

การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของระบบประตูกันชนซาลารถไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

Energy Loss Analysis of Train Platform Screen Door for Energy Efficiency Improvement

เทอดเกียรติ ลิ้มปีทีปการ^{1*} และ พงษ์พัฒน์ บุตรใส²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

² ห้องปฏิบัติการนวัตกรรมการออกแบบและวิเคราะห์ระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

*ติดต่อ: terdkiat.i@en.rmutt.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-549-3430, เบอร์โทรสาร 02-549-4419

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแบบจำลองประตูกันชนซาลารถไฟฟ้า การศึกษาจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์หาตัวแปรที่ส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานในระบบส่งกำลังไม่ว่าจะเป็นที่รางเลื่อนและที่สายพานส่งกำลัง จากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์หาโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดและการปิดประตูที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยอาศัยสมการการเคลื่อนที่เชิงเส้น กฎข้อที่สองของนิวตัน สมการแรงเสียดทาน สมการงานและกำลังงาน จากการศึกษาพบว่าวิธีการลดการสูญเสียพลังงานในระบบส่งกำลังคือ การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฝุ่นละอองที่รางเลื่อนและการใช้สายพานแบบฟันซึ่งให้ประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบโปรไฟล์ความเร็วสองรูปแบบ พบว่า การลดความเร็วในการเปิดประตูลง 20% จะประหยัดพลังงานลง 12.5%

คำหลัก: รถไฟ ประตูกันชนซาลารถไฟฟ้า ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การสูญเสียพลังงาน โปรไฟล์ความเร็ว

Abstract

This paper aims to study the parameters that influence energy loss and energy efficiency improvement in the platform screen door model. The study starts from an analysis of the variables that affect the energy losses in the transmission system both on a sliding guide and a transmission belt. Then, speed profiles of both opening and closing cycle for energy efficiency improvement are identified by using linear equation of motion, Newton's second law, friction, work, and power equations. The study found that to reduce energy losses in the transmission system, dust protection at the sliding guide and a timing belt with high performance must be used. In addition, with comparison of the two speed profiles, it is found that reducing the door opening speed by 20 % will save energy down 12.5%.

Keywords: Train, Platform Screen Door, Energy Efficiency, Energy Loss, Speed Profile

1. บทนำ

ในปัจจุบันสถานีรถไฟฟ้าของ บริษัทขนส่งมวลชน กรุงเทพมหานคร (มหาชน) หรือ BTS ส่วนใหญ่จะมีชานชาลาแบบเปิดโล่งและไม่มีที่กั้นระหว่างชานชาลาและราง ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุผู้โดยสารตกลงไปในรางและถูกรถไฟฟ้าชนได้ จากปัญหาเหล่านี้ทำให้ทางกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นผู้ให้สัมปทานแก่บริษัท BTS เสนอให้มีการติดตั้งประตูกั้นชานชาลารถไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความมั่นใจในความปลอดภัยให้แก่ผู้โดยสารดังแสดงในรูปที่ 1 จากเหตุผลดังกล่าวทางบริษัท BTS จึงได้ติดตั้งประตูดังกล่าวที่สถานีสยามเป็นแห่งแรก โดยอุปกรณ์สำคัญส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีมาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงมาก

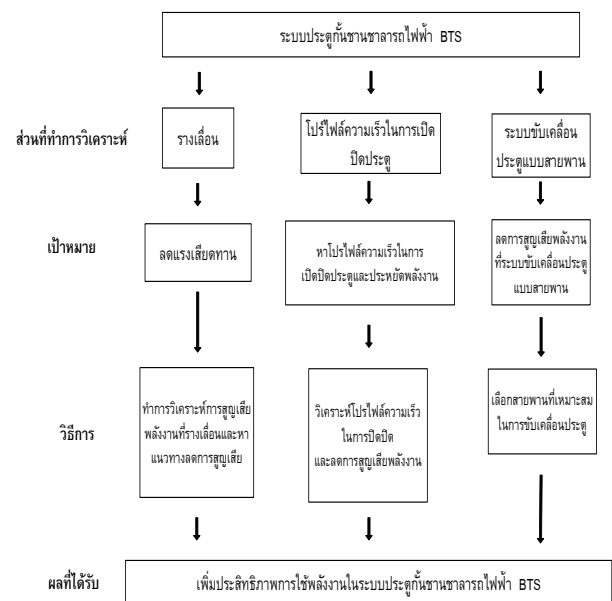


รูปที่ 1 แสดงประตูกั้นชานชาลารถไฟฟ้าของ BTS ที่สถานีสยาม [1]

นอกจากนี้หากดูแผนการพัฒนาระบบขนส่งทางรางของประเทศ [2] พบว่าปัจจุบันประเทศไทยมีแผนการขยายเส้นทางของรถไฟฟ้าจากระบบเดิมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 10 เส้นทาง ดังนั้นถ้าหากมีการติดตั้งประตูกั้นชานชาลารถไฟฟ้าทุกสถานี ภาครัฐหรือผู้ประกอบการเดินรถจะต้องรับภาระค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นค่าการจัดซื้อและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับประตูดังกล่าว

การลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในประตูดังกล่าวนี้มีอยู่หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง การลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบ การเลือกใช้โปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตูที่เหมาะสมหรือการเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบามาใช้

ทำโครงสร้างของประตู เป็นต้น การศึกษาในงานวิจัยนี้จะทำกับแบบจำลองประตูที่มีฟังก์ชันการทำงานใกล้เคียงกับประตูที่ใช้งานจริงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาตัวแปรที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลารถไฟฟ้าซึ่งจะเน้นวิเคราะห์การสูญเสียที่รางเลื่อน (Sliding Guide) และที่สายพานส่งกำลัง รวมไปถึงการหาโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตูที่เหมาะสม รูปที่ 2 แสดงแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งประกอบไปด้วยเป้าหมาย วิธีการ และผลที่ได้รับ



รูปที่ 2 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบประตูกั้นชานชาลารถไฟฟ้า

2. สมมติฐานของงานวิจัยและขอบเขตงานวิจัย

2.1 สมมติฐานงานวิจัย

2.1.1 การศึกษาจะกระทำกับแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาไฟฟ้า

2.1.2 พลังงานที่ใช้ประตูทั้งสองข้างเท่ากัน

2.1.3 การสูญเสียพลังงานของประตูทั้งสองข้างเท่ากัน

2.1.4 ประตูกั้นชานชาลาไฟฟ้าจะทำการเปิดปิดประตูโดยเฉลี่ย 270 ครั้งต่อวัน ที่ระยะห่างระหว่างขบวนรถ 4 นาที (Headway)

2.2 ข้อมูลของแบบจำลองประตูกันชนชาลารถไฟฟ้า

2.2.1 แบบจำลองประตูกันชนชาลารถไฟฟ้าที่มีขนาด $5 \times 150 \times 50 \text{ cm}^3$

2.2.2 น้ำหนักของบานประตูเลื่อน 5 kg

2.2.3 กลไกการขับเคลื่อนประตูเป็นแบบสายพานฟัน (Timing Belt) และพูลี่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 cm อัตราทด 1:1

2.2.4 มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 3 W ความเร็วรอบสูงสุด 120 rpm

2.2.5 ระยะเวลาในการเปิดประตู 3 s และปิดประตู 3 s เพื่อให้สอดคล้องกับการเปิดและปิดประตูของรถไฟฟ้า

2.2.6 ระยะห่างระหว่างบานประตูเลื่อนทั้งสองข้างเมื่อประตูเปิดสุด 67 cm

2.2.7 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณที่รางเลื่อนประมาณ 0.1 [3]

3. ส่วนประกอบทางกลของประตูกันชนชาลารถไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางกลของประตูกันชนชาลารถไฟฟ้า

หมายเลข	ชิ้นส่วน	จำนวน
1	โครงสร้างประตูแบบอยู่กับที่ (Fix Driving Panel)	2 ชุด
2	ประตูเลื่อน (Sliding Door)	2 บาน
3	รางเลื่อน (Sliding Guide)	2 ชุด
4	กลไกการขับเคลื่อนประตูแบบสายพาน (Belt Transmission Mechanism)	2 ชุด
5	มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)	2 ชุด

จากการศึกษาข้อมูลจากสิทธิบัตร [4] พบว่า ส่วนประกอบหลักของประตูกันชนชาลารถไฟฟ้าประกอบไปด้วย 5 ส่วน ตารางที่ 1 และรูปที่ 3 แสดงข้อมูลและภาพถ่ายของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ของบทความนี้



รูปที่ 3 แบบจำลองประตูกันชนชาลารถไฟฟ้าที่ทำจากอะลูมิเนียม

4. การหาค่ากำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า

ในแบบจำลองระบบประตูกันชนชาลารถไฟฟ้าจะเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากควบคุมการทำงานของมอเตอร์ได้ง่าย เมื่อทราบโหลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของบานประตู กำลังของมอเตอร์สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 1

$$P = Fv \quad (1)$$

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า (W)

F คือ แรงที่ใช้ในการเลื่อนประตู (N)

v คือ ความเร็วของประตู (m/s)

จากขอบเขตของงานวิจัยพบว่า โหลดมีขนาด 5 kg สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.1 ซึ่งคิดเป็นแรงที่ต้องเอาชนะเท่ากับ 4.905 N ถ้าคิดที่ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของบานประตู 0.191 m/s ดังนั้นกำลังมอเตอร์ที่จะใช้เท่ากับ 0.94 W แต่มอเตอร์ดังกล่าวไม่มีขายในท้องตลาดจึงเลือกมอเตอร์ไฟฟ้า 3 W

5. การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของประตูกั้น ขนชาลารถไฟฟ้า

จากวัตถุประสงค์ของบทความนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้
แบบจำลองที่มีขนาด $5 \times 150 \times 50 \text{ cm}^3$ ซึ่งขนาด
ดังกล่าวเป็นขนาดที่ย่อลงมาประมาณ 3 เท่า [5] เพื่อ
ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และสามารถมองเห็นภาพได้
อย่างชัดเจน รูปที่ 4 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

แรงเสียดทาน (ที่รางเลื่อนและที่สายพาน)

น้ำหนักของบานประตูเลื่อน

โปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตู

รูปที่ 4 ตัวแปรที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงานของประตู
กั้นขนชาลารถไฟฟ้า

5.1 การวิเคราะห์และแนวทางในการลดการ สูญเสียพลังงานในการที่บริเวณรางเลื่อน

รางเลื่อนเป็นชิ้นส่วนที่มีหน้าที่บังคับให้ประตู
เลื่อนไปตามแนวเส้นตรงซึ่งมีส่วนประกอบคือ ตัวราง
(Rail) และตัวเลื่อน (Sliding) ในตัวเลื่อนนี้ก็จะมียูกปืน
(Bearing) เป็นตัวช่วยให้ตัวรางที่ยึดติดกับบานประตู
เลื่อนสามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นตรงได้ จากการ
วิเคราะห์พบว่า มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นประมาณ 4.905
N นอกจากนี้ยังพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน
ประกอบด้วยน้ำมันหรือจารบีที่ใช้ในการหล่อลื่น
ความเร็วในการเลื่อน อุณหภูมิการใช้งาน ฝุ่นละออง
และการออกแบบฐานยึดตัวรางหรือตัวเลื่อนไม่ให้เกิด
การขัดกันมากเกินไป



รูปที่ 5 บริเวณที่ทำการวิเคราะห์แรงเสียดทานของ
รางเลื่อน

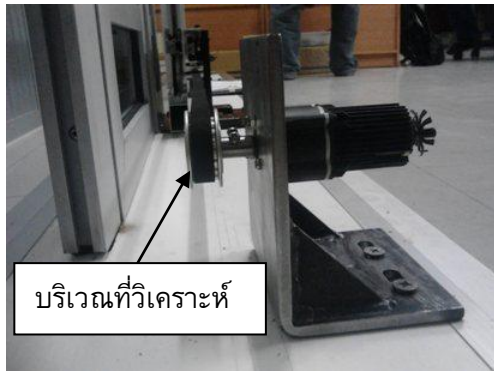
แนวทางในการลดการสูญเสียที่รางเลื่อนนั้น
สามารถทำได้ดังนี้

1) การเลือกใช้สารหล่อลื่นที่เหมาะสมกับสภาวะ
การทำงานของประตูดังกล่าวจะช่วยลดแรงเสียดทาน
ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของบานประตูได้ โดยปกติแล้ว
ความเร็วต่ำ ๆ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของ
สารหล่อลื่นไม่ควรเกิน 38°C [6]

2) การออกแบบรางเลื่อนควรออกแบบให้ตัว
เลื่อนและรางประกบกันพอดีเพื่อไม่ให้เกิดการขัดกัน
ระหว่างตัวเลื่อนและราง และควรมีฝาครอบเพื่อ
ป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองเข้าไปที่รางเลื่อนซึ่งอาจส่งผล
ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย

5.2 การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานที่ระบบส่ง กำลังแบบสายพาน

ระบบส่งกำลังของประตูในที่นี้จะเลือกใช้แบบ
สายพานฟัน (Timing Belt) เนื่องจากการปรับเปลี่ยน
อุปกรณ์ต่างๆทำได้ง่าย ไม่มีความซับซ้อน และม
ีความแม่นยำในการส่งกำลังสูงดังแสดงในรูปที่ 6 จาก
การศึกษาพบว่า เกิดการสูญเสียพลังงานที่บริเวณ
สายพานน้อยมากเนื่องจากไม่เกิดการสลิป (Slip) และ
การครีพ (Creep) ของสายพาน อีกทั้งประสิทธิภาพใน
การส่งกำลังอยู่ในช่วง 97 – 99 % [7] อย่างไรก็ตาม
หากมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดอย่างทันทีทันใด
(Shock Load) อาจจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ฟันของ
สายพานได้



รูปที่ 6 บริเวณที่วิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของสายพาน

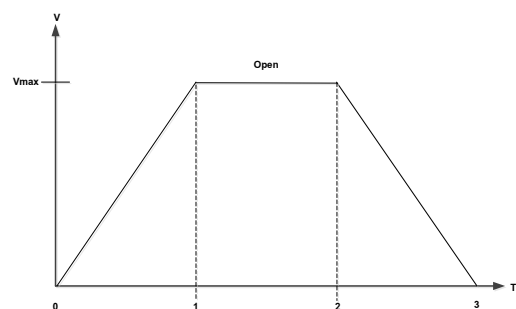
5.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานจากโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตู

การวิเคราะห์การใช้พลังงานของโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตูนั้นจำเป็นต้องทราบระยะห่างระหว่างบานประตูกันชนชาลารถไฟฟ้าและระยะเวลาในการเปิดและปิดประตูของรถไฟฟ้า จากขอบเขตของงานวิจัยทำให้ทราบถึงระยะห่างระหว่างบานประตูทั้งสองข้างคือ 67 cm ในส่วนเวลาการเปิดและปิดประตูของรถไฟฟ้า BTS นั้น ผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่เพื่อจับเวลาพบว่า เวลาในการเปิดและปิดประตูใช้เวลาประมาณ 3 s เท่ากัน จากการเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวกับตารางการเดินรถไฟฟ้า BTS [8] พบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยที่รถไฟฟ้าห่างกันในแต่ละขบวนช้าที่สุดประมาณ 4 นาที หรือคิดเป็น 270 ครั้ง/วัน ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 7

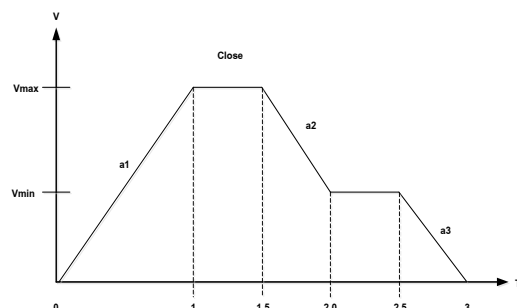


รูปที่ 7 การลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่สถานีรถไฟฟ้า BTS สถานีสยาม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การเปิดประตูโดยทั่วไปของประตูดังกล่าว ความเร่งของประตูจากจุดเริ่มต้นไปถึงความเร็วคงที่ในช่วงแรกจะใช้เวลามากเนื่องจากระยะทางในตำแหน่งเปิดและปิดของประตูนั้นอยู่ไกล เมื่อประตูอยู่ใกล้ตำแหน่งปิดมันจะเบรคตัวและลดความเร็วลงอย่างมากเพื่อเกิดเหตุการณ์ที่ผู้โดยสารติดอยู่ระหว่างบานประตูเลื่อน การลดความเร็วของประตูลงก็เพื่อป้องกันประตูหนีผู้โดยสาร ซึ่งความเร็วนั้นลดลงจากตำแหน่งเท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่งปิดของประตู [9]



(ก) ตอนเปิดประตู



(ข) ตอนปิดประตู

รูปที่ 8 โปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตู

การคำนวณหาความเร็วในการเปิดปิดประตูนั้นจะใช้หลักการทางกลศาสตร์วิศวกรรมภาคพลศาสตร์ ดังสมการที่ 2

$$\int v dt = \int ds \quad (2)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของประตู (m/s)
 s คือ ระยะทาง (N)
 t คือ เวลา (s)

ในการหาแรงในช่วงออกตัวหรือเบรก และแรงในช่วงความเร็วคงที่พร้อมด้วยงานที่เกิดขึ้น และพลังงานสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 3 , 4 , 5 และ 6

$$F_a = ma \quad (3)$$

เมื่อ F_a คือ แรงเนื่องจากอัตราเร่ง (N)
 m คือ มวลของบานประตูเลื่อน (kg)
 a คือ อัตราเร่ง (m/s^2)

$$F_f = \mu N \quad (4)$$

เมื่อ F_f คือ แรงเสียดทาน (N)
 μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
 N คือ แรงตั้งฉากของบานประตูเลื่อน (N)

$$W_f = F \cdot s \quad (5)$$

เมื่อ W_f คือ งาน (J)
 F คือ แรง (N)
 s คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ (m)

$$P = \frac{W_f}{t} \quad (6)$$

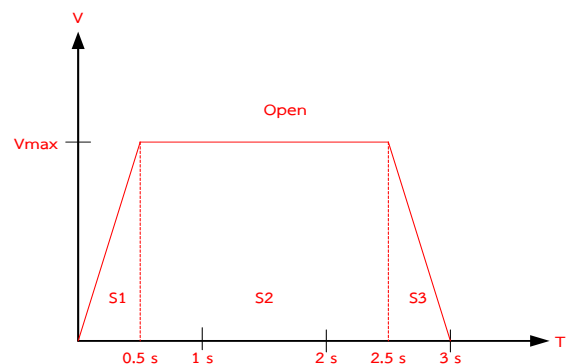
เมื่อ P คือ กำลังงาน (W)
 t คือ เวลา (s)

รูปที่ 8 (ก) เป็นโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดประตูของแบบจำลองในระยะเวลา 3 s เป็นระยะทาง 0.335 m จากการวิเคราะห์พบว่า ความเร็วสูงสุดของประตูเท่ากับ 0.1675 m/s มีอัตราเร่งและอัตราหน่วงเท่ากับ 0.1675 m/s^2 ดังนั้นใช้กำลังงานไปทั้งสิ้น 0.96 W

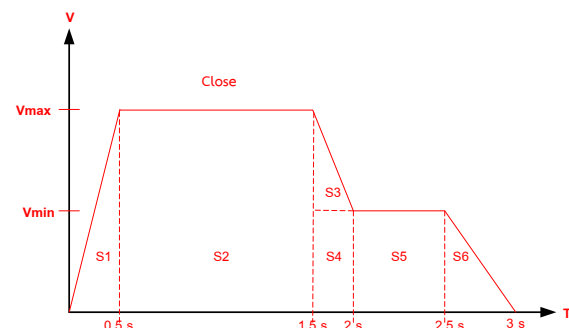
ส่วนรูปที่ 8 (ข) เป็นโปรไฟล์ความเร็วในการปิดประตูซึ่งใช้เวลาและระยะทางเดียวกับรูปที่ 8 (ก) แต่

จะต่างกันตรงที่ความเร็วจะลดลงครึ่งหนึ่งก่อนประตูจะปิดสนิทเพื่อป้องกันการหนีผู้โดยสาร [9] จากการวิเคราะห์พบว่า ความเร็วสูงสุดและต่ำสุดของประตูเท่ากับ 0.191 m/s และ 0.0955 m/s ตามลำดับ โดยมีอัตราเร่งและอัตราหน่วงเท่ากับ 0.191 m/s^2 ดังนั้นใช้กำลังงานไปทั้งสิ้น 1.60 W คิดเป็นกำลังงานรวมทั้งเปิดและปิดเท่ากับ 2.56 W

แนวทางในการลดการใช้พลังงานสามารถทำได้โดยการลดความเร็วในการเปิดและปิดประตูลงดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) และ (ข)



(ก) ตอนเปิดประตู



(ข) ตอนปิดประตู

รูปที่ 9 การปรับปรุงโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดและปิดประตู

จากรูปที่ 9 (ก) และ (ข) พบว่า เมื่อลดความเร็วสูงสุดลง 20% หรือที่ 0.134 m/s ของการเปิดประตูสามารถลดกำลังงานลงไป 12.5% ส่วนการปิดประตูนั้นลดการใช้กำลังงานลงไม่เกิน 0.6% โดยคิดเป็นกำลังงานรวมทั้งเปิดและปิด 2.43 W

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้กำลังงานของบานประตูของแบบจำลอง 1 บาน และเปิดปิด 1 ครั้ง

เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงสถานีรถไฟ 1 สถานี จะมีการติดตั้งบานประตูทั้งหมด 8 บาน ในหนึ่งฝั่งหรือ 16 บาน ทั้งสองฝั่ง อีกทั้งจะเปิดปิดประมาณ 270 ครั้งต่อวันต่อบานประตูหนึ่งบาน ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานควรลดความเร็วในช่วงการเปิดประตูจะเห็นผลมากที่สุด

6. สรุป

ในบทความนี้ทำการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแบบจำลองระบบประตูกันชนขบวนรถไฟ โดยเน้นการวิเคราะห์ที่รางเลื่อน กลไกการขับเคลื่อนประตูแบบสายพาน และโปรไฟล์ความเร็วในการเปิดปิดประตู ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การลดการสูญเสียที่รางเลื่อนนั้นควรออกแบบให้ตัวยึดรางประกบกับตัวเลื่อนให้พอดีเพื่อป้องกันการขัดกันของรางและตัวเลื่อน นอกจากควรมีมีฝาครอบรางเลื่อนเพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปที่รางเลื่อนด้วย

2) ในการเลือกใช้กลไกการขับเคลื่อนประตูแบบสายพานนั้น ควรเลือกใช้แบบสายพานไทม์มิ่งเนื่องจากประสิทธิภาพในการส่งกำลังอยู่ในช่วง 97 - 99 % แต่ต้องระมัดระวังการเปลี่ยนแปลงแรงบิดอย่างทันทีทันใด (Shock Load) เพราะอาจจะเกิดความเสียหายแก่ฟันของสายพานได้

3) การลดการใช้พลังงานสามารถทำได้โดยการลดความเร็วในการเปิดประตูลง 20% ซึ่งทำให้พลังงานที่ใช้ลดลงไป 12.5%

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ) ให้ทุนสนับสนุน ประจำปี 2555 ในงานวิจัยด้านระบบประตูกันชนขบวนรถไฟ และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัทขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (2556). ประตูกันชนขบวนรถไฟ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา
http://www.bts.co.th/eMail_Event/achieve_ebook/032013/eBook_Enews.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 06/04/2556.
- [2] ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ (2556). รายงานแนวทางการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศด้านการขนส่ง, หน้า 12
- [3] Misumi Corporation. (2005-2006). *Sliding Guide*, Misumi Corporation, Japan.
- [4] U.S. Patent No. 8,183,811B2,2012
- [5] Westinghouse Platform Screen Doors. (2013). *Platform screen door*, URL:
<http://www.platformscreendoors.com/en/products/pd/platformscreendoors.jsp>, access on 09/02/2013.
- [6] สมยศ จันเกษม, คิโยคัตสึ ซึเงะ (2523). การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว
- [7] Anibal De Almeida, Steve Greenberg. (1995). Technology assessment: energy – efficiency belt transmission, *Energy and Building*, 1995, pp. 245 – 253.
- [8] บริษัทขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (2556). ตารางการเดินรถไฟ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา
<http://www.bts.co.th/customer/th/pdf/ServiceTimetable.pdf>, เข้าดูเมื่อวันที่ 06/04/2556.
- [9] U.S. Patent No. 8,183,811B2,2012