การวิเคราะห์และจัดทำแบบจำลองตารางการให้บริการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน

Mass Transit Timetable Modeling and Evaluation

กานต์นภัส ช้ำเกตุ วเรศรา วีระวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบขนส่งมวลชนได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐให้มีการขยายเส้นทางรถไฟฟ้าในเขตกรุงเทพและปริมณฑลเพื่อรองรับการเติบโตของชุมชนเมือง งานวิจัยนี้ศึกษา เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนต่อขยายใต้ โดยมีระยะทางรวมประมาณ 35 กิโลเมตร มีสถานีให้บริการบนเส้นทาง 31 สถานี ช่วงสถานีหมอชิตถึงสถานีเคหะสมุทรปราการ โดยศึกษารูปแบบการเดินรถด้วยระบบ Communication Based Train Control (CBTC) ที่เหมาะสม โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ ที่พิจารณาปัจจัย ลักษณะโครงสร้างเส้นทาง ตำแหน่งการกลับรถ ตัวรถไฟฟ้า และความถี่ในการปล่อยรถ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการให้บริการ จากการจำลองสถานการณ์พบว่ารูปแบบการเดินรถระยะสั้นสามารถใช้เพื่อตอบโจทย์เส้นทางที่มีความแตกต่างกันของปริมาณผู้โดยสารของ 2 พื้นที่ ดังกรณีรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนต่อขยายใต้ได้ แต่ทั้งนี้การประยุกต์ใช้รูปแบบการเดินรถระยะสั้น โดยเฉพาะที่ความถี่ในการปล่อยรถเพิ่มขึ้นต้องพิจารณาการบริหารจัดการรูปแบบการกลับรถ เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาความล่าช้าสะสม ในกรณีที่ปริมาณผู้โดยสารส่วนเดิมกับส่วนต่อขยายมีความแตกต่างถึง 2เท่า ควรประยุกต์ใช้การเดินรถระยะสั้นแบบ2ครั้ง (2 short turnings)

คำสำคัญ : ระบบขนส่งมวลชน, รูปแบบการเดินรถระยะสั้น, การจำลองสถานการณ์

Abstract

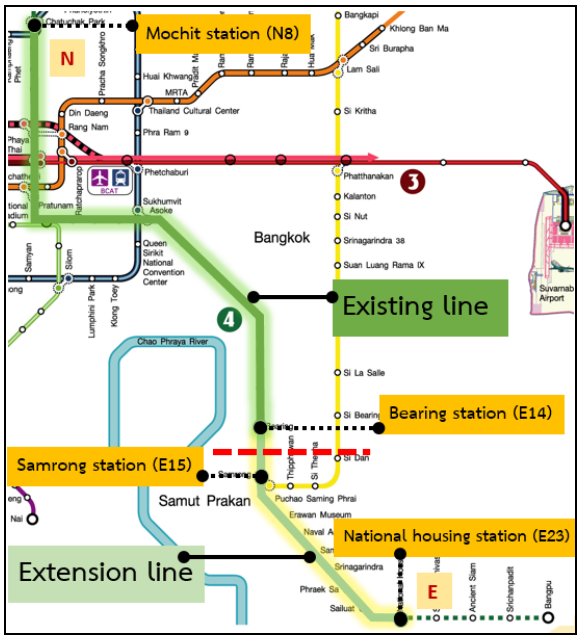
The mass transit system is supported by Thai Government which expands its in Bangkok Metropolitan Region for serving the growing urban areas. This research focused on the south extension of the metro green line, with total distances of about 35 kilometers and 31 stations (Mochit station to National Housing station). This research studied operation pattern by Communication Based Train Control systems (CBTC) with an application of a simulation method which considered infrastructure, turn back point, rolling stock, and headway (service) that all affect the performance of service. Simulation results showed that a short turn operation solved passenger unbalances that occur between the existing line and the extension line. However, “knock on delay” under the short turn operations, was possible with the increasing of a headway, so the operator of the mass transit should consider turn back point management to reduce the impact of the knock on delay. Hence, in case of double passenger unbalance, the operators should apply 2 short turnings.

Keywords : Mass transit, Short-turn operation, Simulation

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบขนส่งมวลชนทางรางได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐบาล ทำให้เกิดเส้นทางรถไฟฟ้าสายใหม่และโครงการส่วนต่อขยายเกิดขึ้นหลายเส้นทาง กรณีศึกษาเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนเดิมมีระยะทางประมาณ 22 กิโลเมตร มีสถานีทั้งหมด 22 สถานีให้บริการเดินรถใน 2 ทิศทาง คือ จากสถานีหมอชิตถึงสถานีแบริ่ง(N-E) และจากสถานีแบริ่งถึงสถานีหมอชิต(E-N) ในอนาคตเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวจะถูกต่อขยายไปทางใต้ เป็นระยะทาง 13 กิโลเมตร และสถานีที่ให้บริการเพิ่มเติม 9 สถานี ซึ่งทำให้เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวรวมส่วนต่อขยายใต้มีระยะทางทั้งหมดประมาณ 35 กิโลเมตร มีสถานีที่ให้บริการบนเส้นทางทั้งหมด 31 สถานีช่วงสถานีหมอชิตถึงสถานีเคหะสมุทรปราการ จากกรณีศึกษาพบว่าการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารเส้นทางส่วนเดิมกับเส้นทางส่วนต่อขยาย มีปัญหาเรื่องปริมาณผู้โดยสารไม่สมดุลกัน (Passenger unbalance problem) โดยเส้นทางส่วนต่อขยายจะมีผู้โดยสารน้อยกว่าเส้นทางส่วนเดิม ดังนั้นหากให้บริการในรูปแบบปัจจุบันที่เดินรถจากต้นทางไปยังปลายทางและหยุดรับส่งผู้โดยสารทุกสถานีจะส่งผลต่ออรรถประโยชน์การใช้งานรถไฟฟ้าในเส้นทางส่วนต่อขยายที่มีผู้โดยสารน้อยกว่า

ในการบริหารจัดการเดินรถในเส้นทางส่วนต่อขยายให้เกิดอรรถประโยชน์การใช้งานที่สูงขึ้นควรต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินรถ อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการเส้นทางเดินรถมีความซับซ้อนเนื่องจากต้องพิจารณาปัจจัยที่หลากหลายทั้งประเภทและปริมาณรถที่ให้บริการบนเส้นทาง โครงสร้างพื้นทาง ความถี่ในการให้บริการ และระบบอาณัติสัญญาณ โดยทั่วไปแบบจำลองสถานการณ์สามารถนำไปใช้เพื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินรถที่ให้บริการและครอบคลุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินรถได้หลากหลายในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังไม่สามารถพิจารณาปัจจัยได้ครบถ้วน [1] งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์รูปแบบการเดินรถที่เหมาะสมสำหรับเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนต่อขยายใต้เพื่อตอบโจทย์เรื่องปริมาณผู้โดยสารที่ไม่สมดุลโดยพิจารณาความถี่ในการให้บริการกับเส้นทางการให้บริการสายสีเขียวเดิมในปัจจุบัน



รูปที่ 1 เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนต่อขยายใต้

(ที่มา: www.mrta.co.th)

1.1 รูปแบบการเดินรถ (Train operation) รูปแบบการเดินรถของระบบรางสามารถแบ่งได้ดังนี้[2] 1.เดินรถเที่ยวเปล่า (Deadheading) คือ รถไฟจะเดินรถจากต้นทางไปยังสถานีที่กำหนดโดยที่ระหว่างทางจะไม่หยุดรับผู้โดยสาร 2. การกักรถ (Holding) คือ การเพิ่มเวลาในการจอดรถให้กับรถไฟ ที่สถานีหรือตำแหน่งที่กำหนดไว้ 3.กำหนดพื้นที่หยุดรถ (Zone scheduling) คือ การกำหนดพื้นที่บนเส้นทางในการหยุดรับ-ส่งผู้โดยสารที่สถานี 4.กำหนดสถานีหยุดรถ (Stop-skipping) คือ การกำหนดสถานีที่จะหยุดรับ-ส่ง ผู้โดยสาร 5.การเดินรถระยะสั้น (Short turning) คือ รถไฟจะเดินรถด้วยระยะทางที่

สั้นกว่าระยะทางปกติ และมีการกำหนดตำแหน่งในการกลับรถเพื่อเปลี่ยนทิศทางการเดินรถ ทั้งนี้รูปแบบการเดินรถแต่ละรูปแบบจะถูกประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ ซึ่งในกรณีปัญหาผู้โดยสารไม่สมดุลกันสามารถแก้ปัญหาได้จากทุกรูปแบบยกเว้นการกักรถ ซึ่งการดำเนินงานที่สอดคล้องและสามารถประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์ของกรณีศึกษา คือ Short turning ซึ่งเป็นการเดินรถระยะทางสั้น มีการกลับรถระหว่างทาง ตรงจุดกลับรถ (Turn back point) และมีการหยุดรถเพื่อรับ-ส่งผู้โดยสารทุกสถานี

งานวิจัยที่ศึกษารูปแบบการเดินรถแบบ Short turning มีปัญหาลักษณะเหมือนกันคือ ปริมาณผู้โดยสารไม่สมดุลกันของพื้นที่บนเส้นทางเดินรถ จึงประยุกต์ใช้ Short turning เพื่อเพิ่มความถี่ในการให้บริการบนพื้นที่ซึ่งมีผู้โดยสารจำนวนมาก งานวิจัยที่ศึกษาการเดินรถแบบ Short turning สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้ 1. ศึกษาการเดินรถแบบ Short turning เท่านั้น โดยศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านเวลาการรอคอยของผู้โดยสาร โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ [3] และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์[4] ในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าการเดินรถแบบ Short turning สามารถลดเวลาการรอคอยของผู้โดยสารได้ 2.ประยุกต์ใช้ Short turning ร่วมกับการเดินรถแบบอื่น ดังนี้ ประยุกต์ใช้กับการกักรถ เนื่องจาก Short turning ส่งผลให้ความถี่ในการให้บริการเพิ่มขึ้น การกักรถจะช่วยควบคุมให้ความถี่ในการบริการเป็นไปตามที่กำหนดและควบคุมให้เหมาะสมกับการให้บริการได้ [5] และประยุกต์ใช้กับการเดินรถเที่ยวเปล่า ซึ่งเป็นสนับสนุนการให้บริการร่วมกัน เนื่องจากรถสามารถไปถึงสถานีเป้าหมายได้เร็วด้วยการเดินรถเที่ยวเปล่า และวนรถได้เพิ่มมากขึ้นจากระยะทางที่สั้นลงด้วยการเดินรถแบบ Short turning จึงทำให้สถานีเป้าหมายมีความถี่ในการให้บริการเพิ่มขึ้น [6] ดังนั้นรูปแบบการเดินรถ Short turning จึงสอดคล้องกับปัญหาของงานวิจัยที่พื้นที่ส่วนเดิมมีความต้องการของผู้โดยสารมากกว่าเส้นทางส่วนต่อขยาย

1.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation) แบบจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Synchronous microscopic simulation model คือ การจำลองสถานการณ์ในระดับที่มีรายละเอียดของระบบ เช่น ตำแหน่งสัญญาณไฟ และตำแหน่งประแจ ทั้งนี้การจำลองสถานการณ์จะไม่ให้เกิดการชนกันของรถไฟในระบบ องค์ประกอบหลักของแบบจำลองประกอบด้วย 3 ส่วน คือ โครงสร้างเส้นทาง ตัวรถไฟ และความถี่หรือตารางเวลาการเดินทาง

2. วิธีการดำเนินงาน

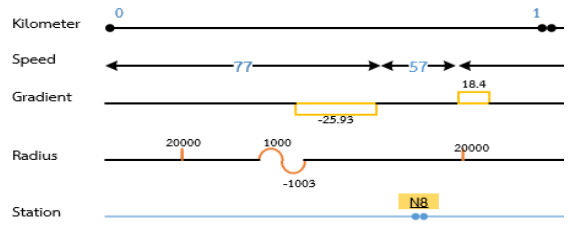
2.1 การศึกษาปัญหา (Problem formulation) เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนต่อขยายมีการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่น้อยกว่าส่วนเดิม ทำให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลกันของผู้โดยสารของ 2 พื้นที่ จึงประยุกต์ใช้รูปแบบการเดินรถ Short turning ในการพิจารณารูปแบบการเดินรถที่เหมาะสมด้วยแบบจำลองสถานการณ์ภายใต้การดำเนินงานปัจจุบัน ดังนี้ ควบคุมการเดินรถแบบ Communication Based Train Control (CBTC) คือ รถไฟฟ้าจะสื่อสารกับระบบควบคุมด้วยคลื่นความถี่เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและแจ้งตำแหน่งของรถไฟ ซึ่งข้อมูลที่สื่อสารกันจะใช้ในการควบคุมการเดินรถให้เป็นไปอย่างปลอดภัย และรถไฟฟ้า (Electric Multiple Unit: EMU) ที่ใช้คือ Bombadier MOVIA series สามารถรองรับผู้โดยสารได้ 1148 คนต่อขบวน และกำหนดจุดกลับรถสำหรับรูปแบบการเดินรถแบบ Short turning ดังนี้ ตำแหน่งประแจ (Crossover) และ ตำแหน่ง Pocket track

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection) และ ออกแบบแนวคิดภาพรวมของโครงสร้างเส้นทาง (Conceptual layout) การเดินรถประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ โครงสร้างเส้นทาง ตัวรถไฟฟ้า และความถี่ในการปล่อยรถ ซึ่งมีตัวอย่างข้อมูลดังนี้

1. โครงสร้างเส้นทาง -- ตำแหน่งสถานี ตำแหน่งสัญญาณไฟ ความเร็วสูงสุดในแต่ละช่วงเส้นทาง
2. ตัวรถไฟ -- เครื่องยนต์ น้ำหนักรถไฟ ระบบไฟฟ้า

3. ความถี่หรือตารางเวลาการเดินทาง -- ความถี่ในการปล่อยรถ ระยะเวลาที่จอดที่สถานี

ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลและจำลองภาพรวมของเส้นทางอย่าง ความโค้ง ความชัน ความเร็ว ตำแหน่งสถานี โดยแสดงรายละเอียดของข้อมูลตามหลักกิโลเมตร จะทำให้เข้าใจภาพรวมการดำเนินงาน ซึ่งสอดคล้องกับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2

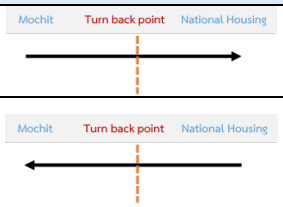
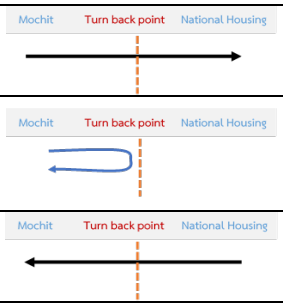
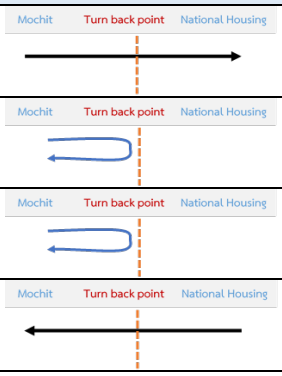


รูปที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างเส้นทาง

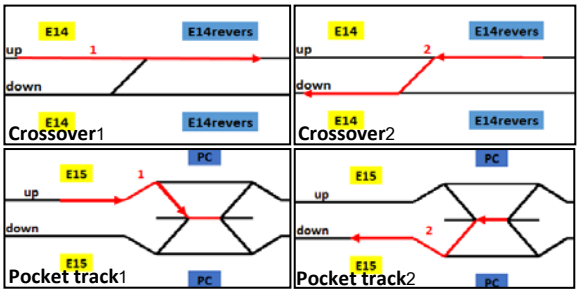
2.3 การออกแบบสถานการณ์ (Scenario design) พิจารณาปัจจัยที่ปรับเปลี่ยน 3 ปัจจัย คือ รูปแบบการเดินรถ จุดกลับรถ และความถี่ในการปล่อยรถ ซึ่งสามารถ อธิบายได้ ดังนี้

รูปแบบการเดินรถ (Operation pattern) มี 3 รูปแบบ ดังนี้

ตารางที่ 1 รูปแบบการเดินรถ 3 รูปแบบ

รูปแบบ	เส้นทางการเดินรถ	รายละเอียด
ปัจจุบัน		รถทุกคันเดินรถตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง และหยุดรับส่งผู้โดยสารทุกสถานี
1 short turning		การเดินรถจะสลับรูปแบบปัจจุบัน กับ Short turning แบบคันเว้นคัน และหยุดรับส่งผู้โดยสารทุกสถานี
2 short turning		การเดินรถจะสลับรูปแบบปัจจุบันกับ Short turning แบบคันเว้น2คัน (2 คัน= short turn) และหยุดรับส่งผู้โดยสารทุกสถานี

จุดกลับรถ (Turn back point) กำหนดจุดกลับในส่วนของรอยต่อของเส้นทางส่วนเดิมกับส่วนต่อขยาย โดยมีจุดกลับรถที่เป็นไปได้ 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งประแจและ ตำแหน่ง Pocket track สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งรูปแบบการกลับรถจะส่งผลต่อการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์รูปแบบการเดินรถที่เหมาะสม



รูปที่ 3 รูปแบบการกลับรถที่ตำแหน่งกลับรถ

ความถี่ในการปล่อยรถ (Headway) พิจารณาเลือกความถี่น้อยที่สุดและมากที่สุดของการให้บริการช่วงเวลาเช้าในปัจจุบันและน้อยที่สุดตามแผน ซึ่งประกอบด้วย 3 ค่าความถี่ในการให้บริการ ดังนี้ 2:40 และ 6:30 และ 1:30 นาที โดยจะมีการปล่อยแบบคงที่ คือ การปล่อยรถแต่ละขบวนจะปล่อยด้วยความถี่ที่เท่ากัน

จากปัจจัยที่ทำการปรับเปลี่ยนทั้ง 3 ปัจจัยคือ รูปแบบการเดินรถ จุดกลับรถและความถี่ในการปล่อยรถ สามารถสรุปสถานการณ์ที่พิจารณาได้ทั้งหมด 15 สถานการณ์ ดังตารางที่2

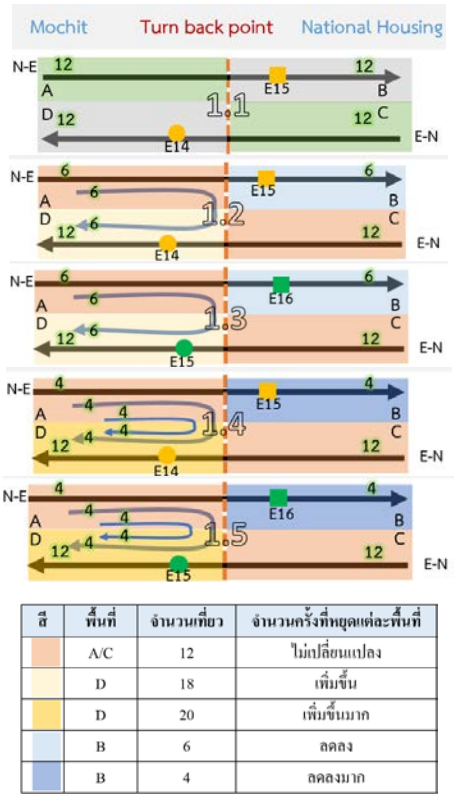
ตารางที่ 2 สรุปสถานการณ์จาก การปรับเปลี่ยนปัจจัย

สถานการณ์	การปรับเปลี่ยนปัจจัย		
	ความถี่	รูปแบบการเดินรถ	จุดกลับรถ
S.I.I	2:40	ปัจจุบัน	-
S.I.II	2:40	1 short turning	ประแจ
S.I.III	2:40	1 short turning	Pocket track
S.I.IV	2:40	2 short turning	ประแจ
S.I.V	2:40	2 short turning	Pocket track
S.II.I	1:30	ปัจจุบัน	-
S.II.II	1:30	1 short turning	ประแจ
S.II.III	1:30	1 short turning	Pocket track
S.II.IV	1:30	2 short turning	ประแจ
S.II.V	1:30	2 short turning	Pocket track
S.III.I	6:30	ปัจจุบัน	-
S.III.II	6:30	1 short turning	ประแจ
S.III.III	6:30	1 short turning	Pocket track
S.III.IV	6:30	2 short turning	ประแจ
S.III.V	6:30	2 short turning	Pocket track

2.3 การสร้างแบบจำลอง (Model building) การจำลองสถานการณ์ จะจำลองเหตุการณ์ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 7:00-9:00 น. ทั้งหมด15สถานการณ์บนโปรแกรม Opentrack 1.8.3 การพิสูจน์ผลจะพิจารณาเวลาเดินรถตลอดของเส้นทางส่วนเดิมกับผลจากแบบจำลองสถานการณ์ด้วยค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ซึ่งทิศทาง N-E คือ 5.4% และที่ทิศทาง E-N คือ 7.3%

3. การวิเคราะห์ผลจำลองสถานการณ์

3.1 การคาดการณ์ผลการจำลองสถานการณ์ จากการปรับเปลี่ยนปัจจัย ส่งผลต่อจำนวนครั้งที่หยุดให้บริการแต่ละพื้นที่เนื่องจากจำนวนเที่ยวเดินรถ (Course) ที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 3 **ตัวอย่าง:** การเดินรถแบบปัจจุบัน (1.1) จะปล่อยรถจาก2 ทิศทาง ทิศทางละ12 เที่ยว หากเดินรถด้วย short turning ที่พื้นที่ C จะมีจำนวนเที่ยว เท่าเดิม เนื่องจากจะเดินรถแบบปัจจุบันเท่านั้น ส่วนพื้นที่ A จะมีจำนวนเที่ยว เท่าเดิมเช่นกัน แต่มาจากการเดินรถแบบปัจจุบันและ Short turning ส่วนพื้นที่ B จะมีจำนวนเที่ยวลดลง เนื่องจากการกลับรถทำให้พื้นที่นี้รถที่ผ่านจะเป็นแบบปัจจุบัน ซึ่งจำนวนเที่ยวลดลง 50% และ 66.7% ตามรูปแบบการเดินรถ ทั้งนี้จำนวนที่ลดลงจะเพิ่มขึ้นในพื้นที่ D ตัวอย่างเช่น กำหนดให้มีการปล่อยเที่ยวรถ จำนวน 12 เที่ยว ซึ่งความถี่ที่ปล่อยในแต่ละเที่ยวจะเท่ากัน (ความถี่คงที่) โดยตำแหน่งของการปล่อยเที่ยวรถคือ ต้นทางหมอชิต และต้นทางเคหะสมุทรปราการ ทั้งนี้การปล่อยให้รถไฟเดินรถจนสุดทางโดยไม่กำหนดเวลา ด้วยการเดินรถในรูปแบบปัจจุบันจะทำให้ทุกพื้นที่มีจำนวนเที่ยวรถผ่านเท่ากันทุกเที่ยวคือ12เที่ยวดังกรณีที่1.1 แสดงดังรูปที่ 4



สี	พื้นที่	จำนวนเที่ยว	จำนวนครั้งที่หยุดแต่ละพื้นที่
	A/C	12	ไม่เปลี่ยนแปลง
	D	18	เพิ่มขึ้น
	D	20	เพิ่มขึ้นมาก
	B	6	ลดลง
	B	4	ลดลงมาก

รูปที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนครั้งที่หยุดให้บริการแต่ละพื้นที่

แต่หากเดินรถด้วยรูปแบบการเดินรถแบบ short turning จะทำให้มีจำนวนเที่ยวรถที่ผ่านแต่ละพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปดังกรณีรูปแบบการเดินรถแบบ 1 short turning (กรณี1.2) ดังรูปที่ 4 พื้นที่A และC มีจำนวนเที่ยวรถผ่าน 12 เที่ยว ส่วนพื้นที่ B จะมีจำนวนเที่ยวรถที่ผ่านลดลง คือ 6 เที่ยว เนื่องจากมีการกลับรถระหว่างทางทำให้มีรถที่ผ่านเข้าพื้นที่ B ลดลง

ในขณะที่พื้นที่ D มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 18 เที่ยว เนื่องจากจำนวนเที่ยวที่กลับรถและจำนวนเที่ยวที่เดินรถแบบปัจจุบันจะรวมกันในพื้นที่ D นอกจากนี้รูปแบบการเดินรถอื่นแสดงดังรูปที่ 4

3.2 ผลการจำลองสถานการณ์ จำนวนครั้งที่หยุดให้บริการเพื่อรับ-ส่งผู้โดยสาร พบว่าเมื่อเดินรถที่ความถี่ในการปล่อยรถเพิ่มขึ้น (1:30 นาที) จะส่งผลให้เกิดความล่าช้า (Delay) ซึ่งแบ่งได้ 2 ประเภท 1.ความล่าช้าที่ต้นทางการปล่อยรถที่สถานี (N8 และE23) เนื่องจากปล่อยรถล่าช้า 2.ความล่าช้าสะสม (Knock on delay) ที่ระหว่างเส้นทางในกรณีการเดินรถแบบ Short turning เนื่องจากการจองเส้นทางของรถคันหน้าทำให้ไม่สามารถเดินรถได้ส่งผลให้รถคันถัดไปเกิดการล่าช้าด้วย

พื้นที่ B และ D ความถี่ในการปล่อยรถ 1:30 2:40 6:30 นาที การเดินรถแบบ 1 short turning และ 2 short turning มีจำนวนครั้งที่หยุดแต่ละพื้นที่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ คือพื้นที่ B จำนวนครั้งในการที่หยุดให้บริการจะลดลง ส่วนพื้นที่ D จำนวนครั้งในการให้บริการจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเดินรถแบบ 2 short turning จะมีผลกระทบมากกว่าแบบ 1 short turning

พื้นที่ A และ C ความถี่ในการปล่อยรถ 2:40 6:30 นาที มีจำนวนครั้งที่หยุดแต่ละพื้นที่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจากการเดินรถในพื้นที่ A และ C เป็นพื้นที่ที่ไม่มีผลกระทบจากรูปแบบการเดินรถ Short turning ดังรูปที่4 แต่อย่างไรก็ตามที่ความถี่ในการปล่อยรถ 1:30 นาที พบว่าจำนวนครั้งที่หยุดให้บริการไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ กรณีที่จุดกลับรถประแจ (S.II.II และ S.II.IV) พบว่าที่พื้นที่ A มีจำนวนครั้งที่หยุดให้บริการลดลง เมื่อเทียบกับกรณีการเดินรถปัจจุบัน (S.II.I) ดังตารางที่ 3 ทั้งนี้เนื่องมากจากการปล่อยรถที่สถานีต้นทาง N8 เกิดความล่าช้าเมื่อเทียบกับกรณีการเดินรถปัจจุบัน (S.II.I) ที่พื้นที่ C มีจำนวนครั้งที่หยุดให้บริการเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีการเดินรถปัจจุบัน (S.II.I) (ตารางที่ 3) เนื่องมาจากการปล่อยรถที่สถานีต้นทาง E23 สามารถปล่อยรถได้ตรงตามเวลามากขึ้น เมื่อเทียบกับการเดินรถปัจจุบัน (S.II.I) ที่จุดกลับรถPocket track รูปแบบการเดินรถแบบ1 short turning (S.II.III) และ2 short turning (S.II.V) พบว่ามีจำนวนครั้งที่หยุดให้บริการเท่ากันทั้งพื้นที่ A และ C

ตารางที่ 3 จำนวนครั้งที่หยุดให้บริการแต่ละพื้นที่

ช่วงเวลา 7:00-9:00 น.

สถานการณ์	จำนวนครั้งที่หยุดแต่ละพื้นที่				ล่าช้าที่จุดปล่อยรถ	ล่าช้าสะสมที่กลับรถ
	A	B	C	D		
S.I.I	833	237	380	680	-	-
S.I.II	833	121	380	920	-	-
S.I.III	863	106	341	949	-	-
S.I.IV	833	82	380	1001	-	-
S.I.V	863	72	341	1027	-	-
S.II.I	1472	417	666	1188	E23	-
S.II.II	1461	198	672	1487	N8/E23	√
S.II.III	1517	185	600	1569	N8/E23	-
S.II.IV	1438	100	673	1495	N8/E23	√
S.II.V	1517	124	600	1582	N8/E23	-
S.III.I	348	99	159	285	-	-
S.III.II	348	51	159	384	-	-
S.III.III	360	45	143	397	-	-
S.III.IV	348	36	159	417	-	-
S.III.V	360	32	143	428	-	-

นอกจากนี้การปล่อยรถที่ 1:30 นาที ที่ทิศทาง N-E ส่งผลต่อการเกิดปัญหาความล่าช้าสะสมที่จุดกลับรถประแจ (S.II.I และS.II.IV) เพราะทำให้การเดินรถแบบ Short turning มีความถี่ที่ให้บริการเพิ่มขึ้นเกินว่าการกลับรถที่ประแจจะบริหารการจองเส้นทางและการปล่อยเส้นทางได้ ส่งผลให้กลับรถไม่ทัน ซึ่งมีลักษณะคือ รถไม่สามารถเข้าไปยังจุดกลับรถได้ หรือรถกลับรถได้แต่ไม่สามารถผ่านประแจมายังสถานีต่อไปได้ เนื่องจากมีรถจองเส้นทางไว้ จึงทำให้รถคันถัดไปเกิดความล่าช้า และความล่าช้าจะเพิ่มขึ้นหากเดินรถแบบ 2 short turning (S.II.IV) แต่เหตุการณ์ดังกล่าวจะไม่เกิดที่จุดกลับรถ Pocket track (S.II.III และS.II.V) เนื่องจากการ

กลับรถที่ Pocket track สามารถบริหารการจองและการปล่อยเส้นทางได้ จึงไม่ส่งผลให้เกิดการกลับรถไม่ทัน

4. บทสรุป

การประยุกต์ใช้การให้บริการเดินรถแบบผสมผสานที่มีทั้งการเดินรถแบบเต็มรอบและการเดินรถระยะสั้น(Short turning)ในเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียว สามารถตอบโจทย์เรื่องการให้บริการเดินรถในเส้นทางที่มีปริมาณผู้โดยสารไม่สมดุลกันในพื้นที่เดิมและพื้นที่ส่วนต่อขยายได้ อย่างไรก็ตามการที่จะเลือกใช้การเดินรถระยะสั้นแบบ 1 หรือ 2 รอบนั้น ควรพิจารณาจากความต้องการเดินทางของลูกค้าในสถานการณ์จริงเพิ่มเติมเนื่องจากเกี่ยวข้องกับความสะดวกในการใช้บริการของลูกค้าที่ต้องการเดินทางในระยะยาวที่ต้องมีการต่อรถ ในกรณีที่มีการปรับความถี่การเดินรถเพื่อให้บริการลูกค้าในจำนวนที่สูงขึ้น ผู้ให้บริการต้องพิจารณาตำแหน่งและรูปแบบในการกลับรถที่เหมาะสมเพิ่มเติมเนื่องจากการกลับรถแบบที่ไม่ได้ใช้ Pocket track อาจส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการให้บริการได้ ดังนั้นภายใต้ความถี่ในการให้บริการที่ 2:40 และ 6:30 นาที สามารถเดินรถได้ทั้ง 3 รูปแบบ แต่ความแตกต่างกันของผู้โดยสารทั้ง 2 พื้นที่จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบการเดินรถแบบ 1 short turning หรือ 2 short turning และการเลือกจุดกลับรถสามารถเลือกได้ทั้งตำแหน่งประแจ และ Pocket track แต่ในกรณีที่เดินรถที่ความถี่ในการให้บริการ 1: 30 นาที รูปแบบการเดินรถที่เหมาะสมคือ การเดินรถในรูปแบบปัจจุบัน แต่หากความแตกต่างของผู้โดยสารทั้งสองพื้นที่แตกต่างกันมากจำเป็นต้องเดินรถแบบ short turning ก็ควรเลือกเดินรถแบบ 1 short turning ที่จุดกลับรถ Pocket track จึงจะเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความล่าช้าสะสม แต่อย่างไรก็ตามการดำเนินงานด้วยรูปแบบปัจจุบันเป็นรูปแบบที่ง่ายในเชิงปฏิบัติมากกว่ารูปแบบการเดินรถแบบ short turning ซึ่งรวมไปถึงความถี่ในการให้บริการแบบคงที่ด้วย

ทั้งนี้ในส่วนงานวิจัยได้กำหนดความถี่ในการให้บริการแบบคงที่ เพื่อประเมินรูปแบบการเดินรถที่เหมาะสมกับปัญหาปริมาณผู้โดยสารไม่สมดุล อย่างไรก็ตามเมื่อเปิดดำเนินงานในอนาคต สามารถยอดต่องานวิจัยโดยการวิเคราะห์การปรับความถี่ในการให้บริการแบบคงที่หรือไม่คงที่ เพื่อให้เหมาะสมกับจำนวนผู้โดยสารจริงของเส้นทางกรณีศึกษา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) และโครงการ Rail Exchange ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Hansen, I.A. and J. Pachl, Railway Timetabling&Operation. 2008.

[2] Wang, Y., B. Ning, T. van den Boom, and B. De Schutter, Background: Train Operations and Scheduling, in Optimal Trajectory Planning and Train Scheduling for Urban Rail Transit Systems. 2016, Springer International Publishing: Cham. p. 7-21.

[3] Deckoff, A.A., The Short Turn as a Real-time Transit Operating Strategy, in Department of Civil Engineering. 1990, Massachusetts Institute of Technology: United States.

[4] Canca, D., E. Barrena, G. Laporte, and F.A. Ortega, A short-turning policy for the management of demand disruptions in rapid transit systems. Annals of Operations Research, 2014: p. 1-22.

[5] Dell, S.W.O., Optimal control strategies for a rail transit line, in Department of Electrical Engineering and Computer Science. 1997, Massachusetts Institute of Technology: United States.

[6] Canca, D., E. Barrena, A. Zarzo, F. Ortega, and E. Algaba, Optimal Train Reallocation Strategies under Service Disruptions. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012. 54: p. 402-413.