

พื้นฐานระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟ

Signalling systems for Railway

สุพจน์ วิวัฒน์วงศ์, กิตติวุฒิ คงบรรทัด, โยธิน หล่ายพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทรศัพท์: 0-2427-0039

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลและทำการออกแบบแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ โดยทำการศึกษากฎการให้สัญญาณแบบต่างๆ การตรวจนับตำแหน่งของรถไฟ ระบบประมวลผลและระบบบังคับสัมพันธ์ การสื่อสารรับส่งข้อมูลและคำสั่งในการเดินรถ การเดินรถและระบบป้องกันความปลอดภัยอัตโนมัติ ซึ่งทำการศึกษาข้อมูลจากตำราเรียน งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และงานออกแบบระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟ ซึ่งรวบรวมข้อมูลจาก อินเตอร์เน็ต บริษัทที่ปรึกษาและข้อมูลจากการบรรยายต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ร่วมกับการสังเกตจากสถานที่จริง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะพบว่า รถไฟทั้ง 2 ขบวน สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความปลอดภัยตามที่ออกแบบไว้และสามารถอธิบายการทำงานต่างๆได้

คำสำคัญ: ระบบอาณัติสัญญาณ ระบบบังคับสัมพันธ์ การเดินรถไฟ ระบบการขนส่งทางรถไฟ ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This research is to collect data and the design of railway signalling system model. We studying of different signal, Detection of train position, Processing systems and Interlocking systems, Communication and control, Automatic Trains Control system and Automatic Trains Protection system. We studied data from a textbook, related research and design of a railway signaling system. That consolidates information from internet, consulting company and related lecture to be applied to the design of railway signalling system model. Which controlled by a micro-controller that control the trains with safety and this model can explain various functions.

Keywords: signalling system, Interlocking systems, operation, railway transportation, micro-controller

1. บทนำ

เนื่องด้วยปัจจุบัน ระบบการขนส่งทางรางในประเทศไทยมีการพัฒนาและได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากกรณีโครงการ

สร้างรถไฟสายต่างๆขึ้นมากมาย และสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการคมนาคมขนส่งก็คือความปลอดภัย และความตรงต่อเวลา

เมื่อทำการเปรียบเทียบรถไฟที่ใช้เครื่องยนต์วิ่งบนถนนเคลื่อนไหวภายใต้แรงเสียดทานหรือความฝืดระหว่างล้อยางกับผิว แอสฟัลต์หรือผิวคอนกรีตแล้วแต่กรณี กับการเคลื่อนที่ของพาหนะบนรางที่เคลื่อนไหวภายใต้แรงเสียดทานหรือความฝืดระหว่างล้อเหล็กกับรางเหล็กความเสียดทานของล้อยางกับถนนมีค่ามากกว่าความเสียดทานของล้อรถไฟ และด้วยน้ำหนักของตัวรถไฟเองที่หนักมากกว่าหลายเท่า ทำให้ระยะที่ใช้ในการเบรกของรถไฟมีระยะที่ไกลกว่ามาก ด้วยหลักการดังกล่าวจึงมาเป็นรากฐานเบื้องต้นในการควบคุมการเดินขบวนรถไฟ ซึ่งข้อมูลและหลักการการทำงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบอาณัติสัญญาณจะถูกรวบรวมและนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟ

2. พื้นฐานระบบอาณัติสัญญาณ

2.1 สัญญาณ

การให้สัญญาณสามารถถูกจำแนกออกเป็นได้หลายประเภทตามหลักเกณฑ์ต่างๆซึ่งเมื่อเราพิจารณาเทคโนโลยีของการให้สัญญาณเป็นเกณฑ์จะแบ่งการให้สัญญาณเป็นดังนี้

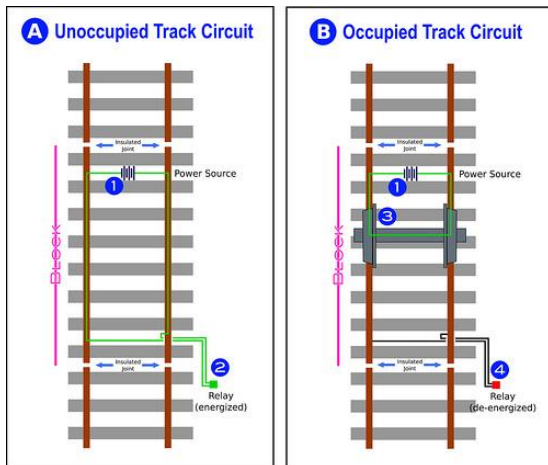
1. สัญญาณมือ (Hand signals) เป็นการให้สัญญาณโดยเจ้าหน้าที่เอง
2. สัญญาณไบนารี (Mechanical signals) เป็นการให้สัญญาณโดยการจัดวางตำแหน่งของวัตถุที่ประกอบเป็น สัญญาณที่แตกต่างกัน
3. สัญญาณไฟ (Light signals) เป็นการจัดวางสัญญาณไฟในลักษณะต่างกันและใช้สีของแสงที่ไม่เหมือนกัน

	two-light type	three-light type	four-light type A	four-light type B	five-light type
proceed					
reduced speed					
caution					
speed restriction					
stop					

รูปที่ 1 แสดงรูปแสดงความหมายของสัญญาณไฟสี ชนิดต่างๆ

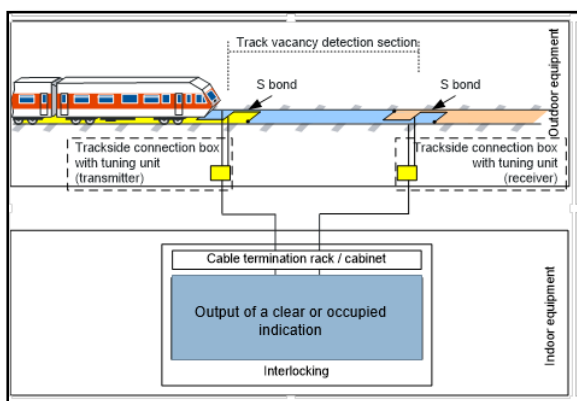
2.2 ระบบการตรวจจับสนิทตำแหน่งรถไฟ

1. ระบบวงจรไฟตอนกระแสตรง (DC Track Circuit) ระบบวงจรไฟตอนเป็นการการตรวจจับสนิทเชิงเส้น หรือการตรวจจับสนิทเป็นช่วง บางแบบเป็นการตรวจจับสนิทแบบจุดหลาย ๆ ตำแหน่ง (Linear detection or Quasi spot) วงจรไฟตอนเป็นการทำงานของวงจรไฟฟ้าโดยแบ่งรางออกเป็น ส่วน ๆ จากกันด้วยฉนวน โดยด้านหนึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าและอีกด้านเป็นตัวรับสัญญาณ



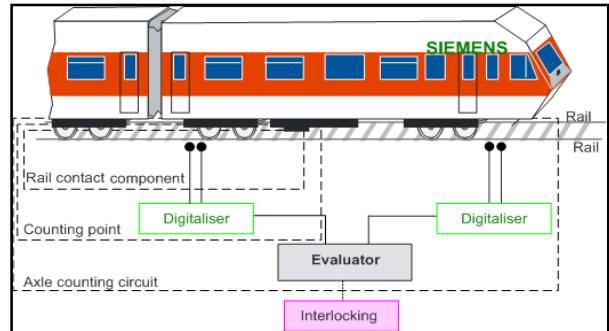
รูปที่ 2 แสดงวงจรไฟตอนแบบไฟฟ้ากระแสตรงขณะยังไม่มียานไฟเข้ามาในวงจรไฟตอน(A) และขณะที่มียานอยู่ในวงจรไฟตอน(B)

หลังจากที่ระบบไฟฟ้ามีการพัฒนามากขึ้น ก็มีการใช้วงจรไฟตอนแบบไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้โดยที่ความถี่ที่ใช้ของวงจรไฟตอนจะต้องไม่เหมือนกับ ความถี่ของไฟฟ้าขับเคลื่อนที่ใช้ร่างเป็นตัวกลาง โดยวงจรไฟตอนจะเป็นแบบไร้รอยต่อและใช้ความถี่สูงกว่า 200-300 Hz จึงมีการต่อสายไฟรูปตัว S ระหว่างรางทั้งสองด้าน เพื่อให้ทำให้การตรวจจับสนิทไฟเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องและทำให้วงจรไฟตอนที่อยู่ติดกันมีระยะคาบเกี่ยว (Overlap) กันเท่ากับระยะของสายไฟรูปตัว S ด้วย



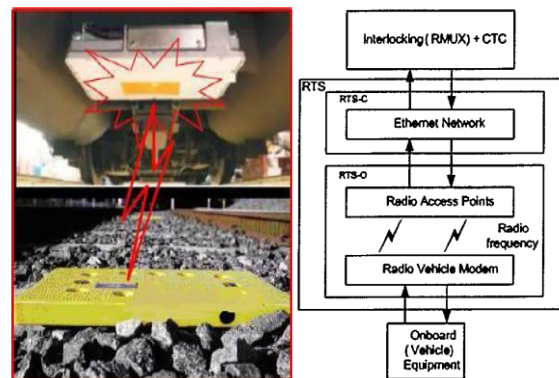
รูปที่ 3 แสดงวงจรไฟตอนแบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2. ระบบตรวจนับเพลลา (Axle counter) หรือการนับล้อโดยการตรวจจับสนิทหรือตรวจจับสนิทครีบล้อ โดยการใช้หลักการนับล้อหรือเพลลาที่เข้ามาในคอนและออกจากคอนจะต้องมีจำนวนเท่ากันจึงจะถือว่าไม่มีรถคอนนั้นๆ



รูปที่ 4 แสดงการตรวจจับสนิทตำแหน่งด้วยระบบตรวจนับเพลลา

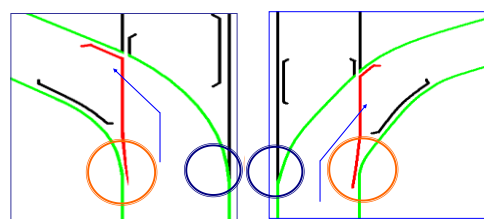
3. ตรวจจับสนิทด้วยอุปกรณ์ Eurobalise ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของตำแหน่งรถไฟและข้อมูลต่างๆของราง โดยข้อมูลที่ส่งผ่านให้กับกับตัวรับข้อมูลที่ตัวรถ (Balise Antenna) จะถ่ายโอนข้อมูลก็ต่อเมื่อได้รับพลังงานจากตัวรถผ่าน Balise Antenna ขณะที่รถไฟเคลื่อนที่ผ่าน



รูปที่ 4 แสดงการรับส่งข้อมูลตำแหน่งของรถไฟผ่าน Eurobalise

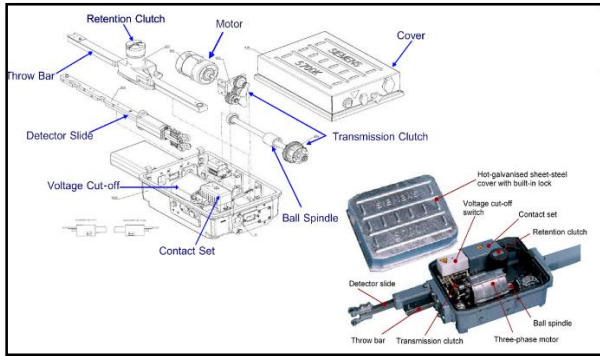
2.3 การสับรางและอุปกรณ์สับราง

การสับรางคือการเปลี่ยนเส้นทางของการเดินรถให้กับรถไฟเพื่อให้วิ่งในอีกเส้นทางหนึ่ง หรือเป็นการสับรางเพื่อป้องกันการชนจากรถไฟขบวนอื่น โดยการสับรางจะมีการใช้ประแจสับราง เปลี่ยนทิศทางได้ทั้งซ้ายและขวา ซึ่งจะเรียกตามทิศทางของรถไฟ



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งประแจขวา(รูปซ้าย)และประแจซ้าย(รูปขวา)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสับรางก็คือ“ประแจกล” ซึ่งหน้าที่หลักของประแจกลก็คือ การสับประแจ การล็อกประแจ และการติดตามการทำงานของประแจ ซึ่งประแจกลจะมีด้วยกันหลายชนิดเช่น ชนิดควบคุมด้วยคน ชนิดควบคุมด้วยไฟฟ้าร่วมกับคน ชนิดควบคุมด้วยไฟฟ้าร่วมกับแม่เหล็ก ชนิดควบคุมด้วยไฟฟ้าร่วมกับเครื่องกล เป็นต้น



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างประแจกลชนิดควบคุมด้วยไฟฟ้าร่วมกับเครื่องกล

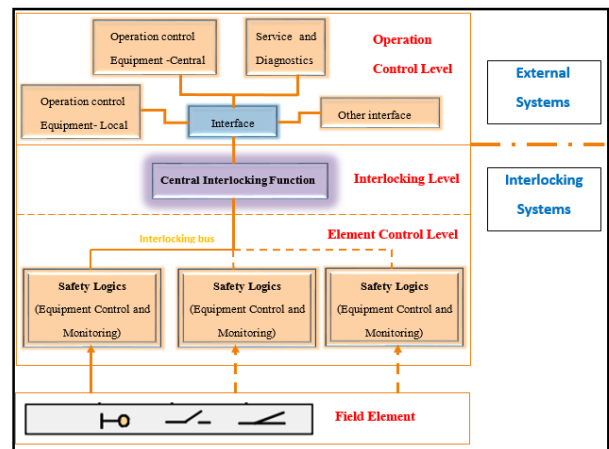
2.4 ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking)

ระบบบังคับสัมพันธ์ หรือ Interlocking systems เป็นการจัดวางตำแหน่งของประแจและไฟสัญญาณต่าง ๆ สัมพันธ์กันในลักษณะที่เหมาะสมและมีความปลอดภัย โดยที่ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญระบบหนึ่งในระบบอาณัติสัญญาณ แต่เมื่อพูดถึงการควบคุมการเดินรถ (Train Control) ก็จะมีฟังก์ชันการทำงานข้างเคียงที่ทำงานสอดคล้องกันเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) เรียกว่าเป็นระบบพื้นฐานในการรับประกันความปลอดภัยในการเดินรถ โดยปกติระบบรถไฟเส้นทางหนึ่ง ๆ อาจประกอบไปด้วย ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) หลายชุดการทำงาน โดยระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) แต่ละตัวสามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเช่น ประแจกล ไฟสัญญาณ ระบบตรวจจับตำแหน่งรถไฟ ได้ในจำนวนและระยะทางที่จำกัด รถไฟที่เคลื่อนที่อยู่ภายใต้การควบคุมของระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) ตัวหนึ่ง จะต้องปฏิบัติตามคำสั่งของระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) นั้นเพื่อให้รถไฟสามารถเคลื่อนผ่านจากพื้นที่ของ ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) ตัวหนึ่งไปยัง พื้นที่ที่ติดกันได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบบังคับสัมพันธ์สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

1. ระบบบังคับสัมพันธ์ทางกล (Mechanical Interlocking) ในระบบนี้เจ้าหน้าที่จะใช้การโยกคันบังคับ ซึ่งทำงานบังคับสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยใช้สายลวดหรือก้านส่ง (Wires or rods) ในการส่งถ่ายกำลังและการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์หน้างาน

2. ระบบบังคับสัมพันธ์แบบใช้รีเลย์ (Relay interlocking) เจ้าหน้าที่อาณัติสัญญาณจะใช้การควบคุมด้วยการกดปุ่ม ระบบบังคับสัมพันธ์อาศัยฟังก์ชันการทำงานของรีเลย์ควบคุมอุปกรณ์หน้างานด้วยกระแสไฟฟ้า

3. ระบบบังคับสัมพันธ์อิเล็กทรอนิกส์ (Computer Base interlocking) เป็นเครื่องมือซึ่งฟังก์ชันการทำงาน ประกอบด้วยตัวฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ การบังคับสัมพันธ์อยู่ในรูปของโปรแกรม



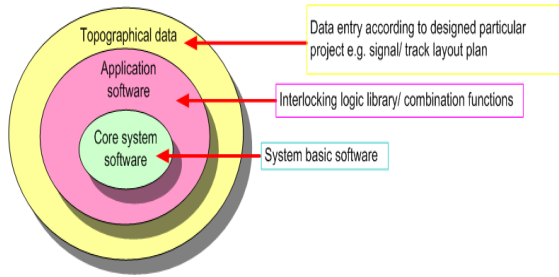
รูปที่ 7 รูปแสดงโครงสร้างการทำงานพื้นฐาน ระบบบังคับสัมพันธ์แบบอิเล็กทรอนิกส์

Operation Control Level ระดับการควบคุมนี้ รวมถึงการประสานการเชื่อมต่อกับเจ้าหน้าที่ควบคุมและรวมถึงฟังก์ชันการทำงานที่ไม่ใช่ส่วนที่ส่งผลต่อความปลอดภัย

Interlocking Levels ระดับนี้จะรวมถึงฟังก์ชันการทำงานในส่วนที่ส่งผลต่อความปลอดภัย (Vital functions) เพื่อบังคับสัมพันธ์ที่สำคัญงานเส้นทาง ประแจสับรางและส่วนของรางที่สามารถเปลี่ยนทิศทางหรือมีผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของรถไฟ

Element Control Levels ระดับการควบคุมอุปกรณ์ และการสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งหน้างาน เช่น ทำสัญญาณ เส้นทาง ประแจสับราง และส่วนของรางที่สามารถเปลี่ยนทิศทางหรือมีผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของรถไฟ

ระบบบังคับสัมพันธ์ หรือ Interlocking แบ่งได้เป็น ส่วนที่เชื่อมต่อกันด้วยแกนกลางซอฟต์แวร์ (Core system) ของระบบบังคับสัมพันธ์ที่นอกจากจะประกอบด้วยฟังก์ชันพื้นฐานทั่วไปของคอมพิวเตอร์ที่จำเป็นต้องมี เช่น ระบบปฏิบัติการ (OS) แล้ว ยังประกอบด้วยฟังก์ชันทางด้านความปลอดภัย ตรรกะต่าง ๆ (Logics) โปรโตคอลของการสื่อสาร ซึ่งเหล่านี้จะเป็นรูปแบบที่มีความปลอดภัยสูงมากที่สุด และไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการเดินรถแบบใดก็ตาม ส่วนต่อมาก็คือส่วนของประยุกต์ใช้ตามรูปแบบของระบบและความต้องการด้านเทคนิคและการเดินรถ (Application software) โดยที่จะกำหนดหน้าที่การทำงานของ Interlocking ที่เป็นอิสระจากรูปแบบเฉพาะส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่เรียกว่า Local software เป็นการประยุกต์ใช้ตามความต้องการและการออกแบบ ประกอบด้วย ฟังก์ชันของระบบแนวเส้นทางรถไฟ สถานี ตำแหน่งประแจ ไฟสัญญาณ ความเร็วสูงสุด เป็นต้น



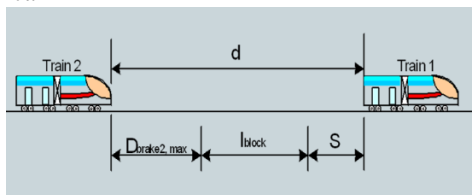
รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างของซอฟต์แวร์

ในระบบบังคับสัมพันธ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานอยู่ในรูปแบบของคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีความซับซ้อนมากทำให้การป้องกันความบกพร่องเป็นไปได้ยาก ซอฟต์แวร์จึงออกแบบในลักษณะ Fail-safe โดยมีระดับความปลอดภัยสูงสุดที่ SIL4 (Safety Integrity Level 4) โดยการทำงานเป็นแบบระบบคู่ขนานกัน

2.5 ฟังก์ชันการทำงานของระบบอัตโนมัติสัญญาณ

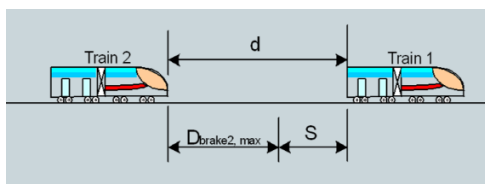
2.5.1. หลักการเดินรถเป็นช่วงหรือตอน การเดินรถโดยที่มีรถอยู่ในระบบหลายคันนั้นจำเป็นต้องรู้ถึงตำแหน่งที่รถไฟเคลื่อนที่ผ่าน โดยการระบุถึงตำแหน่งนั้นจะแบ่งช่วงของการเคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งเป็นตอนๆ หรือเรียกว่า “บล็อก (Block)” ซึ่งจะแบ่งได้เป็น

1. ตอนคงที่ (Fixed Block) เป็นการแบ่งช่วงตอนอย่างชัดเจนโดยในเทคโนโลยีวงจรไฟตอนหรือตัวนับเพลาในการตรวจนับตำแหน่งของรถไฟ การรักษาระยะห่างระหว่างรถสองขบวนที่วิ่งตามกันในระบบตอนคงที่นี้จะมีระยะห่างเท่ากับระยะเบรกสูงสุด ($D_{2, Max}$) รวมกับความยาวของบล็อก (D_{block}) และระยะเพื่อความปลอดภัย (S)



รูปที่ 8 แสดงระยะห่างระหว่างรถ 2 ขบวนในระบบตอนคงที่

2. ตอนไม่คงที่ (Moving Block) ในระบบตอนไม่คงที่ได้นี้จะใช้อุปกรณ์การสื่อสารผ่านคลื่นความถี่วิทยุแทน ทำให้ไม่มีอุปกรณ์ที่อยู่บนราง การซ่อมบำรุงจึงน้อยลง การรักษาระยะห่างระหว่างรถสองขบวนที่วิ่งตามกันในระบบตอนเคลื่อนที่ได้มีระยะห่างเท่ากับระยะเบรกสูงสุด ($D_{2, Max}$) รวมกับระยะเพื่อความปลอดภัย (S)



รูปที่ 10 แสดงระยะห่างระหว่างรถ 2 ขบวนในระบบตอนไม่คงที่

2.5.2 ระบบเพื่อความปลอดภัย (Overlap) ระยะปลอดภัย โดยทั่วไปคือระยะทางที่รถไฟสามารถเบรกจนหยุดได้โดยไม่ไปชนรถคันหน้า หรือถ่วงล้อเข้าสู่เขตที่อาจก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยได้ ระยะปลอดภัยที่สำคัญในการเดินรถ มีชื่อเรียกว่า Overlap ระยะ Overlap เป็นระยะที่เพื่อไว้ในกรณีที่รถไฟหยุดเลยจุดจอดในกรณีที่เลวร้ายที่สุด

2.5.3 ระบบอัตโนมัติสัญญาณกับการเบรกของรถไฟ เมื่อมีการเดินรถด้วยความเร็วเกินกว่าที่ได้มีการกำหนดไว้ ระบบอัตโนมัติสัญญาณจะทำการแจ้งไปยังคนขับผ่านระบบ Cab Signal แต่หากยังไม่ลดความเร็ว ระบบจะทำการสั่งเบรกทันทีที่เรียกว่าการเบรกฉุกเฉิน

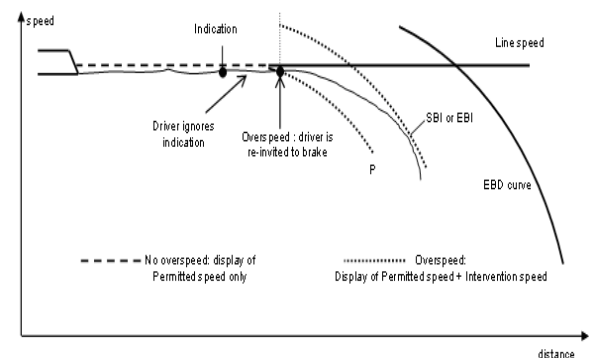
การแจ้งเตือน I (Indication) เป็นขอบเขตจำกัดเพื่อให้พนักงานขับรถมีเวลาพอเพียงในการสั่งเบรกรถไฟไม่ให้มีความเร็วเกินค่าความเร็วอนุญาต

ความเร็วอนุญาต P (Permitted Speed) ในกรณีที่ความเร็วเกิน จะมีระยะเวลาให้พนักงานขับรถสั่งเบรกรถไฟเพื่อป้องกันไม่ให้ผ่านเลยจุดที่ระบบ Signalling on-board จะเข้ามาแทรกแซงโดยการสั่งเบรกรถไฟเอง

สัญญาณเตือน W (Warning) เป็นการส่งสัญญาณเตือนเพิ่มเติมให้เจ้าหน้าที่ขับรถ ในกรณีที่รถไฟมีความเร็วเกินขอบเขตที่อนุญาต (P)

SBI (Service Brake Intervention) เฉพาะกรณีที่ระบบ Signalling on-board ถูกออกแบบให้สั่งเบรกรถไฟด้วย Service Brake เพื่อให้เวลา ระบบสร้าง Service Brake ให้พร้อมทำงาน (Service brake built up time) เพื่อหลีกเลี่ยงความเร็วเกินจนทำให้ระบบแทรกแซงการบังคับรถโดยสั่งการให้รถไฟเบรก

EBI (Emergency Brake Intervention) เป็นจุดที่ระบบ Signalling on-board จะแทรกแซงการทำหน้าที่ของพนักงานขับรถ เพื่อป้องกันความเร็วเกินขีดจำกัด



รูปที่ 11 แสดงโค้งการเบรกที่มีการแทรกแซงของระบบอัตโนมัติสัญญาณเมื่อมีความเร็วเกินกำหนด

2.5.4 ระบบควบคุมขบวนรถอัตโนมัติ (Automatic Train Control; ATC) เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการควบคุมการเร่งหรือการจอดของรถไฟ รวมถึงการควบคุมการเปิดปิดประตูแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วย 3 ระบบใหญ่คือ

1. Automatic Train Protection (ATP) เป็นฟังก์ชันที่ควบคุมความปลอดภัยของการเดินรถที่ติดตั้งบนขบวนรถไฟซึ่งมีหน้าที่ต่อไปนี้

- 1.) กำหนดความเร็วในการวิ่งในแต่ละช่วงและกำลังที่ต้องการสำหรับการหยุดรถไฟให้ปลอดภัย
- 2.) ถ้าหากความเร็วรถเกินความเร็วที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละช่วง ATP จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนหรือสั่งหยุดรถด้วย การหยุดรถฉุกเฉิน (Emergency Brake) เพื่อไม่ให้เกิดอันตราย
- 3.) การควบคุมการเคลื่อนที่ถอยหลัง โดยจะให้ถอยหลังได้เพียงเล็กน้อย
- 4.) การควบคุมการเปิดประตูรถไฟ โดยต้องเปิดเมื่อรถไฟจอดตรงตำแหน่งจุดจอดเท่านั้น และไมอนุญาตให้รถไฟเคลื่อนที่ ยกเว้นแต่อยู่ในศูนย์ซ่อมบำรุง (Depot)

2 Automatic Train Operation (ATO) เป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนรถไฟแทนเจ้าหน้าที่ขับ ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

- 1.) ขับเคลื่อนรถไฟอย่างนิ่มนวลได้ เช่น การเร่งความเร็ว การชะลอความเร็วโดยไม่ทำให้ผู้โดยสารรู้สึกถึงความ
- 2.) ปรับความเร็วของการขับรถเพื่อตรงต่อเวลาของการเดินรถ
- 3.) หาจุดสมดุลที่เหมาะสมระหว่างตารางเวลาเดินรถและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- 4.) ควบคุมการกลับด้านของรถโดยอัตโนมัติ

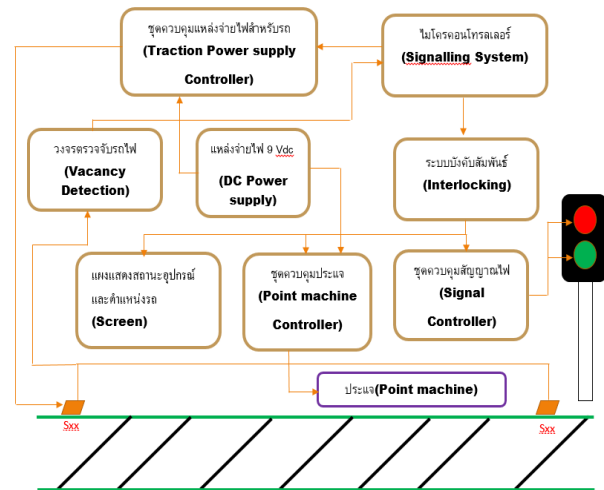
3. Automatic Train Supervisors (ATS) เป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่การจัดการเกี่ยวกับหมายเลขต่าง ๆ ของรถไฟ ทำให้เกิดการแสดงผลตำแหน่งของรถไฟเกิดขึ้นที่หน้าจอ โดยหน้าที่มีดังต่อไปนี้

- 1.) ให้การสนับสนุนการเดินรถไฟให้สามารถใช้ระบบโครงข่ายรถไฟและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2.) วางแผนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของรถไฟตามหมายกำหนดการ หรือตารางเดินรถที่กำหนด
- 3.) บังคับรถไฟผ่านระบบต่าง ๆ รถไฟสามารถเดินรถได้ตามหมายกำหนดการไปยังจุดหมายปลายทางที่ต้องการ
- 4.) แสดงตำแหน่งของขบวนรถไฟให้เจ้าหน้าที่ควบคุมการเดินรถทราบ
- 5.) แสดงสถานะทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องให้เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบรับทราบและดำเนินการตามต้องการได้

3. แบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ

การออกแบบระบบอาณัติสัญญาณของแบบจำลอง โดยจำลองด้วยการให้รถไฟวิ่งออกจากสถานีที่ 1 ไปถึงสถานีที่ 2 และวนกลับมาที่สถานีที่ 1 ในฝั่งตรงข้ามและจะมาจากจุดที่เดิมโดยจะมีรถไฟ 2 ขบวนอยู่ในเส้นทางเดียวกัน ดังนั้นต้องออกแบบระบบอาณัติสัญญาณให้รถทั้ง 2 ขบวนไม่เกิดการชนกันซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม โดยใช้หลักการเดินรถเป็นตอน ซึ่งในแบบจำลองเป็นแบบตอนคงที่มา

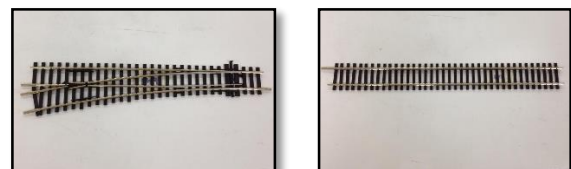
ประยุกต์ใช้ โดยนำหลักการระบบบังคับสัมพันธ์มาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ริมทาง เช่น ไฟสัญญาณ ตำแหน่งรถไฟ และประแจ ซึ่งสถานะต่างๆของอุปกรณ์ และ ตำแหน่งของรถไฟทั้ง 2 ขบวน จะถูกแสดงในแผนผังระบบอาณัติสัญญาณ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟ



รูปที่ 12 แผนผังการออกแบบแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ

3.1 โครงสร้างราง อุปกรณ์ริมทางและตัวรถไฟ

1. รางรถไฟ ที่ใช้ในแบบจำลองจะเป็นรางที่ทำจากโลหะเพื่อเป็นตัวนำไฟฟ้าให้กับตัวรถไฟ ซึ่งวางอยู่บนหมอนพลาสติกที่หาซื้อได้ตามร้านขายอุปกรณ์รถไฟจำลองทั่วไป



รูปที่ 13 รางที่ใช้ในแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ

2. อุปกรณ์ริมทาง ในแบบจำลองจะประกอบไปด้วย 2 อุปกรณ์ คือ ประแจ และ ไฟสัญญาณ ซึ่งได้รับคำสั่งการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 14 ประแจ และสัญญาณไฟที่ใช้ในแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ

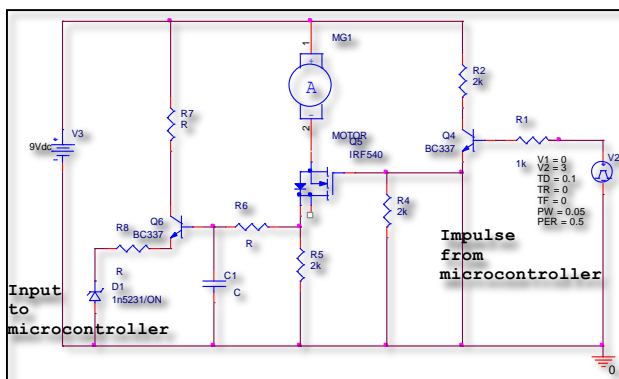
3. รถไฟ เป็นรถไฟจำลองที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งรับไฟฟ้าผ่านล้อ ที่สัมผัสกับรางที่มีการจ่ายไฟ ซึ่งในแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณจะใช้ทั้งหมด 2 ขบวน



รูปที่ 15 ตัวอย่างรถไฟที่ใช้ในแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ

3.2 วงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟ

การตรวจจับตำแหน่งของรถไฟในแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณนี้จะทำการแบ่งรางเป็นช่วงโดยมีฉนวนกันและใช้การเดินรถแบบตอนคงที่ ซึ่งในการตรวจจับตำแหน่งโดยใช้วงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟ โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้า Impulse ที่มีขนาด Duty cycle ประมาณ 10-15% เพื่อตรวจสอบกระแสที่ผ่านโหลดมอเตอร์ของรถไฟและไม่ทำให้รถเคลื่อนที่เมื่อรถไฟเข้ามาครอบครองตอนนั้นๆ ซึ่งวงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟจะส่งแรงดันไฟฟ้า 3V เข้าที่ขาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลและสั่งการการจ่ายไฟและอุปกรณ์ริมทาง



รูปที่ 16 วงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟ

3.3 การจ่ายไฟลงรางและการควบคุม

การจ่ายไฟให้กับตัวรถไฟ จะทำการแบ่งรางเป็นช่วงเพื่ออำนวยความสะดวกการควบคุมการหยุดรถเนื่องจากตัวรถไฟไม่สามารถเบรกได้ด้วยตัวเอง จึงต้องทำการเบรกด้วยการตัดไฟของช่วงหรือตอนที่รถไฟครอบครองอยู่ ซึ่งการออกแบบการแบ่งช่วงของรางจะมีความยาวกว่าตัวรถไฟเล็กน้อย และเชื่อมต่อกับรางช่วงอื่นๆด้วยฉนวนทางไฟฟ้า โดยหลักการควบคุมคือ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับตำแหน่งของรถไฟแล้วจะทำการประมวลผล

และสั่งให้ สวิตช์ Q_1 ของวงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟปิดวงจรเพื่อให้ได้ Duty cycle 100 %



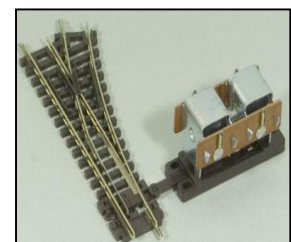
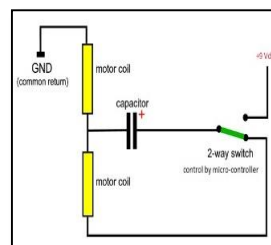
รูปที่ 17 แสดง การเชื่อมต่อรางในแต่ละช่วงด้วยฉนวนทางไฟฟ้า

3.4 การควบคุมอุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์

ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) เป็นระบบที่ใช้เพื่อให้อุปกรณ์ในแบบจำลองทำงานสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยในที่นี้คือ ไฟสัญญาณ ประแจสับรางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถไฟ ประกอบด้วย

1. ชุดควบคุมสัญญาณไฟ (Signal Controller) สัญญาณไฟจะติดตั้งบริเวณที่มีประแจสับรางเท่านั้นซึ่งในชุดการทดลองนี้ใช้สัญญาณไฟจำนวน 8 ตัว สถานะปกติของสัญญาณไฟนั้นจะเป็นสีแดง โดยเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับตำแหน่งของรถไฟจากวงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟตามเงื่อนไขถูกต้องแล้ว จะทำการประมวลผลและสั่งกลับมายังสัญญาณไฟ ทำให้สัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นสีเขียวเพื่อบ่งบอกว่ารถไฟสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้

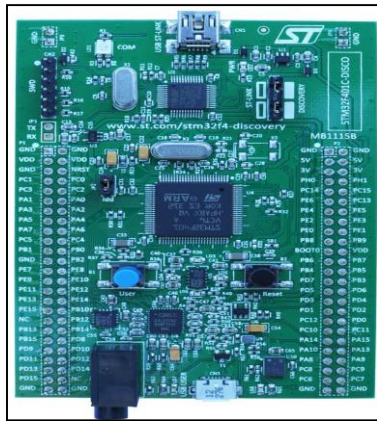
2. ชุดควบคุมประแจ (Point Machine Controller) ในแบบจำลองนี้จะใช้ประแจสับราง (Point Machine) จำนวน 4 ตัว มีหลักการทำงานคือเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับตำแหน่งจากวงจรตรวจจับตำแหน่งรถไฟที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ถูกต้องแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลและสั่งให้รีเลย์ทำงานเพื่อย้ายกระแสไปยังตัวสับประแจเพื่อให้ตัวสับประแจทำงาน โดยการทำงานของตัวสับประแจเองนั้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด (motor coil) ขั้วเหวี่ยงที่ยึดกับตัวสับรางจะถูกดึงเข้าหรือคิ้อออกเพื่อสับราง



รูปที่ 18 แสดง วงจรของประแจและการติดตั้งของประแจ

3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

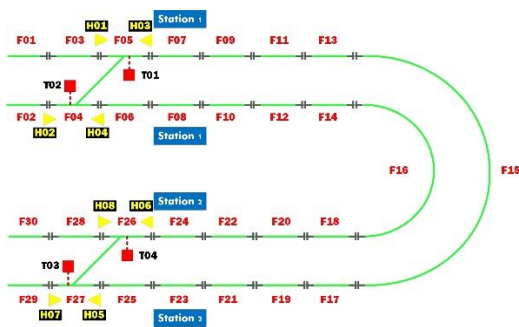
การควบคุมการทำงานของจ่ายไฟลงรางและการทำงานของอุปกรณ์รีมทางของแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณนี้ จะได้ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีพอร์ต I/O เพียงพอต่อการใช้งานกับแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ ในการเขียนคำสั่งจะใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี ผ่านโปรแกรม Keil uVision 4



รูปที่ 18 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในแบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณ

3.6 แผนผังแสดงสถานะอุปกรณ์และตำแหน่งของรถไฟ

แผนผังแสดงสถานะอุปกรณ์นี้จะเป็นตัวบอกถึงตำแหน่งของรถขณะเคลื่อนที่ว่าถึงตำแหน่งใดของรางแล้วรวมไปถึงแสดงสถานะของอุปกรณ์แต่ละตัวว่ามีการทำงานแบบใดอยู่ โดยแผนผังตำแหน่งของรถไฟนี้จะใช้ LED สร้างเป็นเส้นทางเช่นเดียวกับรางที่เดินรถ ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ตำแหน่งของประแจนั้นจะบอกว่าขณะนี้ประแจอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายหรือขวา และไฟสัญญาณเป็นสีแดงหรือเขียว โดยทำการดึงสถานะจากอุปกรณ์ออกมาแสดงผลให้เห็นเพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 19 แผนผังแสดงสถานะอุปกรณ์และตำแหน่งของรถไฟ

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟเป็นระบบที่มีหน้าที่หลักในการควบคุมการเดินรถไฟของระบบการขนส่งทางราง ต้องคำนึงถึงความ

ปลอดภัยมากที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณ จะมีการออกแบบให้มีความทำงานในรูปแบบที่เป็นระบบบังคับสัมพันธ์ ซึ่งไม่สามารถทำงานนอกเหนือไปจากเงื่อนไขที่กำหนดได้ หรือจะเป็นในส่วนของการสร้างซอฟต์แวร์ของระบบบังคับสัมพันธ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแบ่งโครงสร้างเป็น 3 ชั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด นอกจากการทำงานให้เกิดความปลอดภัยแล้ว ระบบอาณัติสัญญาณต้องมีการเสถียรภาพในการทำงานที่ดี โดยจะต้องมีระบบที่ทำงานทดแทนระบบที่ล้มไปเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการเดินรถ แต่เมื่อพูดถึงการควบคุมการเดินรถ (Train Control) ก็จะมีฟังก์ชันการทำงานข้างเคียงที่ทำงานสอดคล้องกันเข้ามาเกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นระบบป้องกันการเดินรถ (Train Protection Systems) ระบบตรวจจับตำแหน่งรถไฟ (Train Detection Systems) และระบบควบคุม ประมวลผลและแสดงผล (Supervision Systems) โดยที่ระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking) เรียกว่าเป็นระบบพื้นฐานในการรับประกันความปลอดภัยในการเดินรถ

แบบจำลองระบบอาณัติสัญญาณเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้จากข้อมูลที่รวบรวมมาแสดงออกในรูปแบบการจำลองการวิ่งของรถไฟ ที่มีการควบคุมด้วยระบบอาณัติสัญญาณ แต่เนื่องจากการทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง วิธีการทำงานบางอย่างจึงแตกต่างไปจากการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณที่กับการเดินรถจริง แต่หลักการทำงานจะเหมือนกัน โดยมีเป้าหมายเพื่อการควบคุมการเดินรถเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและตรงตามเวลาที่กำหนด

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการค้นคว้าวิจัยในโครงการส่งเสริมการศึกษาและวิจัยร่วมระบบขนส่งทางราง ซึ่งจัดโดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ซึ่งผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ ผศ.ดร. มงคล กงหริญ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ คุณมูฮัมหมัด สมัญญา คุณบุญธรรม เหมทิม คุณอภิวัฒน์ เลิศศิริ และคุณสุจิต สุระพันธ์ วิศวกรระบบราง จากบริษัท พีบี เอเชีย จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่คอยให้คำปรึกษาด้านการทำงานของงานวิจัยนี้ คุณมานะชัย วัฒนหัตถกรรม อาจารย์พิเศษ จากบริษัท ซีเมนต์ จำกัด ซึ่งเป็นผู้สอนรายวิชา EEE581 Railway Signalling and Control ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานระบบอาณัติสัญญาณ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นคร จันทกร. (2554). ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ (พิมพ์ครั้งที่1). สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [2] มานะชัย วัฒนหัตถกรรม. (2556). ระบบควบคุมรถไฟ และ การอาณัติสัญญาณเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: จรัสสินทวงศการพิมพ์

- [3] โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ส่วนต่อขยายสายสีลม
(ตากสิน – เพชรเกษม). Systems Description
- [4] โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ส่วนต่อขยายสายสีลม
(ตากสิน – เพชรเกษม). PLT Specification
- [5] โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ส่วนต่อขยายสายสีลม
(ตากสิน – เพชรเกษม). Balise Specification
- [6] โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ส่วนต่อขยายสายสีลม
(ตากสิน – เพชรเกษม). Radio Systems Description
- [7] โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ส่วนต่อขยายสายสีลม
(ตากสิน – เพชรเกษม). ILL Subsystems Specification
- [8] Pochl.J. (2009). Railway operation and control 2nd Edition, Mountalee
Terrace (USA). VTD Rail Publishing
- [9] Invensys Rail Systems. (2002). Basic Signalling Training Manual.
- [10] Tetsuo Takashige. Signalling System for Safe Railway Transport.
Railway Technology Today 8
- [11] Cosmic Software. (2003). C Language Manual.

