

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

การศึกษาอุปกรณ์ที่มีระดับความเสี่ยงเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของระบบรถไฟฟ้ามืดเมื่อเกิดความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้ามืดไม่เหมือนกัน ผลกระทบจากความล้มเหลวที่เกิดจากอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูงส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้ามืดลดลง การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบรถไฟฟ้ามืดในช่วงเริ่มต้นเปิดให้บริการเดินรถถูกดำเนินการตามตารางกิจกรรมการบำรุงรักษาที่กำหนดไว้ตามแผนงานการบำรุงรักษาที่ได้รับมาจากบริษัทผู้ผลิต อุปกรณ์ที่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างเพียงพอภายใต้สภาวะใช้งานและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถมีสมรรถนะใกล้เคียงกับการออกแบบจากบริษัทผู้ผลิต เมื่อนำอุปกรณ์แต่ละตัวมาติดตั้งใช้งานร่วมกันหลายประเภททำให้เกิดเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ตลอดจนอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้สภาพของอุปกรณ์เปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน ความเสี่ยงที่อุปกรณ์จะเกิดความล้มเหลวจากการใช้งานย่อมมีมากขึ้น

การศึกษาความล้มเหลวของอุปกรณ์ที่ส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้ามืดที่เกิดขึ้นในช่วงทดลองให้บริการระบบรถไฟฟ้ามืดถูกประเมินเปรียบเทียบกับความเชื่อถือได้ของระบบที่ได้ถูกออกแบบขึ้น ระดับความเสี่ยงของอุปกรณ์ที่เพิ่มความล้มเหลวขึ้นและส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้ามืดได้ถูกประเมินแล้วปรับปรุงกิจกรรมการบำรุงรักษาอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับความเสี่ยง ความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้ามืดถูกประเมินอีกครั้งเมื่อระบบรถไฟฟ้ามืดเปิดให้บริการแก่สาธารณะเพื่อยืนยันความพร้อมใช้ของระบบรถไฟฟ้ามืดพร้อมกับการพัฒนากิจกรรมการบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบคงมีสมรรถนะที่ดีต่อไปในระยะยาว

4.1 ผลการประเมินความเชื่อถือได้ของการออกแบบระบบรถไฟฟ้ามืด

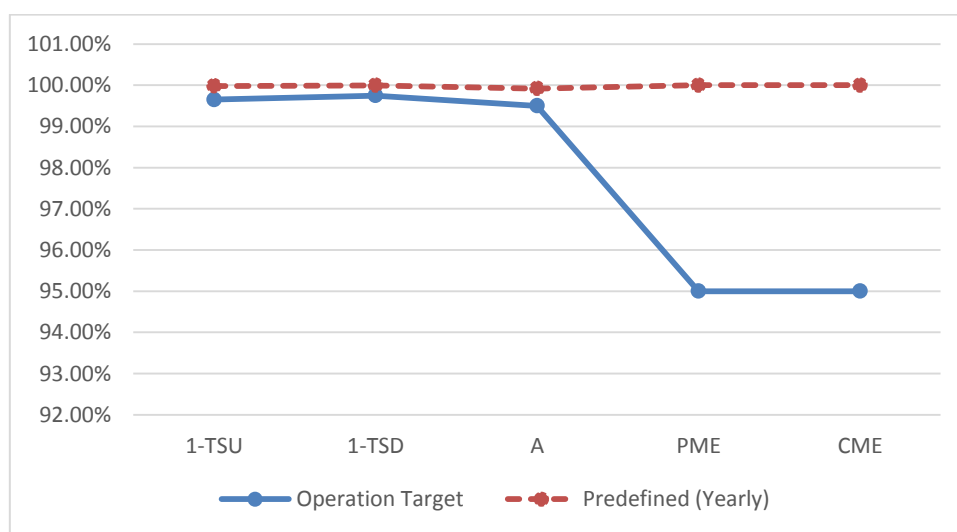
ระบบรถไฟฟ้ามืดสำหรับรถไฟฟ้ามืดได้ถูกประเมินความเชื่อถือได้เพื่อกำหนดเป็นความเชื่อถือได้สูงสุด การศึกษานี้ ดำเนินการประเมินโดยใช้ข้อมูลความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ย่อยของแต่ละระบบ คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ (Failure Rate: λ) และระยะเวลาที่สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้โดยอุปกรณ์นั้นจะไม่เกิดความล้มเหลวขึ้น (MTBF)

$$MTBF = \frac{T(t)}{r} = 1/\lambda$$

อัตราการผลิตผลของอุปกรณ์ถูกรวมขึ้นด้วยวิธีการรวมฟังก์ชัน[10] ได้ Predefined รายปีผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินความเชื่อถือได้ในช่วงออกแบบเทียบกับเป้าหมาย

RAM	สัญลักษณ์	ความหมาย	Predefined (Yearly)
Reliability	TSU	ความไม่พร้อมให้บริการระบบรถไฟฟ้าตามตารางเวลาการให้บริการระบบรถไฟฟ้าเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Target=0.35%)[18]	0.02%
	TSD	การให้บริการระบบรถไฟฟ้าด้วยความล่าช้าเกินกว่าที่กำหนดตามตารางเวลาการให้บริการระบบรถไฟฟ้าเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Target=0.25%)[18]	0.00%
Availability	A	ความพร้อมใช้ของระบบรถไฟฟ้า (Target=99.5%)[17]	99.92%
Maintainability	PME	ผลการวิเคราะห์ความสำเร็จในการทำการบำรุงรักษาตามแผนงานการบำรุงรักษา (Target=95.0%)	100%
	CME	ผลการวิเคราะห์ความสำเร็จในการทำการบำรุงรักษาฉุกเฉิน (Target=95.0%)	100%



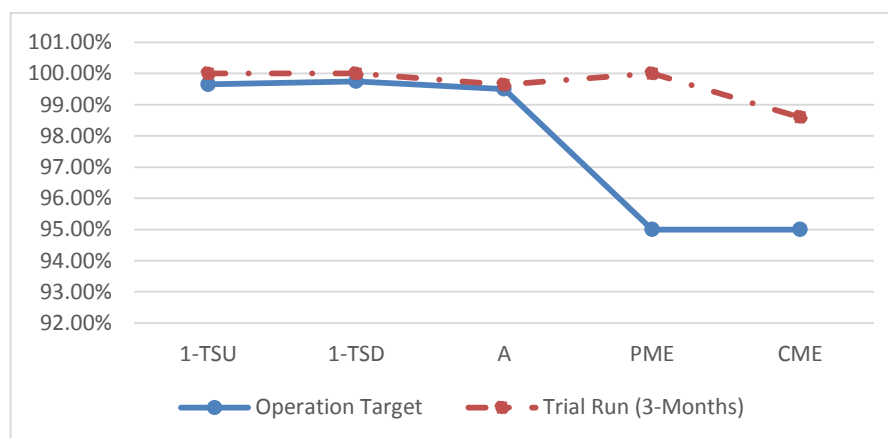
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความเชื่อถือได้เป้าหมายกับการออกแบบระบบ

4.2 ผลการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้าช่วงทดสอบ

ช่วงเวลาทดสอบให้บริการตลอด 3 เดือน ได้ถูกประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานให้บริการ

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินความเชื่อถือได้ในช่วงทดลองให้บริการเทียบกับเป้าหมาย

RAM	Symbol	ความหมาย	Revenue (3-Months)
Reliability	TSU	ความไม่พร้อมให้บริการระบบรถไฟฟ้าตามตารางเวลาการให้บริการระบบรถไฟฟ้าเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Target=0.35%)[18]	0.047%
	TSD	การให้บริการระบบรถไฟฟ้าด้วยความล่าช้าเกินกว่าที่กำหนดตามตารางเวลาการให้บริการระบบรถไฟฟ้าเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Target=0.25%)[18]	0.025%
Availability	A	ความพร้อมใช้ของระบบรถไฟฟ้า (Target=99.5%)[17]	99.77%
Maintainability	PME	ผลการวิเคราะห์ความสำเร็จในการทำการบำรุงรักษาตามแผนงานการบำรุงรักษา (Target=95.0%)	100.0%
	CME	ผลการวิเคราะห์ความสำเร็จในการทำการบำรุงรักษาฉุกเฉิน (Target=95.0%)	100.0%



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเชื่อถือได้เป้าหมายกับการทดลองให้บริการ

4.3 ผลการประเมินระดับความเสี่ยงจากการล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์ทุกตัวที่เกิดความล้มเหลวขึ้น ได้ผลการประเมินดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อการให้บริการรถไฟฟ้า

ลำดับที่	อุปกรณ์ที่เกิดความล้มเหลว	ระดับความเสี่ยง
1	DC Charger & Battery	Intolerable
2	UPS & Batt	Undesirable
3	24kV Switchgear	Intolerable
4	Power Transformer	Intolerable
5	DC Charger & Battery	Intolerable
6	24kV Switchgear	Intolerable
7	24kV Switchgear	Intolerable
8	P Protection Relays	Intolerable
9	B Protection Relays	Intolerable
10	Power Transformer	Intolerable
11	Traction Substation	Intolerable
12	Traction Substation	Intolerable
13	M Power Transformer	Intolerable
14	Relay	Intolerable
15	Short Circuit Device	Undesirable

4.4 ผลการปรับปรุงงานบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าตามความเสี่ยง

ผลการปรับปรุงกิจกรรมซ่อมบำรุงเพื่อลดระดับความเสี่ยงที่ความล้มเหลวของอุปกรณ์จะส่งผลให้ความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้าย่อมต่ำลง ต้องมีการปรับปรุงความถี่ของการบำรุงรักษาตามมาตรฐาน ANSI [11] ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษา

อุปกรณ์ที่เกิดความล้มเหลว	ระดับความเสี่ยงก่อนปรับปรุง	รอบการถี่ PM ก่อนปรับปรุง (เดือน)	ความถี่ PM หลังปรับปรุง (เดือน)	ระดับความเสี่ยงหลังปรับปรุง
B1	Intolerable	1, 3, 6, 12, 36	0.5, 3, 6, 12, 36	Undesirable
U1	Undesirable	3, 6, 12, 36	2.25, 6, 12, 36	Tolerable
T1	Intolerable	12	3	Undesirable
T2	Intolerable	1, 12	0.5, 12	Undesirable
C1	Intolerable	1, 3, 6, 12, 36	0.5, 3, 6, 12, 36	Undesirable
R1	Intolerable	12	6	Undesirable
L3	Intolerable	12	6	Undesirable
P1	Intolerable	24	12	Undesirable
B2	Intolerable	24	12	Undesirable
H1	Intolerable	1, 12	0.5, 12	Undesirable
M1	Intolerable	12	6	Undesirable
R2	Intolerable	12	6	Undesirable
E1	Intolerable	1, 12	0.5, 12	Undesirable
R3	Intolerable	0	0.25	Undesirable
D1	Undesirable	12	9	Tolerable

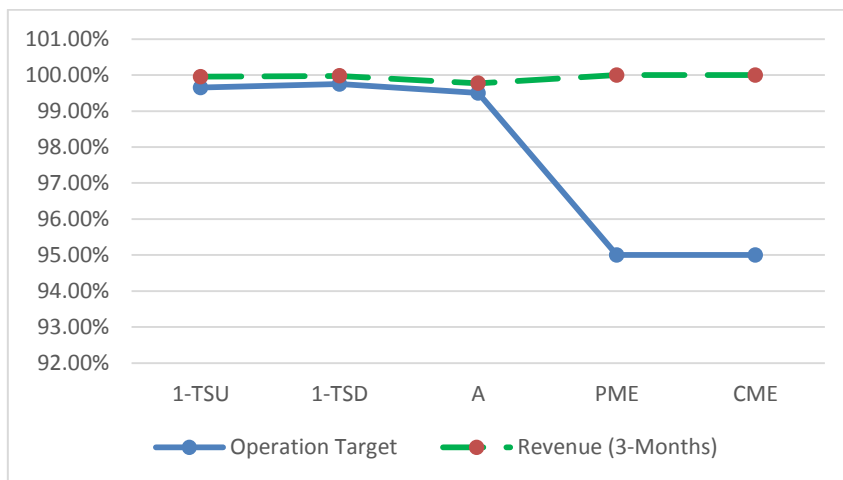
4.5 ผลการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้าช่วงให้บริการ

หลังจากทำการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงของอุปกรณ์ แล้วประเมินความเชื่อถือได้ของระบบอีกครั้ง ได้ผลการประเมินตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินความเชื่อถือได้ในช่วงให้บริการเทียบกับเป้าหมาย

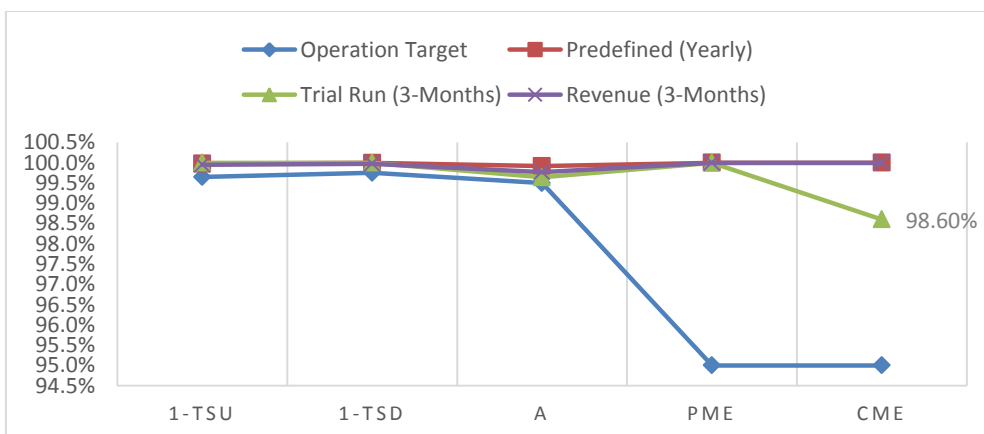
RAM	สัญลักษณ์	ความหมาย	Revenue (3-Months)
Reliability	TSU	ความไม่พร้อมให้บริการระบบรถไฟฟ้าตามตารางเวลาการให้บริการระบบรถไฟฟ้าเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Target=0.35%)[18]	0.047%
	TSD	การให้บริการระบบรถไฟฟ้าด้วยความล่าช้าเกินกว่าที่กำหนดตามตารางเวลาการให้บริการระบบรถไฟฟ้าเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Target=0.25%)[18]	0.025%
Availability	A	ความพร้อมใช้ของระบบรถไฟฟ้า (Target=99.5%)[17]	99.77%
Maintainability	PME	ผลการวิเคราะห์ความสำเร็จในการทำการบำรุงรักษาตามแผนงานการบำรุงรักษา (Target=95.0%)	100.0%
	CME	ผลการวิเคราะห์ความสำเร็จในการทำการบำรุงรักษาฉุกเฉิน (Target=95.0%)	100.0%

จากตารางผลการวิจัยข้างต้นสามารถแสดงในรูปแบบกราฟเส้นได้ตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความเชื่อถือได้เป้าหมายกับการให้บริการ

การศึกษาบ่งชี้ว่าการปรับความถี่ของแผนงานบำรุงรักษาให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานทำให้ Reliability ใกล้เคียงกับการออกแบบโดยมีค่า TSU และ TSD เท่ากับ 0.08% และ 0.04% จากนั้นในช่วงเปิดให้บริการแก่สาธารณะลดลงเป็น 0.05% และ 0.02% ตามลำดับ ความพร้อมใช้ของระบบมากขึ้นจาก 99.75% เป็น 100% ปริมาณงานซ่อมบำรุงฉุกเฉินลดลงจาก 52 งานซึ่งสามารถซ่อมบำรุงได้เสร็จเพียง 96.23% เหลือเพียง 12 งานซึ่งสามารถซ่อมบำรุงได้สำเร็จทั้งหมด จากผลดังกล่าวทำให้ประเมินได้ว่าระบบรถไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้สูงขึ้นเพราะความไม่พร้อมใช้ของการให้บริการ ความล่าช้าของการให้บริการมีค่าลดลง ความพร้อมใช้ของระบบไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นและการซ่อมบำรุงสามารถทำได้สำเร็จทั้งหมด



รูปที่ 4.4 สรุปผลการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้า