

การพัฒนาและทดสอบระบบตรวจสอบทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทาง

The development and testing of a railway track inspection system for track maintenance

กรรธรรม สติรกุล^{1*}

Korntham Sathirakul^{1*}

บทคัดย่อ

ระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทางที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้วิจัยพัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งในการขับเคลื่อนตัวรถ มีสมรรถนะที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง น้ำหนักเบา และสามารถใช้งานด้วยคนคนเดียวได้ และ 2) ส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทาง ที่มีความเร็ว และความคมชัดของการบันทึกภาพสภาพทางได้อย่างเหมาะสม ตรงตามความต้องการของผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบทาง ทั้ง 2 ส่วนนี้ได้รับการออกแบบพัฒนาให้มีโครงสร้างและระบบการทำงานง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ เพื่อให้สามารถผลิตขึ้นใช้งานได้ต้นทุนที่ต่ำ

ต้นแบบระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทางที่สร้างขึ้น ได้นำไปทดสอบในทางรถไฟจำลองขึ้นที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริง เพื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของระบบ เพื่อการปรับปรุงแก้ไขให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์เหมาะสมกับการใช้งานจริง และจะได้นำไปใช้งานในการตรวจสอบสภาพทางรถไฟจริงเพื่อให้ทางรถไฟได้รับการตรวจสอบบำรุงรักษาให้มีสภาพที่ปลอดภัยในการให้บริการเดินรถแก่ประชาชนอย่างปลอดภัยและสะดวกสบายต่อไป

Abstract

The railway-track inspection system for track maintenance being developed in this research project consists of 2 sub-systems, namely 1) railway-track locomotion sub-system, consuming electric energy to propel itself along the track for the inspection operation, with light gross weight, operated by one person, and 2) railway-track inspection and data recording sub-system with high-speed and high-resolution image capturing capability in order to suit the requirements of railway-track inspectors' operations. These 2 parts were researched, designed and developed such that the railway-track inspection system had simple construction and operation, and could be built with locally available supplied parts and equipments, leading to low manufacturing costs.

A prototype of the system was built and tested on a mock-up test track simulating a real operation. The test results were used for later improvements of the system to yield an appropriate performance for real railway-track inspection operation. The prototype had been planned to be tested on a real track in a real field operation in a near future. This developed system had been expected to put into real inspection and maintenance service of the railway operators to help ensuring safe tracks for railway passengers safety and comfort.

คำสำคัญ: ทางรถไฟ, การตรวจสอบสภาพทางรถไฟ, รถขับเคลื่อนด้วยล้ออย่างใช้พลังงานไฟฟ้า

Keywords: Railway-track inspection, Track maintenance, Railway-track vehicle

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

* e-mail address: korntham@dss.go.th

1. ปัญหาและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันระบบคมนาคมขนส่งทางรางของไทยมีการเร่งพัฒนาปรับปรุงการบริการอย่างมาก เพื่อให้สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยในการเดินทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงสภาพทางใหม่ และการขยายทางรถไฟให้เป็นทางคู่ อย่างไรก็ตามการตรวจสอบสภาพทางเพื่อหาจุดบกพร่องของทางที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุต่อขบวนรถไฟ และทำการซ่อมบำรุงโดยทันการณ์ ก็เป็นสิ่งจำเป็นในงานซ่อมบำรุงทางที่ต้องทำอย่างต่อเนื่องอยู่เป็นประจำ ซึ่งการตรวจสอบสภาพทางโดยนายตรวจทางของการรถไฟแห่งประเทศไทยนั้น ปฏิบัติโดยใช้นายตรวจทางจำนวนมากรับผิดชอบในการตรวจสอบสภาพทางด้วยตา โดยการเดินเท้าเป็นประจำ หรืออาจใช้รถตรวจสอบสภาพทางที่มีเครื่องมือตรวจวัดที่มีความซับซ้อนราคาแพง แต่การตรวจสอบสภาพทางเช่นนี้ไม่สามารถกระทำตลอดทั้งเส้นทางที่มีกว่า 4,000 กิโลเมตร อย่างเป็นประจำทุกวันได้ เพราะรถตรวจสอบสภาพทางมีอยู่จำนวนจำกัด ไม่เพียงพอใช้งาน อีกทั้งมีราคาแพงมาก รถตรวจสอบสภาพทางต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ใช้งบประมาณหลายล้านบาทต่อคัน และจำเป็นต้องจัดเป็นการเดินรถขบวนพิเศษ แทรกเข้าไว้ในประกาศการเดินรถ การตรวจทางที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอาศัยนายตรวจทางจำนวนมาก รับผิดชอบตรวจสอบสภาพทางด้วยการเดินเท้าคนละกว่าสิบกิโลเมตร และเมื่อมีการปรับปรุงทางโดยขยายเป็นทางคู่ในอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะเป็นระยะทางรวมทั้งสิ้นกว่า 7,000 กิโลเมตร การตรวจสอบสภาพทางจึงกลายเป็นภาระที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก การมีเครื่องมือในการช่วยให้นายตรวจทางสามารถทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นจึงเป็นเรื่องจำเป็น จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบระบบการตรวจสอบสภาพทางรถไฟขึ้น โดยทั้งนี้ระบบนี้ต้องสามารถช่วยการทำงานของนายตรวจทางได้จริง ใช้งานง่าย และมีต้นทุนที่ไม่สูงนัก

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา ออกแบบ สร้างระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟต้นแบบ ให้สามารถอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานของนายตรวจทางรถไฟ และสามารถปฏิบัติงานได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้การเดินทางรถไฟเป็นไปได้อย่างปลอดภัย โดยใช้ต้นทุนที่เหมาะสม

1.2 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

การวิจัยพัฒนานี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟที่จะใช้เครื่องมือในการช่วยให้การปฏิบัติงานของนายตรวจทางรถไฟให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยทั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟนี้เพื่อให้เทียบเท่าหรือทดแทนรถตรวจสอบสภาพทาง (Track inspection car) ที่มีเครื่องมือตรวจวัดที่ซับซ้อนที่การรถไฟแห่งประเทศไทยมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน แต่เป็นการเติมเต็มช่องว่างระหว่างการทำงานตรวจสอบสภาพทางของนายตรวจทางด้วยการเดินเท้า กับการตรวจสอบสภาพทางโดยใช้รถตรวจสอบสภาพทาง โดยใช้การขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าพลังงานจากแบตเตอรี่ การใช้กล้องดิจิทัลความเร็วสูงบันทึกภาพสภาพทางรถไฟ และการระบุและบันทึกตำแหน่งขณะปฏิบัติงานด้วยระบบ Global Positioning System หรือ GPS และวิธีการต่าง ๆ

2. ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 การบำรุงรักษาและตรวจสอบสภาพทางรถไฟ

ในขณะที่ขบวนรถไฟวิ่งผ่านทาง รางจะถูกแรงกระแทกจากล้อรถไฟทำให้สภาพทางชำรุดไป ในกรณีของทางรถไฟที่ใช้หินโรยทางนั้น หินโรยทางจะมีการแตกตัว เกิดการหลวมตัว หมอนรองรางจะขยับเคลื่อนตัวได้ ซึ่งจะมีผลทำให้รางรถไฟทั้งสองข้างเลื่อนตัวห่างออกจากกัน และอาจเกิดการโก่งตัวในแนวดิ่ง การเปลี่ยนแปลงผิดรูปไปจากทางสภาพปกตินี้เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนของทาง หรือ Track Irregularities ความคลาดเคลื่อนนี้หากมีค่าเกินกว่าพิกัดที่กำหนด ทางรถไฟช่วงนั้นจะต้องได้รับการซ่อมแซมแก้ไข

การสัมผัสเสียดสีกันระหว่างล้อเหล็กกับรางเหล็กนั้นก่อให้เกิดการสึกหรอของรางในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น รางในทางโค้งจะถูกล้อดันให้เกิดความคลาดเคลื่อนในแนวขวาง รางสึกทางด้านข้างของราง หัวต่อรางและรอยเชื่อมของรางอาจถูกล้อกระแทกเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ส่วนประกอบของประแจที่จะสึกหรอ หัวรางบีแบง รางหัก หรือรางเป็นคลื่น เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนของทางรถไฟ และการชำรุดสึกหรอของราง และส่วนประกอบต่าง ๆ ของทาง เหล่านี้เป็นภาระในการบำรุงรักษาทางให้ได้มาตรฐาน เพื่อความปลอดภัยต่อขบวนรถ ความนุ่มนวลในการโดยสาร ลดการกระแทกอย่างรุนแรง ลดเสียงดัง และลดการสั่นสะเทือนที่อาจทำให้

ผู้โดยสารเกิดความรู้สึกไม่สบายในการโดยสารบนขบวนรถ ข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ของความคลาดเคลื่อนของทาง และการเกิดตำหนิสีหรือของรางเหล็ก เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพและการบันทึกสภาพทางมีอธิบายอย่างละเอียดชัดเจนในเอกสารอ้างอิง [1-4]

ส่วนการตรวจสอบสภาพทางนั้นมีเทคนิคในการปฏิบัติอยู่หลายวิธี การตรวจสอบสภาพทางด้วยการสังเกตด้วยสายตา หรือ Visual Inspection จะใช้ในการตรวจสอบสภาพของทางโดยทั่วไป เช่น การแตกหักของราง การชำรุดสึกหรอบนผิวภายนอกของราง การชำรุดผุพังของหมอนรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวรางที่ชำรุดหลุดหาย ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ความผิดปกติของทางเช่นนี้ตรวจสอบโดยนายตรวจทาง รวมถึงการใช้กล้องบันทึกภาพตลอดระยะทาง แล้วมาย้อนดูในภายหลัง หรืออาจใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ภาพเพื่อระบุจุดบกพร่องโดยอัตโนมัติ [3] [4]

การตรวจสอบสภาพทางเพื่อหาความผิดปกติที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เช่น รอยร้าวในเนื้อรางเหล็กซึ่งอาจเกิดการขยายตัว (Crack Growth) และทำให้รางแตกหักอันเป็นเหตุให้เกิดอันตรายกับขบวนรถได้ เช่นนี้จะใช้เทคโนโลยีเครื่องมือวัดที่ซับซ้อนขึ้น การใช้เทคนิคการทดสอบโดยไม่ทำลาย หรือ Non-Destructive Testing (NDT) เช่น การใช้หลักการสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) และการใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) หรือวิธีเอ็ดดี้เคอร์เรนท์ (Eddy Current Method) เหล่านี้มีบทบาทมากในการตรวจสอบสภาพรางที่ชำรุดจากข้างในเนื้อวัสดุที่ไม่สามารถมองเห็นได้ [5] [6]

นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่แม้จะไม่ได้เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุ แต่เป็นความคลาดเคลื่อนของมิติและรูปทรงของทางและราง หรือ Track Geometry ที่ไม่อาจจะระบุได้ด้วยตาเปล่าก็จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัด เช่น การวัดโปรไฟล์ของรางโดยใช้แสงเลเซอร์เพื่อตรวจสอบความสึกหรอของราง หรือการใช้แสงเลเซอร์เพื่อวัดความคลาดเคลื่อนของการบิดหรือโก่งตัวของแนวทาง การตรวจสอบทางดังเช่นที่กล่าวมานี้มักใช้รถตรวจสอบสภาพทางที่ติดตั้งเครื่องมือวัดและเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ไว้วิ่งไปตามทาง แล้ววัดและบันทึกค่าของสภาพทางไว้ พร้อมกับบันทึกตำแหน่งของทางด้วยระบบ Global Positioning System หรือ GPS เพื่อใช้

สามารถระบุตำแหน่งของความผิดปกติของทางแล้วทำการแก้ไขซ่อมบำรุงทางได้ถูกต้อง รถตรวจสอบสภาพทางเช่นนี้ทำให้การปฏิบัติงานซ่อมบำรุงทางได้รวดเร็วมีประสิทธิภาพสูง แต่เป็นการลงทุนที่สูงมากเช่นกัน

2.2 ข้อกำหนดคุณลักษณะของระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟ

ข้อกำหนดในการตรวจสอบสภาพทางรถไฟ รวมถึงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องของบริษัทผู้ให้บริการเดินรถ เช่น การรถไฟแห่งประเทศไทย [3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของการซ่อมบำรุงทางขนาดเบาได้รับการศึกษา ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อกำหนดคุณลักษณะของระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟที่ทำการพัฒนาได้ดังนี้

2.2.1 ระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟต้องมีน้ำหนักเบาที่สามารถยกออกจากทางได้ด้วยแรงคน 2 คน และการทำงานของระบบต้องสามารถควบคุมได้ด้วยเพียงคนเดียว

2.2.2 การทำงานของระบบจะต้องไม่ไปรบกวนระบบอาณัติสัญญาณและการบริการเดินรถที่เป็นอยู่

2.2.3 รัศมีการทำงานต้องไม่น้อยกว่า 25 ถึง 30 กิโลเมตรบนทาง และความเร็วในการเคลื่อนที่ต้องไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [3]

2.2.4 ระบบต้องมีระบบกล้องบันทึกภาพที่มีความเร็วสูงเพียงพอที่จะสามารถเก็บบันทึกภาพสภาพทางที่มีความละเอียดสูงด้วยความคมชัดของภาพในขณะที่ระบบวิ่งไปบนทางรถไฟด้วยความเร็วในขณะดำเนินการตรวจสอบสภาพทาง ระบบต้องมีจอแสดงผลภาพเพื่อให้นายตรวจทางได้สังเกตเห็นสภาพทางในขณะปฏิบัติการตรวจสอบสภาพทาง

2.2.5 ระบบควรมีระบบในการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของระบบขณะบันทึกภาพสภาพทางในแต่ละภาพอย่างแม่นยำเพื่อให้สามารถกลับมาซ่อมบำรุงทางในตำแหน่งที่จำเป็นได้อย่างถูกต้องในภายหลัง

2.2.6 ระบบนี้เนื่องจากต้องวิ่งไปบนทางรถไฟ เพื่อความปลอดภัยจึงจำเป็นต้องมีสัญลักษณ์ เช่น ธงแดง และโคมไฟสีแดงในเวลากลางคืน เพื่อให้สามารถมองเห็นตำแหน่งที่อยู่ได้อย่างชัดเจน เพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน รวมถึงควรสามารถส่งสัญญาณเสียงเตือน เช่น เสียงแตร เมื่อจำเป็น

2.2.7 ระบบนี้ต้องมีต้นทุนที่เหมาะสม ไม่แพงจนเกินไป

ข้อกำหนดคุณลักษณะตามข้างต้นนี้ต้องใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาออกแบบระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบนี้ได้กล่าวถึงในข้อ 3.

2.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในการตรวจสอบสภาพทางรถไฟนั้นมีอยู่หลายวิธี ที่มีความก้าวหน้าและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์แล้วก็มีอยู่มาก ดังที่ได้กล่าวในข้อ 2.1 สำหรับการวิจัยพัฒนาในปัจจุบัน มีดังเช่น การพัฒนาระบบตรวจสอบรางแบบอัตโนมัติโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีทางดิจิทัล (Digital Image Processing) หรือ Machine-vision Technique [7-9] โดยจะมีรถที่ขับเคลื่อนไปตามรางขนาดเล็กที่วิ่งไปบนรางรถไฟได้อย่างอัตโนมัติ ไร้คนควบคุม บนตัวรถจะมีการติดตั้งกล้องจำนวนหนึ่งเพื่อบันทึกภาพทางในมุมต่าง ๆ ของทางและราง ภาพที่บันทึกจะส่งไปที่คอมพิวเตอร์บนตัวรถเพื่อประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อหาความผิดปกติของสภาพทางพร้อมบันทึกผลข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการซ่อมบำรุงทางต่อไป [10]

ทางรถไฟต้องได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำเพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยและความสบายในการโดยสารรถไฟ ซึ่งผู้ให้บริการเดินรถไฟมีกฎระเบียบต่าง ๆ ในการตรวจสอบทางที่ต้องดำเนินการให้สอดคล้องเหมาะสม [3] Innotrack [5] ได้ศึกษาและสรุปภาพรวมของความก้าวหน้าของเทคโนโลยีตรวจสอบสภาพทางรถไฟ Sawadisavi และคณะ [7] ได้ริเริ่มเทคนิคการใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบสภาพทางรถไฟ Berry และคณะ [8] กับ Hsieh และคณะ [9] ใช้กล้องวิดีโอความเร็วสูงและเทคนิคการประมวลผลภาพขั้นก้าวหน้าในการตรวจสอบจุดเชื่อมต่อหัวราง รวมถึงคลิปสปริงยึดราง ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการจดจำลักษณะดีและเสียของสภาพทาง Resendiz และคณะ [10] ได้พัฒนาระบบต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการในการตรวจสอบทางรถไฟอย่างอัตโนมัติ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนวัตกรรมตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาทางรถไฟมีอยู่อย่างต่อเนื่อง และเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมและสภาพของทางรถไฟไทยได้

โครงการวิจัยพัฒนาที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้

ริเริ่มนี้ [11] ถึงแม้ว่าในปัจจุบันยังไม่ได้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาระบบให้สามารถตรวจสอบสภาพทางรถไฟแบบอัตโนมัติ แต่ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานโครงการนี้สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาต่อยอกระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟแบบอัตโนมัติโดยสมบูรณ์ได้ในอนาคตต่อไป

3. การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ

3.1 การออกแบบระบบต้นแบบ

นักวิจัยได้สำรวจความต้องการของผู้ใช้งาน รวมถึงข้อกำหนดคุณลักษณะของงานตรวจสอบสภาพทางรถไฟ และของรถซ่อมบำรุงทางขนาดเบาตามที่กำหนดไว้ใน กฎระเบียบ ข้อบังคับของการรถไฟแห่งประเทศไทย ระบบต้นแบบจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟ และส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทาง ซึ่งต้องทำงานสัมพันธ์กันอย่างดี และสามารถทำงานตอบโต้ภัยการปฏิบัติงานตรวจสอบสภาพทางรถไฟได้ โจทย์ปัญหาทางเทคนิคที่สำคัญในงานวิจัยพัฒนานี้คือ

1) การขับเคลื่อนส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟจะต้องออกแบบให้มีหลักการทำงานและควรมีข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะอย่างไรจึงจะเหมาะสมกับการตรวจสอบสภาพทางรถไฟ

1.1) ระบบต้นแบบต้องสามารถทำงานได้ในรัศมีการทำงานภารกิจตรวจสอบสภาพทางทั้งขาไปและขากลับ

1.2) ต้องมีน้ำหนักโดยรวมเบาพอที่จะให้คนไม่เกิน 2 คนสามารถยกระบบทั้งหมดออกจากทางได้ แต่ในขณะเดียวกันต้องมีความสามารถในการเกาะติดทาง (traction) ให้สามารถขับเคลื่อนไปบนทางได้โดยไม่มีการไถล หรือลื่นหลุด ทำให้วิ่งไปตามทางได้ด้วยความเร็วตามที่กำหนด

1.3) ในการขับเคลื่อนระบบไปตามทางรถไฟจะต้องไม่ไปรบกวนอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถต่าง ๆ บนทาง

2) การตรวจสอบสภาพทางและการบันทึกสภาพสภาพทางรถไฟจะต้องออกแบบให้มีหลักการทำงานและควรมีข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะอย่างไร

2.1) ต้องตรวจสอบสภาพทางรถไฟในตัวแปรใดบ้าง ซึ่งตามที่ได้รับข้อมูลความต้องการใช้นั้น ปัญหาที่สำคัญเป็นอันดับต้นคือ สภาพและความครบถ้วนของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางกับหมอนรองรางรถไฟ เพราะที่ผ่านมามีขบวนรถตกรางและประสบอุบัติเหตุจากการที่อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจจะเกิดจากการลอบลักขโมยถอดอุปกรณ์

ดังกล่าวไป ดังนั้นเราจะบันทึกภาพได้อย่างไรให้ได้คุณภาพของภาพที่ดี และครบถ้วน เป็นประโยชน์ในการนำไปวิเคราะห์สภาพทางได้

2.2) การระบุตำแหน่งของภาพสภาพทางแต่ละภาพบนเส้นทางรถไฟ อย่างแม่นยำ เพื่อประโยชน์ในการระบุตำแหน่งที่ต้องกลับมาซ่อมบำรุงได้อย่างถูกต้องแม่นยำอย่างเหมาะสม โดยทั้งนี้ด้วยวิธีการและเครื่องมือที่มีต้นทุนต่ำ

2.3) ด้วยความเร็วของส่วนขับเคลื่อนที่นำพาส่วนตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟ กล้องที่ใช้ในการจับบันทึกภาพต้องมีข้อกำหนดคุณลักษณะอย่างไร และจะมีกลไกในการทำงานสัมพันธ์กับการเคลื่อนไปตามทางอย่างไร เพื่อให้ได้ภาพที่บันทึกมีความชัดพอที่จะสามารถนำมาพิจารณาสภาพทางได้

3) ลักษณะและการทำงานของระบบต้องเป็นไปตามกฎและข้อบังคับของผู้ให้บริการเดินรถ เช่น เป็นไปตามข้อบังคับและระเบียบการเดินรถ ของการรถไฟแห่งประเทศไทย เป็นต้น

4) ระบบควรใช้งบประมาณลงทุนที่เหมาะสม ไม่สูงจนเกินไป

จากโจทย์ทางเทคนิคข้างต้น นักวิจัยได้ออกแบบหลักการและข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องต้นแบบดังต่อไปนี้

1) ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าพลังงานจากแบตเตอรี่ มีลักษณะเป็นล้อกำลังในการขับเคลื่อนเพื่อให้มี traction ในขณะที่ระบบมีน้ำหนักที่เบาว่า ทั้งนี้เนื่องจากสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้ออย่างกับรางเหล็กมีค่ามากกว่าระหว่างล้อเหล็กกับรางเหล็ก ระบบมีล้ออีก 4 ล้อที่เป็นวัสดุโพลีเมอร์ที่แข็งแรงเพื่อรับภาระและประคองให้ระบบเคลื่อนที่ไปได้ตามทางรถไฟ รัศมีทำการระยะไม่น้อยกว่า 20 กิโลเมตร ทั้งไปและกลับ

2) ระบบรับภาระน้ำหนักผู้โดยสาร 2 คน หรือน้ำหนักรวมราว 150 กิโลกรัม และน้ำหนักตัวรถต้องไม่เกิน 60 กิโลกรัม สามารถยกออกจากทางได้ด้วยคนไม่เกิน 2 คน

3) ความเร็วในการขับเคลื่อนในขณะที่ปฏิบัติงานตรวจสภาพทางไม่ต่ำกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ออกแบบไว้ที่ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และความเร็วสูงสุดไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ตามข้อบังคับและระเบียบการเดินรถของการรถไฟแห่งประเทศไทย)

<http://bas.dss.go.th>

4) ในส่วนของการจับและบันทึกภาพใช้กล้องบันทึกภาพดิจิทัลความละเอียดสูงความเร็วสูง 2 ตัว โดยมีชุดไฟส่องสว่างอย่างเพียงพอ การทำงานของกล้องจะควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ระดับใช้งานหนักภาคสนามได้ และมีเซ็นเซอร์แสงเลเซอร์ในการตรวจจับหมอนรองรางเพื่อเป็นสัญญาณแจ้งหะในการบันทึกภาพ

5) มีจอภาพแสดงภาพสภาพทางรถไฟ และมีที่นั่งให้นายตรวจทางได้โดยสารและปฏิบัติงานได้ 2 ที่

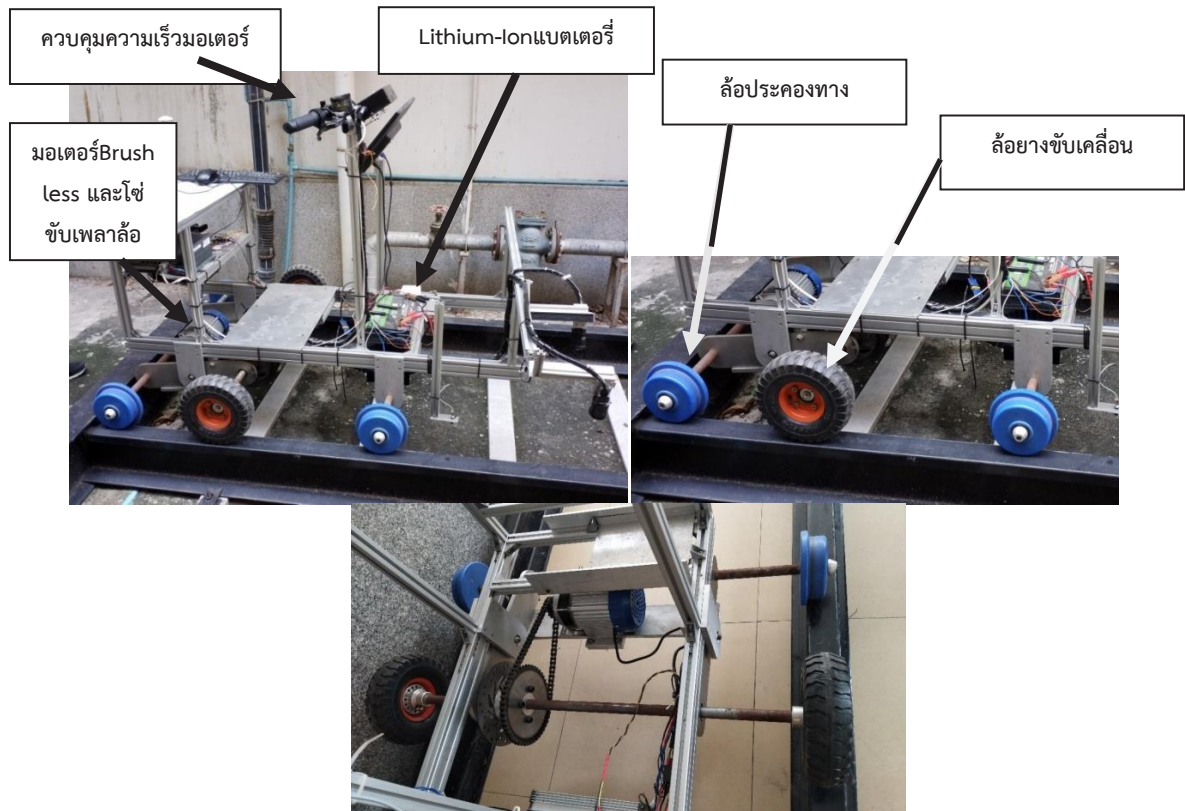
6) สามารถควบคุมรถให้เดินหน้า และถอยหลังได้ และมีเบรกในการหยุดและจอดอย่างครบถ้วน

7) ส่วนประกอบทั้งหมดนี้ยึดอยู่บนโครงสร้างอะลูมิเนียมที่แข็งแรงแต่น้ำหนักเบา

8) มีอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เพื่อความปลอดภัยตามที่กำหนดไว้ในข้อบังคับและระเบียบการเดินรถฯ

3.2 การพัฒนาส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟ

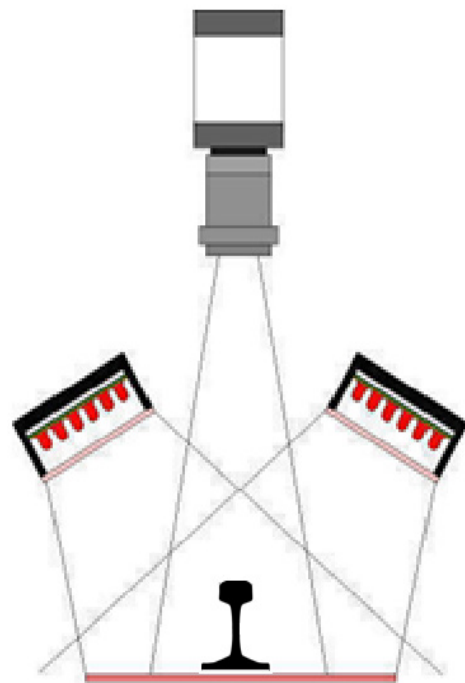
ในส่วนของการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟนี้ โครงสร้างทำด้วยอะลูมิเนียม (aluminum profile) มีล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ ชนิดล้อยางเพื่อให้มีการยึดเกาะกับรางเพื่อเกิดแรงจุด และมีล้อประคองทาง 2 คู่ หน้าและหลัง ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นสื่อนำไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนระบบอาณัติสัญญาณการเดินขบวนรถบนทางหลัก ล้อขับเคลื่อนใช้พลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าไร้แปรงถ่านขนาด 750 วัตต์ 72 โวลต์ ส่งผ่านแรงบิดด้วยระบบชุดโซ่และเฟือง และมีวงจรขับเคลื่อนและควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป โดยจะรับคำสั่งความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์จากผู้ควบคุมการทำงาน แห่เก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 12 โวลต์ 35 แอมแปร์-ชั่วโมง 6 ลูกต่ออนุกรมกันให้ได้ศักย์ไฟฟ้ารวม 72 โวลต์ ระบบเบรกใช้ระบบเบรกงานแบบที่ใช้กับรถจักรยานยนต์ รูปที่ 1 แสดงส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟดังกล่าวนี้



รูปที่ 1 : แสดงส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟ

3.3 ส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟ

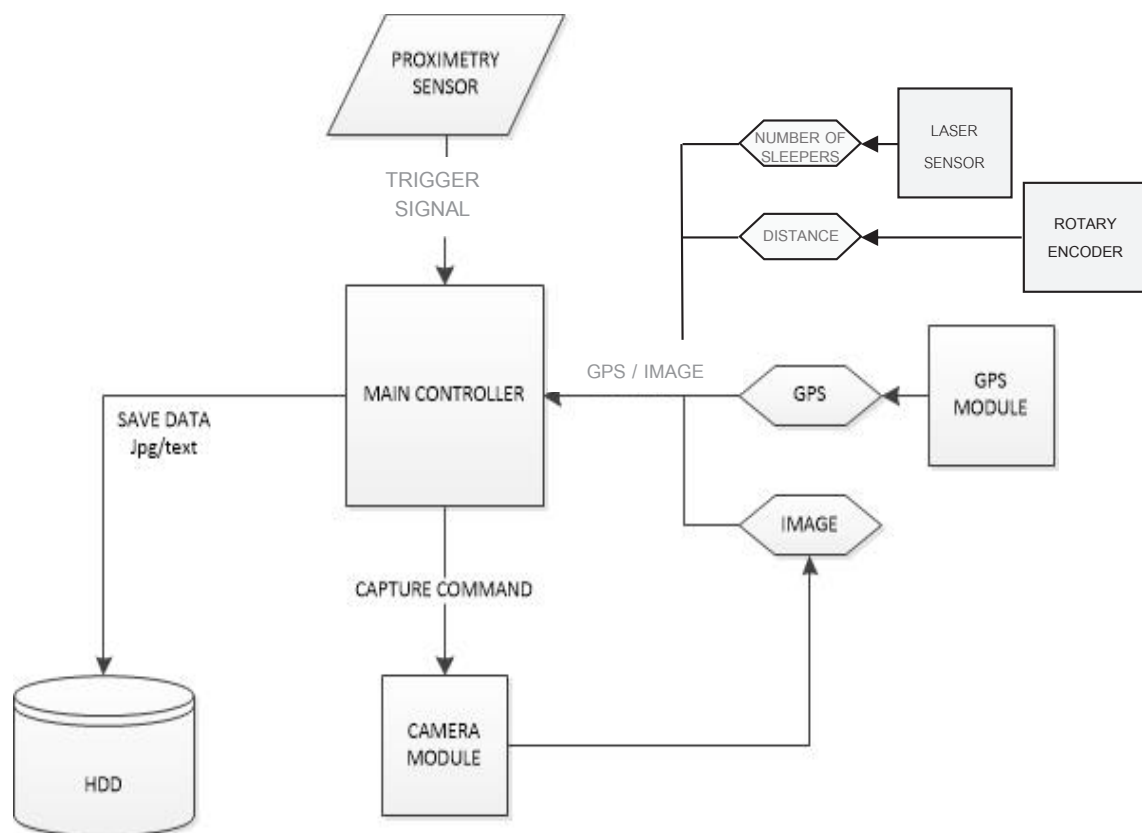
ในส่วนนี้สามารถจับและบันทึกภาพดิจิทัลความละเอียดสูงของสภาพทางได้ ระบบมีกล้องดิจิทัลความเร็วสูงความละเอียดสูงจำนวน 2 ตัว สำหรับใช้กับรางทั้ง 2 ด้าน ข่าย-ขวาพร้อมไฟส่องสว่าง จับและบันทึกภาพอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางได้อย่างละเอียดชัดเจน โดยการทำงานของกล้องจะรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะวัตถุด้วยแสงเลเซอร์ (Laser proximity sensor) ที่ตรวจจับหอนรอรังรถไฟโดยเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับว่าพบหอนรอรังแล้วให้กล้องจับภาพของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางทั้ง 2 ด้านพร้อมกัน และข้อมูลจะจัดเก็บพร้อมกับข้อมูลของตำแหน่งพิกัด GPS ระยะจากโรตารีเอ็นโคเดอร์ และจำนวนนับของหอน ไว้ในหน่วยจัดเก็บข้อมูลฮาร์ดดิส เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งบนทางรถไฟได้อย่างแม่นยำ หากต้องกลับมาทำการซ่อมบำรุงทางในตำแหน่งที่สภาพทางมีความผิดปกติเสียหายได้ในภายหลัง รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งกล้องบันทึกภาพความเร็วสูงและระบบไฟส่องสว่าง และรูปที่ 3 แสดงแผนผังการทำงานของระบบในส่วนนี้



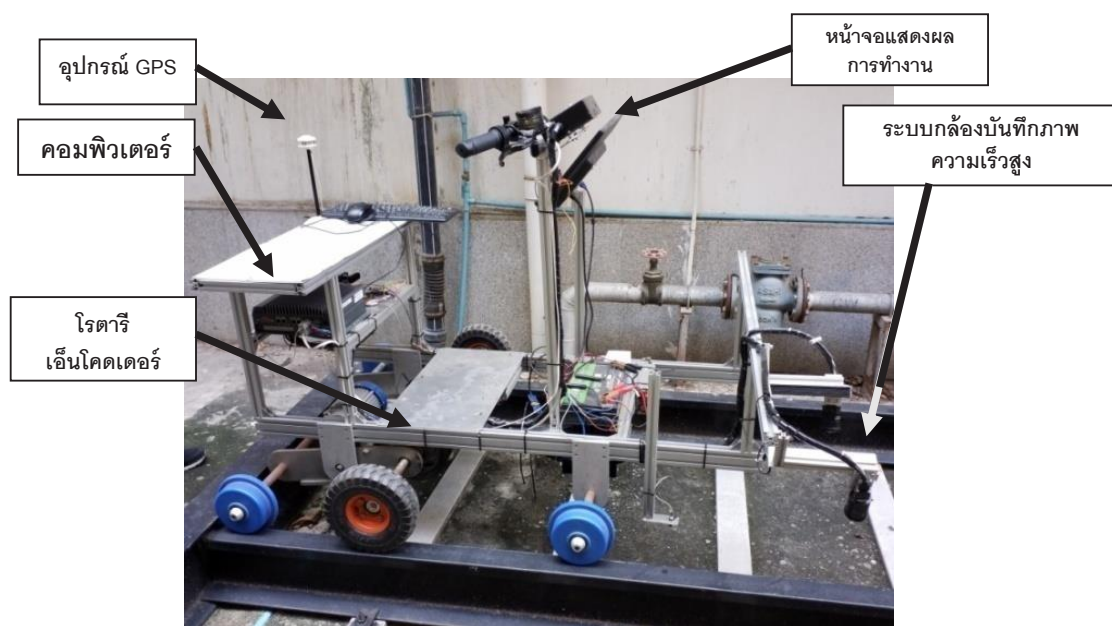
รูปที่ 2 : แสดงการติดตั้งกล้องบันทึกภาพความเร็วสูงและระบบไฟ

ส่องสว่าง

<http://bas.dss.go.th>



รูปที่ 3 : แสดงแผนผังการทำงานของระบบในส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟ



รูปที่ 4 : แสดงส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟของระบบต้นแบบ

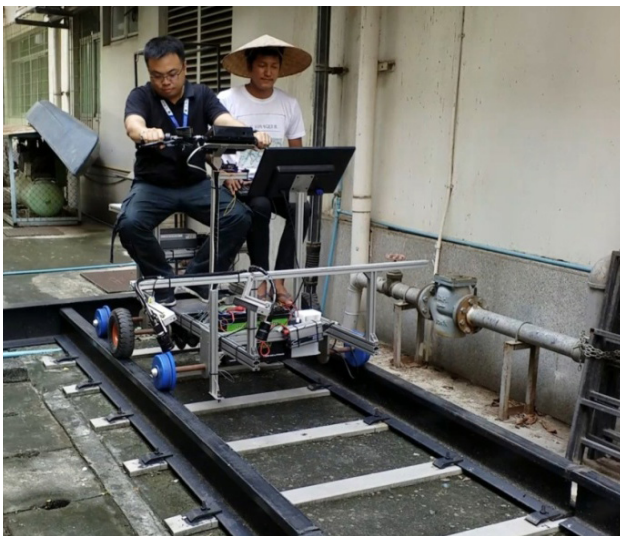
สำหรับการพัฒนาระบบของส่วนนี้เริ่มต้นจากการจับภาพและเก็บบันทึกข้อมูลของพิกัดตำแหน่งของภาพสภาพทางตามเส้นทางรถไฟที่กำลังตรวจสอบสภาพทาง ซึ่งนายตรวจทางสามารถนำข้อมูลไปประมวลและพิจารณาประเมินสภาพทางได้ด้วยสายตา หรืออาจใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพดิจิทัลทำการประเมินสภาพทางให้ในลักษณะ Post-processing นอกจากนี้ นายตรวจทางผู้ควบคุมระบบจะมีจอมอนิเตอร์ดูภาพจากกล้องทั้ง 2 คูสภาพทางด้วยสายตาในขณะที่โดยสารเคลื่อนไปกับระบบต้นแบบได้ และการควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ระดับอุตสาหกรรมที่มีความทนทานแข็งแรงประมวลผลและควบคุม รูปที่ 4 แสดงส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟของระบบต้นแบบดังกล่าว

3.4 การทดสอบระบบต้นแบบ

สำหรับการทดสอบระบบต้นแบบ นักวิจัยได้ทดสอบบนทางรถไฟเสมือนจริงที่สร้างขึ้น เป็นทางมีเมตรเกจความยาว 18 เมตร โดยได้ทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) ทดสอบการทำงานของระบบกล้องจับและบันทึกภาพสภาพทางรถไฟ โดยเน้นไปที่ภาพของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ในขณะที่ระบบเคลื่อนที่ไปตามทางรถไฟ
- 2) ทดสอบการระบุตำแหน่งบนทางรถไฟ โดยใช้ GPS, rotary encoder และการนับหมอน
- 3) ทดสอบระยะรัศมีทำการของระบบต้นแบบ

ต้นแบบระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทางที่ วิทยาลัยการศึกษาศาสตร์บริการได้สร้างขึ้น ได้รับการทดสอบในทางรถไฟในสภาพการทำงานจริงบนทางรถไฟจำลองระยะทาง 18 เมตรในลักษณะวิ่งไปและกลับอย่างต่อเนื่องโดยมีผู้ดำเนินการทดสอบโดยสารไปกับระบบต้นแบบด้วย 2 คน เพื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของระบบ และนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ข้อต่อที่ต้องทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์เหมาะสมกับการใช้งานจริง รูปที่ 5 แสดงการทดสอบการทำงานจริงของระบบตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทางบนทางจำลอง ผลการทดสอบระบบต้นแบบเป็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 : แสดงการทดสอบการทำงานจริงของระบบตรวจและบันทึกสภาพทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทางบนทางจำลองระยะทาง 18 เมตร

3.4.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบกล้องจับและบันทึกภาพสภาพทางรถไฟ

สำหรับการทดสอบการทำงานของระบบกล้องจับและบันทึกภาพสภาพทางรถไฟในขณะที่ระบบขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมงบนทางจำลองเสมือนจริงได้ผลว่า ระบบเก็บข้อมูลสภาพทาง สามารถจับและบันทึกภาพดิจิทัลของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง และเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งที่สัมพันธ์กับภาพที่ถ่าย ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่ง/ระยะทางจาก GPS ข้อมูลจาก rotary encoder และข้อมูลจากการนับจำนวนหมอนรองรางจาก laser sensor บันทึกไว้ในฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบฯ ได้เป็นอย่างดี ข้อมูลความครบถ้วนในทุกตำแหน่งของหมอนรองราง และคุณภาพของภาพดิจิทัล

ของสภาพทางที่เก็บและบันทึกได้มีคุณภาพชัดเจนสามารถนำไปวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางโดยคน หรือ โดยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพได้ในภายหลัง ภาพตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 6



(รางทางซ้าย)

(รางทางขวา)

รูปที่ 6 : แสดงตัวอย่างภาพสภาพทางรถไฟที่ระบบสามารถบันทึกได้ในขณะทดสอบจะสามารถเห็นราง และอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ซ้ายและขวา

3.4.2 ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งบนทางรถไฟ โดยใช้ GPS, rotary encoder และการนับหมอนด้วย laser sensor

สำหรับการทดสอบนี้ได้ผลดังแสดงในกราฟที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของตัวรถ ขณะเคลื่อนที่ไปและกลับบนทางรถไฟจำลองระยะ 0 ถึง 18 เมตรที่ให้ผลความแม่นยำที่แตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาข้อมูล แล้วจะเห็นว่าการระบุตำแหน่งบนทางรถไฟโดยวิธีทั้ง 3 นั้นให้ลักษณะเด่นและลักษณะด้อยที่ต่างกัน ดังนี้

1) การใช้ GPS จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่กว้างกว่าวิธีอื่น เนื่องจากว่าความแม่นยำของ GPS อยู่ในรัศมีราว 3 เมตร ซึ่งความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับว่าในขณะนั้น GPS จะสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้กี่ดวง ทั้งนี้ GPS ที่ใช้เป็น GPS ที่มีใช้กันโดยทั่วไป ไม่ใช่รุ่นที่มีความแม่นยำสูง จุดเด่นของ GPS คือ ใช้งานง่าย ค่าความคลาดเคลื่อนไม่สะสม (accumulative) ใช้ในพื้นที่เปิดกว้างได้ดี แต่หากอยู่ในที่อับสัญญาณดาวเทียมจะไม่สามารถทำงานได้

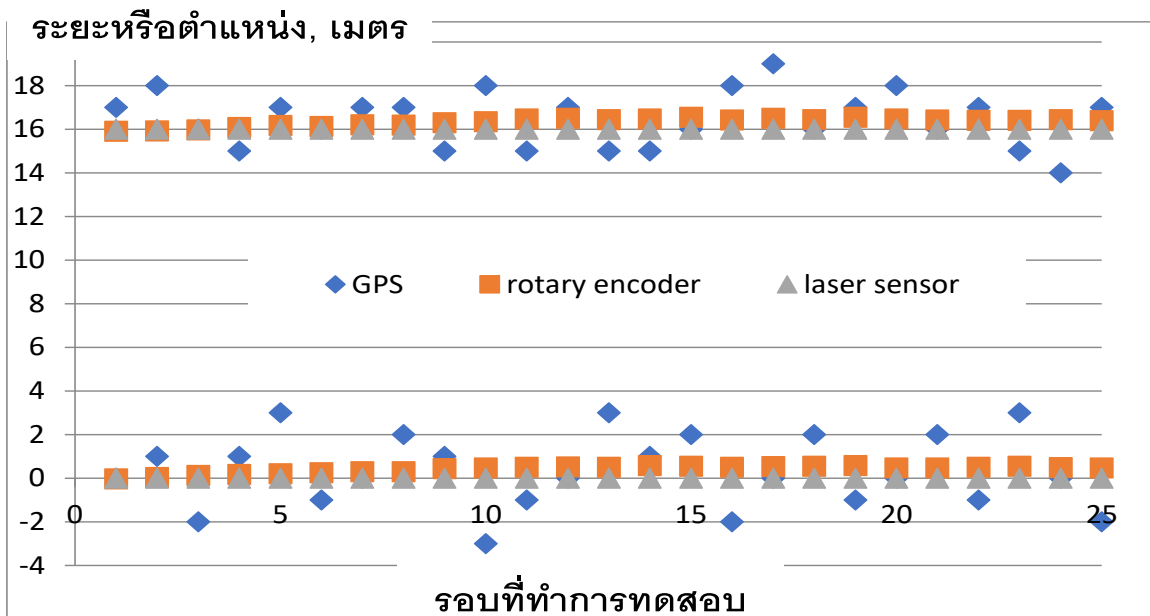
2) การใช้ rotary encoder ที่เพลาล้อ ในการทดสอบนี้ได้ผลความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า GPS แต่แนวโน้มของความคลาดเคลื่อนจะเป็นลักษณะสะสม (accumulative) ซึ่งหากระยะทางที่วิ่งไปไกลขึ้นการระบุตำแหน่งก็จะมีผลคลาดเคลื่อนมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการลื่นไถลของล้อในขณะวิ่ง หรือในขณะชะลอความเร็ว หรือเบรก และอาจเกิดจากการที่ล้อหมุนฟรีในขณะที่เราเร่งความเร็วขึ้น (ลื้อด้น) หากสภาพยางล้อไม่สมบูรณ์ เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการทดสอบ จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งด้วย rotary encoder ที่เพลาล้อนั้นมีลักษณะเคลื่อนไปทางบวก (ในทิศทางที่วิ่งเข้าไป) ด้วยระยะราว 0.5 เมตร (หนึ่งช่วงหมอน) ต่อระยะทางวิ่งทดสอบรวมยาว 800 เมตร (25 รอบ) ทั้งนี้ อาจอธิบายได้ว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่ล้อลื่นไถล (slip) ซึ่งน่าจะเป็นช่วงการชะลอความเร็วและเบรก ในช่วงที่ต้องวิ่งกลับทิศทางวิ่งไปและวิ่งกลับหลายรอบ ในการปฏิบัติงานจริงนั้นระบบต้นแบบจะทำงานในลักษณะที่วิ่งไป

ตามทางในระยะที่ไกลกว่านี้มาก ไม่ต้องการชะลอและเบรกบ่อยเช่นนี้ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจากการสั่นไถ่อาจจะมีอัตราส่วนระยะทางที่คลาดเคลื่อนต่อระยะทางที่วิ่งไปโดยรวมน้อยกว่าที่ทำการทดสอบได้ ในทางปฏิบัติอาจจะแก้ไขความคลาดเคลื่อนสะสมนี้ด้วยการเริ่มนับระยะทางใหม่เมื่อถึงจุดอ้างอิงที่ทราบตำแหน่งแน่นอน ซึ่งจุดอ้างอิงที่ว่านี้อาจมีจัดไว้ตลอดเส้นทางรถไฟที่ทำการตรวจสอบระยะห่างเท่า ๆ กันเช่น ทุก ๆ ระยะ 1 กิโลเมตร เป็นต้น (หรือเลือกระยะที่เหมาะสมที่ความคลาดเคลื่อนสะสมไม่เกิน 1 ช่วงหมอนรองราง)

3) การใช้ laser sensor นับจำนวนหมอนรองรางในการทดสอบการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการนับจำนวนหมอนรองรางนี้ให้ผลความแม่นยำที่ดีที่สุด ตามปกติแล้วระยะห่างระหว่างหมอนจะมีช่วงความยาวที่เท่า ๆ กันคือ 60-70 เซนติเมตร และจะอยู่ในตำแหน่งที่ค่อนข้างคงที่ถาวร ยิ่งหากเป็นในระบบรถไฟฟ้าที่มีหมอนรองรางฝังอยู่ในคอนกรีตของโครงสร้างทางด้วยแล้ว (slab track) การยึดเอาตำแหน่งของหมอนเป็นตัวระบุตำแหน่งบนทางเป็นสิ่งที่ได้เปรียบ แต่ทั้งนี้การนับหมอนในขณะที่ระบบต้นแบบวิ่งไปตามทางควรต้องไม่พลาดเลย ซึ่งการใช้ laser sensor ซึ่งมีความไวทำให้สามารถตรวจจับหมอนได้อย่าง

ถูกต้องแม่นยำในขณะที่วิ่งด้วยความเร็ว แต่ทั้งนี้หากสภาพของทางไม่อยู่ในสภาพที่เป็นระเบียบ โดยเฉพาะหากหมอนไม่อยู่ในตำแหน่งที่มั่นคง หรือมีสิ่งกีดขวางรบกวนการตรวจจับของ laser sensor ก็จะทำให้ผลที่คลาดเคลื่อนอย่างมากได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น การใช้วิธีนี้กับทางแบบที่ใช้หินโรยทาง (ballast track) หากหินโรยทางถมทับเหนือหมอนรองรางแล้ว การระบุตำแหน่งด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถทำได้

เห็นได้ว่า วิธีการระบุตำแหน่งแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน หากเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมกับสภาพหรือสถานการณ์งานจริง อย่างผสมผสานวิธีการกัน เราสามารถจะสร้างระบบระบุตำแหน่งตามทางรถไฟที่มีความแม่นยำที่เหมาะสมกับงานในต้นทุนที่ต่ำได้ เช่น การใช้ GPS ในการระบุตำแหน่งอย่างคร่าว แล้วใช้การนับหมอนเป็นตัวกำหนด/ระบุตำแหน่งในระยะที่ละเอียด แต่หากมีสภาพทางที่สามารถนับหมอนด้วย laser sensor ได้ ก็สามารถใช้อุปกรณ์จาก rotary encoder ระบุตำแหน่งได้ โดยทั้งนี้ตลอดเส้นทางที่ปฏิบัติการตรวจสอบทางนี้ มีจุดพิกัดอ้างอิงอยู่เป็นระยะ ๆ ที่เหมาะสมเพื่อการอัปเดตตำแหน่งที่ถูกต้องอย่างเป็นระยะ ๆ ได้ ซึ่งแนวคิดวิธีการข้างต้นเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังใช้ต้นทุนที่ต่ำอีกด้วย



กราฟที่ 1 : แสดงการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งบนทางรถไฟด้วยข้อมูลจาก GPS, rotary encoder และการนับหมอนด้วย laser sensor

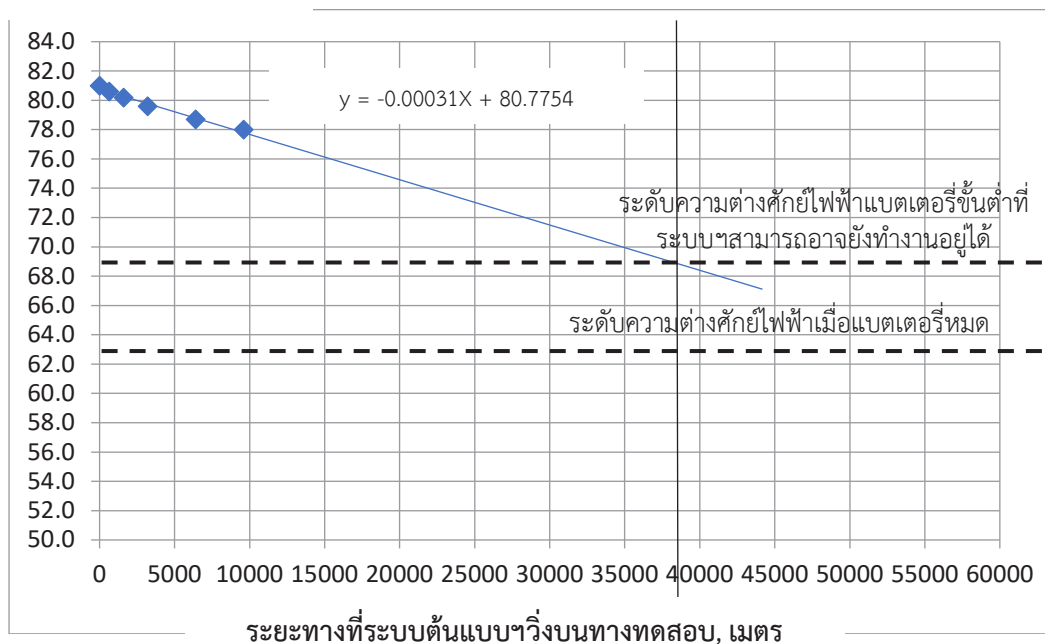
3.4.3 ผลการทดสอบระยะรัศมีทำการของระบบต้นแบบ

สำหรับการทดสอบหาระยะรัศมีทำการของระบบต้นแบบได้ผลเป็นดังข้อมูลในตารางที่ 1 และในกราฟที่ 2 เพื่อเป็นการวิเคราะห์ว่า ระบบต้นแบบที่นักวิจัยได้พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงได้อย่างเหมาะสมมากน้อยเพียงใด แต่ทั้งนี้การทดสอบไม่ได้กระทำในลักษณะที่ใช้งานจนถึงจุดสิ้นสุดคือจนแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ระบบต้นแบบวิ่งต่อไปได้ ซึ่งถ้าทำเช่นนั้นบนทางจำลองเสมือนจริง 18 เมตร จะต้องใช้เวลานานมากและยุ่งยาก นักวิจัยจึงใช้วิธีการทดสอบโดยให้ระบบต้นแบบวิ่งไปกลับหลายรอบในระยะทางที่สามารถจัดการได้ แล้วใช้วิธีการพยากรณ์เพื่อประมาณระยะรัศมีที่ระบบต้นแบบสามารถวิ่งได้

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลผลการทดสอบเพื่อหาระยะรัศมีทำการของระบบต้นแบบ

จำนวนรอบ	ระยะทาง [m]	ค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ [volts]
0	0	81.0
20	640	80.6
50	1600	80.2
100	3200	79.6
200	6400	78.7
300	9600	78.0

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า
ของแบตเตอรี่, โวลต์



กราฟที่ 2 : แสดงผลการทดสอบและการพยากรณ์ระยะรัศมีการทำงานของระบบต้นแบบ

จากข้อมูลข้างต้นหากวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยวิธี linear regression เพื่อประมาณการหรือพยากรณ์ค่าระยะทางที่ระบบต้นแบบวิ่งไปได้จนระดับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 1 ใน 3 ของระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่มีประจุไฟฟ้าอยู่เต็ม กล่าวคือที่ 69 โวลต์ จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

“เมื่อ y คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีหน่วยเป็น โวลต์ และ X คือ ระยะทางที่ระบบต้นแบบวิ่งไปได้มีหน่วยเป็น เมตร”

ดังนั้นสามารถใช้สมการข้างต้นนี้ในการพยากรณ์ระยะรัศมีการทำงานของระบบต้นแบบได้เป็น 37,811.42 เมตร หรือ ราว 38,000 เมตร หรือ 38 กิโลเมตร

หมายเหตุ: ระยะรัศมีการทำงานนี้เป็นการประมาณการอย่างคร่าวและเป็นค่าขั้นต่ำ อันที่จริงแล้วความสัมพันธ์จะเป็นในลักษณะ exponential มากกว่า ซึ่งจุดตัดที่ค่าความต่างศักย์ 69 โวลต์ควรจะมากกว่าที่ 38,000 เมตร แต่การประมาณการที่ต่ำกว่าก็ถือได้ว่าเป็นมาตรการความปลอดภัยอย่างหนึ่ง กล่าวคือเพื่อเป็นการเตือนผู้ใช้งานว่าระบบจะสามารถใช้งานได้ถึงระยะทางดังกล่าวล่วงหน้าก่อนที่แบตเตอรี่จะมีระดับลดลงจนระบบไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป

จากผลการทดสอบระบบต้นแบบข้างต้นจะเห็นได้ว่า ในส่วนของระบบขับเคลื่อนไปตามทางนั้นสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ความเร็วในการเคลื่อนที่ขณะทำการทดสอบอยู่ทีร้าว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ราว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ทางในแนวราบ และในขณะบรรทุกผู้โดยสาร 2 คน โดยที่น้ำหนักของระบบต้นแบบรวมซึ่งได้ราว 50 กิโลกรัม ซึ่งสามารถยกขึ้นและลงทางรถไฟได้ด้วยคน 2 คน ในขณะที่เคลื่อนที่รถไฟใช้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 10 แอมป์ (ประมาณ 4-7 แอมป์) สำหรับแบตเตอรี่ 35 แอมแปร์-ชั่วโมง จะได้ระยะทำการราว 20 กิโลเมตร ไป-กลับ

สำหรับในส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางนั้น กล้องบันทึกภาพความไวสูงความละเอียดสูงสามารถบันทึกภาพของรางและอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางได้ค่อนข้างชัดเจนและครบถ้วน รวมถึงการบันทึกพิกัด GPS และข้อมูลตำแหน่งอื่นๆ ที่สัมพันธ์กันได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของภาพสภาพทางที่บันทึกได้ในขณะทำการทดสอบระบบ

ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต้นแบบได้ แต่เพื่อการปรับปรุงระบบให้ทำงานได้เหมาะสมกับผู้ใช้งานยิ่งขึ้นจำเป็นต้อง

ต้องทดสอบการใช้งานบนทางรถไฟจริงเพื่อให้สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ในการตรวจสอบสภาพทางรถไฟจริงอย่างกว้างขวาง เพื่อให้ทางรถไฟได้รับการตรวจสอบบำรุงรักษาให้มีสภาพที่ปลอดภัยในการให้บริการเดินรถแก่ประชาชนอย่างปลอดภัยและสะดวกสบายต่อไป

4. สรุปผลการศึกษาวิจัย

การวิจัยพัฒนานี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการช่วยให้การปฏิบัติงานของนายตรวจทางรถไฟให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยระบบนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ส่วนการขับเคลื่อนไปตามทางรถไฟ เป็นลักษณะคล้ายกับรถบำรุงทางขนาดเบา แต่จะขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ และ 2) ส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางซึ่งทำการตรวจวัดและบันทึกสภาพทางรถไฟ โดยทั้งนี้นายตรวจทางเป็นผู้ควบคุมการทำงานของระบบเพื่อปฏิบัติงานตรวจสอบสภาพทางให้ลุล่วง ระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟนี้ออกแบบโดยยึดถือเอาความต้องการของผู้ใช้งาน ข้อจำกัดต่าง ๆ ในสภาพการใช้งานจริง และข้อบังคับต่าง ๆ ของทางรถไฟแห่งประเทศไทยว่าด้วยการบำรุงรักษาทางและการเดินรถเป็นหลัก โดยทั้งนี้ในอนาคตอันใกล้จะพัฒนาต่อยอดระบบให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องมีผู้ควบคุมการทำงาน งานวิจัยพัฒนานี้สามารถตอบโจทย์ความต้องการในการดำเนินการของการรถไฟได้อย่างเหมาะสม

ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นต้นแบบระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟสำหรับงานซ่อมบำรุงทางที่สามารถทำงานได้ตามที่ได้กำหนดออกแบบไว้ โดยระบบได้รับการทดสอบบนทางรถไฟในสภาพการทำงานจริงบนทางรถไฟจำลองที่มีระยะทางวิ่ง 18 เมตร ทดสอบการวิ่ง และการบันทึกสภาพทาง เพื่อเก็บข้อมูลการทำงานของระบบ และยืนยันความสามารถของระบบโดยรวมว่าทำงานได้อย่างสมบูรณ์เหมาะสมกับการใช้งานจริง แต่ทั้งนี้ระบบต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่ได้นำไปทดสอบบนทางรถไฟจริง

ในส่วนของระบบขับเคลื่อนไปตามทางนั้นสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ความเร็วในการเคลื่อนที่ขณะทำการทดสอบอยู่ทีร้าว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ราว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ทางในแนวราบ และในขณะบรรทุกผู้โดยสาร 2 คน โดยที่น้ำหนักตัวร้าว 50 กิโลกรัม ซึ่งสามารถยกขึ้นและลงทางรถไฟได้ด้วยคน 2 คน

ในขณะที่เคลื่อนที่รถไฟใช้กระแสไฟฟ้าราว 10 แอมป์ สำหรับแบตเตอรี่ 35 แอมป์-ชั่วโมง จะได้ระยะทำการราว 20 กิโลเมตร ไป-กลับ ซึ่งครอบคลุมระยะทางการทำงานของนายตรวจทางในแต่ละตอนทางรถไฟ

สำหรับในส่วนการตรวจและบันทึกสภาพทางนั้น กล้องบันทึกภาพความไวสูงความละเอียดสูงสามารถบันทึกภาพของรางและอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางได้ชัดเจนดีและครบถ้วน รวมถึงการบันทึกพิกัด GPS และข้อมูลตำแหน่งอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

จะเห็นว่า ด้วยการใช้งานระบบฯ ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ นายตรวจทางสามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งพร้อมบันทึกภาพสภาพทางรถไฟในพื้นที่จัดเก็บข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งนายตรวจทางสามารถนำข้อมูลกลับมาวิเคราะห์ได้ในภายหลัง ซึ่งสามารถต่อยอดโดยพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพดิจิทัลเพื่อให้หาจุดบกพร่องของสภาพทางได้อย่างอัตโนมัติซึ่งจะทำให้การทำงานของนายตรวจทางเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ต้นทุนของระบบต้นแบบนี้ราว 300,000 บาทต่อเครื่อง

5. ข้อเสนอแนะ

ผลงานวิจัยนี้ควรจะได้รับ การทดสอบการทำงานกับทางรถไฟจริงของ รฟท. และ รฟม. ต่อไป และจักได้ปรับปรุงระบบให้ทำงานได้เหมาะสมกับผู้ใช้งานยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้งานในการตรวจสอบสภาพทางรถไฟจริงอย่างกว้างขวาง เพื่อให้ทางรถไฟได้รับการตรวจสอบบำรุงรักษาให้มีสภาพที่ปลอดภัยในการให้บริการเดินรถแก่ประชาชนอย่างปลอดภัยและสะดวกสบายต่อไป

นอกจากนี้ ผู้วิจัยจักได้ต่อยอดระบบต้นแบบโดยพัฒนาโปรแกรมสำหรับประเมินผลภาพสภาพทางโดยใช้เทคโนโลยี Image Processing และ Artificial Intelligence (AI) ในการวิเคราะห์สภาพรางและอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางว่ามีสภาพที่ต้องทำการซ่อมบำรุงหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นนี้อาจเป็นโปรแกรมที่ให้ทำงานในภายหลังจากที่ได้เก็บบันทึกภาพสภาพทางแล้วในลักษณะ Post Processing หรือหากใช้บน Hardware ที่มีสมรรถนะเพียงพออาจให้โปรแกรมประเมินผลภาพสภาพทางไปพร้อม ๆ กับการเก็บบันทึกภาพที่หน้างานจริงเลย ทั้งนี้ การเพิ่มฟังก์ชันประเมินผลสภาพทางรถไฟนี้จะทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการทำงานและพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ได้เป็นอย่างดี และหากได้ติดตั้งอุปกรณ์

ตรวจวัดพารามิเตอร์อื่น ๆ ของสภาพทางรถไฟเพิ่มเข้าไปอีกก็จะทำให้ระบบตรวจสอบสภาพทางรถไฟสามารถทำงานได้ครบถ้วนสมบูรณ์ในการปฏิบัติงานตรวจสอบสภาพทางรถไฟยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้จะทำให้ต้นทุนของระบบโดยรวมเพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นคร จันทศร. *ช่วงรถไฟ: ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พฤษภาคม 2555. 338 หน้า.
- [2] เจน บุญเชื้อ. *ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด แสงไทย. 2554. 122 หน้า.
- [3] การรถไฟแห่งประเทศไทย. *ข้อบังคับและระเบียบการเดินรถ พ.ศ.2549*. ขตร. 2549. 338 หน้า.
- [4] DEPARTMENT OF DEFENSE, UNITED STATES OF AMERICA. UFC 4-860-03. *Railroad Track Maintenance & Safety Standards* [online]. 2008. [viewed 19 September 2020]. Available from: https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc_4_860_03_2008.pdf
- [5] INNTRACK. *D4.4.1- Rail Inspection Technologies TIP5-CT-2006-031415* [online]. 2008. [viewed 19 September 2020]. Available from: http://www.charmec.chalmers.se/inntrack/deliverables/sp4/d441-f3p-rail_inspection_technologies.pdf
- [6] BARRAGAN, A., P. CEMBRERO, N. CACERES and F. SCHUBERT. *D2.1 Report on railway inspection and monitoring techniques- Analysis of different approaches* [online]. 2011. [viewed 19 September 2020]. Available from: <https://sil0.tips/download/seventh-framework-programme-theme-sst-automated-and-cost-effective-railway-infra>
- [7] SAWADISAVI, S. V., et al. *Machine-Vision Inspection of Railroad Track* [online]. November 2008. [viewed 19 September 2020]. Available from : https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Sawadisavi-et-al-2009_1.pdf

- [8] BERRY, A., et al. *High Speed Video Inspection of Joint Bars Using Advanced Image Collection and Processing Techniques*. Proceedings of the 2008 World Congress on Railway Research, Seoul, Korea. [online]. 2008. [viewed 19 September 2020]. Available from: <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/i.3.1.3.2.pdf>
- [9] HSIEH, H. Y., N. CHEN and C. L. LIAO. *Visual Recognition System of Elastic Rail Clips for Mass Rapid Transit Systems*. JRC/ICE 2007-40080. Proceedings of the ASME/IEEE Joint Rail Conference and Internal Combustion Engine Spring Technical Conference. Pueblo, Colorado, USA. 2007. pp. 319-325.
- [10] RESENDIZ, E., J. M. HART A and N. AHUJA. Automated Visual Inspection of Railroad Tracks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2013, **14**(2), 751-760.
- [11] SATHIRAKUL, K., S. SURATISAK, J. BORSUB and S. PRAEKNOKEAW. *The Development of Railway Track Inspection System for Track Maintenance*. the 6th Thailand Rail Academic Symposium 2019 (TRAS 2019). November 21-22, 2019. Mahidol University, Bangkok, Thailand.