

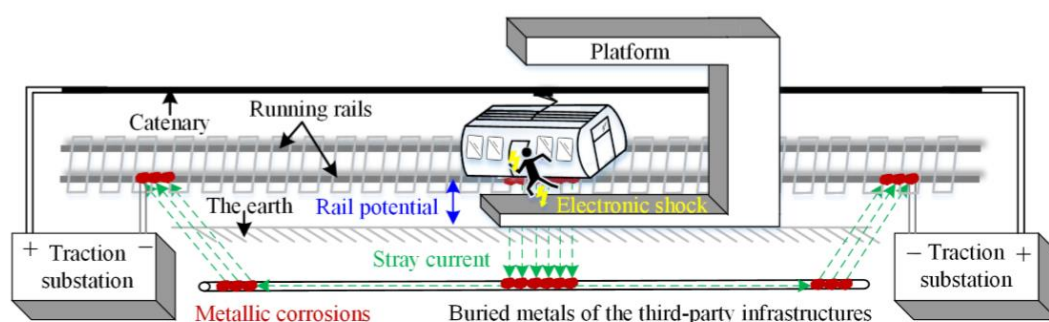
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนมีประวัติยาวนานกว่า 200 ปี นับตั้งแต่รถไฟใต้ดินสายแรกถูกสร้างขึ้นในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ.1863 ทำให้ระบบขนส่งทางรางในเขตเมืองได้พัฒนาอย่างรวดเร็วทั่วโลก เนื่องจากมีข้อดีในการขนส่งผู้โดยสารที่รวดเร็ว ลดมลพิษทางอากาศ และสามารถนำพลังงานจากแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากสถิติในปี ค.ศ.2018 ใน 72 ประเทศ 493 เมืองและภูมิภาคได้เปิดระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนทางรางในเขตเมือง รวมระยะทางกว่า 26,100 กิโลเมตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระยะทางรวมของการขนส่งทางรถไฟในเขตเมืองของปี ค.ศ. 2014 พบว่ามีระยะทางรวมมากกว่าสองเท่า และจะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต โดยระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถไฟมี 2 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ส่วนระบบการจ่ายไฟในการขับเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบรางที่ 3 (Third rail system) และระบบตัวนำสัมผัสผิวด้านอากาศเหนือหัว (Overhead wire system) ในระบบนี้จะมีสายไฟฟ้าอยู่เหนือศีรษะมักใช้สำหรับการเดินทางด้วยรถไฟระยะไกล สำหรับระบบรางที่สาม มีข้อดีในแง่เรื่องไม่บดบังทัศนียภาพทางสายตา เนื่องจากไม่มีโครงสร้างการจ่ายไฟที่ไม่เป็นระเบียบเหนือรางรถไฟ แต่มีข้อจำกัดในด้านการใช้งานและด้านความปลอดภัย ซึ่งระบบนี้มักใช้กับรถไฟใต้ดินหรือระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน รวมไปถึงกรุงเทพมหานครที่เป็นเมืองเดียวในประเทศไทยที่มีระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนนี้ด้วย ซึ่งในปัจจุบันจำแนกประเภทรถไฟฟ้าวออกเป็น 3 ประเภท โดยจำแนกจากระบบการจ่ายไฟในการขับเคลื่อนไฟฟ้า คือ 1. ระบบรางที่ 3 ได้แก่ รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน (MRT Blue line) รถไฟฟ้าสายสีม่วง (MRT Purple line) และรถไฟฟ้าสายสีเขียว (BTS Green line) 2. ระบบตัวนำสัมผัสผิวด้านอากาศเหนือหัว ได้แก่ รถไฟฟ้าสายสีแดง (S.R.T. Red line mass transit system project) และรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงก์ (Airport Rail Link) 3. ระบบรางเดี่ยว (Monorail system) ได้แก่ รถไฟฟ้าสายสีเหลือง (MRT Yellow line) และรถไฟฟ้าสายสีชมพู (MRT Pink line)

ในระบบรถไฟฟ้ามวลขนส่งกระแสฉุดลากขับเคลื่อนไหลผ่านสายสัมผัส (contact line) ไปยังรถไฟและผ่านวงจรย้อนกลับไปยังสถานีจ่ายกำลังขับเคลื่อน โดยพื้นฐานแล้วรางวิ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำสำหรับกระแสไฟย้อนกลับ เนื่องจากความต้านทานระหว่างรางกับพื้นดินมีจำกัด และรางมีความต้านทานตามความยาว ส่วนหนึ่งของกระแสนอนกลับจะไหลลงสู่ดิน เรียกว่ากระแสไฟฟ้ารั่ว (Stay current) และกลับสู่สถานีจ่ายกำลังขับเคลื่อนผ่านดินใกล้กับสถานีจ่ายกำลังไฟฟ้าขับเคลื่อนไปยังโครงสร้างเสริมแรง โครงสร้างของเสาทางยกระดับหรืออุโมงค์ในบริเวณใกล้ ๆ กับสถานีไฟฟ้าขับเคลื่อนและไหลลงสู่พื้นดิน ซึ่งมีโอกาสสูงที่จะเกิดปัญหาด้านศักย์ไฟฟ้าที่รางวิ่งและกระแสไฟฟ้ารั่ว ปัญหาเหล่านี้เป็นอันตรายต่อโครงสร้างอาคารที่สถานีและสถานีย่อยใกล้เคียงที่สร้างด้วยโลหะ ปัญหากระแสไฟฟ้ารั่วที่ไหลลงดินเป็นปัจจัยสำคัญในการกัดกร่อนของโลหะของรางวิ่ง ซึ่งส่งผลต่อการลดอายุการใช้งานของรางวิ่งและอุปกรณ์ของระบบการต่อลงดิน ค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางที่เกิดจากกระแสฉุดลากไหลผ่านรางวิ่ง เป็นอันตรายต่อความปลอดภัยของมนุษย์ (Xiaofeng Yang et al., 2018) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จากผลกระทบที่กล่าวมาข้างต้น จึงเกิดการวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับการวัดและการควบคุมของค่ากระแสไฟฟ้ารั่วและค่าศักย์ไฟฟ้าของราง โดยอยู่ภายใต้ค่ามาตรฐานแรงดันสัมผัสในระหว่างการทำงานปกติและในสถานการณ์ที่เกิดความผิดปกติจะต้องไม่เกินแรงดันไฟฟ้าที่ยอมให้ผ่านได้ตามมาตรฐาน EN 50122-1 ที่กล่าวไว้ว่า แรงดันที่ยอมให้เข้าถึงต้องมีค่าไม่เกิน 120 V และจากมาตรฐานกระแสไฟฟ้ารั่ว EN 50122-2 ค่ากระแสไฟฟ้ารั่วที่แนะนำว่าจะไม่เกิดความเสียหายในทางรถไฟในช่วง 25 ปี ต่อหน่วยความยาวมีค่าไม่เกิน 25 mA/m/track (Fichera et al., 2013)



รูปที่ 1.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากศักย์ไฟฟ้ารางและกระแสไฟฟ้ารั่วในระบบขนส่งรถไฟ
ที่มา : (Gu et al., 2020)

วิธีในการลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางวิ่งและกระแสไฟฟ้ารั่วที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน จะเป็นวิธีการวางตัวนำย้อนกลับ (Return conductor traction power system: RET-TPS) นำตัวนำวางแบบขนานกับรางวิ่ง รางวิ่งเสริมพิเศษ เพื่อแบ่งกระแสไฟฟ้ารางและลดความต้านทานตามแนวยาวของรางวิ่ง อย่างไรก็ตามการติดตั้งรางเสริมและการปรับเปลี่ยนส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องในระบบรถไฟฟ้ามักจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง และฉนวนของรางเสริมก็อาจจะเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งาน และข้อจำกัดในเรื่องปริมาณและราคาของสายเคเบิล หากจำนวนสายเคเบิลไม่เพียงพอ ผลการลดลงก็จะไม่ชัดเจน และมีวิธีการใหม่ตัวแปลงความต้านทานเชิงลบ (Negative resistance converter traction power system: NEG-TPS) โดยการทำให้มีอุปความต้านทานเป็นศูนย์ในวงจรเพื่อลดเส้นทางกลับของกระแสไฟฟ้ารางบนรางวิ่ง นอกจากนี้ยังเป็นระบบที่สามารถใช้งานกับการขนส่งทางรางที่มีอยู่เดิมโดยไม่ต้องดัดแปลงรถไฟ ราง อุโมงค์ หรืออื่น ๆ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการขนส่งทางรางในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและจำลองผลการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้ามที่มีแหล่งจ่ายสถานีไฟฟ้าขับเคลื่อนเพื่อประเมินผลกระทบและวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในรถไฟฟ้ามขนส่งมวลชนกระแสตรง

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองการติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบกับโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายฉลองรัชธรรม (สายสีม่วงเหนือ)

1.2.3 เพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลจากการจำลองการติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบในระบบการเคลื่อนที่รถไฟฟ้ามขบวนเดียว ในการลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสไฟฟ้ารั่ว

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 การจำลองกระแสรั่วของระบบรถไฟฟ้ามกระแสตรงโดยการคำนวณด้วย M-File ของโปรแกรม MATLAB

1.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองการเคลื่อนที่รถไฟฟ้ามกระแสตรง ใช้ข้อมูลของรถไฟฟ้ามหานคร ฉลองรัชธรรม (MRT) สายสีม่วง (เหนือ) โดยไม่พิจารณา Cross Bounding, Impedance Bounding, Track Circuit และ Regenerative Breaking Energy

1.3.3 จำลองระบบที่ใช้ประเมินค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสรั่วทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบปกติ ระบบติดตั้งตัวนำย้อนกลับ และระบบติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบ (แบบอุดมคติ)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 จำลองผลการเคลื่อนที่รถไฟฟ้ายานเดียวที่มีแหล่งจ่ายเป็นสถานีไฟฟ้าขับเคลื่อน โดยใช้ข้อมูลรถไฟฟ้ายานนคร ฉลองรัชธรรมสายสีม่วง (เหนือ)

1.4.2 ประเมินผลและวิเคราะห์แบบจำลองของระบบปกติ ระบบที่มีการติดตั้งตัวนำย้อนกลับและระบบที่มีการติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบให้กับรถไฟกระแสตรงขนส่งมวลชนเพื่อลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสไฟฟ้ารั่ว

1.4.3 ประเมินผลศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสไฟฟ้ารั่วในโครงการรถไฟฟ้ายานนคร สายฉลองรัชธรรม (เหนือ) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 50122

1.4.4 ติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบ (Negative Resistance Converter) แบบหัว - ท้าย โดยไม่พิจารณากระแสไฟฟ้าขับเคลื่อน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถประเมินและวิเคราะห์กระแสไฟฟ้ารั่วในระบบรถไฟฟ้ายานขนส่งมวลชนกระแสตรงโดยใช้วิธีการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่รางและวิธีการจำลองผลการเคลื่อนที่รถไฟฟ้ายานเดียว

1.5.2 ได้แบบจำลองการติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบกับโครงการรถไฟฟ้ายานนครสายฉลองรัชธรรมสายสีม่วง (เหนือ)

1.5.3 สามารถลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสไฟฟ้ารั่วที่รางด้วยการติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบ

1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท 3 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผลจากการสำรวจสืบค้น จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3 การนำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรย้อนกลับและการต่อลงดิน กระแสรั่วกีดกร่อนที่กล่าวถึงด้านสาเหตุการเกิดและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระแสรั่ว การประเมินกระแสรั่วตามมาตรฐานโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน EN 50122-1 และ EN 50122-2 ทฤษฎีการคำนวณ แบบจำลองในระบบดั้งเดิมที่มานในอดีต จนไปถึงระบบที่ติดตั้งลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่รางและกระแสรั่ว โดยงานวิจัยนี้แยกเป็นการ

วิเคราะห์ 3 ระบบ คือ แบบจำลองการเคลื่อนที่รถไฟฟ้าระบบปกติ แบบจำลองการติดตั้งระบบตัวนำย้อนกลับ และแบบจำลองการติดตั้งระบบตัวแปลงความต้านทานเชิงลบ

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบจำลองและอภิปรายผลในกรณีศึกษาต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีแบบจำลองรถไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ และกรณีแบบจำลองโครงการรถไฟฟ้ามหานครฉลองรัชธรรม สายสีม่วง (เหนือ)

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะพร้อมงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อ

ภาคผนวก ก ระบบ Negative Resistance Converter Traction Power System

ภาคผนวก ข ผลการจำลองกรณีศึกษาที่ 2 (รถไฟฟ้าขบวนเดียว MRT สายสีม่วงเหนือ) ระบบติดตั้งตัวนำย้อนกลับ

ภาคผนวก ค ผลการจำลองกรณีศึกษาที่ 2 (รถไฟฟ้าขบวนเดียว MRT สายสีม่วงเหนือ) ระบบติดตั้งตัวแปลงความต้านทานเชิงลบ

ภาคผนวก ง บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา