



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

การศึกษาผลของอุโมงค์ต่อพลังงานที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนรถไฟ
 กรณีศึกษาแนวเส้นทางโครงการรถไฟรางคู่เด่นชัย-เชียงใหม่

Study of Tunnel Effect on a Railway's Driving Energy Consumption

A Case Study of the Route of Denchai - Chiangkhong Double Track Rail Project

มหาชิน สิทธิศักดิ์¹ อมรเทพ ประเสริฐน้อย¹ สวัสดิ์ ยุคะลิ่ง² และจักรกฤษณ์ เคลือบวัง²
¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
²หน่วยวิจัยพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
 mahachin2539@gmail.com, yokus_41@hotmail.com, yu_sawat@hotmail.com, jukkrit_k@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาผลของอุโมงค์รถไฟต่อการเคลื่อนที่ของรถไฟ โดยเน้นพลังงานที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนรถไฟ กรณีศึกษาเส้นทางโครงการรถไฟรางคู่สายเด่นชัย-เชียงใหม่ สมมติฐานหลักของการศึกษานี้อยู่ที่การปรับปรุงแรงต้านอากาศหรือสมการเดวิส (Davis Equation) การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟตลอดเส้นทางเด่นชัย-เชียงใหม่ ระยะทาง 319.85 กิโลเมตร ตลอดผ่านอุโมงค์ทั้งหมด 4 แห่ง ระยะทางรวม 13.925 กิโลเมตร พบว่ากรณีเส้นทางที่ประกอบด้วยอุโมงค์จะใช้พลังงานสูงกว่ากรณีเส้นทางที่ไม่มีอุโมงค์อยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่อการรอบการเดินทาง ทั้งนี้ยังไม่คำนึงถึงผลของความลาดชันของเส้นทาง

คำสำคัญ รถไฟรางคู่, อุโมงค์รถไฟ, สมการเดวิส

Abstract

This article presents a study of tunnel effect on a single train movement focused on driving energy consumption of Denchai-Chiangkhong double track railway project. Particular hypothesis for this study bases on updating the aerodynamic resistance or Davis equation. Simulation was done on a single train traveling whole trip from Denschai station to Chiangkhong station with 319.85 km range including 4 train tunnels with all length 13.925 km. The obtained result shows that the trip with train tunnels consumed more energy than of the trip without train tunnel around 1 percent per trip. Note that this study excluded gradient effect in the model.

Keywords double-track railway, train tunnel, Davis equation



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

บทนำ

ระบบขนส่งทางราง (railway system) หรือโครงข่ายรถไฟ เป็นระบบขนส่งทางบกที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศให้เป็นระบบขนส่งสาธารณะที่สามารถรองรับการขนส่งทั้งผู้โดยสารและสินค้าปริมาณมาก โดยพิสัยการให้บริการสามารถทำได้ถึง 1,500 กิโลเมตร (Pyrgidis, 2016) ประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน ล่าสุดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2563 ได้มีมติคณะรัฐมนตรี (สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี, 2563) ผ่านร่างพระราชกฤษฎีกากำหนดเขตที่ดินที่จะเวนคืนในพื้นที่โครงการรถไฟรางคู่สายเด่นชัย-เชียงของ โครงการนี้ได้เริ่มมีการศึกษาความเหมาะสมตั้งแต่ปี พ.ศ.2503 จุดเริ่มต้นโครงการอยู่ที่สถานีรถไฟเด่นชัย จังหวัดแพร่ มุ่งหน้าทางทิศเหนือผ่านอำเภองาว จังหวัดลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย และสิ้นสุดโครงการที่อำเภอเชียงของจังหวัดเชียงราย ดังรูปที่ 1 (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2564) เมื่อเสร็จแล้วเสร็จจะเป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายระบบขนส่งทางรางภายในประเทศไทยและเพื่อนบ้านอย่างสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวได้เป็นอย่างดี ด้วยลักษณะภูมิประเทศทางภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงชันทำให้บางช่วงของเส้นทางรถไฟนี้ประกอบด้วยอุโมงค์รถไฟอยู่ 4 แห่ง คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลของอุโมงค์รถไฟต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถไฟซึ่งจะส่งผลถึงปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อการเดินรถไฟต่อไปในอนาคต การศึกษาครั้งนี้เป็นการบูรณาการองค์ความรู้ (จักรกฤษณ์และสวัสดิ์, 2563) และสร้างสรรค์ตัวอย่างเพื่อการศึกษาเกี่ยวกับระบบรางในประเทศไทย



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 หลักการเคลื่อนที่ของรถไฟ

การศึกษาการเคลื่อนที่ของรถไฟสำหรับงานวิจัยนี้ อาศัยกฎการเคลื่อนที่พื้นฐานทางฟิสิกส์ของนิวตัน ซึ่งสามารถอธิบายองค์ประกอบแรงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Goodman, 2010) ด้วยแผนภาพอิสระของวัตถุ ดังรูปที่ 2 และเขียนความสัมพันธ์แรงตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ได้ดังสมการที่ (1)

$$F_T = F_a + F_g + F_r \quad (1)$$

เมื่อ F_T คือแรงจุดของรถไฟ หน่วยเป็น นิวตัน F_g คือแรงต้านเนื่องจากความลาดชัน F_r คือแรงต้านเนื่องจากอากาศและอื่นๆ ส่วน F_a คือแรงต้านการเปลี่ยนแปลงความเร็ว แสดงดังสมการที่ (2)

$$F_a = M \cdot a_c \quad (2)$$

เมื่อ M คือมวลของรถไฟ และ a_c คืออัตราเร่งการเคลื่อนที่ของรถไฟ ส่วนแรงต้านเนื่องจากความลาดชันแสดงดังสมการที่ (3)

$$F_g = Mgsin(\alpha) \quad (3)$$

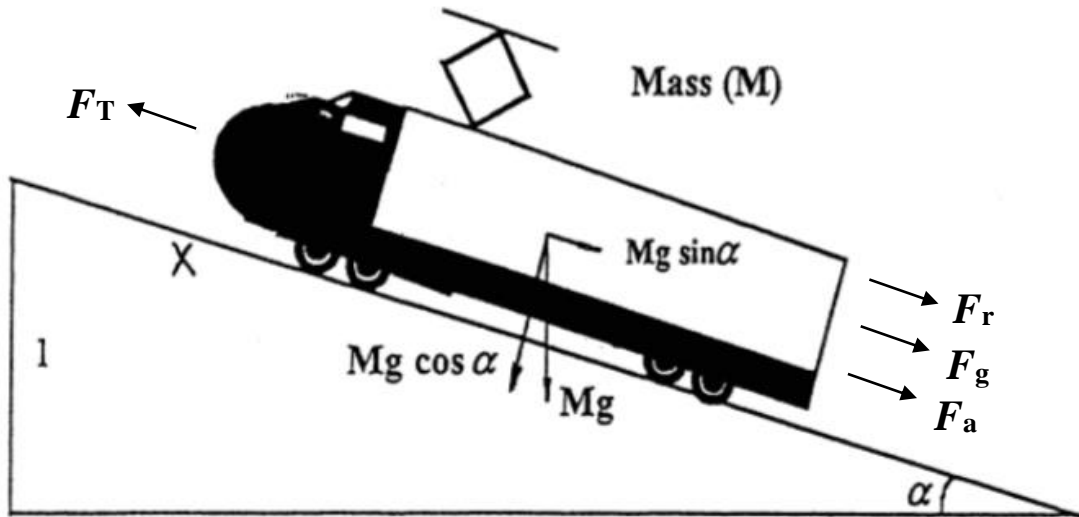
เมื่อ g คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ขนาด 9.81 m/s^2 และ α คือมุมลาดชันของรางเทียบกับแนวระดับ ส่วนแรงต้านเนื่องจากอากาศและอื่นๆ แสดงดังสมการที่ (4) นิยมเรียกว่าสมการของเดวิส (Davis equation)

$$F_r = a + bv + cv^2 \quad (4)$$

เมื่อ v คือค่าอัตราเร็วหน่วยเป็น m/s ส่วน a b และ c คือค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเดวิส ข้อสังเกตของสมการที่ (4) มีลักษณะเป็นกราฟพาราโบลาหงายแสดงว่า ยิ่งความเร็วรถไฟมากขึ้น แรงต้านตามสมการเดวิสยิ่งมากตามไปด้วย



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564



รูปที่ 2 แรงดูดของหัวรถจักรและแรงต้านการเคลื่อนที่รูปแบบต่าง ๆ (Goodman, 2010)

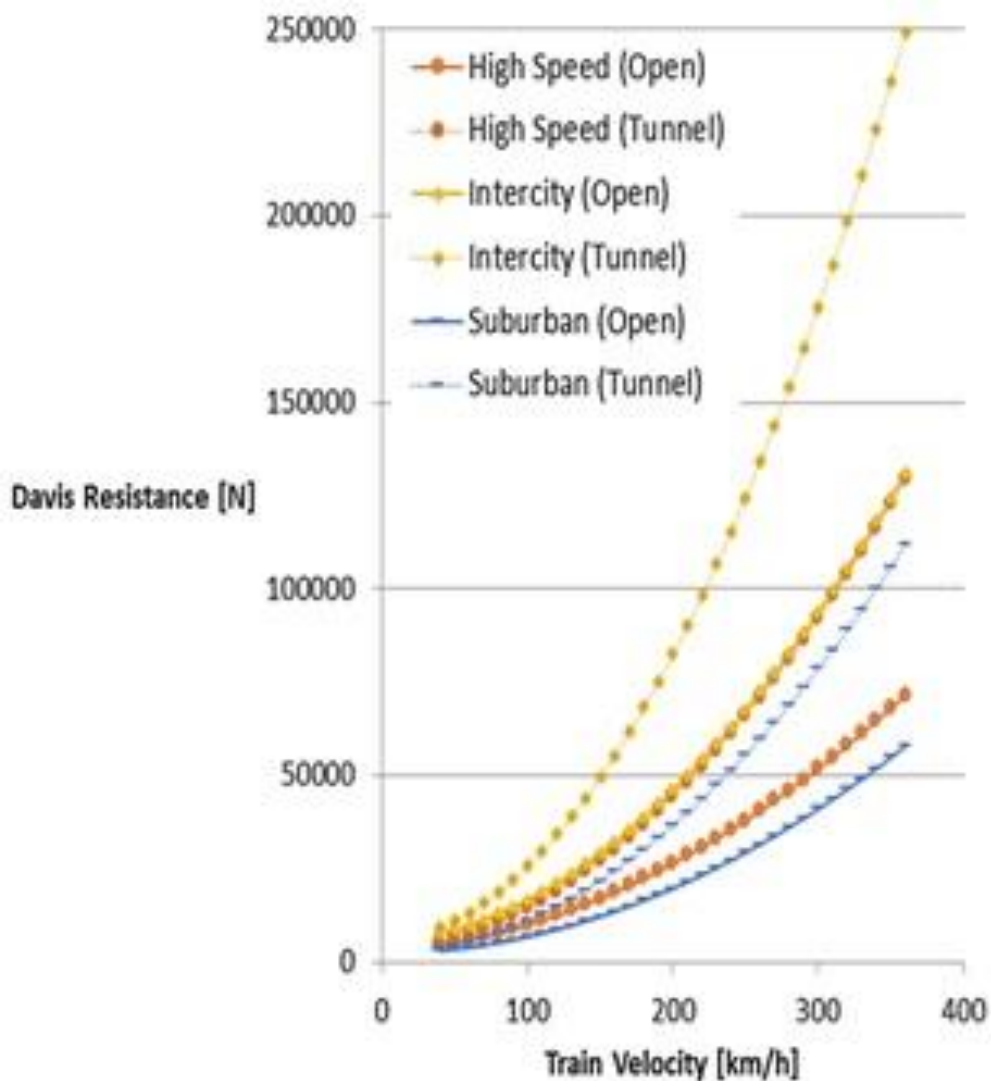
1.2 ผลของอุโมงค์

การเคลื่อนที่ของรถไฟขณะอยู่ในอุโมงค์รถไฟ (train tunnel) มีความแตกต่างจากการเคลื่อนที่ในบรรยากาศเปิด (open) อันเนื่องจากผลของแรงต้านอากาศโดยเฉพาะช่วงที่ความเร็วรถไฟค่อนข้างสูง จากผลการศึกษาของ Pritchard และ Priston คณะผู้วิจัยชาวอังกฤษ (Pritchard and Priston, 2018) พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อแรงต้านอากาศขณะรถไฟเคลื่อนที่ในอุโมงค์ได้แก่ความเร็วของรถไฟ ความยาวของรถไฟ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของอุโมงค์ จึงประมาณแรงต้านอากาศภายในอุโมงค์ให้สูงกว่าค่าของบรรยากาศเปิด โดยทำการตัดแปลงค่าของสัมประสิทธิ์ c ในสมการเดวิส หรือ สมการที่ (4) เพิ่มเป็นสองเท่า แล้วดำเนินการคำนวณกับคุณสมบัติของรถไฟจำนวน 3 ชนิด ได้แก่รถไฟชานเมือง (suburban train) รุ่น UK Class 357 Electrostar รถไฟระหว่างเมือง (intercity train) รุ่น UK Class 390 Pendolino และ รถไฟความเร็วสูง (high speed train) รุ่น AGV-11 ได้ผลของแรงต้านอากาศเทียบกับความเร็วรถไฟ แสดงดังรูปที่ 3

ค่าแรงต้านอากาศหรือแรงต้านเดวิสของรถไฟระหว่างเมืองกรณีวิ่งในอุโมงค์ จากรูปที่ 3 แม้ว่าจะให้ค่าสูงที่สุดซึ่งสูงกว่ากรณีของรถไฟความเร็วสุดก็ตาม ณ ความเร็ว 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในทางปฏิบัติรถไฟระหว่างเมืองรุ่นนี้ถูกออกแบบมาให้บริการที่ความเร็วสูงสุด ประมาณ 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการศึกษาดูการจำลองเพิ่มเติมจาก (Goodman, 2010) กับรถไฟความเร็วสูง รุ่น AGV ความยาว 200 เมตร วิ่งด้วยความเร็วคงที่ 320 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนรางในบรรยากาศเปิดระยะทาง 10 กิโลเมตร จะใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 167 kWh แต่ถ้าวิ่งในอุโมงค์เส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5 เมตร 9.8 เมตร และ 12 เมตร ความยาวอุโมงค์ 10 กิโลเมตรเท่ากันจะต้องใช้พลังงานขับเคลื่อน 324 kWh, 274 kWh และ 232 kWh ตามลำดับ

การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการต่อยอดงานวิจัยชิ้นนี้ มาใช้กับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟารางคู่สายเด่นชัย-เชียงใหม่ ของประเทศไทย ซึ่งตามการศึกษาความเหมาะสมของโครงการดังกล่าวจะมีอุโมงค์รถไฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เมตร ระยะทางรวม 13.925 กิโลเมตร



รูปที่ 3 แรงต้านแบบเดวิสกรณีอากาศเปิดและกรณีอุโมงค์ [6]

2. การจำลอง

การจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟสำหรับงานวิจัยนี้ พัฒนาด้วยโปรแกรม MATLAB r2020b บนเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา CPU Intel Core i7 generation 11th 2.80 GHz RAM 8GB HDD 500GB จากหลักการ



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

เคลื่อนที่ของรถไฟที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า สามารถนำมาเขียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจำลองตาม (ธนัดชัย, 2561) ส่วนรายละเอียดของข้อมูลสำหรับการจำลองปรากฏอยู่ในหัวข้อถัดไป

2.1 ข้อมูลการจำลอง

แนวเส้นทางโครงการรถไฟรางคู่สายเด่นชัย-เชียงใหม่ (วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2564) ถูกเลือกมาใช้เพื่อเป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากประกอบด้วยส่วนที่เป็นอุโมงค์รถไฟทั้งหมดจำนวน 4 แห่ง ได้แก่ อุโมงค์รถไฟ อำเภอสอง แห่งที่ 1 ระยะทาง 1,125 เมตร อุโมงค์รถไฟ อำเภอสอง แห่งที่ 2 ระยะทาง 6,375 เมตร อุโมงค์รถไฟมหาวิทยาลัยพะเยา ระยะทาง 2,825 เมตร และอุโมงค์รถไฟ อำเภอดอยหลวง ระยะทาง 3,600 เมตร อุโมงค์รถไฟทั้งหมดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เมตร ระยะทางวิ่งทั้งหมดจากสถานีเด่นชัยถึงสถานีเชียงใหม่คือ 319.85 กิโลเมตร ประกอบด้วย 26 สถานีผู้โดยสาร รายละเอียดชื่อสถานีและระยะห่างแต่ละสถานีแสดงอยู่ในตารางที่ 1 ระหว่างสถานีสองกับสถานีแม่ตึบจะประกอบ 2 อุโมงค์รถไฟส่วนอุโมงค์ถัดไปอยู่ระหว่างสถานีปางเต๋ากับสถานีมหาวิทยาลัยพะเยาอุโมงค์สุดท้ายอยู่ระหว่างสถานีป่าซางกับสถานีบ้านเกียง ข้อมูลของรถไฟที่ใช้เพื่อการจำลองนี้ดัดแปลงจาก (จักรกฤษณ์และสวัสดิ์, 2563) และ (ณัฐพงษ์และคณะ, 2560) ได้แก่ น้ำหนักรถไฟเปล่า 153 ตัน แรงฉุดสูงสุด 200 กิโลนิวตัน แรงเบรกสูงสุด 100 กิโลนิวตัน อัตราเร่ง 0.67 m/s^2 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานกำลังจากต้นกำลังถึงล้อ 80% ส่วนแรงต้านอากาศขณะเคลื่อนที่อยู่ในอุโมงค์รถไฟจะใช้การเพิ่มขนาดสัมประสิทธิ์ c ของสมการเดวิสในสมการที่ (4) เป็นสองเท่า สมการเดวิสกรณีบรรยากาศเปิด (open) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ของรถไฟรุ่น UK Class 390 จาก (Pritchard and Priston, 2018) ดังสมการที่ (5)

$$F_{r_open} = 5310 + 21.696v + 0.9097v^2 \tag{5}$$

ความเร็วรถไฟรางคู่สายเด่นชัย-เชียงใหม่กำหนดไว้สูงสุดที่ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การจำลองนี้เลือกใช้โหมดการให้บริการแบบด่วน (express) หมายถึงจะจอดเฉพาะสถานีต้นทางกับสถานีปลายทางเท่านั้น เนื่องจากต้องการให้ได้ผลของความเร็วยานไฟขณะวิ่งผ่านอุโมงค์เป็นสำคัญ แนวทางการเปรียบเทียบผลการจำลอง เลือกใช้การวิ่งให้บริการแบบระบบบรรยากาศเปิด (open) หรือระบบรางที่ไม่มีอุโมงค์รถไฟเป็นฐาน (base)



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

ตารางที่ 1 ข้อมูลชื่อสถานีรถไฟและระยะทางจากเด่นชัยไปเชียงของ [3]

สถานี (ลำดับ/ชื่อ)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	สถานี (ลำดับ/ชื่อ)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1.เด่นชัย	0	14.บ้านร้อง	162.61
2.สูงเม่น	13.86	15.บ้านใหม่	175.96
3.แพร่	26.56	16.ป่าแดด	190.61
4.แม่คำมี	38.06	17.ป่าแฉะ	198.26
5.หนองเสือขาว	50.16	18.บ้านโป่งเกลือ	209.26
6.สอง	57.06	19.สันป่าเหียง	222.16
7.แม่ตีบ	84.06	20.เชียงราย	237.86
8.งาว	103.06	21.ทุ่งก่อ	251.56
9.ปงเตา	108.31	22.เวียงเชียงรุ้ง	262.51
10.มหาวิทยาลัยพะเยา	136.66	23.ป่าซาง	273.49
11.บ้านโทกหวาก	143.61	24.บ้านเกียง	295.31
12.พะเยา	149.46	25.บ้านดอนชัย	305.25
13.ดงเจน	155.81	26.เชียงของ	319.85

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การจำลองสำหรับกรณีระบบเปิดและระบบบอโมงค์ใช้เวลาประมวลผล 0.7349 วินาที และ 0.7269 วินาที ตามลำดับ ทั้งสองระบบได้ผลการจำลองเป็นระยะเวลาการเดินทางจากสถานีเด่นชัยถึงสถานีเชียงของเหมือนกันคือใช้เวลาเดินทางทั้งสิ้น 7,257.7 วินาที หรือ ประมาณ 2 ชั่วโมง กับ 1 นาที ส่วนพลังงานที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนแตกต่างกันเล็กน้อยไม่ถึง 1 % ดังแสดงในตารางที่ 2 อาจเนื่องจากการประมาณและอนุมาณค่าพารามิเตอร์จากงานวิจัยอื่นที่คล้ายคลึงกันมาทำเป็นแบบจำลองสำหรับการคำนวณ หรือความเร็วรถไฟ 160 กิโลเมตร ยังไม่สูงพอจะทำให้มีนัยสำคัญเร่งด่วนที่ต้องพิจารณา เหมือนกับระบบรถไฟความเร็วสูงที่ต้องคำนึงถึงมิติของมลภาวะทางเสียงประกอบด้วย

ค่าพลังงานส่วนต่างที่เพิ่มขึ้น 8.705 kWh ต่อเที่ยว จากการเดินรถไฟสายด่วนเด่นชัย-เชียงของระบบ หากจัดตารางการเดินทางไว้เที่ยวไปและเที่ยวกลับวันละ 10 เที่ยว หนึ่งปี (365 วัน) จะมีพลังงานส่วนนี้ถึง 63,546.5 kWh เลยทีเดียว



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
 วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

ตารางที่ 2 พลังงานที่ใช้เพื่อการขับเคลื่อนรถไฟสายเด่นชัย-เชียงใหม่ของ

ระบบทดสอบ	พลังงานที่ใช้ (kWh)	การเพิ่มขึ้น (%)
ระบบเปิด	954.332	0
ระบบที่มีอุโมงค์	963.037	0.91

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติมนอกเหนือจากสมการแรงต้านอากาศภายในอุโมงค์รถไฟแล้วนำมาจำลองเปรียบเทียบกับผลการศึกษาปัจจุบันจะสร้างฐานข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาหรือผู้สนใจได้อีก
2. เนื่องจากเป็นโครงการที่ใช้ระยะเวลาขับเคลื่อนยาวนานถึง 60 ปี จึงควรหาประโยชน์จากโครงการนี้ให้เต็มศักยภาพ เช่นการสร้างเชื่อมโยงกับระบบการคมนาคมอื่น ทั้งถนนและสนามบิน เพื่อกระตุ้นการท่องเที่ยว โดยอาศัยฐานความรู้เรื่องการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟนี้ร่วมด้วยก็จะเป็นการต่อยอดความรู้ได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Christos N. Pyrgidis, *Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation*. Third Avenue, NY: CRC Press, 2016.
- [2] สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี. ทำเนียบรัฐบาล. สรุปรายการประชุม ครม 8 ธันวาคม 2563. สารานุกรมออนไลน์. เข้าถึงจาก <http://thaigov.go.th/news/contents/details/37453/>. อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2564.
- [3] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. มูนิอิวิกิมีเดีย. อัปเดต 23 มกราคม 2564, 12.04 UTC. สารานุกรมออนไลน์. เข้าถึงจาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ทางรถไฟสายเด่นชัย-เชียงใหม่-เชียงใหม่#>. อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2564.
- [4] จักรกฤษณ์ เคลือบวัง, และ สวัสดิ์ ยุคะลัง. (2563). การศึกษาการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้ามหานครเชื่อมสามสนามบินระยะที่ 2. การประชุมวิชาการระดับชาติวิจัยรำไพพรรณี ครั้งที่ 14 (น.631-635). จันทบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- [5] C.J. Goodman, "Overview of electric railway system and calculation of train performance," *IET Professional Development Course on Electric Traction Systems*, pp.1-24, 1-5 Nov. 2010.
- [6] James A. Pritchard and J. Preston, "Understanding the contribution of tunnels to the overall energy consumption of and carbon emissions from a railway," *Transp. Res. D*, vol. 65, pp. 551-563, October 2018.
- [7] ธนัชช กุลวรรณิชพงษ์. ระบบจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถไฟ. กรุงเทพมหานคร: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2561.



การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 14
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"
วันพุธที่ 18 สิงหาคม 2564

-
- [8] ณัฐพงษ์ มิ่งพฤกษ์, ทศพล รัตน์นิยม และ ธนดชัย กุลวรรณิพงษ์, “การศึกษาความไม่สมดุลแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเชื่อมต่ออากาศยานสุวรรณภูมิ,” *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 28 ฉบับที่ 4, หน้า 25-36, ตุลาคม-ธันวาคม 2560