภาพที่อากาศร้อนดินเหล่านั้นจะมีความแน่นเป็นอย่างมาก แต่ในสภาพที่ฝนตกหนักหรือมีความชื้นสูงดินนั้นจะอ่อนลงทำให้ทางเสียหายมากกว่าปกติ

7) การเจียราง (Grinding) ความไม่สม่ำเสมอของเรขาคณิตทางรถไฟสามารถก่อให้เกิดแรงกระทำพลวัตที่สูงมากซึ่งความผิดปกติเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตหรือเป็นผลมาจากกิจกรรมการเดินรถไฟ ข้อบกพร่องเชิงพื้นที่ของทางรถไฟ เรียกว่า ความเป็นคลื่นของรางซึ่งเป็นความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่งที่เกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ บริเวณจุดสิ้นสุดของรางรถไฟ แม้ว่าความเป็นคลื่นของรางจะไม่ได้เป็นต้นเหตุความเสี่ยงของการตกรางแบบฉับพลัน แต่อาจเกิดปัญหาที่ไม่พึงประสงค์หลายอย่างขึ้นได้ เช่น เสียงที่ดังขึ้น และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับผู้โดยสาร การเสื่อมสภาพของหินโรยทาง และรอบการบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้น (Magel and Kalousek, 2002)

8) การอัดหินโรยทาง (Tamping) ในการอัดหินโรยทางมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อทางรถไฟ ถ้าไม่มีการอัดหินทางบริเวณนั้นจะเป็นหลุมและอาจจะทำให้เกิดความเสียหายได้

2.2 ปัจจัยที่ทำให้รางหักหรือรางร้าว (Rail Broken or Crack)

การระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางที่มีผลมาจากรางหักหรือรางร้าวในการศึกษานี้ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญงานซ่อมบำรุงทางรถไฟของฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) สภาพของวัสดุทาง

สภาพของวัสดุทางที่ชำรุด เช่น หมอนรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หินโรยทางฯ ลฯ วัสดุทางที่มีสภาพชำรุดทรุดโทรมจะเป็นตัวเร่งอัตรารางเสื่อมสภาพ เช่นสลักเกลียวต่อรางหลวมจะเป็นสาเหตุให้หัวต่อรางชนกันหรือห่างกันมากเกินไป เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง (Lichtberger, 2005) ก็อาจเกิดรางคดหรือหัวต่อรางชำรุดเสื่อมสภาพ ลักษณะสภาพของวัสดุทางที่ชำรุดที่พบบ่อยอยู่ในทาง ได้แก่ รอยเชื่อมชำรุด หมอนรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวชำรุด และรางหักเนื่องจากอายุการใช้งานของราง เป็นต้น

2) อายุของราง

การเปลี่ยนรางแทนรางเดิมที่เสื่อมสภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดเพราะเมื่อรางถูกวางใช้งานคุณสมบัติของวัสดุองค์ประกอบของรางจะค่อยๆ เสื่อมสภาพลงจนหมดสภาพในที่สุดถ้าสามารถระบุอายุการใช้งานของรางแล้วเปลี่ยนรางใหม่เข้าแทนรางเดิมที่เสื่อมสภาพก็จะสามารถลดแรงกระทำระหว่างล้อเลื่อนกับราง ทำให้อัตราความเสื่อมของล้อเลื่อนลดลง อายุการใช้งานของรางขึ้นอยู่กับน้ำหนักผ่านทางสะสมจะแสดงถึงความหนาแน่นหรือความจุของขบวนรถที่ผ่านทาง ซึ่งทุกประเภทของลักษณะความเสื่อมทาง เช่น การเติบโตขึ้นของความคลาดเคลื่อนมิติเรขาคณิตทาง, การเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวและรางสึก เป็นต้น (Esveld, 2001)

Masanobu and Keita (2006) ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของรางมีหลายปัจจัยแต่ปัจจัยหลัก มีดังนี้

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

3) น้ำหนักบรรทุกเพลา

Esveld (2001) น้ำหนักเพลายิ่งสูงจำนวนข้อบกพร่องรางก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วยน้ำหนักเพลาที่สูงบริเวณจุดสัมผัสระหว่างล้อเลื่อนกับรางจะเกิดแรงเค้นในรางสูงขึ้นทำให้อัตรารางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

4) ความเร็วของขบวนรถไฟ

เมื่อขบวนรถวิ่งผ่านบนรางธรรมชาติของการเคลื่อนตัวของล้อบนรางในแนวทิศทาง Sine Curve สลับไปมาทำให้เกิดแรงดันด้านข้าง (มนต์ชัย ตัจฉกานันท์, 2532) ทำลายขนาดทางและแนวราง ทำให้ทางไม่มีความสม่ำเสมอ ยิ่งความเร็วยิ่งสูงแรงดันด้านข้างก็จะเพิ่มขึ้นมากตามด้วย ส่วนในทางโค้งเมื่อขบวนรถเข้าโค้งล้อจะเบียดรางไปตามรูปโค้งเป็นผลทำให้เกิดรางสึกในโค้ง

5) การอัดหินโรยทาง

การอัดหินโรยทางเข้าใต้ท้องหมอน ก็เพื่อรักษาระดับทางให้ถูกต้องโดยเฉพาะระดับตามขวาง (Cross Level) หินโรยทางจะทำหน้าที่รับและกระจายน้ำหนักที่ถ่ายจากหมอนลงสู่ดินคันทางเบื้องล่าง (Esveld, 2001)

โดยหมอนจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับรางทำหน้าที่รักษาขนาดทาง, รับน้ำหนักที่ถ่ายจากราง และรักษาแนวทาง

6) การทำความสะอาดของหินโรยทาง

Lichtberger (2005) หินโรยทางที่สกปรกจะทำหน้าที่ของมันได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเสียคุณสมบัติความหยุ่นตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักตลอดจนคุณสมบัติในการระบายน้ำในแต่ละตำแหน่งบนทางความสะอาดของหินโรยทางจะแตกต่างกันทำให้เกิดแรงเค้นที่แตกต่างกัน หินโรยทางที่สกปรกมากจะเกิดแรงเค้นสูงและทำให้หินสึกกร่อนเร็ว ซึ่งเป็นผลให้อัตราเสื่อมของทางในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน ถึงแม้แต่ตำแหน่งของโครงสร้างทางที่อยู่ใกล้กันเป็นโครงสร้างชนิดเดียวกันและมีน้ำหนักผ่านทางสะสมที่เท่ากัน แต่อัตราเสื่อมของทางก็ยังมีความแตกต่างกัน

7) ความหนาแน่นของขบวนรถไฟ

Lichtberger (2005) เมื่อล้อเลื่อนเคลื่อนที่บนรางก็จะเกิดแรงเค้นบนพื้นที่ที่ล้อสัมผัสเนื่องจากน้ำหนักล้อเลื่อนกระทำต่อราง ซึ่งในทางที่มีความหนาแน่นของปริมาณการจราจรสูงจะทำให้เกิดแรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างล้อกับรางสูงมีผลทำให้รางสึกและเกิด Rolling Contract Fatigue โดยเฉพาะจุดที่ล้อเลื่อนกับรางสัมผัสที่ตำแหน่งเดียวทำให้เกิดแรงเค้นสูง โดยส่วนใหญ่จะเกิดในรางที่มีการสึกไม่มากอยู่ในระดับกลาง

8) ประเภทของขบวนรถไฟ

ประเภทของขบวนรถที่มีน้ำหนักเพลามากเกินไปจนทำให้แรงเค้นในรางเกิน Elastic Limit จะทำให้เนื้อรางปลิ้นออกข้าง ๆ เรียกว่า “Flow” ซึ่งจะส่งผลต่ออัตรารางเสื่อมสภาพ

9) ลักษณะของแคร่รถไฟ

แคร่รถที่มีคุณภาพต่ำส่วนใหญ่จะมีราคาถูกแต่จะเพิ่มอัตราความเสื่อมของทาง ดังนั้นลักษณะของแคร่รถจึงมีอิทธิพลต่ออัตรารางเสื่อมสภาพ

10) ปฏิกิริยาระหว่างล้อกับราง

Lichtberger (2005) ปฏิกิริยาระหว่างล้อและรางเกิดจากพลศาสตร์ของการเคลื่อนที่ขบวนรถซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของล้อเลื่อนและแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการเดินรถ เนื่องจากการสัมผัสระหว่างล้อและรางบริเวณพื้นที่จุดสัมผัสที่เกิดขึ้นบนสันรางประกอบด้วย ส่วนที่พื้นล้อเกาะติดกับผิวรางและส่วนพื้นที่ที่เกิดการลื่นไถล ทำให้พื้นล้อและรางที่สัมผัสกันเกิดแรงเค้นสูงซึ่งจะนำมาซึ่งเกิดการปลิ้นและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณขอบเขตพื้นสัมผัสดังนั้นมิติเรขาคณิตของพื้นที่สัมผัสล้อ/ราง จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับพฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถ

Anil, Paul, Vishram and Gupta (2006) ข้อบกพร่องของรางที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างล้อกับรางมีสาเหตุดังนี้

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

11) ทางโค้ง

Lichtberger (2005) ในทางโค้งระยะทางที่ล้อเลื่อนเคลื่อนที่บนรางสูงจะมีระยะทางมากกว่าที่ล้อเลื่อนเคลื่อนที่บนรางต่ำ ทำให้การหมุนของล้อเลื่อนทั้งสองข้างขณะเคลื่อนที่บนรางจึงแตกต่างกัน โดยล้อเลื่อนด้านรางสูงจะเบียดหัวรางทำให้รางสึกและล้อเลื่อนด้านรางต่ำจะมีอาการฟรีโดยเฉพาะในโค้งรัศมีแคบ (200-400 ม.) ทำให้ผิวสันรางเป็นลูกคลื่น

12) ทางลาดชัน

ความลาดของทางมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถอย่างมากเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกบางส่วนดึงรถลงไปตามแนวลาดชันก็มีแรงดึงมากขึ้น ดังนั้นเวลาขบวนรถไฟจะต้องวิ่งขึ้นทางลาดชันมาก ๆ รถจักรก็ต้องเพิ่มกำลังขับเคลื่อนมากกว่าเดิม และเมื่อลงลาดชันก็ต้องใช้แรงจากห้ามล้อมากกว่าเดิมด้วย ซึ่งโดยปกติอัตราการสึกของรางที่วางในทางลาดจะมากกว่ารางที่วางในทางราบอันเป็นผลมาจากการลงห้ามล้อ (ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย, เอกสารการอบรมวิชาความรู้เกี่ยวกับทางถาวร, 2537)

13) การยกโค้ง

การยกโค้งทำได้โดยยกระดับรางด้านโค้งนอกขึ้นให้สูงกว่ารางด้านในโค้งเพื่อลดแรงหนีศูนย์กลางให้ขบวนรถเดินผ่านด้วยความเร็วสูงขึ้น การยกโค้งป้องกันมิให้รถพลิกคว่ำได้ขณะวิ่งผ่านทางโค้ง ขณะที่การเสื่อมของรางสูงหรือรางต่ำถ้าวางอยู่ในโค้งรัศมีเดียวกันจะขึ้นอยู่กับความเร็ว ถ้าความเร็วขบวนรถที่วิ่งสูงกว่าความเร็วพิกัดทางที่กำหนดไว้ซึ่งพิจารณาจากค่ายกโค้งจะทำให้รางสูงเสื่อมมากกว่ารางต่ำแต่ถ้าขบวนรถวิ่งด้วยความเร็วต่ำกว่าพิกัดทางรางต่ำก็จะเสื่อมมากกว่ารางสูง (Mundray, 2000)

14) สภาพแวดล้อมของการใช้งาน

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

15) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำรางและล้อเลื่อน

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

16) ความแข็งของราง

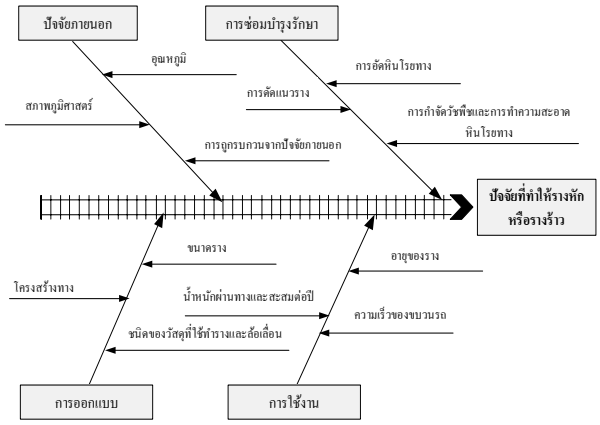
ความแข็งของรางเป็นคุณสมบัติที่คงทนต่อการสึกหรอของรางจะมีคุณสมบัติแข็งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคาร์บอน ถ้ามีคาร์บอนมากก็มีความแข็งและทนต่อการสึกหรอมาก แต่อย่างไรก็ตามในทางบางตอนที่เป็นทางโค้งและมีขบวนรถวิ่งหนาแน่นในความเร็วสูงก็ยังไม่สามารถทนต่อการเสียดสีได้ เป็นเหตุให้รางเกิดการสึกหรอได้เร็วเช่นกัน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

19) 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)

จากสาเหตุย่อยข้างต้นสามารถจัดกลุ่มของปัจจัย ตามวัฏจักรชีวิตรางออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบ ปัจจัยภายนอก การใช้งาน และการซ่อมบำรุงรักษา แสดงโดยแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่ส่งผลทำให้รางหักหรือรางร้าว

จากแผนผังก้างปลาแสดงดังรูปที่ 6 แสดงปัจจัยที่ส่งผลทำให้รางหักหรือรางร้าว ซึ่งประกอบด้วย (1) ปัจจัยการออกแบบ ได้แก่ โครงสร้างทาง ขนาดของราง ต้องมีการกำหนดคุณสมบัติความแข็งของเหล็กที่ใช้ผลิตรางให้สอดคล้องกับคุณสมบัติความแข็งของล้อเลื่อน การออกแบบขนาดรางต้องเหมาะสมกับน้ำหนักเพลา ความโค้งของล้อเลื่อน ความหนาแน่นของขบวนรถ ชนิดของขบวนรถ เป็นต้น (2) การใช้งานจะต้องให้มีความสอดคล้องกับที่ได้ออกแบบไว้ เช่นน้ำหนักผ่านทาง อายุการใช้งานของราง ความเร็วของขบวนรถ เป็นต้น (3) ปัจจัยภายนอก ซึ่งได้แก่ สภาพภูมิศาสตร์ อุณหภูมิ รวมทั้งปัจจัยภายนอกตลอดเส้นทางรถไฟที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่นมีน้ำท่วมขัง เป็นต้น และ (4) การซ่อมบำรุงรักษา ได้แก่ การอัดหินโรยทาง การกำจัดวัชพืชและการทำความสะอาดหินโรยทาง การตัดแนวราง เป็นต้น ล้วนมีผลต่ออายุการใช้งานของรางเช่นเดียวกัน

3. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ทฤษฎีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) กระบวนการลำดับเชิงวิเคราะห์ (AHP) เป็นทฤษฎีการตัดสินใจซึ่งจะสร้างโครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchy structure) ของปัจจัยการตัดสินใจและใช้การเปรียบเทียบปัจจัยการตัดสินใจแบบเป็นคู่ (Pairwise comparison) โดยใช้สเกลอัตราส่วน (Ratio scales) ซึ่งหลักเกณฑ์ทั่วไปของกระบวนการลำดับเชิงวิเคราะห์ มีพื้นฐานมาจากความซับซ้อนและความยากลำบากในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยการตัดสินใจที่หลากหลาย หรือจะต้องพิจารณาทางเลือกที่หลากหลายในคราวเดียวกัน (Miller, 1956) แต่คนทั่วไปสามารถประเมินปัจจัย 2 ปัจจัยหรือพิจารณาทางเลือก 2 ทางเลือกได้ดีในคราวเดียวกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบทางเลือกเป็นคู่ ที่อยู่ในรูปสเกลอัตราส่วน (Ratio scales) จึงเป็นหลักการพื้นฐานที่สำคัญของ AHP (Saaty 1980)

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ AHP AHP ได้รับพัฒนาขึ้นเกือบ 40 ปีที่แล้ว ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้ทุ่มเทการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ AHP และนำมาซึ่งการพัฒนาและปรับปรุงรากฐานทางทฤษฎีของ AHP และทำให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น กระบวนการของ AHP โดยทั่วไปมีพื้นฐานมาจาก 4 ส่วน (Saaty, 1980 อ้างถึงใน พนกฤษณ คลังบุญครอง, 2561) คือ

1) การจำแนกองค์ประกอบการตัดสินใจ (Decomposition)

2) การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization)

3) การสังเคราะห์ (Synthesis)

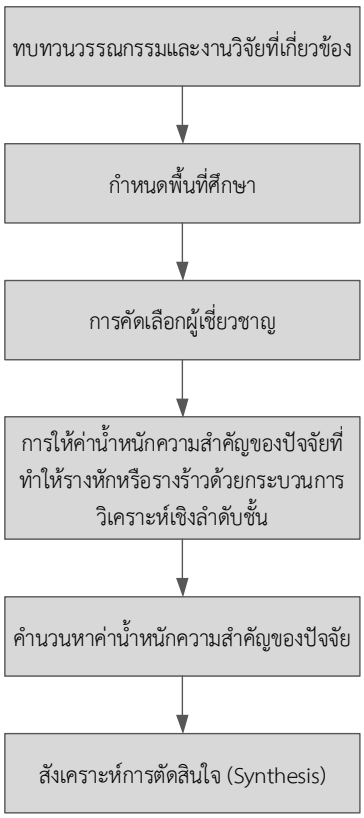
การศึกษานี้ได้คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยแบ่งผู้เชี่ยวชาญออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงทางรถไฟในระดับปฏิบัติการที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาคือทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือช่วงชุมทางถนนจิระ-สถานีหนองคาย และ กลุ่มที่ 2 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงทางรถไฟในระดับผู้บริหารและเป็นวิศวกรที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา และไม่อยู่ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งรายเอียดของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่ม โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญนั้นอ้างอิงจาก (Hakan, 2013) มีรายละเอียดดังนี้

1) ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มแรกจบการศึกษาไม่น้อยกว่าระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส) ถึงระดับปริญญาตรี สังกัดอยู่ในหน่วยงาน ฝ่ายการช่างโยธา ของการรถไฟแห่งประเทศไทย

2) ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มสองจบการศึกษาระดับปริญญาตรี ถึงปริญญาเอกด้านวิศวกรรมโยธา และอยู่ในตำแหน่งผู้บริหารระดับสูงของฝ่ายการช่างโยธา ของการรถไฟแห่งประเทศไทยโดยเป็นกลุ่มวิศวกรทั้งหมด

3) ผู้เชี่ยวชาญทั้งสองกลุ่มจะต้องมีประสบการณ์ในการทำงานด้านการตรวจสอบสภาพทางและการซ่อมบำรุงทางรถไฟไม่น้อยกว่า 15 ปี

ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าว แสดงดังรูปที่ 7 โดยมีโครงสร้างการให้น้ำหนักของปัจจัยแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 2

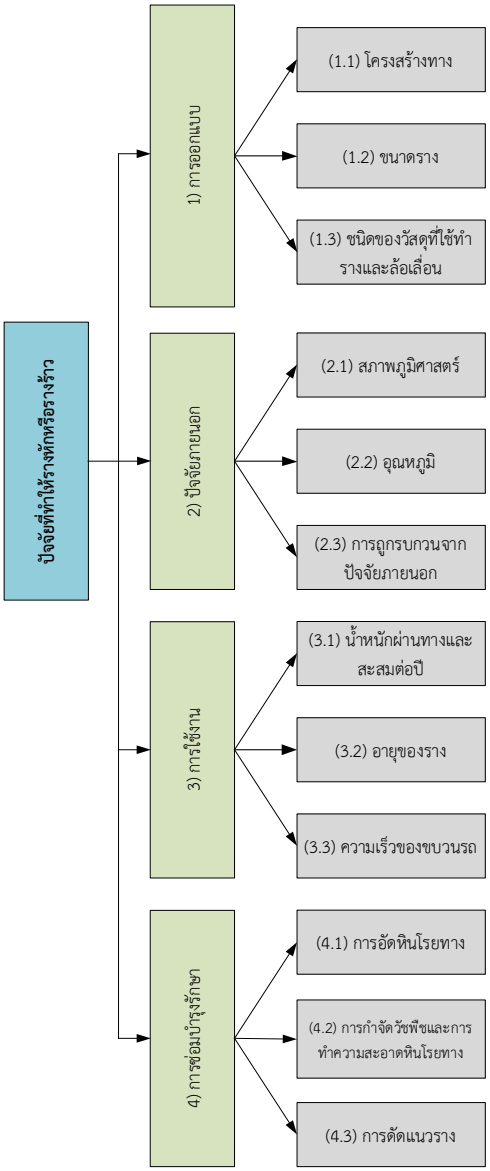


รูปที่ 7 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาเป็นทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือและเลือกกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว โดยมีผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 10 ท่าน ซึ่งจะเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงทางรถไฟในระดับปฏิบัติการและเป็นวิศวกรที่มีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 10 ปี และอยู่ในพื้นที่ศึกษาโดยมีโครงสร้างการให้น้ำหนักของปัจจัยแต่ละปัจจัย แสดงดังตารางที่ 2 และมีโครงสร้างลำดับชั้นการตัดสินใจ (Hierarchy structure) และใช้กระบวนการวิเคราะห์ด้วย AHP แสดงดังรูปที่ 8

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ทำให้รางหักหรือรางร้าว

ปัจจัยหลัก (Main Criteria)	ปัจจัยรอง (Sub Criteria)
1) การออกแบบ	(1.1) โครงสร้างทาง
	(1.2) ขนาดราง
	(1.3) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำรางและล้อเลื่อน
2) ปัจจัยภายนอก	(2.1) สภาพภูมิศาสตร์
	(2.2) อุณหภูมิ
	(2.3) การถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก
3) การใช้งาน	(3.1) น้ำหนักผ่านทางและสะสมต่อปี
	(3.2) อายุของราง
	(3.3) ความเร็วของขบวนรถ
4) การซ่อมบำรุงรักษา	(4.1) การอัดหินโรยทาง
	(4.2) การกำจัดวัชพืชและการทำความสะอาดหินโรยทาง
	(4.3) การดัดแนวราง



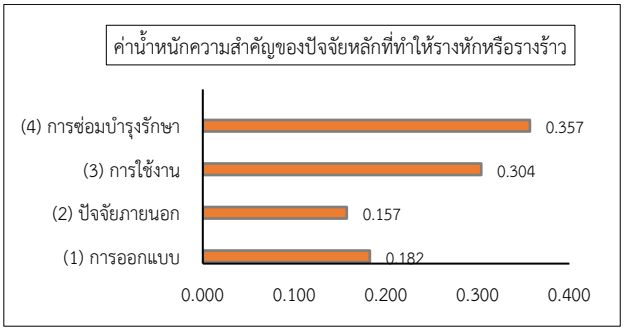
รูปที่ 8 โครงสร้างการตัดสินใจปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว

4. ผลการศึกษา

หลังจากที่ได้คำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านทั้ง 10 ท่านซึ่งจะเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ พบว่าผลการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญของปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวด้วยโค้ดข้อบกพร่องของรางตามมาตรฐานสมาคมรถไฟสากลโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น แสดงดังตารางที่ 3 และตัวอย่างของปัจจัยที่มีผลทำให้รางหักหรือรางร้าว ดังรูปที่ 9 และ 10

ตารางที่ 3 ผลการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าว

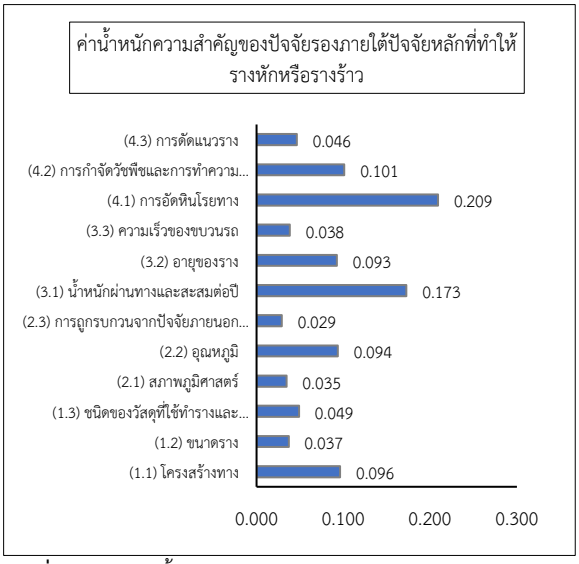
ปัจจัยหลัก (Main Criteria)	ค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weight)	ลำดับความสำคัญปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง (Sub-Criteria)	ค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weight)	ลำดับความสำคัญปัจจัยรอง
(1) การออกแบบ	0.182	3	(1.1) โครงสร้างทาง	0.096	4
			(1.2) ขนาดราง	0.037	10
			(1.3) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำรางและล้อเลื่อน	0.049	7
(2) ปัจจัยภายนอก	0.157	4	(2.1) สภาพภูมิศาสตร์	0.035	11
			(2.2) อุณหภูมิ	0.094	5
			(2.3) การถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่นจากการก่อสร้างหรือโครงสร้างมีน้ำท่วมขัง	0.029	12
(3) การใช้งาน	0.304	2	(3.1) น้ำหนักผ่านทางและสะสมต่อปี	0.173	2
			(3.2) อายุของราง	0.093	6
			(3.3) ความเร็วของขบวนรถ	0.038	9
(4) การซ่อมบำรุงรักษา	0.357	1	(4.1) การอัดหินโรยทาง	0.209	1
			(4.2) การกำจัดวัชพืชและการทำความสะอาดหินโรยทาง	0.101	3
			(4.3) การดัดแนวราง	0.046	8
รวม	1.000			1.000	



รูปที่ 9 ปัจจัยหลักที่ทำให้รางหักหรือรางร้าว

จากตารางที่ 3 และ รูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักด้านการซ่อมบำรุงรักษาที่จะทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวมากที่สุด เนื่องจากมีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ 0.357 หรือ ร้อยละ 35.7 รองลงมาอันดับสอง คือ ปัจจัยเนื่องจากการใช้งานมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.304 หรือ ร้อยละ 30.4 รองลงมาอันดับสาม คือปัจจัยเนื่องจากการ

ออกแบบมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.182 หรือ ร้อยละ 18.2 และลำดับสุดท้าย คือปัจจัยภายนอกมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.157 หรือร้อยละ 15.7



รูปที่ 10 แสดงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักที่ทำให้รางหักหรือรางร้าว

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวจากค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลัก พบว่าปัจจัยรองเนื่องจากการอัดหินโรยทาง (Tamping) ซึ่งอยู่ภายใต้ปัจจัยหลักด้านการซ่อมบำรุงรักษามีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ 0.209 หรือร้อยละ 20.9 รองลงมาอันดับสอง คือปัจจัยเนื่องจากน้ำหนักผ่านทางต่อปีและสะสม มีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.173 หรือร้อยละ 17.30 รองลงมาอันดับสามคือปัจจัยเนื่องจากการกำจัดวัชพืชและการทำความสะอาดหินโรยทางมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.101 หรือร้อยละ 10.10 และปัจจัยรองที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญน้อยที่สุด คือปัจจัยรองเนื่องจากโครงสร้างทางได้รับผลกระทบจาก ปัจจัยภายนอกเช่นจากการก่อสร้างหรือมีน้ำท่วม ฯ ซึ่งมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.029 หรือร้อยละ 2.90

จากผลการศึกษาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการอัดหินโรยทางเข้าใต้ท้องหมอนก็เพื่อรักษาระดับทางให้ถูกต้องโดยเฉพาะระดับตามขวาง (Cross Level) หินโรยทางจะทำหน้าที่รับและกระจายน้ำหนักที่ถ่ายจากหมอนลงสู่ดินคันทางเบื้องล่างโดยหมอนจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับรางทำหน้าที่รักษาขนาดทาง, รับน้ำหนักที่ถ่ายจากราง และรักษาแนวทาง (Esveld, 2001) และการยกรางและอัดหิน ดังนั้นการอัดหินให้เรียบร้อยถูกวิธีจึงเป็นสิ่งที่สำคัญกว่าเรื่องอื่นใดทั้งหมดในการบำรุงรักษาทางเพื่อให้รถไฟวิ่งได้เรียบ สาเหตุใหญ่อีกประการหนึ่งที่ทำให้รถไฟวิ่งไม่เรียบ คือ หัวต่อรางตก ก็จะนำมาซึ่งความยุ่งยาก และต้องแก้ไขอยู่ตลอดเวลาเพราะถ้าหัวต่อรางใดถูกปล่อยให้ตกมักจะตกมากยิ่งขึ้นทุกครั้งที่ขบวนรถไฟวิ่งผ่านถ้าไม่มีการซ่อมบำรุงโดยทันทีตั้งแต่ต้นจะส่งผลทำให้ปลายรางเสียได้ในไม่ช้า (มจธ, 2563)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของโครงสร้างทางรถไฟมีองค์ประกอบหลายส่วน ถ้าหากทางรถไฟมีการชำรุดหรือเสื่อมสภาพลงจนทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าว จะต้องดำเนินการซ่อมบำรุงและปรับปรุงทางให้เร็วที่สุดมากที่สุด เพื่อลดการชำรุดและเสื่อมสภาพอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจนกระทั่งทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวจนเกิดอุบัติเหตุขบวนรถไฟตกรางหรือจำเป็นต้องปิดทางเพื่อซ่อมบำรุงรักษาอาจทำให้มีผลกระทบต่อการเดินทางของผู้โดยสารและการขนส่งสินค้าตามมา

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของโครงสร้างทางรถไฟมีองค์ประกอบหลายส่วน ถ้าหากทางรถไฟมีการชำรุดหรือเสื่อมสภาพลงจนทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าว จะต้องดำเนินการซ่อมบำรุงและปรับปรุงทางให้เร็วที่สุดมากที่สุด เพื่อลดการชำรุดและเสื่อมสภาพอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจนกระทั่งทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวจนเกิดอุบัติเหตุขบวนรถไฟตกรางหรือจำเป็นต้องปิดทางเพื่อซ่อมบำรุงรักษาอาจทำให้มีผลกระทบต่อการเดินทางของผู้โดยสารและการขนส่งสินค้าตามมา

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการวินิจฉัยค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักที่ทำให้รางชำรุดหรือรางร้าว ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ การออกแบบ ปัจจัยภายนอก การใช้งาน และ การซ่อมบำรุงรักษา ผลการวินิจฉัยค่าน้ำหนักของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านบำรุงทาง ของฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย พบว่าปัจจัยหลักด้านการซ่อมบำรุงรักษามีผลที่จะทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวได้มากที่สุด รองลงมาอันดับสอง คือปัจจัยเนื่องจากการใช้งาน รองลงมาอันดับสาม คือปัจจัยเนื่องจากการออกแบบและลำดับสุดท้าย คือปัจจัยภายนอกมีทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวได้น้อยที่สุด และ ผลการวินิจฉัยค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักพบว่าปัจจัยรองเนื่องจากการอัดหินโรยทาง (Tamping) มีผลที่จะทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวได้มากที่สุด รองลงมาอันดับสอง คือปัจจัยรองเนื่องจากน้ำหนักผ่านทางต่อปีและสะสม รองลงมาอันดับสามคือปัจจัยเนื่องจากการกำจัดวัชพืชและการทำความสะอาดหินโรยทาง โดยปัจจัยรองผลที่มีผลทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวได้น้อยที่สุด คือปัจจัยรองเนื่องปัจจัยภายนอกเช่นจากการก่อสร้างหรือมีน้ำท่วม ฯ

ดังนั้นองค์ประกอบของโครงสร้างทางมีปัจจัยหลายปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดรางหักหรือรางร้าวได้ การรถไฟจึงต้องหาทางลดลดความเสี่ยงจากสาเหตุของปัจจัยเหล่านี้ที่จะทำให้รางหักหรือรางร้าวโดยจะต้องมีการซ่อมบำรุงโครงสร้างที่มีการชำรุดและเสื่อมสภาพจากปัจจัยดังกล่าวอย่างสม่ำเสมอเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างทางซึ่งจะช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแต่ละปีลงได้

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

[1] กองบำรุงทาง ฝ่ายการช่างโยธา. รางหักในทาง.การรถไฟแห่งประเทศไทย. พ.ศ. 2534

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

[3] ชุมสิน ทัพภะสุต. รายงานการไปดูงานกิจการรถไฟ ณ ประเทศเนเธอร์แลนด์ อังกฤษ ญี่ปุ่น และไต้หวัน. กรุงเทพฯ: การรถไฟแห่งประเทศไทย; 2512.

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

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

[6] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [สนข.]. คู่มือการบารุงรักษา โครงสร้างทางรถไฟ. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; 2561.

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

[8] Agarwal PK, Das A, Chakroborty P. Arational approach of prioritization of highway sections for maintenance. Proceedings of the 6th International Conference on Managing Pavements, Brisbane, Australia. USA: TRID; 2004.

[9] Anil KD, Paul DS, Vishram S, Gupta AK. Project on Rail and Weld Failures. India: Institute of Civil Engineering Pune; 2006.

[10] Farhan J, Fwa TF. Pavement maintenance prioritization using analytic hierarchy process. Journal of the Transportation Research Record 2009; 12–24.

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

[12] Gabriella B, Dennis H, Rommert D. Scheduling Preventive Railway Maintenance Activities. Netherlands: Erasmus University Rotterdam; 2004.

[13] Javad Sadeghi, Yousef Rahimizadeh, Amin Khajehdezfuly. Development of Rail-Condition Assessment Model Using Ultrasonic Technique. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, ; 2002.

[14] Klungboonkrong P. Development of A Decision Support Tool for The Multicriteria Environmental Impact Evaluation of Urban Road Networks. [Ph.D. Dissertation]. Australia: School of Geoinformatics, Planning and Building, University of South Australia; 1998.

[15] Phanyakit T, Satiennam T. Fuzzy Multi—Attribute Decision Making for the Selection of a Suitable Railway Track Maintenance Plan: A Case Study in Thailand. International Journal of GEOMATE 2019; 17(60): 96-104.