

## การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟในประเทศไทย Analysing the vulnerability of railway network in Thailand

ดรณิ ทองสุข<sup>1</sup> ภัทรศยา วราภิวัฒน์พงศ์<sup>1</sup> ศิริยากรณ์ แกมขุนทด<sup>1</sup> รัฐพงศ์ มีสิทธิ์<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

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

### บทคัดย่อ

ระบบขนส่งทางรางมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนสังคมและเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามการเกิดเหตุขัดข้อง (Disruption) บนโครงข่ายทางรถไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากภัยพิบัติธรรมชาติยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญในการให้บริการระบบขนส่งทางราง บทความนี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์จุดเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟไทยอันเนื่องมาจากปัญหาอุทกภัย การศึกษาเป็นระดับมหภาค (Macroscopic level) โดยใช้วิธี Flow-based method ในการวิเคราะห์ผลกระทบของโครงข่ายทางรถไฟเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ในการวิเคราะห์หาโอกาสการเกิดอุทกภัยบนโครงข่ายทางรถไฟ ผลการศึกษาพบว่าเส้นทางรถไฟในประเทศไทยที่มีความเปราะบางสูงสุด 10 อันดับแรกอยู่ในพื้นที่ภาคกลางและภาคกลางตอนบนซึ่งเป็นที่ลุ่มและเป็นที่ยอมรับจากภาคเหนือจึงทำให้ทางรถไฟในบริเวณนี้มีความเปราะบางจากอุทกภัยค่อนข้างมาก ผู้บริหารหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปจัดลำดับมาตรการและวางแผนงบประมาณเพื่อป้องกันการเกิดอุทกภัยบนโครงข่ายทางรถไฟ รวมถึงจัดการระบบขนส่งทางรางของประเทศไทยให้มีความยืดหยุ่น (Resilience) และมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) มากขึ้น

คำสำคัญ: โครงข่ายระบบราง, ความเปราะบาง, การเกิดเหตุขัดข้อง

### Abstract

Rail transport plays an important role in driving society and the economy. However, disruptions on the railway network, especially natural disasters, remain a major obstacle to rail services. This article proposes a methodology for analysing the vulnerability of rail networks in the event of a flood. The method is developed based on a network flow-based model to predict the system performance during disruption and applies a Geographic Information System (GIS) to assess flood likelihood on the railway network. The study found that the top 10 most vulnerable railway links in Thailand are located in the central and upper central regions. Therefore, infrastructure

managers and policy makers should particularly focus on these areas to create a suitable preventive strategy for enhancing the reliability and the resilience of the railway network in Thailand.

Keywords: Railway network, Vulnerability, Disruption.

### 1. คำนำ

ระบบขนส่งทางรางเป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมที่สำคัญในการพัฒนาสังคมและสนับสนุนการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ [1] อย่างไรก็ตาม การจะมีโครงข่ายระบบรางที่มีประสิทธิภาพนั้น นอกจากจะต้องมีการดำเนินการที่เหมาะสมและมีการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพแล้ว การรับมือกับเหตุการณ์ไม่คาดคิดต่าง ๆ (Incidents) เช่น การเกิดภัยพิบัติ ก็เป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโครงข่ายทางรถไฟในปัจจุบันที่เป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ กระจายไปในทุก ๆ พื้นที่ (Dispersion) เช่น ในเมืองในป่า ผ่านแม่น้ำ ผ่านภูเขา เป็นต้น ซึ่งในบางจุดการเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานระบบรางอาจเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก เป็นอุปสรรคในการตรวจสอบและกรดูแลรักษา ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้น (Disruption) อาจทำให้ต้องหยุดการให้บริการ ส่งผลให้ความน่าเชื่อถือของระบบขนส่งทางรางลดลง

โดยทั่วไปเหตุขัดข้องในระบบรางสามารถเกิดได้จาก 3 ปัจจัยหลัก คือ อุปกรณ์ชำรุด (Technical Factors) ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Natural Factors) และเกิดจากน้ำมือมนุษย์ (Human Factors) [2] ปัจจัยเหล่านี้ นอกจากจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการแล้ว ยังทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างพื้นฐานระบบราง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหตุขัดข้องที่เกิดมาจากปัญหาอุทกภัย ที่มีความรุนแรงและส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงข่ายทางรถไฟเป็นวงกว้าง ยกตัวอย่างเช่น สถานการณ์น้ำท่วมในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี พ.ศ. 2562 ดังรูปที่ 1 ทำให้การเดินทางโดยรถไฟไปภาคใต้ได้รับผลกระทบ รถไฟหลายขบวนถูกยกเลิกการให้บริการ ถึงแม้จะมีการปรับแผนการเดินทางรถไฟให้มีเส้นทางที่สั้นลงเพื่อหลีกเลี่ยงจุดดังกล่าว อย่างไรก็ตามแผนฉุกเฉินเหล่านี้ก็ทำได้เพียงบรรเทาสถานการณ์ ไม่ได้เป็นแนวทางป้องกันหรือเพิ่มความต้านทาน (Robustness) ของโครงสร้างทางรถไฟเพื่อให้ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมตั้งแต่แรก

บทความนี้มีเป้าหมายหลักเพื่อศึกษาความเปราะบาง (Vulnerability) ของโครงข่ายทางรถไฟในประเทศไทยอันเนื่องมาจากปัญหาอุทกภัย การศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่ปัญหาการเกิดอุทกภัย โดยจะใช้วิธี Flow based

model มาทำการวิเคราะห์หาผลกระทบต่อการใช้งานจากการเกิดอุทกภัย ณ ตำแหน่งที่สนใจ และใช้เทคนิคการซ้อนทับ (Overlay) ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาคำนวณหาโอกาสในการเกิดอุทกภัยบนทางรถไฟ (Flood likelihood) ผลการศึกษาที่ได้จะถูกนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ (Map-based) เพื่อให้ผู้บริหารและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องอื่น ๆ สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญ หรือออกมาตรการในการวางแผนป้องกันน้ำท่วม เพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่การบริการขนส่งทางราง



รูปที่ 1 น้ำท่วมทางรถไฟสายใต้ ปี 2562  
(ที่มา: www.thainews.prd.go.th)

## 2. ทบทวนวรรณกรรม

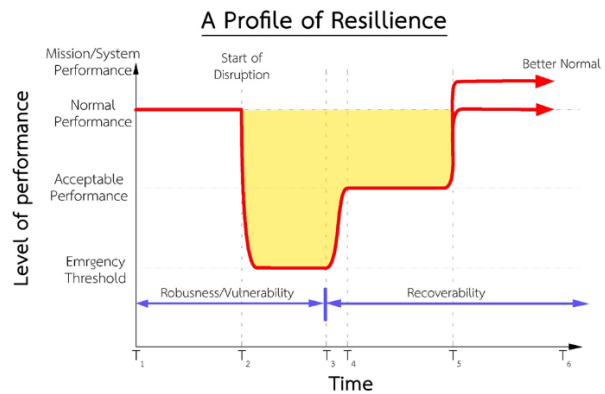
### 2.1 เหตุขัดข้อง (Disruption)

เหตุขัดข้อง หมายถึง สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ถ้าเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ระบบเกิดการหยุดชะงักหรือล่าช้าไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เช่น การเกิดน้ำท่วมทางรถไฟ ทำให้การเดินทางรถไฟล่าช้ากว่าแผนที่วางไว้ เป็นต้น [3] ดังนั้นการป้องกันไม่ให้เกิดเหตุขัดข้องหรือการวิเคราะห์ปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ให้ทันต่อสถานการณ์ จะช่วยลดผลกระทบของเหตุขัดข้องลงได้ โดยทั่วไปเหตุขัดข้องสามารถเกิดขึ้นได้จาก 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่: ปัจจัยทางเทคนิค (Technical Factors) หมายถึง ปัจจัยที่มีสาเหตุมาจากชิ้นส่วนหรือระบบขัดข้องที่ตัวมันเอง เช่น เครื่องยนต์ขัดข้อง ระบบอาณัติสัญญาณขัดข้อง ทางรถไฟชำรุดเนื่องจากถูกใช้งานเป็นระยะเวลานาน เป็นต้น ปัจจัยทางธรรมชาติ (Natural Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ขัดข้องโดยธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว อุทกภัย ดินถล่ม ซึ่งปัจจัยทางธรรมชาตินี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน ปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ (Human Error) หมายถึง ปัจจัยที่ทำให้เกิดเหตุขัดข้องจากมนุษย์ โดยอาจตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ เช่น การขับรถไฟเร็วเกินกำหนด คนขับรถไฟหลับใน หรือ การก่อการร้าย เป็นต้น

### 2.2 ผลกระทบต่อระบบเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง

ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบหลังจากการเกิดเหตุขัดข้องสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2 [4] เริ่มจากช่วงที่ระบบทำงานปกติ มีประสิทธิภาพการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดที่มีเหตุขัดข้อง (Start of Disruption) ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลงหรือในขั้น

เลวร้ายอาจทำให้ระบบนั้นไม่สามารถทำงานต่อได้ ( $T_2$ ) เมื่อเป็นเช่นนี้จึงจำเป็นต้องหามาตรการเฉพาะหน้า เพื่อมาแก้ไขหรือซ่อมบำรุงระบบให้กลับมาใช้งานได้ในระดับที่ช่วยบรรเทาสถานการณ์ (Acceptable performance) ซึ่งการดำเนินการมาตรการเหล่านี้ อาจต้องใช้เวลาเตรียมการ โดยทั่วไปจะไม่สามารถเริ่มได้ทันทีหลังเกิดเหตุขัดข้อง ( $T_3$  ถึง  $T_4$ ) หลังจากนั้นประสิทธิภาพของระบบอาจต้องอยู่ในระดับนี้ไปจนกว่าเหตุการณ์ขัดข้องจะได้รับการแก้ไขและระบบกลับมาทำงานได้เป็นปกติหรืออาจดีกว่าเดิมอีกครั้ง ( $T_5$ ) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของระบบและเวลาเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง

### 2.3 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความยืดหยุ่น

ความยืดหยุ่น (Resilience) คือ ความสามารถในการต้านทานและกู้คืนของระบบได้อย่างรวดเร็วจากสภาวะที่ยากลำบาก [5] คุณสมบัตินี้เป็นสิ่งสำคัญที่มักจะเกี่ยวข้องกับทั้งก่อนและหลังการเกิดเหตุขัดข้อง ถ้าระบบมีความยืดหยุ่นมากเมื่อเกิดเหตุขัดข้องจะมีการสูญเสียน้อย ทั้งในเรื่องของโครงสร้างและประสิทธิภาพ หรือถ้าเกิดการสูญเสียขึ้นมาระบบจะสามารถถูกกู้คืนกลับมาได้อย่างรวดเร็ว รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความยืดหยุ่นนั้นมีความสำคัญต่อระบบเป็นอย่างมาก โดยพื้นที่สีเหลืองคือผลกระทบต่อระบบเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง หากระบบมีความยืดหยุ่นมากจะมีพื้นที่สีเหลืองน้อย แต่ถ้ามีความยืดหยุ่นน้อยจะมีพื้นที่สีเหลืองมาก ทั้งนี้การเกิดพื้นที่สีเหลืองไม่ได้ขึ้นอยู่กับทฤษฎีความยืดหยุ่นเพียงอย่างเดียว แต่ยังเชื่อมโยงกับทฤษฎีย่อยอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.3.1 ความคงทนของระบบ

ความคงทน (Robustness) เป็นคุณสมบัติของระบบในการต้านทานเหตุขัดข้อง ระบบที่มีความคงทนสูง เมื่อเกิดเหตุขัดข้องจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานน้อยหรือระบบยังสามารถใช้งานได้ตามเดิม [6] ยกตัวอย่างเช่น การมีกำแพงป้องกันน้ำท่วมหรือกำแพงกันดินถล่มบริเวณทางรถไฟ แม้จะเกิดภัยพิบัติ เช่น น้ำท่วม น้ำป่าไหลหลาก หรือ ดินถล่ม ที่สามารถสร้างความเสียหายให้แก่ทางรถไฟ ระบบก็จะไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากมีการสร้างระบบป้องกันไว้แล้ว จึงสามารถกล่าวได้ว่าทางรถไฟส่วนนั้นมีความคงทนสูง แต่ค่าความคงทนจะส่งผลให้มีต้นทุนในการก่อสร้างสูงและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวางแผนการดำเนินงานให้ดีก่อนมีการเสริมความคงทนให้กับระบบ

### 2.3.2 ความเปราะบาง

ความเปราะบาง (Vulnerability) คือ คุณลักษณะที่ตรงข้ามกับความคงทน หากเกิดเหตุขัดข้อง ระบบที่มีความเปราะบางมากจะได้รับผลกระทบมากกว่าระบบที่มีความเปราะบางน้อย โดยทั่วไปความเปราะบางจะสามารถคำนวณได้จากผลคูณของผลกระทบจากเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้น กับโอกาสที่จะเกิดเหตุขัดข้องนั้น ๆ [7] ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ ก. เป็นพื้นที่บริเวณลาดชัน มีรถไฟวิ่งผ่านบริเวณนั้น 10 ขบวนต่อวัน ซึ่งเป็นเส้นทางหลักเพียงเส้นเดียวที่ใช้สัญจรไปภาคใต้ และเมื่อมีฝนตกหนักทำให้เกิดดินถล่มทับทางรถไฟ ทำให้รถไฟไม่สามารถสัญจรผ่านเส้นทางนั้นได้ พื้นที่นั้นจึงมีความเปราะบางมาก ซึ่งจะแตกต่างจากพื้นที่ ข. เป็นพื้นที่ลาดชันเช่นกัน (โอกาสในการเกิดดินถล่มเท่ากัน) แต่มีรถไฟที่สัญจรผ่านเพียงแค่ 2 ขบวนต่อวัน ดังนั้นพื้นที่ ข. จึงมีความเปราะบางน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ ก. เพราะจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้องขึ้น เป็นต้น

### 2.3.3 ความวิกฤติ

ความวิกฤติ (Criticality) คือ ค่าที่เชื่อมโยงกับความเปราะบาง หากพื้นที่ไหนมีความเปราะบางมาก บริเวณพื้นที่นั้นจะมีความวิกฤติมาก [6] โดยทั่วไปความวิกฤติจะถูกใช้เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนในระบบเพื่อประโยชน์ในการวางแผนดูแลรักษา หรือการป้องกันให้ชิ้นส่วนที่สำคัญต่อระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

### 2.3.4 ความสามารถในการกู้คืน

ความสามารถในการกู้คืน (Recoverability) คือ ความสามารถของระบบในการแก้ไข ซ่อมแซม หรือดำเนินการมาตรการเฉพาะหน้าเมื่อเกิดเหตุขัดข้องให้ระบบสามารถกลับมาทำงานเพื่อบรรเทาสถานการณ์หรือกลับมามีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปความสามารถของการกู้คืนจะขึ้นอยู่กับ การตอบสนองต่อปัญหา ความเร็วในการกู้คืนหรือฟื้นตัว และการบริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด [8] ยกตัวอย่างรูปที่ 2 เมื่อเกิดเหตุขัดข้องในระบบ ( $T_2$ ) จึงมีการวางมาตรการเฉพาะหน้ามาแก้ไข ฟื้นฟูระบบ ( $T_3$ ) เพื่อให้ระบบกลับมาใช้งานได้ในระดับที่มีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้และเวลาต่อมาจึงจะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยม

จะเห็นได้ว่าทฤษฎีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความยืดหยุ่น (Resilience) ซึ่งถ้าหากระบบมีความยืดหยุ่นต่ำ จะแปรผันตรงกับความคงทน (Robustness) และความสามารถในการกู้คืน (Recoverability) แต่จะแปรผกผันกับความเปราะบาง (Vulnerability) บทความนี้จะนำทฤษฎีเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์หาความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟไทยเนื่องจากการเกิดอุทกภัย ผู้บริหารหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษานี้ไปจัดลำดับมาตรการและวางแผนงบประมาณเพื่อป้องกันการเกิดอุทกภัยบนทางรถไฟ รวมถึงการพัฒนาระบบรางในประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายระบบขนส่งทางรางได้มีการดำเนินการและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น Hong et al. (2015) ใช้ทฤษฎีโครงข่ายเพื่อศึกษาความ

เปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟในประเทศจีนเนื่องจากปัญหาอุทกภัย โดยสถานการณ์น้ำท่วมถูกจำลองขึ้นมาจากข้อมูลในอดีตเพื่อประเมินความเปราะบาง โดยมีตัวชี้วัดจาก จำนวนรถไฟที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง หลังจากได้ทราบจุดเปราะบางบนโครงข่าย ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการเสนอแนะแนวทางในการซ่อมบำรุงเพื่อลดความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟในประเทศจีน [9]

Pant et al. (2016) ได้เสนอวิธีใหม่ในการประเมินผลกระทบของผู้โดยสารจากการเกิดเหตุขัดข้อง วิธีนี้ถูกนำไปใช้กับโครงข่ายทางรถไฟของประเทศอังกฤษ โดยได้มีการวิเคราะห์หาจุดเปราะบางของโครงข่ายอันเนื่องมาจากอุทกภัยด้วย โอกาสการเกิดอุทกภัยในแต่ละพื้นที่ได้มาจากข้อมูลความเสี่ยงระยะยาวในการเกิดอุทกภัยของประเทศอังกฤษ [10] ล่าสุด Meesit and Andrews (2021) ได้เสนอแบบจำลองหาจุดเปราะบางในโครงข่ายทางรถไฟโดยใช้แบบจำลองจุลภาค (Microscopic model) โดยวิธีนี้สามารถใช้ประเมินค่าผลกระทบ เช่น ความล่าช้าของรถไฟ ความล่าช้าของผู้โดยสาร ได้อย่างถูกต้อง แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูง และใช้เวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ [11]

Neves et al. (2021) วิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟประเทศเนเธอร์แลนด์ในช่วงฤดูหนาว เพื่อระบุว่า Link ใดในโครงข่ายมีความวิกฤติต่อสภาพอากาศหนาวมากที่สุด ตัวชี้วัดในการศึกษารังนี้ถูกพัฒนามาจากความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุขัดข้องของจุดสับรางบนช่วงทางรถไฟต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลในอดีตปี 2007 – 2017 การเลือกการทำงานของจุดสับรางเป็นตัวชี้วัดความเปราะบางเนื่องมาจากเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดในฤดูหนาว โดยคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 66% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ [12]

Yin et al. (2022) ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการรวบรวมข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตเพื่อสร้างฐานข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว การทรุด ดินถล่ม เป็นต้น จากนั้นฐานข้อมูลที่ได้จึงถูกนำไปซ้อนทับกับข้อมูลเส้นทางรถไฟในประเทศจีน ผลการศึกษพบว่าเส้นทางรถไฟที่มีความเปราะบางมากที่สุด ได้แก่ ในภาคตะวันตกเฉียงใต้: เส้นทางเสฉวน-กุ้ยโจว ฉิงตู-คุนหมิง และฉิงตู-กุ้ยหยาง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: เส้นทางหลานโจว-อูร์มชี และซินเจียง สุดท้ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: เส้นทางปักกิ่ง-ฮาร์บินและรถไฟฮาร์บิน-หมันโจว ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องควรมีการเตรียมพร้อมรับมือเหตุขัดข้องจากธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้นบนเส้นทางรถไฟเหล่านี้ [13]

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่าโดยส่วนมากการหาจุดเปราะบางบนโครงข่ายทางรถไฟส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยในต่างประเทศ ยังมี การวิจัยในลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นน้อยในประเทศไทย ซึ่งทั้งที่โดยลักษณะทางภูมิศาสตร์แล้ว ประเทศไทยเป็นประเทศที่เกิดภัยธรรมชาติอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟอันเนื่องมาจากปัญหาอุทกภัยจึงน่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวางแผนพัฒนาระบบขนส่งทางรางให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แนวโน้มของการวิจัยในเรื่องนี้เริ่มมีการนำระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic

Information System : GIS) มาประยุกต์ใช้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ระบบนี้มาทำการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดอุทกภัยบนทางรถไฟในประเทศไทยเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

### 3. การดำเนินงาน

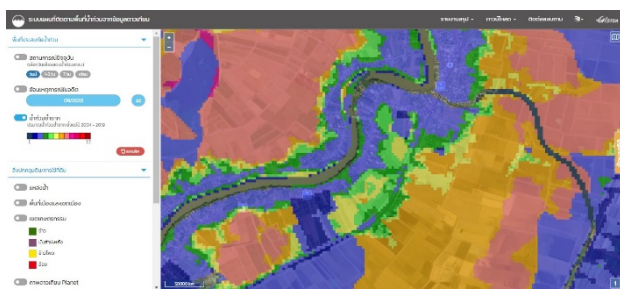
#### 3.1 ข้อมูลในการวิเคราะห์ความเปราะบาง

##### 3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับโครงข่ายทางรถไฟ

ข้อมูลโครงข่ายทางรถไฟประกอบไปด้วย สายทางที่ให้บริการในปัจจุบัน ตำแหน่งสถานี ตารางการเดินรถไฟ ประเภทของขบวนรถไฟที่ให้บริการ และ อัตราค่าโดยสาร ข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมมาจากเว็บไซต์ของการรถไฟแห่งประเทศไทย เพื่อที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่บนโครงข่ายทางรถไฟ

##### 3.1.2 ข้อมูลโอกาสการเกิดอุทกภัยบนโครงข่ายทางรถไฟ

ข้อมูลโอกาสการเกิดอุทกภัยบนโครงข่ายทางรถไฟถูกเก็บรวบรวมมาจากระบบแผนที่ติดตามพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากจากข้อมูลดาวเทียมของ GISTDA (รูปที่ 3) โดยข้อมูลนี้จะมีแถบสีระบุความเสี่ยงของอุทกภัยในแต่ละพื้นที่ที่กำกับไว้ในช่วงระดับ 1 – 12 เริ่มจากสีน้ำเงิน (ระดับ 1) หมายถึงโอกาสในการเกิดน้ำท่วมซ้ำซากมีน้อย จากนั้นไล่เฉดสีไปจนถึงสีแดงเข้ม (ระดับ 12) ซึ่งหมายถึง มีโอกาสเกิดน้ำท่วมซ้ำซากทุกปี ข้อมูลแผนที่น้ำท่วมนี้ถูกนำมาซ้อนทับ (Overlay) กับข้อมูลโครงข่ายทางรถไฟ จากนั้นจึงเป็นการพิจารณาว่าทางรถไฟแต่ละช่วง (สถานีถึงสถานี, Link) มีการซ้อนทับกับความเสียหายในการเกิดอุทกภัยระดับไหนบ้าง ระดับความเสียหายที่ซ้อนทับกันอยู่บนทางรถไฟจะถูกบันทึกและนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของโอกาสการเกิดน้ำท่วมบนทางรถไฟ ( $O_{AVG}$ ) เพื่อวิเคราะห์ความเปราะบางต่อไป



รูปที่ 3 ระบบแผนที่ติดตามพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากจากข้อมูลดาวเทียม  
(ที่มา: www.floodv2.gistda.or.th)

#### 3.2 การประเมินความเปราะบางของทางรถไฟเนื่องจากปัญหาอุทกภัย

การประเมินความเปราะบางของทางรถไฟเนื่องจากปัญหาอุทกภัยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจำลองการเกิดเหตุขัดข้องบนทางรถไฟ การวิเคราะห์ผลกระทบจากเหตุขัดข้อง และการคำนวณค่าความเปราะบาง ทั้งสามขั้นตอนสามารถอธิบายในรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

##### 3.2.1 จำลองการเกิดเหตุขัดข้องบนทางรถไฟ

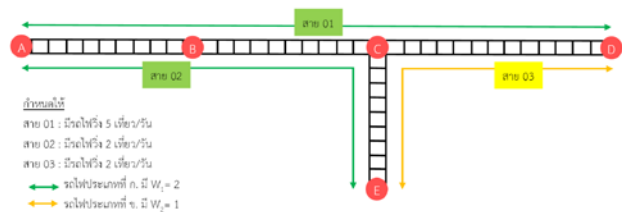
การจำลองการเกิดเหตุขัดข้อง คือ การสมมุติสถานการณ์น้ำท่วมบนทางรถไฟซึ่งส่งผลให้ทางรถไฟนั้นไม่สามารถใช้งานได้ ในการศึกษาครั้งนี้ ทาง

รถไฟแต่ละช่วง (Link) จะถูกสมมุติให้มีเหตุขัดข้องเกิดขึ้นทีละครั้งเพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากทางรถไฟช่วงนั้นไม่สามารถให้บริการได้เป็นระยะเวลา 1 วัน

##### 3.2.2 วิเคราะห์ผลกระทบจากเหตุขัดข้อง

การวิเคราะห์ผลกระทบเมื่อเกิดเหตุขัดข้องบนทางรถไฟสามารถอธิบายได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นโครงข่ายทางรถไฟที่ประกอบไปด้วย 5 สถานี มีรถไฟให้บริการทั้งหมด 3 สาย ได้แก่ สาย 01, 02 และ 03 เส้นทางสาย 01 เป็นรถไฟประเภท ก. ต้นทางที่สถานี A วิ่งผ่านสถานี B และ C โดยมีปลายทางที่สถานี D เส้นทางสาย 02 เป็นรถไฟประเภท ก. เช่นเดียวกับสาย 01 และมีเส้นทางวิ่งที่คล้ายกัน แตกต่างกันเพียงแค่สถานีปลายทางที่เป็นสถานี E เส้นทางสุดท้าย คือ สาย 03 เป็นรถไฟประเภท ข. ต้นทางที่สถานี D ผ่านสถานี C และมีปลายทางที่สถานี E ในกรณีนี้ถ้าสมมุติให้มีเหตุขัดข้องบนช่วงสถานี A และ B (AB) รถไฟ 7 เที่ยว จะได้รับผลกระทบประกอบด้วย 5 เที่ยว ( $n_1$ ) จากสาย 01 และ 2 เที่ยว ( $n_2$ ) จากสาย 02 ในที่นี้การให้บริการของรถไฟทั้งสองสายทางเป็นประเภทเดียวกัน คือ ประเภท ก. ที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญ ( $W_1$  และ  $W_2$ ) เท่ากับ 2 ดังนั้นค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมด ( $P$ ) จะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) นั่นคือเท่ากับ 14 เป็นต้น ผลกระทบในกรณีนี้แต่ละช่วงทางรถไฟของทั้งโครงข่ายเกิดเหตุขัดข้องจะถูกคำนวณโดยใช้วิธีนี้

$$P = W_1 n_1 + W_2 n_2 + \dots + W_i n_i \quad (1)$$



รูปที่ 4 ตัวอย่างโครงข่ายทางรถไฟอย่างง่าย

##### 3.2.3 คำนวณค่าความเปราะบาง

ความเปราะบางของช่วงทางรถไฟแต่ละช่วง ( $V$ ) สามารถคำนวณได้จากผลคูณของผลกระทบที่เกิดขึ้น ( $P$ ) กับโอกาสการเกิดอุทกภัยเฉลี่ยบนช่วงทางรถไฟนั้น ๆ ( $O_{AVG}$ ) ดังสมการที่ (2) ยกตัวอย่างสืบเนื่องจากหัวข้อ 3.2.2 ถ้าสมมุติให้ช่วงทางรถไฟ AB มีค่าระดับโอกาสการเกิดอุทกภัยเฉลี่ยอยู่ที่ 5.2 ดังนั้น ค่าความเปราะบางของช่วงทางรถไฟนี้คือ  $14 \times 5.2 = 72.8$  เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ค่าความเปราะบางของช่วงทางรถไฟทุกช่วงในโครงข่ายจะถูกคำนวณและจัดเรียงจากมากไปน้อยเพื่อหาลำดับความวิกฤติที่สามารถนำไปประยุกต์จัดทำกลยุทธ์หรือข้อเสนอแนะปรับปรุงโครงข่ายทางรถไฟไทยให้มีความยืดหยุ่น (Resilience) เพิ่มมากขึ้น

$$V = P \times O_{AVG} \quad (2)$$



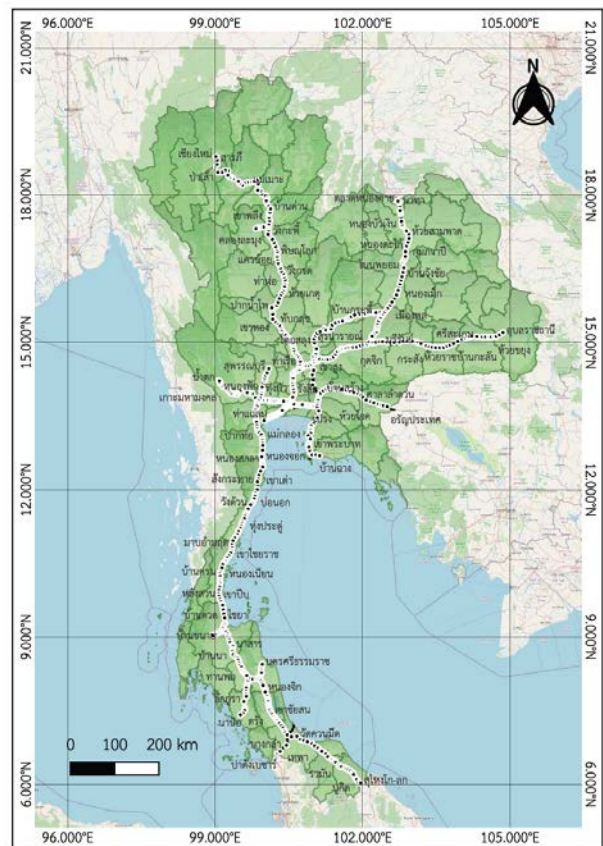
## 4. ผลการศึกษา

### 4.1 โครงข่ายทางรถไฟในประเทศไทย

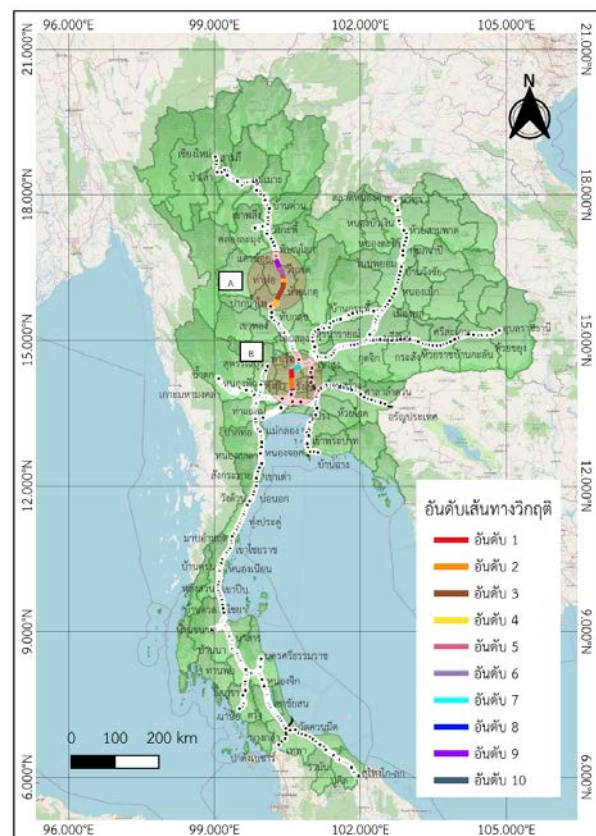
ปัจจุบันประเทศไทยมีโครงข่ายทางรถไฟที่เปิดการเดินรถมีระยะทางครอบคลุมพื้นที่บริการกว่า 47 จังหวัด โดยสามารถแบ่งออกเป็นทางเดี่ยวระยะทาง 3,687 กิโลเมตร (ร้อยละ 91) ทางคู่ระยะทาง 250 กิโลเมตร (ร้อยละ 6) และทางสามระยะทาง 107 กิโลเมตร (ร้อยละ 3) แยกตามภูมิภาคต่าง ๆ ได้แก่ สายเหนือ 781 กิโลเมตร สายตะวันออกเฉียงเหนือ 1,094 กิโลเมตร สายตะวันออก 534 กิโลเมตร สายใต้ 1,570 กิโลเมตร และสายแม่กลอง 65 กิโลเมตร [14] ดังรูปที่ 5 บนโครงข่ายมีสถานีรถไฟและจุดหยุดรถที่เปิดให้บริการมากกว่า 600 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีรับส่งผู้โดยสารและขนส่งสินค้า และมีขบวนรถไฟที่ให้บริการในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ประกอบด้วย ขบวนรถด่วนพิเศษ CNR (Special Express: CNR) ขบวนรถด่วนพิเศษ (Special Express) ขบวนรถด่วน (Express) ขบวนรถเร็ว (Rapid) ขบวนรถธรรมดา (Ordinary) ขบวนรถชานเมือง (Commuter) และขบวนรถท้องถิ่น (Local) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ อัตราค่าธรรมเนียมของขบวนรถไฟแต่ละประเภทถูกนำมาพิจารณาเป็นค่าน้ำหนักความสำคัญในการคำนวณผลกระทบ ในรายละเอียดค่าน้ำหนักความสำคัญของรถด่วนพิเศษ CNR จะถูกตั้งให้เท่ากับ 1 จากนั้นค่าน้ำหนักความสำคัญของรถไฟประเภทอื่น ๆ จะลดลงตามสัดส่วนอัตราค่าธรรมเนียมของขบวนรถไฟแต่ละประเภทเทียบกับอัตราค่าธรรมเนียมของ CNR ดังแสดงในตารางที่ 1

### 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟไทย

จากการผลวิเคราะห์ค่าความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟไทยจากปัญหาอุทกภัย พบว่าเส้นทางรถไฟในแต่ละสายทางมีผลกระทบจากเหตุขัดข้องและมีความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมแตกต่างกัน สืบเนื่องจากปัจจัยหลักคือทำให้บริการรถไฟในแต่ละสายทางและลักษณะภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่จึงทำให้เส้นทางรถไฟต่าง ๆ มีความเปราะบางที่ไม่เท่ากัน ช่วงเส้นทาง (Link) ที่มีความเปราะบางสูงสุดเนื่องจากปัญหาอุทกภัย 10 อันดับแรกสามารถดูได้ในรูปที่ 6 และตารางที่ 2 โดยพบว่าช่วงเส้นทางเปราะบางส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคกลาง (รูปที่ 8) และภาคกลางตอนบน (รูปที่ 7) ซึ่งเป็นที่ลุ่มและเป็นที่ยอมรับน้ำจากภาคเหนือจึงทำให้ทางรถไฟในบริเวณนี้มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากอุทกภัยค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามเมื่อมองในรายละเอียดทางรถไฟบริเวณช่วงรังสิตถึงอยุธยาดูเหมือนจะเป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางมากที่สุด นี้ก็เพราะว่าถึงแม้ทางรถไฟช่วงนี้จะมีโอกาสในการเกิดน้ำท่วมซ้ำกันน้อยกว่าบริเวณภาคกลางตอนบน อย่างไรก็ตามทางรถไฟในช่วงนี้ก็มีรถไฟให้บริการที่มากกว่า ถ้าเกิดเหตุขัดข้องขึ้นจะกระทบต่อการให้บริการรถไฟทั้งภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลเสียต่อการเดินทางของผู้คนจำนวนมาก



รูปที่ 5 โครงข่ายทางรถไฟในประเทศไทย



รูปที่ 6 ช่วงทางรถไฟที่มีความเปราะบางสูงสุด 10 อันดับ

ตารางที่ 1 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของประเภทขบวนรถไฟ

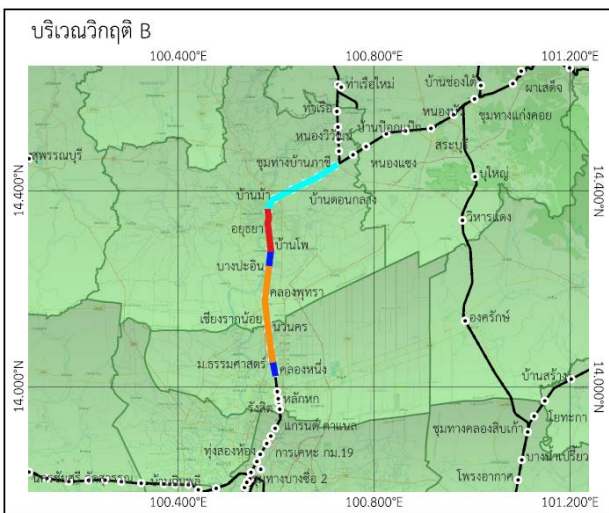
| ประเภทขบวนรถไฟ  | ค่าธรรมเนียม (บาท) | W    |
|-----------------|--------------------|------|
| รถด่วนพิเศษ CNR | 250                | 1.00 |
| รถด่วนพิเศษ     | 180                | 0.72 |
| รถด่วน          | 150                | 0.60 |
| รถเร็ว          | 110                | 0.44 |
| รถธรรมดา        | 50                 | 0.20 |
| รถชานเมือง      | 30                 | 0.12 |
| รถท้องถิ่น      | 20                 | 0.08 |

ตารางที่ 2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของประเภทขบวนรถไฟ

| ลำดับ | ช่วงทางรถไฟ (Link)    |                       | V     |
|-------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 1     | บ้านโพ                | อยุธยา                | 76.00 |
| 2     | เชียงราก              | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ | 75.80 |
|       | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ | นวนคร                 | 75.80 |
|       | นวนคร                 | เชียงรากน้อย          | 75.80 |
|       | เชียงรากน้อย          | คลองพุทธา             | 75.80 |
|       | คลองพุทธา             | บางปะอิน              | 75.80 |
| 3     | ชุมแสง                | วังกร่าง              | 73.48 |
|       | วังกร่าง              | บางมูลนาก             | 73.48 |
|       | บางมูลนาก             | หอยไกร                | 73.48 |
|       | หอยไกร                | ดงตะขบ                | 73.48 |
| 4     | ทับกฤช                | คลองปลากด             | 66.80 |
|       | คลองปลากด             | ชุมแสง                | 66.80 |
|       | ดงตะขบ                | ตะพานหิน              | 66.80 |
| 5     | ตะพานหิน              | ห้วยเกตุ              | 65.80 |
| 6     | วังกรด                | พิจิตร                | 64.80 |
| 7     | อยุธยา                | บ้านม้า               | 60.80 |
|       | บ้านม้า               | มาบพระจันทร์          | 60.80 |
|       | มาบพระจันทร์          | บ้านดอนกลาง           | 60.80 |
|       | บ้านดอนกลาง           | พระแก้ว               | 60.80 |
|       | พระแก้ว               | ชุมทางบ้านภาชี        | 60.80 |
| 8     | คลองหนึ่ง             | เชียงราก              | 60.64 |
|       | บางปะอิน              | บ้านโพ                | 60.64 |
| 9     | ท่าฟ้อ                | บางกระทุ่ม            | 58.32 |
|       | บางกระทุ่ม            | แม่เทียบ              | 58.32 |
| 10    | หัวดง                 | วังกรด                | 51.84 |
|       | พิจิตร                | ท่าฟ้อ                | 51.84 |



รูปที่ 7 ช่วงทางรถไฟบริเวณโซน A



รูปที่ 8 ช่วงทางรถไฟบริเวณโซน B

## 5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟไทยอันเนื่องมาจากปัญหาอุทกภัย ความเปราะบางสามารถถูกประเมินจากผลคูณของผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโอกาสการเกิดอุทกภัยเฉลี่ยบนช่วงทางรถไฟนั้น ๆ ผลกระทบที่พิจารณาคือจำนวนเที่ยวรถไฟที่ต้องหยุดให้บริการหากช่วงเส้นทางรถไฟนั้น ๆ ไม่สามารถใช้งานได้ ผลการศึกษาพบว่าเส้นทางรถไฟในบริเวณภาคกลางและภาคกลางตอนบนมีความเปราะบางสูง ดังนั้นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องต้องพิจารณาเสริมความคงทน (Robustness) ให้กับช่วงทางรถไฟดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างคันกั้นน้ำตามแนวทางรถไฟหรือบริเวณใกล้เคียง การยกระดับทางรถไฟบางสายให้สูงกว่าระดับน้ำหลากสูงสุด การดูแลรักษาหรือแก้ไขปรับปรุงระบบระบายน้ำบริเวณทางรถไฟให้มีประสิทธิภาพสามารถรองรับอัตราการไหลได้อย่างเหมาะสม หรือการพัฒนาคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำไปยังจุดที่ต้องการ เพื่อป้องกันน้ำท่วมทางรถไฟหรือพื้นที่ใกล้เคียง เป็นต้น ในอนาคตการศึกษาค้นคว้าความเปราะบางของโครงข่ายทางรถไฟจะ

พิจารณาเพิ่มเติมไปถึงรายละเอียดเกี่ยวกับระดับความรุนแรงของน้ำท่วม เช่น ระดับความสูงของน้ำท่วม ระยะเวลาในการเกิดน้ำท่วม เป็นต้น และการรับมือในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้อง เช่น การใช้มาตรการฉุกเฉินต่าง ๆ ในการเดินรถไฟ เป็นต้น เพื่อให้ได้การประมาณค่าผลกระทบที่เสมือนจริงมากยิ่งขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จเสร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบคุณการรถไฟแห่งประเทศไทย และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) GISTDA ที่อนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นสำหรับการศึกษาค้นคว้า สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น คณะผู้จัดทำขออ้อมรับคำติชมและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาบทความนี้ต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงคมนาคม [online], (2020). Available from: <http://www.mot.go.th/about.html?id=13> [Accessed 3 May 2020].

[2] Tang, J., Xu, L., Luo, C., & Ng, T. S. A. (2021). Multi-disruption resilience assessment of rail transit systems with optimized commuter flows. *Reliability Engineering and System Safety*, 214, 107715.

[3] Barker, K., Ramirez-Marquez, J.E., and Rocco, C.M. (2013). Resilience-based network component importance measures. *Reliability Engineering & System Safety*, 117, pp.89–97.

[4] KANG Shian Chin, Yau, P.E., Wah, S.K., and Khiang, P.C., (2016). Framework for managing system-of-systems ilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 426, pp. 31–43.

[5] Windle, G., (2011). What is resilience? A review and concept analysis. *Reviews in Clinical Gerontology*, 21 (2), pp.152–169.

[6] Omer, M. (2013). Resilience Of Networked Infrastructure Systems: Analysis and Measurement. Singapore: World Scientific Publishing Company.

[7] Proag, V., (2014). The Concept of Vulnerability and Resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18, pp. 369–376.

[8] Platt, S., Brown, D., and Hughes, M. (2016). Measuring resilience and recovery. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 447–460.

[9] Hong, L., Ouyang, M., Peeta, S., He, X., and Yan, Y. (2015). Vulnerability assessment and mitigation for the Chinese

railway system under floods. *Reliability Engineering and System Safety*, 137, pp.58–68.

[10] Pant, R., Hall, J.W., and Blainey, S.P. (2016). Vulnerability assessment framework for interdependent critical infrastructures: Case-study for Great Britain’s rail network. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16 (1), pp.174–194.

[11] Meesit R, Andrews J. (2021). Ranking the critical sections of railway networks. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 235, pp.361-376.

[12] Neves, D. V. A., Geurs, K. T., Puello, L. L. P., Lindhout, E., & Zanen, M. (2021). A vulnerability analysis of rail network disruptions during winter weather in the netherlands. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 21(2), pp.19–40.

[13] Yin, L., Zhu, J., Li, W., & Wang, J. (2022). Vulnerability Analysis of Geographical Railway Network under Geological Hazard in China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(6), 342.

[14] การรถไฟแห่งประเทศไทย (2562). Complete guide to SRT 4.0. วารสารรถไฟสัมพันธ์, หน้า 10.