

การประเมินความเสี่ยงการชำรุดของประแจรางรถไฟ

Risk assessment of railway switch failures

ธิดินันท์ รวมทรัพย์¹ โรจน์สกล รัตนวัน² รัฐพงศ์ มีสิทธิ์^{3,*} และภาสุรีย์ ล้ำสกุล⁴

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี วิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี วิทยาเขตวังไกลกังวล จ.ประจวบคีรีขันธ์

*Corresponding author; E-mail address: rathphong.me@buu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบขนส่งทางรางกำลังเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อประเทศไทย การใช้ระบบขนส่งทางรางให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการบริหารจัดการทรัพย์สิน (Assets) ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นบทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอการบริหารจัดการทรัพย์สินของระบบขนส่งทางรางโดยใช้หลักการจัดการความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISO31000 ควบคู่กับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA) โดยมีกรณีศึกษาคือประแจรางรถไฟหรือจุดสับราง (Railway switches and crossings) บนโครงข่ายแอร์พอร์ต เรล ลิงค์ (Airport Rail Link city line) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเส้นทางของขบวนรถไฟ ผลการศึกษาจะแสดงในรูปแบบคำวิฤติของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของประแจรางรถไฟ พร้อมข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญรวมถึงการวางแผนซ่อมบำรุงประแจรางรถไฟอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบขนส่งทางราง, ประแจรางรถไฟ, การจัดการความเสี่ยง, การวางแผนซ่อมบำรุง

Abstract

Railways are becoming the main transportation system in Thailand. The way to manage railway assets are extremely important in order to make the system more reliable. This study presents how the risk of railway assets could be assessed and managed. The process of risk management is based on ISO31000, and the method used to assess the risk is the Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA). Switches and crossings on the Airport Rail Link city line are considered. The results obtained are not only applicable to evaluate the effectiveness of the current maintenance program, but they can also be used to create a proper preventive maintenance plan in the future.

Keywords: Railway systems, Switches and crossings, Risk management, Preventive maintenance.

1. คำนำ

ระบบขนส่งทางรางเป็นระบบขนส่งมวลชนที่สามารถช่วยพัฒนาทางด้านสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ ประชาชนสามารถใช้ระบบรางในการเดินทางในชีวิตประจำวัน โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพารถยนต์ส่วนตัว ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปัญหาการจราจร ลดมลพิษทางอากาศ และช่วยประหยัดเวลาในการเดินทางได้เป็นอย่างมาก จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นปัจจุบันประเทศไทยจึงได้มีการก่อสร้างระบบขนส่งทางรางขึ้นมาหลายเส้นทางในกรุงเทพฯ และมีแผนที่จะขยายระบบนี้ไปสู่อำเภอสำคัญของประเทศ เช่น เชียงใหม่ ขอนแก่น และภูเก็ต เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ในอนาคตประเทศไทยจะมีโครงข่ายระบบขนส่งทางรางที่สมบูรณ์เป็นอันดับต้นๆ ของกลุ่มประเทศอาเซียน

แม้ว่าระบบขนส่งทางรางจะมีข้อดีมากมาย อย่างไรก็ตามการจะทำให้ระบบขนส่งทางรางเกิดประโยชน์สูงสุดนั้น การดำเนินการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานถือเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากระบบขนส่งทางรางมีทรัพย์สิน (Assets) อยู่มากมายที่กระจายอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวทางรถไฟ เช่น รางรถไฟ หมอนรางรถไฟ จุดสับราง ระบบพลังงานระบบอาณัติสัญญาณ เป็นต้น ทำให้ยากต่อการดูแลบำรุงรักษา และถ้าทรัพย์สินเหล่านี้เกิดการชำรุดหรือเสียหายขึ้นมาก็จะส่งผลให้รถไฟเกิดความล่าช้าหรืออาจถึงขั้นต้องยกเลิกเที่ยวขบวน กระทบต่อผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การบริหารจัดการ การวางแผนงานบำรุงรักษาของทรัพย์สินที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้การบริการรถไฟมีประสิทธิภาพสูงสุด

ทรัพย์สินที่ถือเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งคือประแจรางรถไฟหรือจุดสับราง (Railway switches and crossings) [1] ชิ้นส่วนนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนเส้นทางของขบวนรถไฟ ทำให้เกิดจุดตัดบนโครงข่ายระบบราง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยสูงสุดของผู้ใช้บริการ ประแจรางรถไฟจึงต้องสามารถใช้งานได้เต็มที่ประสิทธิภาพ ต้องไม่มีความชำรุดหรือเสียหายแม้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากถ้าตรวจสอบพบความชำรุดของชิ้นส่วนประกอบใดๆ ของประแจรางรถไฟ การเดินรถไฟที่ต้องใช้ประแจรางรถไฟนั้นๆ จะถูกหยุด (Fail-safe system) เพื่อให้มีการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อทั้งผู้ใช้บริการ (ล่าช้า) และผู้ให้บริการที่จะสูญเสียรายได้และความน่าเชื่อถือ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงการชำรุดของชิ้นส่วนต่างๆ ของประแจรางรถไฟ ตามมาตรฐาน ISO31000 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Modes, Effects and Critical Analysis, FMECA) โดยวิธีนี้จะสามารถทำให้รู้ถึงค่าวิกฤติของชิ้นส่วนต่างๆ ของประแจรางรถไฟ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญ รวมถึงการวางแผนซ่อมบำรุงประแจรางรถไฟอย่างมีประสิทธิภาพ

หัวข้อถัดไปของบทความคือการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากนั้นหัวข้อที่ 3-5 ระบุถึงวิธีดำเนินงาน กรณีศึกษาและผลสรุปตามลำดับ

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ประแจรางรถไฟ (Switches and Crossings)

ประแจรางรถไฟ คือโครงสร้างรูปแบบเชิงกลที่มีหน้าที่สับเปลี่ยนทางวิ่งของรถไฟจากช่องทางหนึ่งไปอีกทางหนึ่ง (รูปที่ 1) โดยทั่วไปประแจรางรถไฟจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ชิ้นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ (Static parts) และชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (Dynamic parts) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [1]

2.1.1 ชิ้นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ (Static parts)

ชิ้นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ประกอบด้วย 9 ชิ้นส่วนหลัก ได้แก่

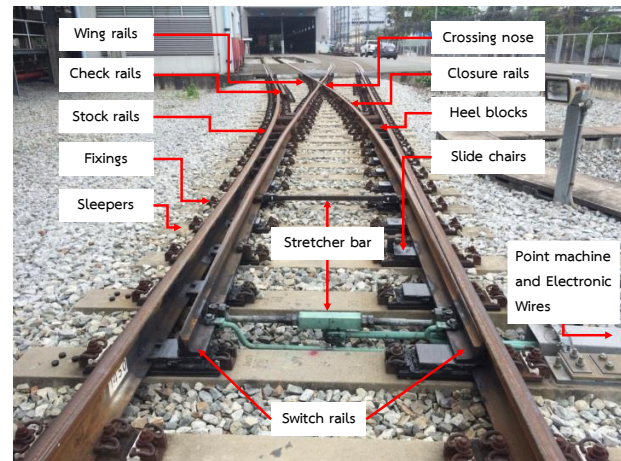
- 1) สายไฟและสายสัญญาณ (Electrical wires) หน้าที่รับและส่งกระแสไฟฟ้าและสัญญาณจากห้องควบคุมไปยังตัวประแจกล
- 2) หมอนรองราง (Sleepers) มีหน้าที่รับแรงในช่วงที่เวลารถไฟวิ่งผ่านและรับแรงจากประแจรางรถไฟถ่ายลงมาสู่โครงสร้างฐานรากของทางรถไฟ
- 3) รางปิด (Closure rails) มีหน้าที่ทำให้ล้อรถไฟอยู่บนรางหลัก (Guide) หลังจากผ่านชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ (Switch rails) โดยส่วนปลายด้านหลังของรางปิดจะเป็นชิ้นส่วนรางกัน (Wing rails)
- 4) ตะเฆ่ (Crossing noses or Frogs) เป็นจุดเริ่มแยก (Crossing) ที่มีรางไขว้กัน 2 รางขึ้นไป โดยจะมีลักษณะรูปร่างปลายแหลมทำให้รถไฟสามารถวิ่งได้ทุกทิศทาง
- 5) รางกัน (Check rails) เป็นชิ้นส่วนรางขนาดเล็กที่ถูกติดตั้งใกล้กับรางหลักบริเวณจุดตะเฆ่ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้รถไฟตกรางขณะสับรางในบริเวณจุดแยก ซึ่งจะเหมือนกับ Wing rails ที่เชื่อมต่อมาจากรางปิด
- 6) บล็อกโคนรางลิ้น (Heel blocks) เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าเป็นเหมือนจุดหมุนให้กับรางลิ้น (Switch rails) โดยขณะสับเปลี่ยนราง บล็อกโคนรางลิ้นจะรักษาระยะห่างระหว่างชิ้นส่วนรางปิด (Closure rails) กับ รางลิ้น (Switch rails) ไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อน
- 7) ตัวยึดราง (Clips/Fixing/Fasteners) เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่สำหรับยึดรางให้ติดกับหมอนรองราง เพื่อป้องกันไม่ให้รางเคลื่อนออกจากตำแหน่งเดิมที่ออกแบบไว้

- 8) รางหลัก (Stock Rails) ทำหน้าที่เป็นรางอ้างอิงให้กับรางลิ้น (Switch rails) โดยเมื่อเกิดการสับราง รางลิ้นจะเคลื่อนที่มาอยู่ติดกับรางหลักรางใดรางหนึ่งเพื่อให้รถไฟสามารถวิ่งผ่านไปได้
- 9) ตัวรองรางลิ้น (Plates/Slide chairs) เป็นอุปกรณ์สำหรับรองรับและกำหนดขนาดการเคลื่อนที่ของรางลิ้น (Switch rails) ไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ไปมากเกินความจำเป็น

2.1.2 ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (Dynamic parts)

ชิ้นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ประกอบด้วย 3 ชิ้นส่วนหลัก ได้แก่

- 1) คันชักประแจ (Stretcher Bar) เป็นแท่งเหล็กยึดกับรางลิ้นทั้ง 2 ข้าง ทำหน้าที่ถ่ายแรงจากประแจกลเพื่อให้รางลิ้นเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนด
- 2) รางลิ้น (Switch Rails/Point Blades) เป็นชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกับรางปิด สามารถเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวาตามการบังคับของประแจกลเพื่อเปลี่ยนทิศทางวิ่งของรถไฟ
- 3) ประแจกล (Point Machines) เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนการสับราง ที่เชื่อมต่อกับ Throw bar ยึดกับรางลิ้น เมื่อได้รับสัญญาณจากห้องควบคุม ชิ้นส่วนของประแจกลจะสับเปลี่ยนทิศทางของรางลิ้นจากนั้นจะทำการล็อกเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ในขณะที่รถไฟวิ่งเพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนของประแจรางรถไฟ (ณ Airport rail link depot)

2.2 ความเสี่ยง (Risk)

ความเสี่ยง หมายถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ส่งผลให้เกิดผลกระทบ ความเสียหายหรือทำให้ระบบไม่สามารถดำเนินงานตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ [2] โดยทั่วไปความเสี่ยง (R) สามารถหาได้จากผลคูณของโอกาสการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (O) กับผลกระทบของเหตุการณ์นั้นๆ (S) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$R = O \times S \quad (1)$$

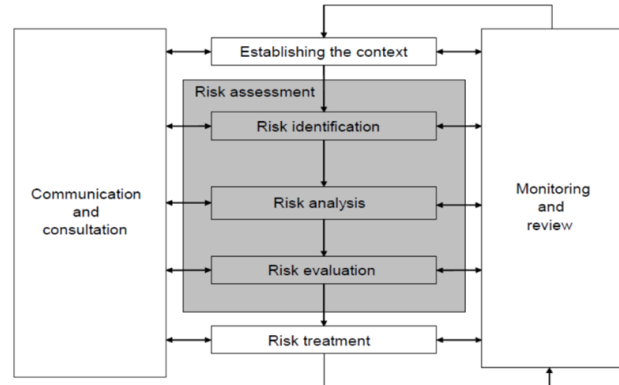
2.3 มาตรฐานสากลเกี่ยวกับการจัดการความเสี่ยง (ISO 31000)

มาตรฐาน ISO 31000 เป็นมาตรฐานสากลสำหรับกระบวนการจัดการความเสี่ยง โดยกระบวนการจัดการความเสี่ยงที่กล่าวถึงในมาตรฐานนี้สามารถสรุปได้เป็น 5 ขั้นตอนตามรูปที่ 2 ดังนี้ [2]

- 1) การสร้างบริบท (Establishing the context) เป็นการกำหนดบริบทที่จะพิจารณา เช่น ความเสี่ยงของระบบเกิดความผิดพลาด ความเสี่ยงของอุปกรณ์ชำรุด เป็นต้น เพื่อจะนำไปวิเคราะห์
- 2) การประเมินผลความเสี่ยง (Risk assessment) เป็นการประเมินความเสี่ยงของบริบทที่ถูกตั้งขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ขั้นตอน คือ ก) การระบุความเสี่ยง (Risk identification) เป็นการระบุสถานการณ์ไม่พึงประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับบริบท ที่ทำให้เกิดและรายละเอียดต่าง ๆ ของสถานการณ์เพื่อนำไปพิจารณาความเสี่ยง ข) การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis) เป็นขั้นตอนประมาณความเสี่ยงของสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ได้รับไว้ ค) การประเมินผลความเสี่ยง (Risk evaluation) จะพิจารณาค่าความเสี่ยงของสถานการณ์ต่าง ๆ ว่าสามารถยอมรับได้หรือไม่
- 3) การบรรเทาความเสี่ยง (Risk treatment) เป็นขั้นตอนการหามาตรการรองรับสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ เพื่อลดความเสี่ยงของสถานการณ์นั้นลง
- 4) การตรวจสอบและทบทวน (Monitoring and review) เป็นการตรวจสอบและติดตามความเสี่ยง ว่ามาตรการที่ถูกเสนอแนะไปมีประสิทธิภาพเพียงใด หากมาตรการที่ใช้ไม่เกิดผลต้องมีการทบทวน ปรับปรุง หรือหามาตรการใหม่ที่เหมาะสม
- 5) การสื่อสารและการให้คำปรึกษา (Communication and consultation) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ทำให้การจัดการความเสี่ยงมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนนี้แทรกอยู่ในทุกขั้นตอนหลัก เพื่อที่จะให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดในการจัดการความเสี่ยง

จากที่อธิบายมาข้างต้น มาตรฐาน ISO 31000 เป็นมาตรฐานที่สำคัญ มีกระบวนการจัดการความเสี่ยงที่ชัดเจนและเป็นที่ยอมรับจากทั่วโลก ดังนั้นกระบวนการนี้จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้จัดการความเสี่ยงการชำรุดของประแจรางรถไฟในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ สำหรับในขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนย่อย การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis) งานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Modes, Effects and Critical Analysis, FMECA) มาทำการวิเคราะห์ จากการทบทวนงานวิจัยทั้งของไทยและของต่างประเทศพบว่าวิธี FMECA ถูกใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของทั้งระบบรางและระบบอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น ชัยมงคล ศรีจันทร์ (2010) ใช้ FMECA เพื่อพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงของชุดกำเนิดลมของรถไฟ [3] Cicek K. et al. (2010) นำเสนอแผนการซ่อมบำรุงระบบเครื่องยนตของเรือโดยใช้วิธี FMECA และการวิเคราะห์ตัวเลขลำดับความสำคัญ Priority Number (RPN) [4] Kim J. and Jeong H. (2013) ศึกษาความเสียหายของระบบภายในของรถไฟ [5] Dinmohammadi F. et al. (2016) ศึกษาหา

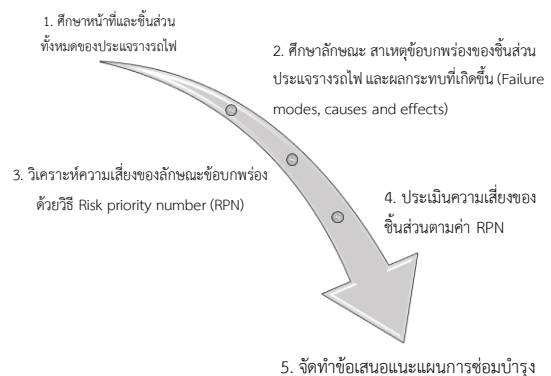
ชั้นส่วนที่มีผลกระทบวิกฤติต่อระบบประตูของรถไฟเพื่อนำไปจัดทำแผนการซ่อมบำรุง [6] Kassa E. (2017) ศึกษาแบบแผนการชำรุดของประแจรางรถไฟจากข้อมูลของประเทศอังกฤษ [7] เป็นต้น จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมานี้ จะเห็นว่าวิธี FMECA สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงและปรับปรุงแผนการซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะเห็นว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชำรุดของประแจรางรถไฟยังไม่มีในประเทศไทย ดังนั้นการงานวิจัยนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นอันดีในการพัฒนาการบริหารจัดการทรัพย์สินของระบบรางในไทย



รูปที่ 2 กระบวนการประเมินผลความเสี่ยง [2]

3. วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการวิเคราะห์ความเสี่ยงการชำรุดของประแจรางรถไฟสามารถหาผลลัพธ์ได้ทั้งเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาชิ้นส่วนของประแจรางรถไฟ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เริ่มต้นจากการทำความเข้าใจส่วนประกอบทั้งหมดของประแจรางรถไฟ ซึ่งทำได้จากการสืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตวารสารวิชาการ หนังสือ และรวมถึงการไปดูงานประแจรางรถไฟของจริง ศูนย์อุตสาหกรรมอิตาเลียนไทย จังหวัดสระบุรี เพื่อให้มีความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับหน้าที่การทำงานของส่วนประกอบทั้งหมดของประแจรางรถไฟ

3.2 ศึกษาลักษณะ สาเหตุข้อบกพร่องของชิ้นส่วนประจําจํารถไฟ และผลกระทบที่เกิดขึ้น

การระบุลักษณะข้อบกพร่องหรือรูปแบบความเสียหาย (Failure modes) สาเหตุ (Causes) และผลกระทบที่เกิดขึ้น (Effects) เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์ความเสี่ยงการชำรุดของประจําจํารถไฟ ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานบำรุงรักษาอุปกรณ์นี้อยู่เป็นประจำ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงเลือกการเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์วิศวกรและช่างผู้ชำนาญในหน่วยงานที่ให้บริการเดินรถไฟเพื่อให้ได้ข้อมูลในส่วนนี้มา

3.3 วิเคราะห์ความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่อง

โดยปกติการวิเคราะห์ความเสี่ยงจะสามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ การคำนวณ ค่า Risk Priority Number (RPN) และ ค่า Failure Mode Critically Number (C_m) อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้านี้ได้เลือกใช้วิธี RPN เป็นวิธีหลักเนื่องจากทางคณะวิจัยไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับประวัติการเสียหายของประจําจํารถไฟในอดีตเพียงพอที่จะคำนวณค่า C_m ในรายละเอียด ค่า RPN นี้จะได้จากผลคูณของ โอกาสการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence, O) ความสามารถในการตรวจสอบและป้องกันข้อบกพร่อง (Detection, D) และผลกระทบของข้อบกพร่อง (Severity, S) ดังสมการที่ (2)

$$RPN = O \times D \times S \quad (2)$$

ทั้ง 3 ตัวแปรจะถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 3.2 โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในตารางที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งจะหาค่าความเสี่ยงรวม (RPN) อยู่ที่ 180 (6x3x10) คะแนน

ตารางที่ 1 เกณฑ์ของโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง (O) [6]

เกณฑ์	ระดับ	คำอธิบาย
1	Remote	ไม่เกิดขึ้นเลย
2	Very low	เกิดขึ้นน้อยมาก
3	Low	เกิดขึ้นน้อย
4	Moderate	เกิดขึ้นบางครั้ง
5	High	เกิดขึ้นบ่อย
6	Very high	เกิดขึ้นบ่อยมาก

ตารางที่ 2 เกณฑ์ความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่อง (D) [7]

เกณฑ์	ระดับ	คำอธิบาย
1	Low	ตรวจสอบได้ง่าย สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า
2	Moderate	ตรวจสอบได้แต่อาจต้องใช้เครื่องมือมาช่วยในการตรวจสอบ
3	High	ตรวจสอบได้ยาก อาจไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตัวเองและต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทาง

ตารางที่ 3 เกณฑ์ผลกระทบเมื่อเกิดข้อบกพร่อง (S) [6]

เกณฑ์	ระดับ	คำอธิบาย
1	None	ไม่มีผลกระทบ
2	Very minor	ต้องทำการตรวจสอบ มีผลกระทบต่อระบบน้อยมาก และผู้โดยสารเพียงส่วนน้อยรับรู้ได้ถึงผลกระทบ
3	Minor	ต้องทำการตรวจสอบ มีผลกระทบต่อระบบเล็กน้อย และผู้โดยสารจำนวนหนึ่งรับรู้ได้ถึงผลกระทบ
4	Very low	ต้องทำการตรวจสอบ มีผลกระทบต่อระบบบางส่วนและผู้โดยสารส่วนใหญ่รับรู้ถึงผลกระทบ
5	Low	ต้องทำการซ่อมแซมทันที ผู้โดยสารส่วนใหญ่รับรู้ถึงผลกระทบ
6	Moderate	ต้องทำการซ่อมแซมทันที ผู้โดยสารทุกคนรับรู้ถึงผลกระทบและรู้สึกไม่สะดวกสบาย
7	High	ต้องทำการซ่อมแซมทันที ผู้โดยสารทุกคนรับรู้ถึงผลกระทบและเริ่มไม่พอใจกับการดำเนินงาน
8	Very high	ต้องทำการซ่อมแซมทันทีโดยการเปลี่ยนอะไหล่ใหม่ ระบบสูญเสียหน้าที่ทั้งหมด ผู้โดยสารทุกคนรับรู้ถึงผลกระทบและไม่พอใจอย่างมากกับการดำเนินงาน
9	Dangerous with warning	ระบบสูญเสียหน้าที่ทั้งหมด และผลกระทบต่อความไม่ปลอดภัยของผู้โดยสาร ไม่เป็นไปตามกฎระเบียบ แต่มีการแจ้งเตือน
10	Dangerous without warning	ระบบสูญเสียหน้าที่ทั้งหมดและผลกระทบต่อความไม่ปลอดภัยของผู้โดยสาร ไม่เป็นไปตามกฎระเบียบและไม่มีแจ้งเตือน

3.4 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงของแต่ละชิ้นส่วนของประจําจํารถไฟ สามารถทำได้โดยการนำค่า RPN ที่ได้จากหัวข้อก่อนหน้ามาทำการปรับสัดส่วนเป็น 100 คะแนนเทียบกับค่ามากที่สุด (Normalised RPN) จากนั้นจะใช้คะแนนเฉลี่ยจากทุกข้อบกพร่องของชิ้นส่วนนั้นๆ มาทำการเปรียบเทียบตามเกณฑ์ประเมินความเสี่ยงที่เสนอโดย Dinmohammadi F. et al. (2016) [6] ดังตารางที่ 4 ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ Very low, Low, Medium, High และ Very high ในระดับแรก Very low หมายถึงชิ้นส่วนมีความเสี่ยงการชำรุดต่ำ ทำให้มีความจำเป็นน้อยมากในการดูแลรักษาและป้องกันความเสียหาย ส่วนในระดับสุดท้าย Very high หมายถึงชิ้นส่วนมีความเสี่ยงการชำรุดสูง จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขเร่งด่วนหากเกิดความเสียหายหรือควรปรับปรุงระบบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนนั้นๆ

3.5 จัดทำข้อเสนอแนะแผนการซ่อมบำรุง

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับแผนการซ่อมบำรุงประจําจํารถไฟ โดยข้อมูลที่ได้ออกจากการประเมินความเสี่ยงจะถูกนำมาพิจารณา ถ้าชิ้นส่วนไหนอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้หรือมีความสำคัญมากต่อระบบมาก การตรวจสอบหรือการซ่อมบำรุงของชิ้นส่วนนั้นๆ อาจต้องทำบ่อยขึ้น เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ให้แก่ประจําจํารถไฟ รายละเอียดอื่นๆ ของการวางแผนซ่อมบำรุง จะถูกอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 4 กรณีศึกษา

ตารางที่ 4 เกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยง [6]

Level	Normalised RPN	Recommendations
Very Low	$0 < RPN \leq 4$	Almost unnecessary to take the improvement actions.
Low	$4 < RPN \leq 9$	Minor priority to take the improvement actions.
Medium	$9 < RPN \leq 25$	Moderate priority to take the improvement actions
High	$25 < RPN \leq 49$	High priority to take the improvement actions.
Very High	$49 < RPN \leq 100$	Absolute necessary to take the improvement actions

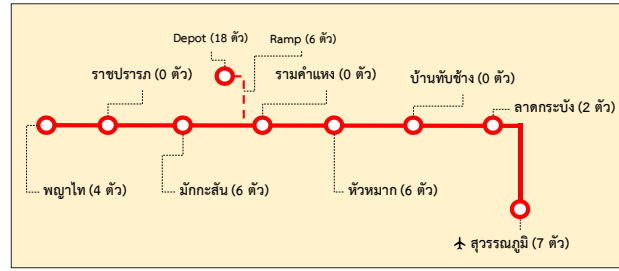
4. กรณีศึกษา

4.1 ระบบรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ (Airport rail link, ARL)

ประจําการรถไฟของระบบรถไฟฟ้าแอร์พอร์ต เรล ลิงก์ (Airport rail link, ARL) ถูกใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ (รูปที่ 1) ระบบ ARL เป็นระบบขนส่งทางรางที่บริหารโดยบริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด ทำการขนส่งผู้โดยสารจากสนามบินสุวรรณภูมิถึงสถานีพญาไท (ทั้งหมด 8 สถานี) ทุกวัน ตั้งแต่เวลา 05.30 – 24.00 น. มีจำนวนผู้โดยสารประมาณวันละ 80,000 – 90,000 คน ในอนาคตระบบ ARL จะเป็นส่วนหนึ่งของรถไฟความเร็วสูงเชื่อม 3 สนามบิน (สนามบินอู่ตะเภา-สนามบินสุวรรณภูมิ-สนามบินดอนเมือง) ดังนั้นการดูแลรักษาอุปกรณ์ต่างๆ โดยเฉพาะประจําการรถไฟให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานจึงเป็นสิ่งจำเป็น [8] ปัจจุบัน ARL มีประจําการรถไฟในโครงข่ายจำนวน 49 ตัว กระจายอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ คือ สถานีพญาไท 4 ตัว สถานีมีกะสัน 6 ตัว สถานีซ่อมบำรุงคลองตัน 18 ตัว ช่วงสถานีมีกะสันถึงรามคำแหง 6 ตัว สถานีหัวหมาก 6 ตัว สถานีลาดกระบัง 2 ตัว และสถานีสุวรรณภูมิ 7 ตัว ดังรูปที่ 4 โดยประจําการรถไฟทั้งหมดนี้จะถูกตรวจสอบและซ่อมบำรุง 2 ครั้งใน 1 ปี หรือ ทุกๆ 6 เดือน

4.2 การเก็บข้อมูล

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการคำนวณค่า Risk Priority Number (RPN) มาใช้ในขั้นตอนวิเคราะห์ความเสี่ยง ดังนั้นในการเก็บข้อมูลคณะวิจัยจึงได้สัมภาษณ์กับวิศวกรและช่างผู้เชี่ยวชาญในการซ่อมบำรุงประจําการรถไฟของบริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด ทั้งหมด 6 ท่าน ในรูปแบบแบบสอบถาม โดยแบบสอบถามจะเป็นตารางการวิเคราะห์ความเสี่ยงรูปแบบ FMECA ของชิ้นส่วนทั้งหมดของประจําการรถไฟ ซึ่งเนื้อหาประกอบไปด้วยลักษณะข้อบกพร่อง/รูปแบบการเสียหาย สาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญยังถูกถามให้ประเมินความเสี่ยง (RPN) ของแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง ตามเกณฑ์ที่แสดงในตารางที่ 1 2 และ 3



รูปที่ 4 เส้นทางและจำนวนประจําการรถไฟของระบบ Airport Rail Link

4.3 การวิเคราะห์ผล

ข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญจะถูกนำมาบันทึกไว้ในโปรแกรม MS Excel เพื่อนำค่า O S และ D ของแต่ละลักษณะข้อบกพร่องของแต่ละชิ้นส่วนของประจําการรถไฟมาคำนวณหาค่า RPN ทั้งนี้จากข้อมูลที่ได้มาพบว่ามีบางชิ้นส่วนที่ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อมูลตรงกันในด้านของลักษณะข้อบกพร่อง แต่ต่างกันในด้าน O S และ D คณะวิจัยจึงใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย O S และ D สำหรับลักษณะข้อบกพร่องนั้น ๆ จึงทำให้ O S และ D บางครั้งมีค่าเป็นจุดทศนิยม

4.4 ผลการศึกษา

4.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องจากโอกาสที่จะเกิดขึ้น

ตารางที่ 5 แสดงรูปแบบความเสียหาย 5 อันดับแรกจากการพิจารณาโอกาสในการเกิดขึ้น โดยรูปแบบความเสียหายที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดลำดับที่ 1 - 3 (มีค่า O เท่ากับ 5 หมายถึง เกิดขึ้นบ่อย) คือ การเกิดรอยล้อเบียด/ชน ของชิ้นส่วนตะเฒ่ (Crossing noses) การเกิดรอยแตกและการเกิดครีบก้นที่จุดสัมผัสของชิ้นส่วนรางกัน (Check rails และ Wing rails) ส่วนอันดับสี่ คือ การแตกหักของ Spring clips ของชิ้นส่วนตัวยึดราง (มีค่า O เท่ากับ 4 คือ เกิดขึ้นบางครั้ง) และสุดท้ายอันดับที่ห้า คือ การเกิดรอยแตกที่หัวราง (Head check) ของรางหลัก (Stock rails) ที่มีค่า O เท่ากับ 3.7 จากผลลัพธ์ที่ได้นี้ทาง บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด ควรให้ความสำคัญในการป้องกันกับรูปแบบความเสียหายของชิ้นส่วนเหล่านี้ให้มากกว่ารูปแบบความเสียหายของชิ้นส่วนอื่นๆ ของประจําการรถไฟ

ตารางที่ 5 รูปแบบความเสียหาย 5 อันดับแรกจากตัวแปรโอกาสที่เกิดขึ้น

ลำดับ	รูปแบบความเสียหาย	ชิ้นส่วน	สาเหตุ	โอกาสที่จะเกิดขึ้น
1	รอยล้อเบียด/ชน	ตะเฒ่	การกระแทกจากล้อรถไฟ	5
2	รอยแตกที่จุดสัมผัสล้อ	รางกัน	การกระแทกจากล้อรถไฟ	5
3	รอยครีบก้นที่ Check Rail	รางกัน	การเสียดสีกันของล้อรถไฟ	5
4	Spring Clip แตกหัก	ตัวยึดราง	การสั่นสะเทือน	4
5	เกิดรอย Head Check	รางหลัก	การเสียดสีกันของล้อรถไฟ	3.7

4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องจากผลกระทบ

ตารางที่ 6 แสดงรูปแบบความเสียหาย 3 อันดับแรกจากการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยรูปแบบความเสียหายที่ทำให้เกิดผลกระทบมากที่สุด (มีค่า S ประมาณ 7) คือ สวิตช์ใช้การไม่ได้ซึ่งมีที่มาจากชิ้นส่วนมอเตอร์ของประแจกล (Point Machine) เกิดการล่า อันดับที่สอง คือ การเกิดรอยร้าวบริเวณจุดเชื่อมต่อเทอร์มิตของชิ้นส่วนรางหลัก (มีค่า S เท่ากับ 6) และอันดับสุดท้าย คือ เกิดรอยล้อยเปียด/ชน ของชิ้นส่วนตะเฒ่ (Crossing Nose) ซึ่งมีค่า S เท่ากับ 3 จากผลที่ได้นี้ทาง บริษัท ร.ฟ.ท. จำกัด ควรพิจารณาตรวจสอบประแจกรางไฟให้ถี่กว่าแผนการตรวจสอบเดิม โดยเฉพาะชิ้นส่วนของประแจกลที่มีค่าผลกระทบของชิ้นส่วนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่น

ตารางที่ 6 รูปแบบความเสียหาย 3 อันดับแรกจากตัวแปรผลกระทบ

ลำดับ	รูปแบบความเสียหาย	ชิ้นส่วน	สาเหตุ	ผลกระทบ
1	ตัวสวิตช์ใช้ไม่ได้	ประแจกล	ความล่าของมอเตอร์	7.3
2	รอยร้าวบริเวณจุดเชื่อมต่อเทอร์มิต	รางหลัก	การกระแทกจากล้อรถไฟ	6
3	รอยล้อยเปียด/ชน	ตะเฒ่	การกระแทกจากล้อรถไฟ	3

4.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องจากความสามารถในการตรวจสอบ

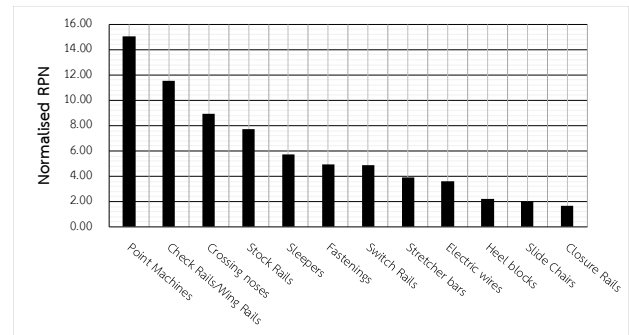
ตารางที่ 7 แสดงรูปแบบความเสียหาย 3 อันดับแรก โดยพิจารณาจากความสามารถในการตรวจสอบ โดยจะเห็นว่ารูปแบบความเสียหายที่ตรวจสอบยากที่สุด (มีค่า D เท่ากับ 3) คือ สวิตช์ใช้การไม่ได้ อันดับที่สองคือ รางลื่นกระดก (มีค่า D เท่ากับ 2.5) และอันดับสุดท้าย คือ เกิดรอยร้าวบริเวณจุดเชื่อมต่อเทอร์มิตของชิ้นส่วนรางหลัก (มีค่า D เท่ากับ 2) จากผลที่ได้นี้ทาง บริษัท ร.ฟ.ท. จำกัด ควรพิจารณาจัดหาเครื่องมือและนำเทคโนโลยีทันสมัยมาใช้ในการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของประแจกรางไฟ เพื่อให้ช่างขึ้นต่อการหาจุดบกพร่องและสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 7 รูปแบบความเสียหาย 3 อันดับแรกจากตัวแปรความสามารถในการตรวจสอบ

ลำดับ	รูปแบบความเสียหาย	ชิ้นส่วน	สาเหตุ	การตรวจสอบ
1	ตัวสวิตช์ใช้ไม่ได้	ประแจกล	ความล่าของมอเตอร์	3
2	รางลื่นกระดก	รางลื่น	การสั่นสะเทือน	2.5
3	รอยร้าวบริเวณจุดเชื่อมต่อเทอร์มิต	รางหลัก	การกระแทกจากล้อรถไฟ	2

4.1.3 ตัวเลขลำดับความสำคัญ (RPN)

รูปที่ 5 แสดงค่า Normalised RPN ของชิ้นส่วนต่างๆ ของประแจกรางไฟตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.4 ซึ่งจะเห็นว่าประแจกล (Point Machines) มีค่าความเสี่ยงของการชำรุดมากที่สุด รองลงมาคือรางกัน (Check rails/Wing rails) และอันดับที่ 3 คือ ตะเฒ่ (Crossing noses) ส่วนชิ้นส่วนที่มีความเสี่ยงของการชำรุดน้อยที่สุดของการศึกษานี้คือ รางปิด (Closure rails) จากผลการศึกษานี้ทำให้รู้ว่า ประแจกล เป็นชิ้นส่วนวิกฤติ (Critical part) ของประแจกรางไฟที่ใช้อยู่ในระบบโครงข่าย ARL



รูปที่ 5 ค่า Normalised RPN ของชิ้นส่วนต่างๆ ของประแจกรางไฟ

4.1.4 ผลการประเมินความเสี่ยงและข้อเสนอแนะแผนการซ่อมบำรุง

ตารางที่ 8 แสดงผลการประเมินความเสี่ยงการชำรุดของชิ้นส่วนประแจกรางไฟโดยใช้เกณฑ์จากตารางที่ 4 ซึ่งผลที่ได้คือชิ้นส่วนโดยส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงต่ำและต่ำมาก อย่างไรก็ตามยังมี 2 ชิ้นส่วนที่อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงปานกลางและมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษคือ ประแจกลและรางกัน ซึ่งมีค่า Normalised RPN 15 และ 12 ตามลำดับ เมื่อนำผลการศึกษานี้ไปพิจารณากับแผนการตรวจสอบและซ่อมบำรุงประแจกรางไฟของ ARL (ตารางที่ 9) พบว่าปัจจุบัน ARL มีแผนการดำเนินการทุกๆ 6 เดือน หากพบชิ้นส่วนใดมีปัญหาหรือชำรุดจะดำเนินการซ่อมแซมในทันที โดยจะซ่อมแซมในช่วงหลังการให้บริการ เพื่อลดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการ อย่างไรก็ตามจากผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าชิ้นส่วนของประแจกรางไฟมีความเสี่ยงไม่เท่ากันและสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจน ดังนั้นแผนการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอาจสามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้สอดคล้องกับผลการประเมินความเสี่ยง ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ค่า RPN ที่มากที่สุดของแต่ละกลุ่มมาหาสัดส่วน เช่น 9 (กลุ่มระดับความเสี่ยงต่ำ) เป็นประมาณ 2 เท่าของ 4 (กลุ่มระดับความเสี่ยงต่ำมาก) ดังนั้นถ้ากำหนดให้กลุ่มระดับความเสี่ยงต่ำมากมีแผนการตรวจสอบและซ่อมบำรุงเหมือนเดิมคือทุกๆ 6 เดือน ดังนั้นกลุ่มระดับความเสี่ยงต่ำจะต้องมีแผนการตรวจสอบและซ่อมบำรุงทุกๆ 3 เดือน ในทำนองเดียวกันกลุ่มระดับความเสี่ยงปานกลางก็จะต้องทำทุกๆ 1.5 เดือน แต่ถ้าหากคิดว่าเป็นความเสี่ยงปานกลางก็จะต้องทำทุกๆ 1.5 เดือน เป็นความถี่มากขึ้นไปที่อาจกระทบต่อทรัพยากรในการดูแลรักษา แผนการตรวจสอบและซ่อมบำรุงของกลุ่มนี้อาจปรับเป็นทุกๆ 2 เดือน เนื่องจากค่า RPN เฉลี่ยของกลุ่มอยู่ที่ประมาณ 13

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความเสี่ยง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	Normalised RPN
1	Point Machines	15
2	Check rails/Wing rails	12
3	Crossing noses	9
4	Stock rails	8
5	Sleepers	6
6	Fastenings	5
7	Switch rails	5
8	Stretcher bars	4
9	Electric wires	4
10	Heel blocks	2
11	Slide chairs	2
12	Closure rails	2

ตารางที่ 9 แผนการซ่อมบำรุงของ Airport Rail Link ปัจจุบัน

ลำดับ	ชิ้นส่วน	Inspection period	
		แผนปัจจุบัน	แผนเสนอแนะ
1	Point Machines	6 เดือน	2 เดือน
2	Check rails/Wing rails		3 เดือน
3	Crossing noses		
4	Stock rails		
5	Sleepers		
6	Fastenings		
7	Switch rails	6 เดือน	
8	Stretcher bars		
9	Electric wires		
10	Heel blocks		
11	Slide chairs		
12	Closure rails		

5. สรุป

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงการชำรุดของประจํารางรถไฟโดยใช้กระบวนการตามมาตรฐาน ISO31000 ควบคู่กับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA) โดยมีกรณีศึกษาคือประจํารางรถไฟในโครงข่ายของรถไฟฟ้ํา Airport Rail Link (ARL) ผลการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนของประจํารางรถไฟที่มีความเสี่ยงการชำรุดมากที่สุดคือประจํากล (Point machines) ชิ้นส่วนนี้ต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ ในอนาคตอาจใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในด้าน Condition monitoring มาช่วยเพื่อให้อุปกรณ์นี้มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) เพิ่มมากขึ้น

ในภาพรวมความเสี่ยงการชำรุดของประจํารางรถไฟสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มความเสี่ยงปานกลาง กลุ่มความเสี่ยงต่ำและกลุ่มความเสี่ยงต่ำมาก ดังนั้นแผนการตรวจสอบและการซ่อมบำรุงของชิ้นส่วนเหล่านี้อาจไม่สามารถทำพร้อมกันได้ ชิ้นส่วนที่มีความเสี่ยงในการชำรุดสูงควรได้รับการ

ตรวจสอบบ่อยครั้งกว่าชิ้นส่วนที่มีความเสี่ยงในการชำรุดต่ำดังข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

ในอนาคตถ้ามีข้อมูลการซ่อมบำรุงประจํารางรถไฟเชิงสถิติ (Historical data) การวิเคราะห์ด้วยวิธี FMECA อาจสามารถประยุกต์เข้ากับวิธี Failure Mode Critically Number ซึ่งจะทาให้ผลการศึกษาที่มีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น และถ้าข้อมูลมีมากพอยังสามารถนำไปใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สามารถคิดตัวแปรอื่นๆ ร่วมได้ เช่น ความน่าจะเป็นในการชำรุด และงบประมาณ เป็นต้น ซึ่งจะทาให้แผนการซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ และขอขอบพระคุณบริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสี่ยงการชำรุดของประจํารางรถไฟ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rama, D. and Andrews, J.D. (2013). A reliability analysis of railway switches. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 227(4), pp. 344-363.
- [2] Papathanasiou, N., Martani, C., and T. Adey, B. (2018). *Risk Assessment Methodology*. DESTination RAIL – Decision Support Tool for Rail Infrastructure Managers.
- [3] ชัยมงคล ศรีจันทรา, (2010). การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้ํา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [4] Cicek, K., Turan, H., Topcu, Y.I., and Searslan, M.N. (2010). Risk-based preventive maintenance planning using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for marine engine systems. *The 2nd International Conference on Engineering System Management and Applications*, pp. 1–6.
- [5] Kim, J. and Jeong, H.Y. (2013). Evaluation of the adequacy of maintenance tasks using the failure consequences of railroad vehicles. *Reliability Engineering and System Safety*, 117, pp. 30–39.
- [6] Dinmohammadi, F., Alkali, B., Shafiee, M., Berenguer, C., and Labib, A., (2016). Risk Evaluation of Railway Rolling Stock Failures Using FMECA Technique: A Case Study of Passenger Door System. *Urban Rail Transit*, 2, pp. 128–145.

- [7] Kassa, E., (2017). Analysis of failures within railway switches and crossings using failure modes and effects analysis methodology. Intelliswitch Symposium Copenhagen, Denmark, 28-30 August 2017.
- [8] Airport Rail Link, <https://www.srtet.co.th/index.php/th/>. Accessed: 18 January 2020.