



การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการ
ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส
Application of Statistical Process Control Technique for Carbon
Dioxide Emission Monitoring from Travelling by BTS Train

พนา อังกาบ
PANA UNGKAP

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2558



การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการ
ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส
Application of Statistical Process Control Technique for Carbon
Dioxide Emission Monitoring from Travelling by BTS Train

พนา อังกาบ
PANA UNGKAP

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อดตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

วันที่ เดือน..... พ.ศ.

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส
ชื่อ นามสกุล	พนา อังกาบ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา) คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การปล่อยก๊าซ CO₂ ของระบบขนส่งทางรางมีความสำคัญมากขึ้น รวมถึงการขยายเส้นทางรถไฟฟ้าบีทีเอส ที่จะต้องมีการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซ CO₂ มากขึ้นด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส นำมาคำนวณเป็นค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของปริมาณ gCO₂e/passenger/km และพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ของการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอสในอนาคต กระบวนการวิจัยเริ่มจากรวบรวมข้อมูลจำนวนผู้โดยสาร ระยะทาง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าในการเดินรถรายเดือนรวม 55 เดือน นำมาคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ และใช้สมการถดถอย ร่วมกับเทคนิคควบคุมกระบวนการทางสถิติ ประเมินแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) และการวิเคราะห์อนุกรมเวลา มาเป็นเครื่องมือช่วยในการพยากรณ์ และวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผลิตภัณฑ์ของรถไฟฟ้าบีทีเอสเท่ากับ 24.7 gCO₂e/passenger/km จากผลการวิจัยนี้ ผู้สนใจสามารถนำค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผลิตภัณฑ์ของรถไฟฟ้าบีทีเอส ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ขององค์กร ในส่วนที่เกิดจากการเดินทางของพนักงานและผู้มาติดต่อโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสได้ ส่วนการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ พบว่าเทคนิคที่มีความแม่นยำสูงสุดเรียงตามลำดับคือ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ เทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม และเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบที่ความคลาดเคลื่อน ตามลำดับ ซึ่งหน่วยงานภาครัฐสามารถนำข้อมูลนี้เพื่อรณรงค์ให้ประชาชนใช้ระบบขนส่งมวลชนโดยรถไฟฟ้าให้มากขึ้น ตามหลักการระบบขนส่งที่ยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : บีทีเอส, เทคนิคควบคุมกระบวนการทางสถิติ, gCO₂e/passenger/km, CUSUM

Thesis title	Application of Statistical Process Control Technique for Carbon Dioxide Emission Monitoring from Travelling by BTS Train
Author	Pana Ungkap
Degree	Master of Engineering
Major program	Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate School)
Academic Year	2015

ABSTRACT

CO₂ emission of rail transportation system plays more important role including the expansion of BTS route that consume the energy and emit CO₂ gas more and more. The purpose of this research was to find out amount of CO₂ emission from travelling by BTS train and determine specific CO₂ emission per product in the form of gCO₂e/passenger/km then forecasting on CO₂ emission from BTS operations. Research process was initiated from collecting monthly data on ridership, distance and electricity for 55 months continuously then regression analysis, CUSUM and time series analysis were used for prediction and analysis of CO₂ emission. The finding indicated that BTS's specific CO₂ emission was 24.7 gCO₂e/passenger/km. Forecasting CO₂ Emission from BTS result that Winters Exponential Smoothing Method is most accuracy then Double Exponential Smoothing Method, Trend Analysis Method and Decomposition Method respectively. The result of these analysis could be used to calculate carbon footprint from staff travelling by BTS train and promote people to use public transport by government as sustainable transportation concept.

Keyword: BTS, Statistical Process Control Technique, gCO₂e/passenger/km, CUSUM

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของดร.ปริญญา บุญนิษฐ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระและผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มินคร และดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล ที่สละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมรุ่นวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนทุกท่านที่ได้แลกเปลี่ยนความรู้ความคิดและให้กำลังใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยนี้

ขอขอบคุณครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

พนา อังกาบ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(จ)
สารบัญภาพ	(ฉ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์	5
1.7 คำสำคัญ	5
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและการทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 การศึกษาอุตสาหกรรม	6
2.1.1 การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ ของอุตสาหกรรม	6
2.1.2 การศึกษามูลค่าอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า	10
2.1.3 การศึกษาการแข่งขันการตลาดผู้ผลิตไฟฟ้าทั่วโลก	11
2.1.4 การศึกษาการแข่งขันการตลาดผู้ให้บริการไฟฟ้าในประเทศ	13
2.1.5 การศึกษาภาพรวมระบบรถไฟฟ้าในกรุงเทพ	15
2.1.6 การศึกษาขบวนการบริการรถไฟฟ้าบีทีเอส	16
2.2 การทบทวนวรรณกรรม	19
2.2.1 การทบทวนวรรณกรรมปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก	19
2.2.2 การทบทวนวรรณกรรมการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO ₂	20
2.2.3 การทบทวนวรรณกรรมการควบคุมกระบวนการทางสถิติ	22
2.2.4 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	35
3.1 ข้อมูล	35
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การวางแผนการทดลองและการรวบรวมข้อมูล	37
3.5 ขั้นตอนการวิจัย	38
บทที่ 4 กระบวนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์	42
4.1 การทดสอบโมเดลการพยากรณ์ทางสถิติ	42
4.2 การทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO ₂ จริง	49
บทที่ 5 ผลการวิจัย	50
5.1 การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	50
5.2 การสร้างแผนภาพการกระจายของปริมาณบริการกับปริมาณ CO ₂	54
5.3 การหาความสัมพันธ์ของปริมาณบริการกับปริมาณ CO ₂	55
5.4 การคำนวณการปล่อยก๊าซ CO ₂ โดย CUSUM	56
5.5 การสร้างแผนภูมิ CUSUM ของการปล่อยก๊าซ CO ₂	58
5.6 ผลการทดสอบโมเดลการพยากรณ์ทางสถิติ	59
5.7 ผลการทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO ₂ จริง	64
บทที่ 6 อภิปรายผลการวิจัย	67
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย	69
บทที่ 8 การนำงานวิจัยไปใช้งาน	70
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก เอกสารตีพิมพ์ทางวิชาการ	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	92

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แสดงมูลค่าทางการตลาดของการผลิตไฟฟ้า และอุปกรณ์เกี่ยวเนื่อง	10
2.2	แสดงมูลค่าตลาดของอุตสาหกรรมผลิตขบวนรถไฟ	11
2.3	แสดงมูลค่าตลาดของอุตสาหกรรมผลิตขบวนรถไฟ	14
2.4	แสดงความถี่การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสวันจันทร์ถึงวันศุกร์	18
2.5	แสดงความถี่การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสวันเสาร์	18
2.6	แสดงความถี่การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสวันอาทิตย์และวันหยุด	19
2.7	แสดงค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจก	20
2.8	แสดงการการอ้างอิงการทบทวนวรรณกรรม	29
5.1	จำนวนผู้โดยสาร การใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซ CO ₂	50
5.2	การวิเคราะห์ผลต่าง และผลรวมสะสมของผลต่าง ของการปล่อยก๊าซ CO ₂	56
5.3	เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน MAPE, MAD และ MSD จากการพยากรณ์	63
5.4	เปรียบเทียบลำดับความแม่นยำการพยากรณ์	64
5.5	แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ ที่ปล่อยจริง และจากการพยากรณ์	64
5.6	แสดงร้อยละความคลาดเคลื่อนปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ จากการพยากรณ์	65
8.1	แสดงค่า Factor การปล่อยก๊าซ CO ₂ (KgCO ₂ e ต่อ หน่วย) ของกลุ่มขนส่ง	70
8.2	แสดงการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของพนักงาน	71
8.3	แสดงค่า Factor ต่อหน่วย และแหล่งอ้างอิง จากงานวิจัยตัวอย่าง	72

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย	4
2.1 แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO ₂ แยกตามภาค	6
2.2 แสดงการปล่อย CO ₂ จากภาคการผลิตไฟฟ้า	7
2.3 แสดงการปล่อย CO ₂ จากภาคอุตสาหกรรม	8
2.4 แสดงการปล่อย CO ₂ จากภาคการขนส่ง	9
2.5 แสดงการปล่อย CO ₂ จากภาคเศรษฐกิจอื่นๆ	9
2.6 แสดงส่วนแบ่งการตลาดของผู้ผลิตไฟฟ้าจากทั่วโลก	12
2.7 แสดงผลประกอบการของบริษัท CNR	13
2.8 แสดงสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานคร	15
2.9 แสดงจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยรายวันของรถไฟฟ้า BTS และรถไฟฟ้า MRT	16
2.10 แสดงการปล่อยก๊าซ CO ₂ ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (kWh)	21
3.1 แสดงแบบบันทึกข้อมูลสำหรับงานวิจัย	35
3.2 แสดง Software Minitab 16 ที่ใช้ในการวิจัย	36
3.3 แสดงแหล่งเผยแพร่ IPCC CO ₂ Emission Methodology	36
3.4 แสดงขั้นตอนการวิจัย	38
3.5 แสดงข้อมูลที่บันทึกสำหรับการคำนวณ	39
3.6 แสดงการใช้ Scatter Plot โดยโปรแกรม Microsoft Excel	40
3.7 แสดงการใช้เส้นแสดงแนวโน้ม โดยโปรแกรม Microsoft Excel	40
3.8 แสดงการสร้างสมการถดถอยโดยโปรแกรม Microsoft Excel	41
4.1 แสดงขั้นตอนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์ทางสถิติ	42
4.2 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์แบบวิเคราะห์แนวโน้ม 1	43
4.3 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์แบบวิเคราะห์แนวโน้ม 2	44
4.4 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์แบบแยกส่วนตัวประกอบ 1	45
4.5 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์แบบแยกส่วนตัวประกอบ 2	45
4.6 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง 1	46
4.7 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง 2	47
4.8 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ 1	48
4.9 แสดงขั้นตอนการพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ 2	48
4.10 แสดงขั้นตอนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์	49
5.1 กราฟแสดงระยะทางการบริการรายเดือน	52

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
5.2	กราฟแสดงจำนวนผู้โดยสารรายเดือน	53
5.3	กราฟแสดงปริมาณก๊าซ CO ₂ รายเดือน	53
5.4	กราฟแสดงปริมาณก๊าซ CO ₂ จำเพาะรายเดือน	54
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อย CO ₂ กับปริมาณการบริการ	54
5.6	แผนภูมิผลรวมสะสมของผลต่างของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂	58
5.7	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ โดยวิธีวิเคราะห์แนวโน้ม	59
5.8	ค่าพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO ₂ โดยวิธีวิเคราะห์แนวโน้ม	60
5.9	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ โดยการแยกส่วนตัวประกอบ	60
5.10	ค่าพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO ₂ โดยการแยกส่วนตัวประกอบ	61
5.11	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ โดยการปรับเรียบเอ็กซ์โพแนนเชียลแบบสองครั้ง	61
5.12	ค่าพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO ₂ โดยการปรับเรียบเอ็กซ์โพแนนเชียลแบบสองครั้ง	62
5.13	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ โดยการปรับเรียบเอ็กซ์โพแนนเชียลของวินเทอร์	62
5.14	ค่าพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO ₂ โดยการปรับเรียบเอ็กซ์โพแนนเชียลของวินเทอร์	63



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กรุงเทพมหานครมีปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂e สูงถึงปีละกว่า 42 ล้านตัน ถือเป็นอันดับหนึ่งของประเทศและติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก ซึ่งก๊าซดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน และส่งผลต่อสภาพแวดล้อมของเมืองอย่างมาก ซึ่งหากสภาพแวดล้อมไม่ได้คุณภาพก็จะส่งผลต่อเนื่องถึงสุขภาพของประชาชนอีกด้วย ทั้งนี้ก๊าซ CO₂e ที่เกิดขึ้นกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการใช้พลังงานในระบบขนส่ง จะเห็นได้ว่าประเทศไทยโดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครมีการใช้พลังงานในภาคการขนส่งทางถนนในสัดส่วนที่สูงมาก ความไม่สมดุลในภาคขนส่งที่เน้นการขนส่งทางถนนเป็นหลัก ส่งผลให้โครงข่ายการขนส่งในระบบราง ซึ่งถือได้ว่ามีต้นทุนต่อหน่วยการขนส่งที่ต่ำกว่าการขนส่งทางถนนไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ดีประเทศไทยก็เริ่มที่จะขยายโครงข่ายการขนส่งระบบรางเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานภาคขนส่ง อันส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซ CO₂e น้อยลงตามไปด้วยเช่นกัน

ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสมีระยะทางรวม 36.25 กิโลเมตร ดำเนินกิจการโดยบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด หรือ บีทีเอสซี ได้รับสัมปทานจากกทม. ในปี พ.ศ. 2535 ให้เป็นผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบนทางวิ่งยกระดับสายแรกของกรุงเทพฯ ซึ่งครอบคลุมสายสุขุมวิทและสายสีลม ปัจจุบันให้บริการผู้โดยสารสูงถึง 222.2 ล้านเที่ยวคน ในปีงบประมาณ 2556/57 หรือคิดเป็นจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย 608,692 เที่ยวคนต่อวัน ดังนั้นรถไฟฟ้าบีทีเอสจะมีการใช้กระแสไฟฟ้าในการเดินรถจำนวนมาก แต่ก็สามารถรองรับผู้โดยสารได้เป็นจำนวนมากในการวิ่งรถต่อหนึ่งเที่ยว แต่เมื่อเทียบกับระบบขนส่งทางถนนอื่นๆ แล้ว การเดินทางโดยระบบรางโดยรถไฟฟ้าจะปล่อยก๊าซ CO₂e ออกมาน้อยมาก เมื่อเทียบเป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂e ต่อผู้โดยสารในการเดินทางโดยพาหนะอื่นๆในระยะทางที่เท่ากัน และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ศึกษาการปล่อยก๊าซ CO₂e จากการขนส่งนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาก๊าซ CO₂e ที่ถูกปล่อยมาจากการใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้โดยตรง และพบว่ามีการศึกษาการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซ CO₂e ในการขนส่งผู้โดยสารโดยรถไฟฟ้าอยู่บ้างแต่ยังขาดข้อมูลที่ได้มาจากการจดบันทึกจากการปฏิบัติการจริง แบบรายเดือน ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์การปล่อยก๊าซ CO₂e โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติ ชนิดแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของผลต่าง หรือที่เรียกว่า แผนภูมิ CUSUM (Cumulative Sum Control Chart) ที่คิดขึ้นโดยนักสถิติชาวอังกฤษชื่อ ES. Page ในปี ค.ศ. 1954 โดยหลักการของแผนภูมินี้คือ การนำเอาข้อมูลตลอดช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลมาใช้ประกอบการตัดสินใจ โดยการเขียนกราฟของผลรวมสะสมของความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมาย แผนภูมินี้มีจุดเด่นคือเป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการผลิตในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตสามารถมองเห็นได้ง่ายจาก

กราฟ โดยดูที่การเปลี่ยนแปลงของความชันของจุดพล็อตจะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างเดือนชัดเจนขึ้น ถึงแม้จะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อยก็ตาม และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สมการถดถอย การวิเคราะห์อนุกรมเวลาในการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂e จำเพาะ ในหน่วยของ KgCO₂e ต่อ passenger-km และพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂e จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ในอนาคตได้

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) แสดงถึงข้อมูลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กรจากกิจกรรมต่างๆ ทั้งการผลิตและการบริการขององค์กร นำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับหน่วยงาน บริษัท โรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และระดับประเทศ อีกทั้งสามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น และช่วยเสริมสร้างศักยภาพให้แก่ผู้ประกอบการ และธุรกิจของไทยให้สามารถแข่งขันได้ในเวทีการค้าโลกตลอดจนเป็นการเตรียมความพร้อมในกรณีที่ภาครัฐต้องรายงานปริมาณการปล่อย และดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Reporting) ขององค์กรต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

จากข้อมูลแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรฉบับปัจจุบัน พบว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง กลุ่มขนส่งทางราง มีข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานเพียงข้อมูลเดียวคือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งสินค้าโดยรถไฟ มีค่าแฟกเตอร์เป็น 0.1111 KgCO₂e ต่อ Ton-KM ยังไม่มีรายการค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งผู้โดยสารโดยรถไฟ ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปคำนวณการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเดินทางของพนักงานเพื่อประโยชน์ทางธุรกิจขององค์กร การเดินทางเพื่อการติดต่อธุรกิจระหว่างลูกค้า หรือผู้มาติดต่อกับองค์กร การเดินทางไป-กลับระหว่างองค์กรและที่พักของพนักงาน ซึ่งนิยมเดินทางด้วยรถไฟฟ้าบีทีเอส จึงเกิดอุปสรรคที่ผู้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรไม่สามารถหาข้อมูลอ้างอิงเพื่อนำมาคำนวณได้ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นปัญหาการวิจัยว่าจำเป็นต้องนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และทำเป็นค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ในหน่วย KgCO₂e ต่อ passenger-km และสร้างสมการพยากรณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอส เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการคำนวณให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของตนเอง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂e ของการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอสแบบรายปี นำมาคำนวณเป็นค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂e ต่อผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของปริมาณ KgCO₂e/Passenger/Kilometer

1.2.2 พยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂e ของการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอสในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัย เป็นข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่มาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ระยะทางที่ให้บริการของรถไฟฟ้าบีทีเอส และปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้ขบวนรถไฟฟ้า ขั้วเคลื่อน รายเดือน จำนวน 55 เดือน เริ่มตั้งแต่ ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 ของ บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ

1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.3.2.1 บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด ผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

1.3.2.2 การปฏิบัติการของการให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

1.3.2.3 เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control)

1.3.2.4 สถิติเพื่องานวิจัย เรื่องการวิเคราะห์สมการถดถอย และการวิเคราะห์อนุกรมเวลา เพื่อใช้พยากรณ์แนวโน้มของการปลดปล่อยก๊าซ CO₂e จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส

1.3.3 ขอบเขตด้านตัวแปรที่ศึกษา

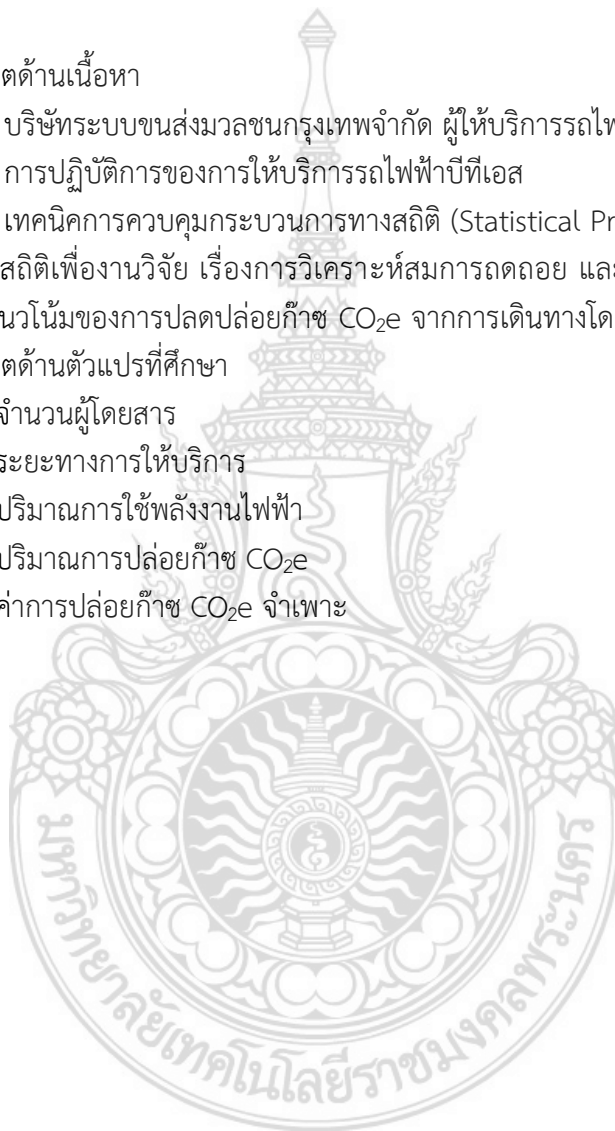
1.3.3.1 จำนวนผู้โดยสาร

1.3.3.2 ระยะทางการให้บริการ

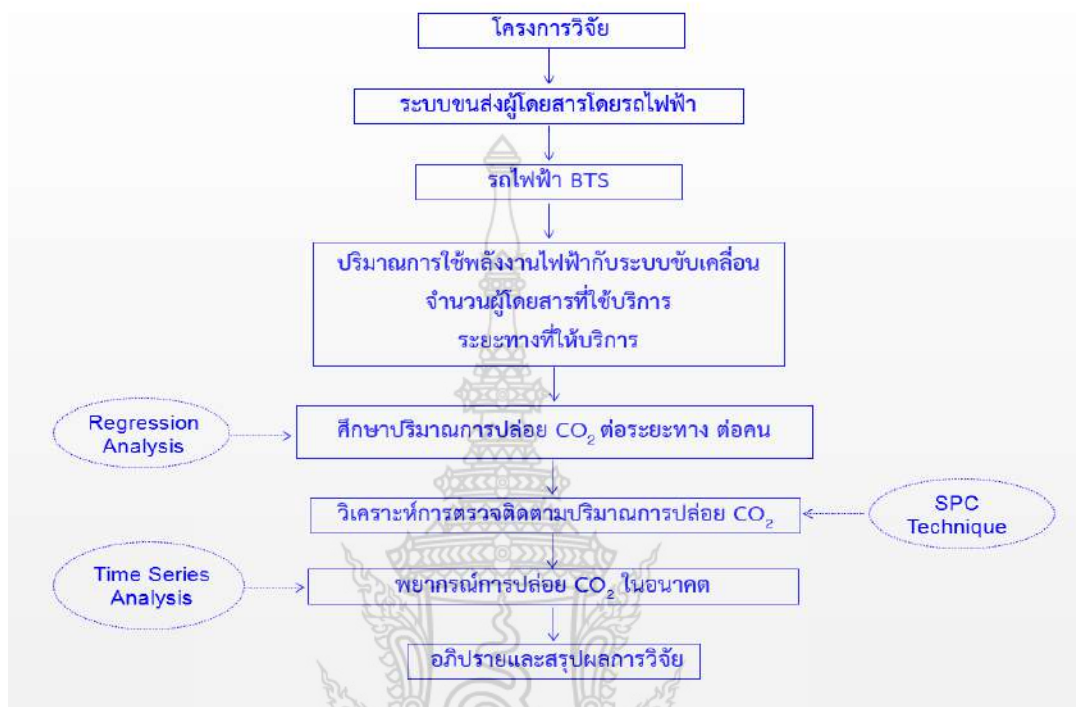
1.3.3.3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.3.3.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂e

1.3.3.5 ค่าการปล่อยก๊าซ CO₂e จำเพาะ



1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1.1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

- 1.4.1 การวางแผนการทดลองและหรือการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า จำนวนผู้โดยสาร และระยะทางการให้บริการของรถไฟฟ้าบีทีเอส
- 1.4.4 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซ CO₂e ที่เกิดจากผู้โดยสารที่เดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส
- 1.4.5 วิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้า และพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂e ของการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอส
- 1.4.6 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 หน่วยงานทั้งภาครัฐ และเอกชนสามารถนำค่าการปล่อยก๊าซ CO₂e จำเพาะ จากผลการวิจัยนี้ไปอ้างอิงเพื่อคำนวณการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ในการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเดินทางของพนักงานเพื่อประโยชน์ทางธุรกิจขององค์กร กิจกรรมการเดินทางเพื่อการติดต่อธุรกิจระหว่างลูกค้า หรือผู้มาติดต่อกับองค์กร กิจกรรมการเดินทาง

ไป-กลับระหว่างองค์กรและที่พักของพนักงาน ที่ใช้การเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส

1.5.2 บริษัทหรือผู้ให้บริการเดินรถไฟฟ้าเส้นทางอื่นๆ นำข้อมูลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ในการติดตามพฤติกรรมการณ์การปล่อยก๊าซ CO₂e และใช้วางแผนงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซ CO₂e ในองค์กรของตนเอง

1.5.3 หน่วยงานภาครัฐสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมให้ประชาชนใช้ระบบขนส่งโดยรถไฟฟ้าให้มากขึ้น โดยเน้นย้ำถึงการเดินทางโดยระบบขนส่งรถไฟฟ้า จะช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO₂e ได้มาก และนำข้อมูลที่ได้จากการทำนายการปล่อยก๊าซ CO₂e จากการขนส่งผู้โดยสารโดยรถไฟฟ้า นำไปวางแผนเพื่อควบคุม ลดการการปล่อยก๊าซ CO₂e ในระดับนโยบาย เพื่อการขนส่งที่ยั่งยืนต่อไป

1.5.4 ประชาชนทั่วไปทราบข้อมูล ตระหนักถึงการปล่อยก๊าซ CO₂e ที่เกิดจากการเดินทางโดยรถไฟฟ้ามีค่าน้อยมาก ซึ่งเป็นแรงจูงใจให้มาใช้ระบบขนส่งโดยรถไฟฟ้ามากขึ้น

1.6 นิยามศัพท์

CO ₂	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
CUSUM	แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของผลต่าง (Cumulative Sum Control Chart)
CO ₂ จำเพาะ	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยจากปริมาณการผลิตหรือบริการ 1 หน่วย
CO ₂ e	คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
Ton-KM	ปริมาณการขนส่งสินค้า 1 ตัน ในระยะทาง 1 กิโลเมตร
Passenger-KM	ปริมาณการบริการขนส่งผู้โดยสาร 1 คน ในระยะทาง 1 กิโลเมตร
BTS	รถไฟฟ้าบีทีเอส
SPC	การควบคุมกระบวนการทางสถิติ

1.7 คำสำคัญ

บีทีเอส, เทคนิคควบคุมกระบวนการทางสถิติ, KgCO₂e/passenger/km, CUSUM, BTS, Statistical Process Control Technique

บทที่ 2

การศึกษาอุตสาหกรรมและการทบทวนวรรณกรรม

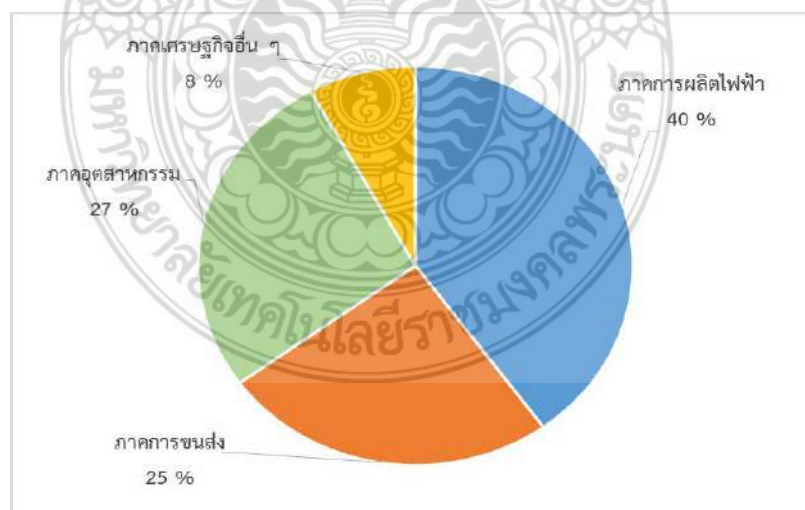
การศึกษาการปล่อยก๊าซ CO₂ จากระบบขนส่งทางรถไฟฟ้ามหานครจำเป็นต้องศึกษาถึงปริมาณการปล่อย CO₂ ของอุตสาหกรรมแยกตามภาคเศรษฐกิจ ศึกษามูลค่าอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก ศึกษามูลค่าอุตสาหกรรมบริการรถไฟฟ้ามหานครในประเทศ ศึกษากระบวนการให้บริการรถไฟฟ้ามหานคร เพื่อนำผลการศึกษาวิเคราะห์ และเป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยในหัวข้อวิจัยนี้ต่อไป

2.1 การศึกษาอุตสาหกรรม

ระบบขนส่งจัดเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานปริมาณมาก และเกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ มากเช่นกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคการผลิตและการบริการต่าง ๆ ให้ทราบปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาวะปัจจุบัน เพื่อนำไปสู่การกำหนดแผนการลดก๊าซ CO₂ ในชั้นบรรยากาศให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

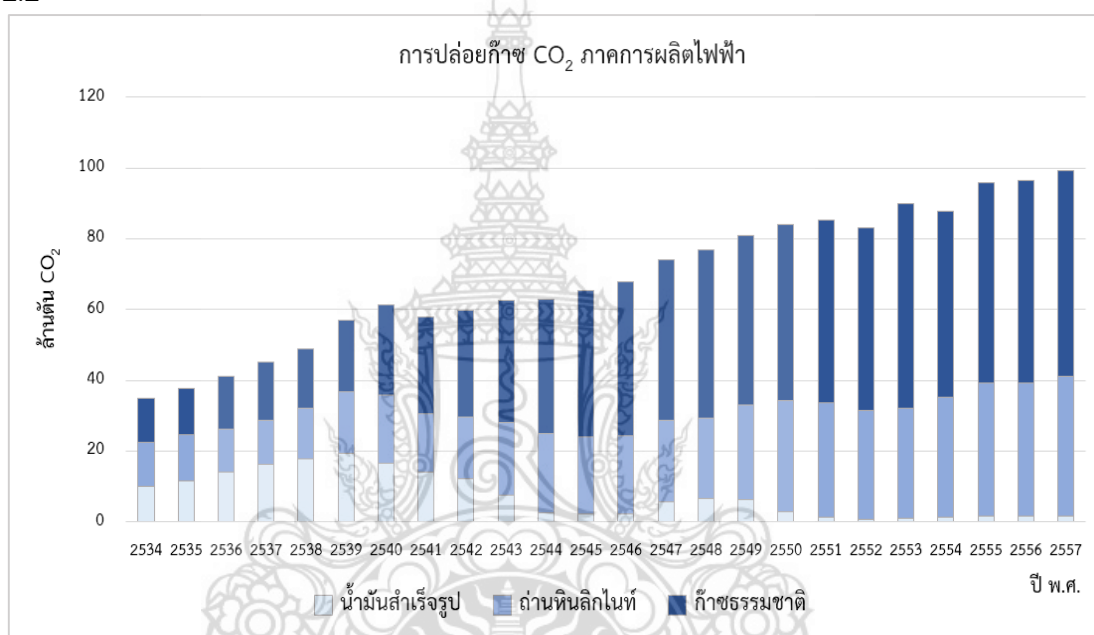
2.1.1 การศึกษาปริมาณการปล่อย CO₂ ของอุตสาหกรรม

ภาคเศรษฐกิจหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้แก่ ภาคการผลิตไฟฟ้า ภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ โดยภาคการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดถึงร้อยละ 40 รองลงมาคือภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 27 ภาคการขนส่งร้อยละ 25 และภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ ร้อยละ 8 ดังแสดงตามภาพ 2.1



ภาพ 2.1 แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ แยกตามภาคเศรษฐกิจ
ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน

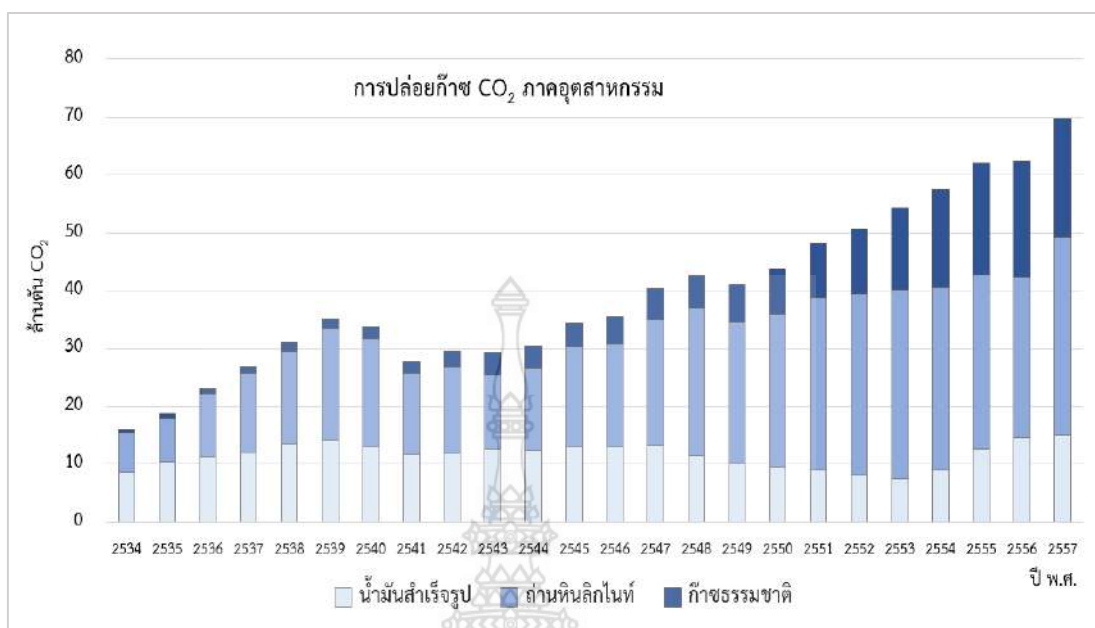
ภาคการผลิตไฟฟ้า ในปี 2557 มีการปล่อยก๊าซ CO₂ รวมทั้งสิ้น 99.2 ล้านตัน โดยกว่า 25 ปีที่ผ่านมา มีการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซลและน้ำมันเตา) ลดลงจาก 8.1 ล้านตันในปี 2533 เหลือ 1.5 ล้านตันในปี 2557 ในขณะที่การใช้ถ่านหินลิกไนต์และก๊าซธรรมชาติ ยังคงมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงขึ้นตามปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น โดยถ่านหินลิกไนต์ปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นจาก 10.4 ล้านตันในปี 2533 เป็น 39.5 ล้านตันในปี 2557 เช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ ที่ปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นจาก 9.6 ล้านตัน ในปี 2533 เป็น 58.2 ล้านตันในปี 2557 โดยก๊าซธรรมชาตินับเป็นเชื้อเพลิงที่มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด แสดงดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 แสดงการปล่อย CO₂ จากภาคการผลิตไฟฟ้า

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน

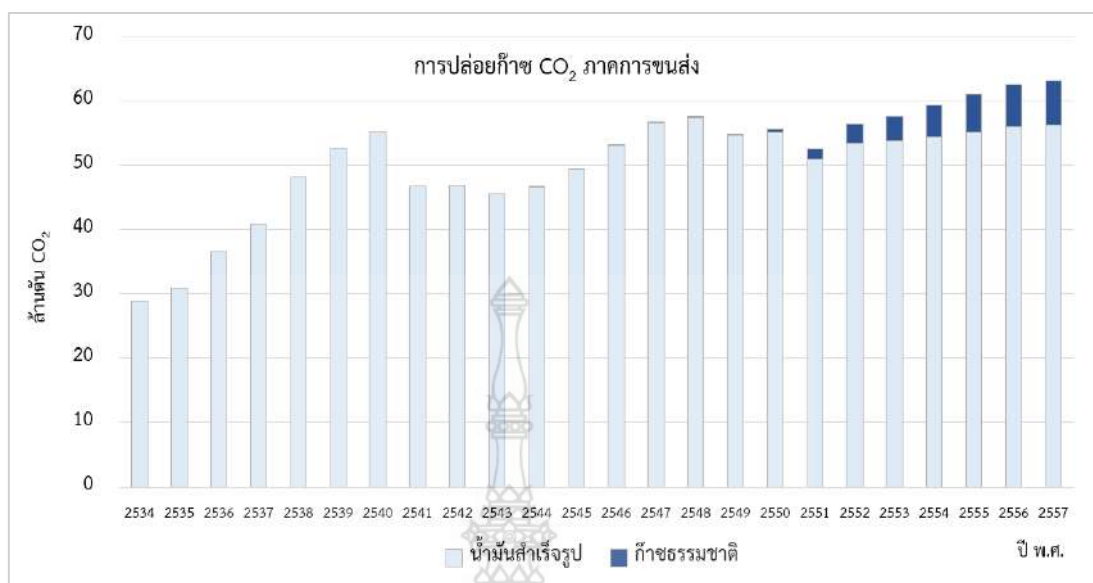
ภาคอุตสาหกรรม มีการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้ถ่านหินลิกไนต์และก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีแนวโน้ม การปล่อยก๊าซ CO₂ จากน้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันก๊าดและ LPG) ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในปี 2557 ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม โดยเพิ่มขึ้นจาก 6.2 ล้านตันในปี 2533 เป็น 34.1 ล้านตันในปี 2557 เช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติที่ปล่อยก๊าซ CO₂ ในช่วงดังกล่าวเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำมันสำเร็จรูปมีแนวโน้ม การปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยในปี 2557 อยู่ที่ระดับ 15.1 ล้านตัน แสดงดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 แสดงการปล่อย CO₂ จากภาคอุตสาหกรรม

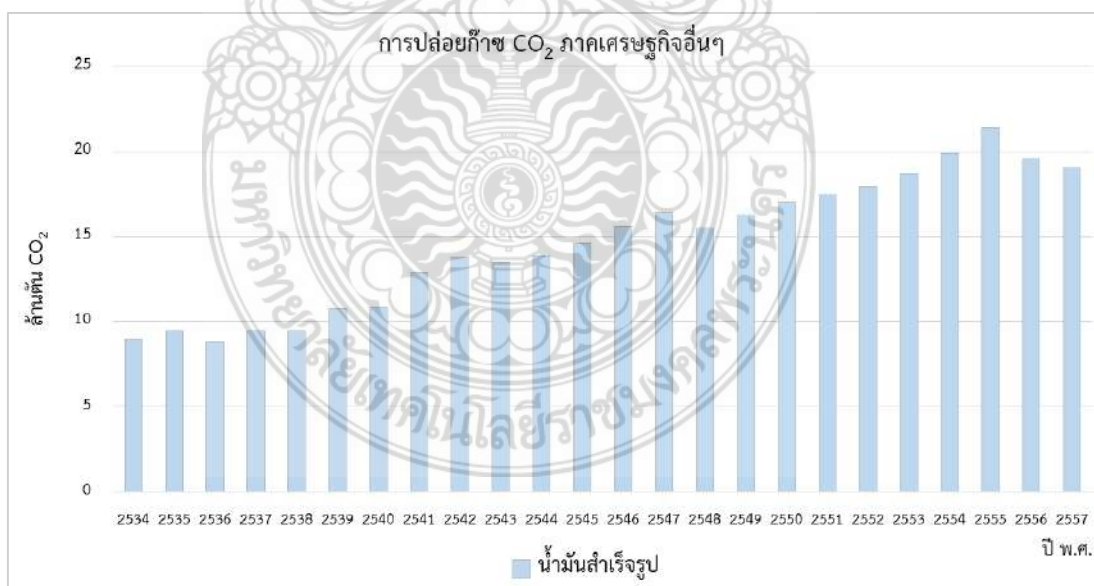
ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน

ภาคการขนส่ง เชื้อเพลิงสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคเศรษฐกิจนี้คือ น้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันเบนซิน ดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันเครื่องบิน และ LPG) โดยมีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นจาก 28.4 ล้านตัน ในปี 2533 เป็น 55.2 ล้านตัน ในปี 2540 และลดลงในปี 2541 ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศเกิดภาวะวิกฤติเศรษฐกิจ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานลดลง หลังจากนั้น การปล่อยก๊าซ CO₂ เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงอีกครั้งในปี 2551 จากภาวะวิกฤติเศรษฐกิจของสหรัฐอเมริกาซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศไทย ปัจจุบันการปล่อยก๊าซ CO₂ เริ่มกลับมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในปี 2557 มีการปล่อย ก๊าซ CO₂ จากน้ำมันสำเร็จรูป 56.3 ล้านตัน ในส่วนของก๊าซธรรมชาติเริ่มมีการใช้เป็นเชื้อเพลิงภาคขนส่งในปี 2544 มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง จาก 0.01 ล้านตัน ในปี 2544 เป็น 6.7 ล้านตันในปี 2557 แสดงดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 แสดงการปล่อย CO₂ จากภาคการขนส่ง
ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน

ภาคเศรษฐกิจอื่นๆ มีแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเพิ่มสูงขึ้นจาก 8.8 ล้านตันในปี 2533 เป็น 21.4 ล้านตัน ในปี 2555 และเริ่มลดลงจนอยู่ที่ 19.0 ล้านตัน ในปี 2557 แสดงดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 แสดงการปล่อย CO₂ จากภาคเศรษฐกิจอื่นๆ
ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน

2.1.2 การศึกษามูลค่าอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า

มูลค่าตลาดของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งทางรางในปี ค.ศ. 2005-2007 จำแนกตามพื้นที่ประเทศ และประเภทของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีมูลค่าตลาดรวมถึง 159 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 5 ล้านล้านบาท แต่หากจะมองเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตขบวนรถไฟไฟฟ้าที่ศึกษา จะมีมูลค่าประมาณ 48 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 1.6 ล้านล้านบาท ดังแสดงตามตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงมูลค่าทางการตลาดของการผลิตไฟฟ้า และอุปกรณ์เกี่ยวเนื่องกับระบบราง

ภูมิภาค	มูลค่า (พันล้านดอลลาร์สหรัฐ)					
	โครงสร้างพื้นฐาน	ขบวนรถไฟ	ระบบควบคุม	งานบริการ	ตลาดที่เข้าถึงได้	ตลาดรวม
ยุโรปตะวันตก	8	14	6	10	37	50
เอเชียแปซิฟิก	4	11	3	7	23	39
กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือ	7	7	1	11	27	31
กลุ่มประเทศโซเวียต-รัสเซีย	1	3	1	2	8	18
ยุโรปตะวันออก	1	2	1	3	7	9
แอฟริกาและตะวันออกกลาง	1	3	1	0	5	7
กลุ่มประเทศทวีปอเมริกาที่เหลือ	0	1	0	2	4	5
อื่นๆ	22	40	13	35	111	-
รวม	28	48	13	68	-	159

ที่มา: Global Competitiveness in the rail and Transit Industry, Northeastern University

สรุปได้ว่ามูลค่าตลาดของอุตสาหกรรมผลิตขบวนรถไฟไฟฟ้า มีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของมูลค่าตลาดสินค้าที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งทางรางทั้งหมด และเมื่อคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2016 จะมีมูลค่าตลาดรวม 39.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 1.3 ล้านล้านบาท เป็นตัวเลขที่ลดลง เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2006-2007 เนื่องจากประเทศอื่น ๆ มีการเร่งพัฒนาระบบขนส่งทางรถไฟไฟฟ้าไปพอสมควรเมื่อ ปี ค.ศ. 2006-2007 ดังแสดงตามตาราง 2.2

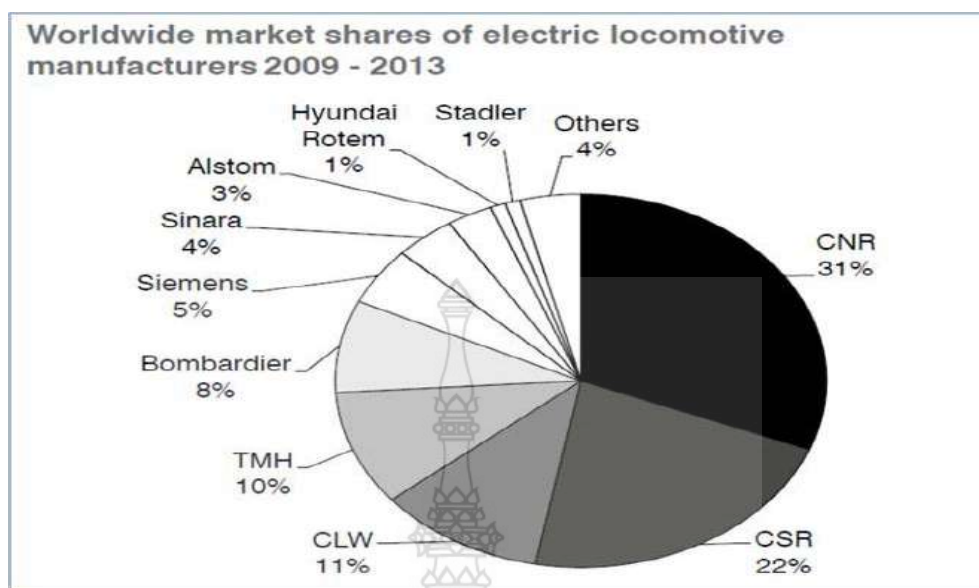
ตาราง 2.2 แสดงมูลค่าตลาดของอุตสาหกรรมผลิตขบวนรถไฟไฟฟ้าจำแนกตามพื้นที่ประเทศ
คาดการณ์ล่วงหน้าไปจนถึงปี ค.ศ. 2016

ภูมิภาค	มูลค่า (พันล้านดอลลาร์สหรัฐ)		
	ค.ศ. 2008-10	ค.ศ. 2011-13	ค.ศ. 2014-16
ยุโรป	12.9	14.0	14.8
จีน	11.6	11.5	9.2
อเมริกาเหนือ	3.7	3.8	4.6
กลุ่มประเทศโซเวียต-รัสเซีย	2.5	3.7	4.7
ละตินอเมริกา	1.8	1.0	1.4
อินเดีย	1.4	1.9	2.3
เอเชียแปซิฟิก	1.8	2.3	2.5

ที่มา: Global Competitiveness in the rail and Transit Industry, Northeastern University

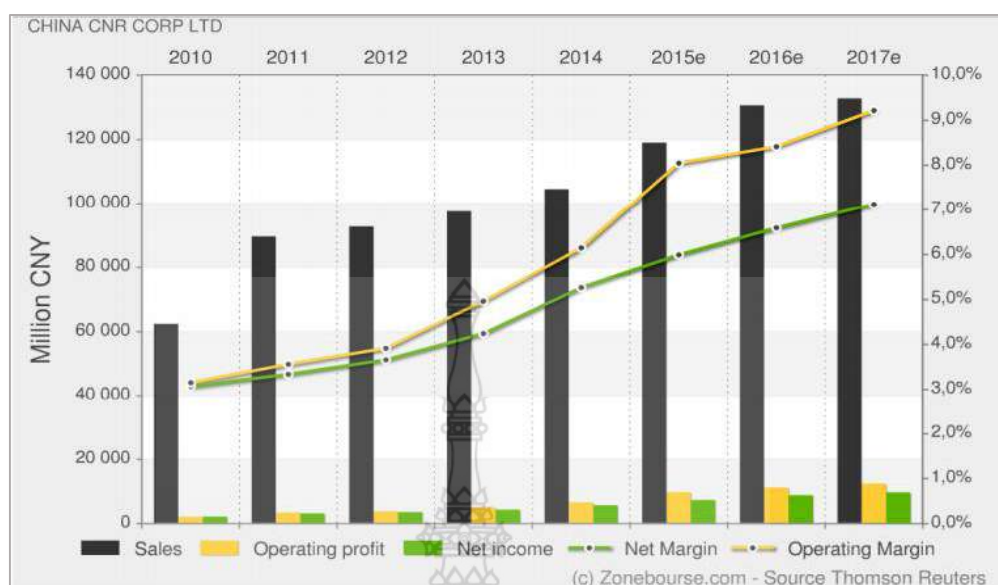
2.1.3 การศึกษาการแข่งขันและการตลาดผู้ผลิตรถไฟไฟฟ้าทั่วโลก

จากการศึกษาการแข่งขันและการตลาดของการผลิตรถไฟไฟฟ้าจากผู้ผลิตทั่วโลก พบว่าสองผู้ผลิตที่มีส่วนแบ่งการตลาดสูงสุดมาจากบริษัทผู้ผลิตจากประเทศจีน อันดับหนึ่งบริษัท China North Locomotive and Rolling Stock Industry Corporation (CNR) มีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 31 อันดับสอง บริษัท China South Locomotive & Rolling Stock Corporation Limited (CSR) มีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 22 ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วมีมูลค่าการตลาด มากกว่าครึ่งของมูลค่าการตลาดทั้งหมด และในปัจจุบัน บริษัท CNR และ CSR ได้ควบรวมกิจการเป็นบริษัท China Railway Rolling Stock Corporation (CRRC) ซึ่งถือว่าเป็นผู้นำในตลาดการผลิตรถไฟไฟฟ้าในปัจจุบัน ดังแสดงตามภาพ 2.6



ภาพ 2.6 แสดงส่วนแบ่งการตลาดของผู้ผลิตรถไฟฟ้าจากทั่วโลก
ที่มา: www.sci.de

ผู้นำอุตสาหกรรมการผลิตรถไฟฟ้า CNR Changchun Railway Vehicle Co., Ltd. (CNR CRC) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1954 ด้วยทุนจดทะเบียน 2,079 ล้านหยวน และเข้าจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์เมื่อปี ค.ศ. 2009 ปัจจุบันมีจำนวนพนักงานประมาณ 13,000 คน เป็นวิศวกรผู้เชี่ยวชาญกว่า 1,000 คน และมีโรงงานขนาดพื้นที่ 3.12 ล้านตารางเมตร ธุรกิจหลักคือผลิต และ ซ่อมบำรุงรถไฟ รถไฟฟ้าทุกประเภท มีความสามารถในการผลิต High Speed Train 1,000 ขบวนรถ/ปี Mainline Passenger Vehicle 500 ขบวนรถ/ปี, Urban Mass Transit Vehicle 1,200 ขบวนรถ/ปี และ 6,000 Bogie/ปี โดยในปี ค.ศ. 2010 บริษัทมีรายได้จากการขายขบวนรถไฟฟ้ามากกว่า 11,000 ล้านหยวน บริษัทมีจำนวนการผลิต Mainline Passenger Vehicle และ High Speed Train สะสม มากกว่า 30,000 ขบวนรถ หรือประมาณร้อยละ 44 ของที่ใช้ในประเทศ และมี จำนวนการผลิต Urban Mass Transit Vehicle และ Maglev Train สะสม มากกว่า 4,100 ขบวนรถ หรือประมาณร้อยละ 55 ของที่ใช้ในประเทศ นอกจากนี้ขบวนรถไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมีการส่งออกไปยัง หลายประเทศ เช่น อิหร่าน, ปากีสถาน, ศรีลังกา, บังคลาเทศ, ไทย, นิวซีแลนด์, ออสเตรเลีย, ซาอุดีอาระเบีย, บราซิล, อาร์เจนตินา และฮ่องกง เป็นต้น จะเห็นได้ว่า CNR เป็นผู้ผลิตรถไฟฟ้ารายใหญ่ ครองส่วนแบ่งการตลาดอันดับ 1 และผลประกอบการมีแนวโน้มที่ดีมาก ดังข้อมูลจากบริษัท Thomson Reuters ซึ่งเป็นบริษัทวิเคราะห์ด้านธุรกิจการเงิน คาดการณ์ไว้ ดังแสดงตามภาพ 2.7



ภาพ 2.7 แสดงผลประกอบการของบริษัท China North Locomotive and Rolling Stock Industry Corporation (CNR)

ที่มา: www.thomsonreuters.com

CNR มียอดขายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 60 พันล้านหยวนในปี ค.ศ. 2010 และเพิ่มเป็น 100 พันล้านหยวน ในปีปัจจุบัน และคาดการณ์ว่าจะมียอดขายถึง 130 พันล้านหยวนในปี 2017 โดยเน้นที่ตลาดนอกประเทศเป็นหลัก

2.1.4 การศึกษาการแข่งขันและการตลาดผู้ให้บริการรถไฟฟ้าในประเทศไทย

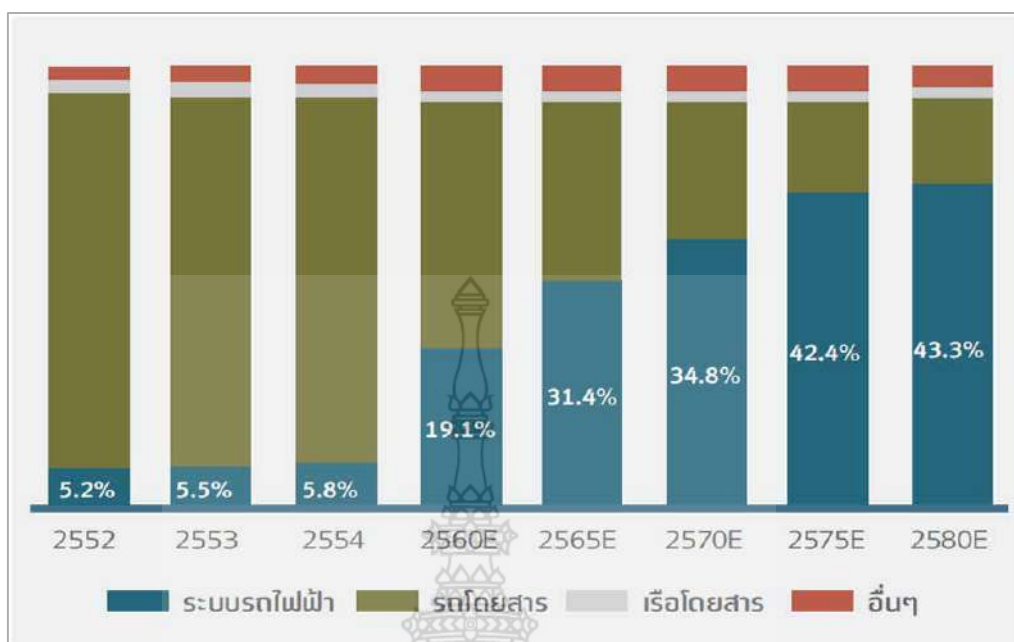
เปรียบเทียบพัฒนาการระบบรถไฟฟ้าของกรุงเทพมหานครและประเทศใกล้เคียงในปี 2557 กรุงเทพฯ และปริมณฑล (นครปฐม ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการและสมุทรสาคร) มีจำนวนประชากร รวมกันกว่า 10.6 ล้านคน ในขณะที่ประชากรในกรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่นมีกว่า 13.3 ล้านคน (ข้อมูล ณ ปี 2556) ประชากรในฮ่องกงมีกว่า 7.3 ล้านคนและประชากร ในประเทศสิงคโปร์มีกว่า 5.5 ล้านคน ทั้งนี้ อัตราการครอบคลุมพื้นที่ของรถไฟฟ้าในกรุงเทพฯ คือ 8.0 กิโลเมตรเท่ากับปีที่ผ่าน มา เนื่องจากไม่มีการเพิ่มขึ้นของส่วน ต่อขยายใดๆ เมื่อคิดเป็นอัตราการครอบคลุมพื้นที่ที่จึ้นน้อย หากเปรียบเทียบกับประเทศในภูมิภาค โดยอัตราการครอบคลุมพื้นที่ของรถไฟฟ้าในกรุงโตเกียว 24.1 กิโลเมตรต่อประชากรล้านคน ฮ่องกง 35.1 กิโลเมตรต่อประชากรล้านคน และสิงคโปร์ 32.4 กิโลเมตรต่อประชากรล้านคน นอกจากนี้ ในปี 2554 ส่วนแบ่งการตลาด ในเชิงของจำนวนเที่ยวโดยสารของระบบรถไฟฟ้าในกรุงเทพฯ มีเพียง 6 % ในขณะที่กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่นอยู่ที่ 36 % ฮ่องกงอยู่ที่ 46 % และสิงคโปร์อยู่ที่ 40 % จากข้อมูลเชิงเปรียบเทียบที่กล่าวมาข้างต้น นับเป็นข้อมูล ปัจจัยหลักที่แสดงให้เห็นว่า กรุงเทพฯ ยังคงต้องการการพัฒนาในโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าในระดับที่ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเพื่อรองรับอุปสงค์ที่นับวันจะสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น ของประชากรกับสภาพการจราจรที่แออัดในปัจจุบันดังแสดงตามตาราง 2.3

ตาราง 2.3 พัฒนาการระบบรถไฟฟ้าในภูมิภาค ในปี 2557

เมือง	ประชากร (ล้านคน)	ความยาวระบบ รถไฟฟ้า (กิโลเมตร)	อัตราการ ครอบคลุมพื้นที่
กรุงเทพมหานคร และ ปริมณฑล	10.6	84.8	8.0
โตเกียว	13.3	320.0	24.1
ฮ่องกง	7.3	256.3	35.1
สิงคโปร์	5.5	178.0	32.4

ที่มา: กระทรวงมหาดไทย สนข., Tokyo Metropolitan Government, Tokyo Metro, Hong Kong's Census and Statistics Department, Hong Kong MTR Corporation, Singapore Land Transport Authority และ SMRT Corporation Limited

นับตั้งแต่มีการเปิดให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสซึ่งระบบรถไฟฟ้าสายแรกในกรุงเทพมหานครในเดือน ธันวาคม 2542 การเดินทางด้วยระบบรถไฟฟ้านั้นมีการพัฒนาอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยในปี พ.ศ. 2554 สถิติการเดินทางด้วยระบบรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานครทั้งหมด คิดเป็น ประมาณ 0.68 ล้าน เที่ยวต่อวัน หรือ 5.8% ต่อจำนวนเที่ยวการเดินทางจากระบบขนส่งมวลชนทั้งหมดที่ประมาณ 11.8 ล้านเที่ยวต่อวัน โดยส่วนแบ่งการตลาดของการเดินทางโดยรถไฟฟ้า นับเป็นสัดส่วนที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนแบ่งการตลาดของระบบขนส่งมวลชนหลักอื่น จากข้อมูลของสำนักงานนโยบาย และแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม ปัจจุบันระบบขนส่งมวลชนหลักใน กรุงเทพมหานครนั้นแบ่งเป็นระบบขนส่งทางรางระบบรถไฟฟ้า (รถไฟฟ้า BTS และรถไฟฟ้า MRT) ระบบขนส่งทางถนน (รถโดยสารประจำทาง) ระบบขนส่งทางน้ำ (เรือโดยสาร) และอื่นๆ (รถตู้โดยสาร และรถไฟ) โดยส่วนแบ่งทางการตลาด ซึ่งวัดจากจำนวนเที่ยวของการเดินทางต่อวันของแต่ละประเภท การเดินทาง ในปี พ.ศ.2554 การเดินทางด้วยระบบขนส่งมวลชนหลักในกรุงเทพมหานครมีสัดส่วน แบ่งเป็นรถโดยสารประจำทาง 89.0 % ระบบรถไฟฟ้า 5.8 % เรือโดยสาร 2.5 % และอื่นๆ 2.7 % จากข้อมูลการศึกษาของ สนข. คาดการณ์ว่า จากการขยายตัวของระบบรถไฟฟ้าจะทำให้อุปสงค์การ เดินทางใน ระบบรถไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและจะส่งผลให้สัดส่วนการใช้ของระบบรถไฟฟ้า ค่อยๆ เพิ่มขึ้นมา ทดแทนสัดส่วนการใช้รถโดยสารประจำทางในปีต่อๆ ไป ดังแสดงได้ตามภาพ 2.8

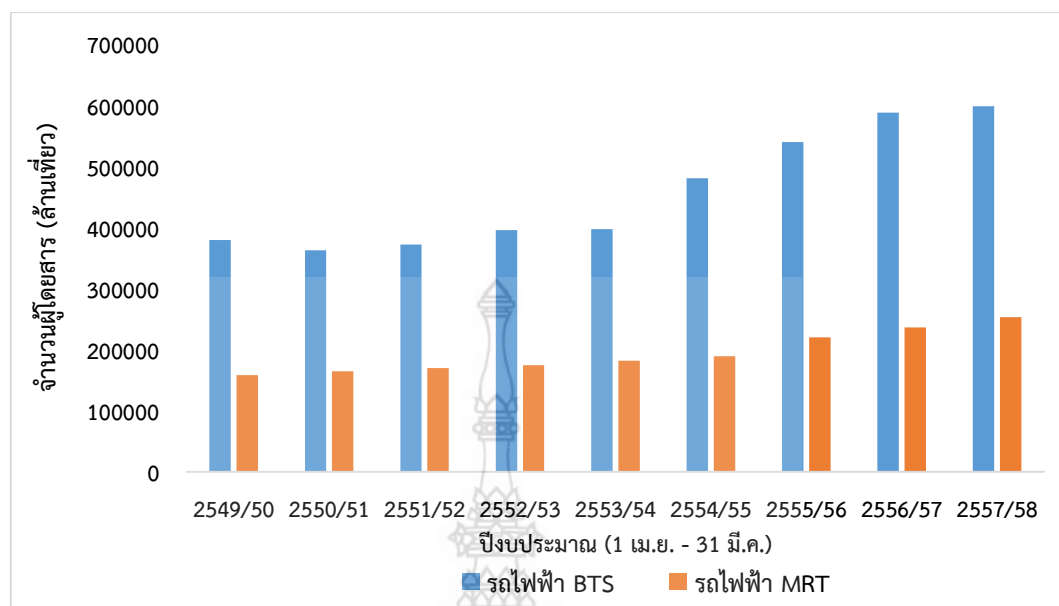


ภาพ 2.8 แสดงสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานคร
ที่มา: รายงานประจำปี 2557/2558 บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ

2.1.5 การศึกษาภาพรวมระบบรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานครในปัจจุบัน

รถไฟฟ้า BTS เป็นระบบรถไฟฟ้าระดับสายแรกในประเทศไทย ก่อสร้างขึ้นเหนือถนนสายหลักใจกลางกรุงเทพฯ ซึ่งบริหารโดย บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ เปิดให้บริการตั้งแต่วันที่ 5 ธันวาคม 2542 ปัจจุบันมีขบวนรถไฟฟ้าขนาด 4 ตู้ ทั้งหมด 52 ขบวน สถานีบริการทั้งหมด 34 สถานี โดยแบ่งออกเป็นสองเส้นทางระยะทางรวม 36.3 กิโลเมตรคือ สายสุขุมวิทหรือสายสีเขียวเข้ม 22 สถานี วิ่งผ่านจากทิศเหนือที่สถานีหมอชิต ถึงทิศตะวันออกที่สถานีบางรี และสายสีลมหรือสายสีเขียวอ่อน 13 สถานี จากสถานีสนามกีฬาแห่งชาติถึงสถานีบางหว้า ทั้งสองเส้นทางเชื่อมกันที่สถานีร่วม คือสถานีสยาม ในปีงบประมาณ 2557/58 ยอดผู้โดยสารรวมอยู่ที่ 218.7 ล้านคน และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 9.8% ต่อปี นับตั้งแต่เริ่มเปิดให้บริการ

รถไฟฟ้า MRT สายสีน้ำเงิน เป็นรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกในประเทศไทย บริหารโดยบริษัทรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ภายใต้สัญญาสัมปทานกับการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย(รฟม.) เปิดบริการตั้งแต่วันที่ 3 กรกฎาคม 2547 จำนวนสถานี 18 สถานี รวมระยะทาง 20.0 กิโลเมตร จากสถานีหัวลำโพงถึงสถานีบางซื่อ ปัจจุบันมีการก่อสร้างในสายที่สอง คือ สายสีม่วง เส้นทางจากคลองบางไผ่ ถึง เตาปูน ระยะทางรวม 22.0 กิโลเมตร 16 สถานี และคาดว่าจะเปิดให้บริการได้ในปี 2559 รถไฟฟ้า MRT มีสถานีเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้า BTS ที่ 3 สถานีคือ สถานีศาลาแดง สถานีโอโศก และสถานีหมอชิต สำหรับปี 2557 ที่ผ่านมารถไฟฟ้า MRT มียอดผู้โดยสารทั้งหมด 92.4 ล้านเที่ยวคน



ภาพ 2.9 แสดงจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยรายวันของรถไฟฟ้า BTS สายหลัก และรถไฟฟ้า MRT (เที่ยวต่อวัน)

ที่มา: บีทีเอสและบีเอ็มจ. รถไฟฟ้ากรุงเทพ

ระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (Airport Rail Link) เชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิกับ สถานีพญาไท ตั้งอยู่ใจกลางเมืองเป็นระบบรถไฟฟ้ายกระดับ รวมระยะทางทั้งหมด 28.5 กิโลเมตร เหนือรางรถไฟสายตะวันออก ซึ่งมีสถานีใต้ดินที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ Airport Rail Link ดำเนินงานโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) เปิดให้บริการตั้งแต่วันที่ 23 สิงหาคม 2553 โดยเปิดให้ บริการทั้งหมด 3 เส้นทาง ได้แก่ รถไฟฟ้าสายด่วนท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (Express Line) วิ่งตรงจากสถานีมีกะสันถึงท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รถไฟฟ้าด่วนพญาไท (Express Line) วิ่งตรงจากสถานีพญาไทถึงท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และรถไฟฟ้าท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (City Line) ที่เปิดบริการรับ-ส่งผู้โดยสารระหว่างสถานีพญาไทถึงสถานีปลายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ระบบรถไฟฟ้าชานเมือง เป็นโครงการรถไฟฟ้าสายสีแดงอ่อน ดำเนินงานโดยการรถไฟแห่งประเทศไทย ให้บริการระหว่างสถานีบางซื่อถึงสถานีตลิ่งชัน ระยะทางรวม 15.3 กิโลเมตร จำนวน 4 สถานี โดยเปิดทดลองเดินรถด้วยรถดีเซลราง ตั้งแต่วันที่ 8 กันยายน ถึง 30 พฤศจิกายน 2555 และเริ่มเปิดให้บริการเป็นการชั่วคราว วันที่ 5 ธันวาคม 2555

2.1.6 การศึกษากระบวนการบริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

ระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นรถขนส่งมวลชนความจุสูงแบบมาตรฐาน ขบวนรถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน วิ่งบนรางคู่ยกระดับ ความกว้างราง 1.435 เมตร (Standard gauge) แยกทิศทางไปและกลับ มีรางจ่ายกระแสไฟฟ้า (Conductor rail หรือ Third rail system) อยู่ด้านข้าง มีความจุมากกว่า 50,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง การควบคุมใช้ระบบคอมพิวเตอร์สั่งการ มีระบบป้องกัน

การชน ระบบควบคุมความเร็ว ตามมาตรฐานสากล โดยรถไฟฟ้าบีทีเอสที่นำให้บริการมี 2 ประเภท ดังนี้

รถไฟฟ้า ประเภทที่ 1 SIEMENS Model เป็นขบวนรถไฟฟ้ารุ่นแรก มีจำนวน 35 ขบวน และภายหลังได้เพิ่มตู้รถไฟฟ้าจากแบบ 3 ตู้ เป็นแบบ 4 ตู้ต่อขบวน ซึ่งประกอบด้วย ตู้รถไฟฟ้ามีระบบขับเคลื่อน (Motored cars) ที่ด้านหน้าและท้ายของขบวนรถไฟฟ้า และ ตู้รถไฟฟ้าแบบไม่มีระบบขับเคลื่อน (Trailer cars) 2 ตู้อยู่ตรงกลางของขบวนรถไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนของรถไฟฟ้าได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 750 โวลต์ (DC Voltage) จากรางที่สาม (Third Rail Traction Power) ผ่านชุดแปลงกระแสไฟฟ้าสลับระบบขับเคลื่อน (Traction Converter Units) เพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ติดตั้งอยู่บนเพลาล้อของรถ A-car ทั้งสองตู้ ในทำนองเดียวกันตู้รถไฟฟ้า C-car ทั้งสองตู้ตรงกลางได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 750 โวลต์จากรางที่สาม แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 400 โวลต์ และไฟฟ้ากระแสตรง 110 โวลต์ เพื่อใช้ในระบบปรับอากาศ และชาร์จแบตเตอรี่ ขบวนรถไฟฟ้ามีความยาวตลอดทั้งขบวน 86.6 เมตร กว้าง 3.12 เมตร รองรับผู้โดยสารได้สูงสุดจำนวน 1490 คน ที่น้ำหนักบรรทุก (Load Condition) 8 คน ต่อ ตารางเมตร จำนวนที่นั่งผู้โดยสาร 42 ที่นั่ง ต่อ ตู้ และ 168 ที่นั่งทั้งขบวน มีประตูโดยสารเลื่อนเปิดปิดด้านนอกตัวรถ (Sliding door) ควบคุมการทำงานด้วยระบบควบคุมกับมอเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 16 บานต่อด้าน ตัวรถทำด้วยเหล็กปลอดสนิม ติดตั้งระบบปรับอากาศ พร้อมหน้าต่างชนิดกันแสง

รถไฟฟ้าประเภทที่ 2 CNR Model เป็นขบวนรถไฟฟ้าบีทีเอส 12 ขบวนใหม่รุ่นล่าสุด เป็นรถไฟฟ้าแบบ 4 ตู้ประกอบด้วยตู้รถไฟฟ้าที่ไม่มีระบบขับเคลื่อนแต่มีห้องขับจำนวนสองตู้อยู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังขบวน และตู้รถไฟฟ้าแบบมีระบบขับเคลื่อนแต่ไม่มีห้องขับ จำนวนสองตู้อยู่ตรงกลางขบวน ซึ่งติดตั้งระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (ACM) ขนาด 140 KVA 3-เฟส 400 AC Volt. และ ACM แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 750 โวลต์ (DC Voltage) จากรางที่สาม (Third Rail Traction Power) ไปเป็น 3-เฟส 400 AC Volt. เพื่อจ่ายให้กับระบบปรับอากาศ ระบบลมอัด ระบบแสงสว่าง ภายในและภายนอก และโหลดต่างๆ และยังติดตั้งเครื่องประจุไฟขนาด 22 KW 110 DC Volt. สำหรับแบตเตอรี่ของตู้รถไฟฟ้า สำหรับตู้รถไฟฟ้าที่มีระบบขับเคลื่อน แต่ละตู้ติดตั้งระบบขับเคลื่อนที่ (MCM) เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนโดยรับกระแสไฟฟ้า 750 โวลต์ (DC Voltage) จากรางที่สาม ความยาวตลอดทั้งขบวน 87.25 เมตร และกว้าง 3.12 เมตร รองรับผู้โดยสารได้สูงสุดที่น้ำหนักบรรทุก (Load Condition) 8 คน ต่อ ตารางเมตร จำนวนผู้โดยสารทั้งขบวนสูงสุด 1490 คน ตัวรถทำจากเหล็กปลอดสนิมมีน้ำหนักเบาโครงสร้างเป็นแบบขึ้นรูปเชื่อมประกอบ มีระบบไฟแจ้งเส้นทางและสถานี (DRM) ติดตั้งอยู่ด้านบนทุกๆประตูโดยสารเพื่อแสดงตำแหน่งรถไฟฟ้าว่าอยู่สถานี และทิศทางใด การออกแบบภายในเน้นให้มีความสะดวก ปลอดภัย

การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส เริ่มให้บริการตั้งแต่เวลา 6:00 – 24:00 น. ทุกวัน โดยจะให้บริการด้วยความถี่ที่เหมาะสมกับปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการในแต่ละวัน และช่วงเวลา ความถี่การให้บริการแสดงได้ดังตาราง 2.4, 2.5 และ 2.6

ตาราง 2.4 แสดงความถี่การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสวันจันทร์ถึงวันศุกร์

วันจันทร์ - วันศุกร์		
ช่วงเวลา (น.)	เวลาระหว่างขบวนรถโดยประมาณ (นาที:วินาที)	
	สายสุขุมวิท	สายสีลม
06:00-07:00	5:00	6:00
07:00-09:00	2:50	4:50
09:00-09:30	3:35	6:00
09:30-16:00	5:55	6:00
06:00-16:30	4:25	6:00
16:30-17:00	3:00	6:00
17:00-19:00	3:00	4:50
19:00-20:00	3:35	4:50
20:00-21:00	4:25	6:00
21:00-22:00	6:00	6:00
22:00-24:00	8:00	8:00

ที่มา: เอกสารประชาสัมพันธ์ บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ

ตาราง 2.5 แสดงความถี่การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสวันเสาร์

วันเสาร์		
ช่วงเวลา (น.)	เวลาระหว่างขบวนรถโดยประมาณ (นาที:วินาที)	
	สายสุขุมวิท	สายสีลม
06:00-08:00	7:00	7:00
08:00-09:00	5:55	7:00
09:00-11:00	5:55	6:00
11:00-21:00	4:50	6:00
21:00-22:00	7:00	7:00
22:00-24:00	8:00	8:00

ที่มา: เอกสารประชาสัมพันธ์ บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ

ตาราง 2.6 แสดงความถี่การให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสวันอาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์

วันอาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์		
ช่วงเวลา (น.)	เวลาระหว่างขบวนรถโดยประมาณ (นาที:วินาที)	
	สายสุขุมวิท	สายสีลม
06:00-09:00	7:00	7:00
09:00-16:00	5:55	6:00
16:00-21:00	5:10	6:00
21:00-22:00	7:00	7:00
22:00-24:00	8:00	8:00

ที่มา: เอกสารประชาสัมพันธ์ บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

2.2.1 การทบทวนวรรณกรรมปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก

การศึกษาปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟราเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ซึ่งหากบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ดังเช่นดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ในระบบสุริยะแล้ว จะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ดูดซับคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในตอนกลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน มีก๊าซจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน และถูกจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทนและไนตรัสออกไซด์ สารซีเอฟซี เป็นต้น แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแล้ว

ปัจจุบันกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ กำลังเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติรวมทั้งการตัดไม้ทำลายป่าทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การทำการเกษตรและการปศุสัตว์ปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ ควันทจากท่อไอเสียรถยนต์ปล่อยก๊าซโอโซน นอกจากนี้ กระบวนการแปรรูปอุตสาหกรรมปล่อยสารฮาโลคาร์บอน (CFCs, HFCs, PFCs) การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกนั้น ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศ

ที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกนั้น ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนี้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุล และขึ้นอยู่กับอายุของก๊าซนั้นๆ ในบรรยากาศ และจะคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 20 ปี 50 ปี หรือ 100 ปี โดยค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ในช่วงเวลา 100 ปี ของก๊าซเรือนกระจกต่างๆ แสดงได้ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 แสดงค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ในช่วงเวลา 100 ปี ของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์	200 - 450	1
มีเทน	9-15	23
ไนตรัสออกไซด์	120	296
CFC-12	100	10,600
เตตระฟลูออโรมีเทน	50,000	5,700
ซีลเฟอร์เฮกซะ	3,200	22,000
ฟลูออไรด์		

ที่มา : www.tgo.or.th

2.2.2 การทบทวนวรรณกรรมการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ เป็นการประมาณปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากการใช้พลังงานของประเทศซึ่งคำนวณจากปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂ (Emission Factor) ตามชนิดเชื้อเพลิง โดยอ้างอิงระเบียบวิธีประมาณการและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ตาม หลักเกณฑ์ของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ฉบับปี 2006 โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \sum (\text{EF}_{\text{Fuel}} \times \text{FC}_{\text{Fuel}})$$

เมื่อให้

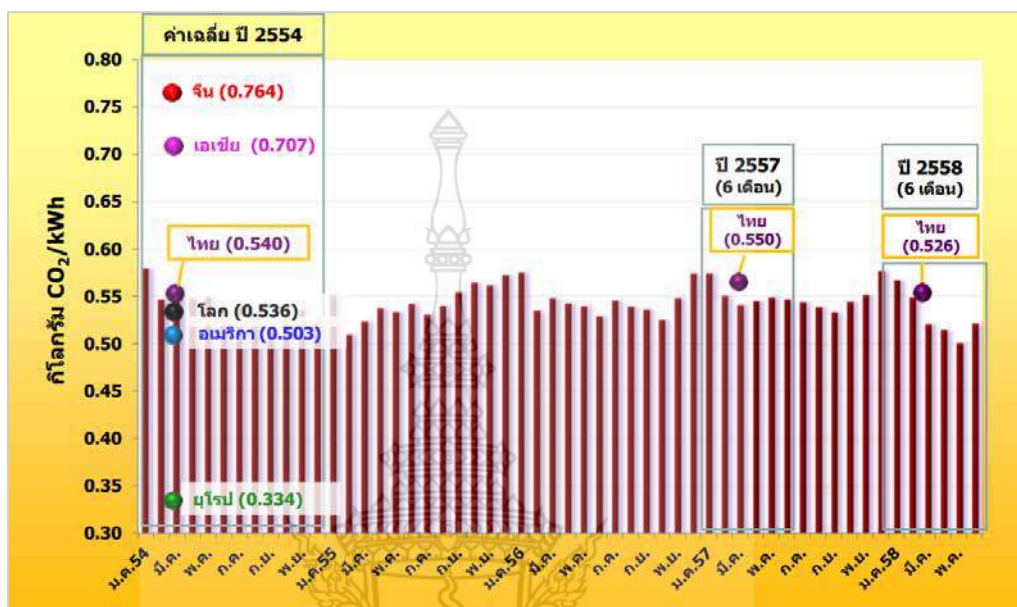
CO₂ Emission หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงาน

EF Fuel (Emission Factor) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ตามชนิดเชื้อเพลิง

FC Fuel (Fuel Consumption) หมายถึง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ซึ่งค่า EF Fuel (Emission Factor) สามารถใช้ข้อมูลอ้างอิงได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่าการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (kWh) ในช่วง 6 เดือนแรกของปี 2558

ประเทศไทย มีการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระดับ 0.526 กิโลกรัม CO₂ ต่อ 1 kWh ลดลงเล็กน้อยจากช่วง เดียวกันของปีก่อนซึ่งมีการปล่อยก๊าซ CO₂ เฉลี่ยที่ระดับ 0.550 กิโลกรัม CO₂ ต่อ 1 kWh



ภาพ 2.10 แสดงการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (kWh)

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558)

เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อ kWh ของประเทศไทยกับต่างประเทศ จากค่าเฉลี่ยของปี 2554 พบว่าประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซ CO₂ อยู่ที่ระดับ 0.540 กิโลกรัม CO₂ ต่อ 1 kWh สูงกว่าประเทศในกลุ่ม สหภาพยุโรป ประเทศสหรัฐอเมริกา และค่าเฉลี่ยของโลก ที่มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ในช่วง 0.334 - 0.536 กิโลกรัม CO₂ต่อ 1 kWh เนื่องจากปัจจัยด้านเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มประเทศดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปและประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีการใช้นิวเคลียร์ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ในการผลิตไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนถึง 28 % และ 23 % ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อ kWh ของประเทศไทยยังมีค่าต่ำกว่าประเทศจีนและประเทศในภูมิภาคเอเชีย ซึ่งมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ระดับ 0.764 กิโลกรัม CO₂ ต่อ 1 kWh และ 0.707 กิโลกรัม CO₂ ต่อ 1 kWh ตามลำดับ

การใช้หลักการดังกล่าวในการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ สอดคล้องกับ ขนิษฐา เกิดพร และคณะ ที่ได้ศึกษาศักยภาพการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เทคโนโลยี ECOARC ในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางในประเทศไทย ที่วิจัยในปี 2556 ได้คำนวณค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ไฟฟ้า (kgCO₂e) โดยหลักเกณฑ์ของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ฉบับปี 2006 โดยหลักเดียวกัน แต่ใช้ค่าการ Emission Factor เท่ากับ 0.607 kgCO₂e /kWh ในการคำนวณซึ่งเป็นค่าในปี 2556 จากการทบทวนวรรณกรรมนี้ทำให้เห็น

Gap (ช่องว่าง) ในการพัฒนาการทำวิจัย โดยในการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.526 kgCO₂e /kWh ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน ในช่วง 6 เดือนแรกของ ปี 2558 ดังแสดงในภาพ 2.10 ซึ่งจะทำให้การคำนวณถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

2.2.3 การทบทวนวรรณกรรมเทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติและการพยากรณ์

ในงานวิจัยนี้ใช้การควบคุมกระบวนการทางสถิติประเภท การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย และประเภทแผนภูมิควบคุม เพื่ออธิบายการปล่อยก๊าซ CO₂ และใช้เทคนิคการพยากรณ์ประเภทอนุกรมเวลา ในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ในอนาคต ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในเรื่องดังกล่าว ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

2.2.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย หรือที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงชนิดตัวแปรเดียวนั้น เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่ในสมการประกอบด้วยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัวเท่านั้น ซึ่งความแตกต่างระหว่างค่าของข้อมูลที่ได้จากสมการกับค่าของข้อมูลจริงเป็นค่าความคลาดเคลื่อน

มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติหลายงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ เบญจวรรณ นิรมิตวสุ วิจัยไว้ในปี 2554 โดย หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสมการเส้นตรง

$$y = mx + c$$

เมื่อ

Y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ – ชั่วโมง)

X คือ ปริมาณผลผลิตรายเดือน (หน่วย)

M คือ ความชันของเส้นตรง (พลังงานที่ต้องใช้เมื่อทำ การผลิตหนึ่งหน่วย หรือ productive dependent energy consumption: PE

C คือ ค่าคงที่และจุดตัดแกน y (พลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต หรือ unproductive energy consumption: UEC)

ค่า R² (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ) มีค่าระหว่าง 0-1 แสดงให้เห็น ถึงการกระจายตัวของข้อมูล ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงนั้น สมการที่มีความแม่นยำซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้ควรมีค่า R² ที่ค่อนข้างสูงและเข้าใกล้ 1 มากที่สุด โดยส่วนใหญ่แล้วนักวิชาการแนะนำว่าค่า R² ไม่ควรต่ำกว่า 0.80 เพราะถ้าสมการถดถอยมีค่า R² ต่ำกว่า 0.80 อาจส่งผลให้การประมาณค่าไม่มีความแม่นยำซึ่งส่งผลต่อความน่าเชื่อถือได้

2.2.3.2 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

คือการนำเอาวิธีการเชิงสถิติมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อให้กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการแปรผันของกระบวนการผลิตลดลง ซึ่ง ปัทมา ยินดี ได้กล่าวไว้ในงานวิจัย ปี 2555 โดยจุดกำเนิดแล้ว Dr.Walter Andrew Shewhart เป็น

ผู้พัฒนาแผนภูมิควบคุมขึ้นมา หลักการของการควบคุมกระบวนการผลิตคือ ถ้ากระบวนการผลิตมีคุณลักษณะเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในขีดจำกัดควบคุม แสดงว่ากระบวนการผลิตมีเสถียรภาพ แต่ถ้าตรวจพบว่า กระบวนการผลิตมีคุณลักษณะเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ออกนอกขีดจำกัดควบคุม แสดงว่ากระบวนการผลิตไม่มีเสถียรภาพ อาจก่อให้เกิดปัญหาหรือความผิดพลาด ซึ่งเมื่อตรวจพบปัญหาจะหยุดกระบวนการในการผลิตเพื่อตรวจสอบสาเหตุของปัญหา และทำการแก้ไขปัญหานั้นจะนำกระบวนการที่แก้ไขปัญหานั้นไปใช้ในกระบวนการผลิตครั้งต่อไป สำหรับการเกิดปัญหาหรือการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตนั้นมีขนาดของการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน คือมีตั้งแต่การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการขนาดเล็ก ขนาดปานกลางไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่มีขนาดใหญ่ แผนภูมิควบคุมแต่ละแผนภูมิจึงสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตได้ดีแตกต่างกัน

แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยนั้นมีอยู่หลายแผนภูมิเช่น แผนภูมิควบคุมชีวฮาร์ท $\bar{X}$ (Shewhart $\bar{X}$ Control Chart) แผนภูมิควบคุม CUSUM (Cumulative Sum Control Chart) และแผนภูมิควบคุม EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) ซึ่งแต่ละแผนภูมินั้นจะมีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันคือ แผนภูมิควบคุมชีวฮาร์ท $\bar{X}$ จะสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้ดี เมื่อค่าเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงด้วยขนาดปานกลาง และขนาดใหญ่ ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม CUSUM นั้นจะสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้ดี เมื่อค่าเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงด้วยขนาดเล็ก

งานวิจัยที่อาศัยเทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติกับการเดินทางโดยรถไฟฟ้าได้มีผู้วิจัย นาริรัตน์ เกษมพัฒนาการ วิจัยในปี 2550 หาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสาร ระยะทางและพื้นที่สถานีโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย งานวิจัยลักษณะเดียวกัน วิจัยโดย เป็นธิดา มณีโชติ วิจัยในปี 2554 ได้ใช้ข้อมูลระดับทุติยภูมิ โดยรวบรวม ข้อมูลการใช้พลังงานรายเดือนทั้งปริมาณไฟฟ้าและ เชื้อเพลิง และปริมาณผลผลิตจากรายงานการจัด การพลังงานในปี 2551 และ 2552 ของโรงงานควบคุม ได้สร้างแผนภาพกระจาย (scatter diagram) ของข้อมูล ปริมาณผลผลิตและพลังงานที่ใช้ทั้ง 24 เดือน และรายปี วิเคราะห์พฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลด้วยกราฟ CUSUM โดยใช้ข้อมูลทั้ง 24 เดือน แตกต่างกับงานวิจัยของเบญจวรรณ นิรมิตวสุและนาริรัตน์ เกษมพัฒนาการ ตรงที่เป็นธิดา มณีโชติ ตั้งสมมุติฐานที่ว่า การที่ กระบวนการ ผลิตต่างกัน การใช้พลังงานจึงขึ้นกับปริมาณการผลิต ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ทำให้การ วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายอาจไม่แม่นยำ เพียงพอ จึงต้องหาความสัมพันธ์ ด้วยการถดถอยเชิง เส้นแบบพหุ (multiple linear regression) ร่วมด้วย

จากการทบทวนงานวิจัยจึงมองเห็น Gap (ช่องว่าง) ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่การวิจัย เพื่อดูแลแนวโน้มการใช้พลังงานในหน่วยงานที่สนใจ และจะเป็นภาคการผลิตเป็นส่วนใหญ่ แต่ผู้วิจัย ไม่ได้วิจัยต่อการเกิดภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการใช้พลังงานที่เกิดจากการปล่อยก๊าซ CO₂ ซึ่งกำลัง เป็นปัญหาระดับโลกในปัจจุบัน อีกทั้งงานวิจัยเกี่ยวกับการบริการโดยรถไฟฟ้าถึงจะมีผู้วิจัยทำการวิจัย บ้างแล้ว แต่ใช้เทคนิคการวิจัยที่แตกต่างกัน และวิจัยไว้หลายปีแล้ว ซึ่งปัจจุบันมีการขยายเส้นทาง รถไฟฟ้าหลายเส้นทาง จึงสนใจทำงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้ผลวิจัยที่แม่นยำ และเกิดประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้ งาน

2.2.3.3 การพยากรณ์โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

เป็นวิธีการสร้างสูตรหรือตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ และ คณิตศาสตร์ ซึ่งจะทำได้เมื่อมีข้อมูลในอดีตอยู่ในรูปตัวเลข หรือ สามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ ได้แก่ เทคนิคอนุกรมเวลา เทคนิคความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยเราจะพิจารณาเลือกใช้ตัวแบบการพยากรณ์จากค่าของความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดจากวิธีดังต่อไปนี้

2.2.3.3.1 การพยากรณ์แบบวิเคราะห์แนวโน้ม Trend Analysis Method เป็นการเคลื่อนไหวหรือเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระยะยาว การประมาณค่าแนวโน้มเส้นตรงมีทั้งวิธีกะประมาณด้วยสายตา คือการนำข้อมูลมาเขียนกราฟ วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ (The moving average method) วิธีนี้จะลดอิทธิพลของเหตุการณ์ที่ผิดปกติลงได้ และทำให้ข้อมูลนั้นราบเรียบยิ่งขึ้น วิธีการเลือกจุด 2 จุด (Selected two-points method) โดยเลือกจุดที่อยู่ในช่วงปลายทั้งสองข้างของข้อมูล 1 จุด แล้วลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุดที่เลือกทั้งสอง สำหรับค่าแนวโน้มของแต่ละเวลาที่จะหาจากสมการเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดที่เลือกทั้งสอง และวิธีเฉลี่ยทีละครึ่ง (Semi-average method) โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละส่วนเป็นจุดเส้นแนวโน้มลากผ่าน ถ้าจำนวนทั้งหมดเป็นเลขคู่จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 สองเท่า ๆ กัน ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จะอยู่ที่กึ่งกลางเวลาทั้งหมดที่นำมาเฉลี่ยถ้าจำนวนข้อมูลในแต่ละส่วนเป็นเลขคี่ ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จะอยู่ระหว่างข้อมูล 2 ตัว ที่อยู่ตรงกลางของส่วนนั้น

2.2.3.3.2 การพยากรณ์แบบแยกส่วนตัวประกอบ Decomposition Method เป็นวิธีการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาในระยะเวลานานกลาง โดยการแยก ส่วนประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลาในอดีตเป็น 4 ส่วน คือแยกเป็นแนวโน้ม (T) ความผันแปรตามวัฏจักร (C) ความผันแปรฤดูกาล (S) และความผันแปรที่ไม่แน่นอน (I) เพื่อพิจารณาว่า ส่วนประกอบใดที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอนุกรมเวลาบ้าง แล้วคำนวณหาอิทธิพล ของแต่ละส่วนประกอบ แล้วนำค่าความผันแปรของแต่ละส่วนไปพยากรณ์ค่าของข้อมูลในอนาคต

2.2.3.3.3 การพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง Double Exponential Smoothing หรือเรียกว่า Holt's Linear Method หรือ เป็นวิธีที่ใช้ในการพยากรณ์ระยะสั้นที่ทันใดระยะสั้น และอาจใช้ในระยะปานกลางได้ซึ่งเหมาะกับข้อมูลที่มีแนวโน้มในรูปเชิงเส้น (Linear Trend) รวมอยู่ด้วย โดยจำนวนข้อมูลที่ใช้ควรมีอย่างน้อย 5 รายการ วิธีการของ Holt จะใช้กับข้อมูลที่มีแนวโน้ม และความไม่แน่นอน จึงมีค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบ 2 ค่า คือ α : alpha และ γ : gamma โดยที่ α คือค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้า α มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าให้ความสำคัญแก่ข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลอื่น ๆ γ คือค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้มมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้า γ มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าให้ความสำคัญแก่ข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลอื่น ๆ

2.2.3.3.4 การพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ Winters Exponential Smoothing Method หรือ Triple Exponential Smoothing เป็นวิธีที่ใช้ในการพยากรณ์ระยะสั้นจนถึงระยะปานกลาง ซึ่งเหมาะกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล (Trend-Season Data) โดยข้อมูลไม่ควรเป็นรายปี เพราะจะทำให้ไม่สามารถแยกอิทธิพลของฤดูกาลได้ จึงควรอยู่ในรูปรายเดือน รายสัปดาห์ รายไตรมาส และต้องมีข้อมูลอย่างน้อย 36 รายการขึ้นไปถ้า

เป็นข้อมูลรายเดือน หรืออย่างน้อย 12 รายการขึ้นไปถ้าเป็นข้อมูลรายไตรมาส วิธีการของ Winters จะมีค่าคงที่สำหรับปรับให้เรียบ 3 ค่า คือ α : alpha , γ : gamma และ δ : delta โดยที่ α คือ ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ส่วน γ คือค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณของแนวโน้มมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ δ คือค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างค่าฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาลค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ในการตรวจสอบว่า เราเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ได้เหมาะสมหรือไม่เพียงไร เราสามารถจะตรวจสอบได้โดยการพิจารณาค่าผิดพลาดของค่าพยากรณ์ เมื่อ เปรียบเทียบกับค่าความต้องการจริง ค่าผิดพลาดยิ่งต่ำยิ่งดี ซึ่งเราสามารถเลือกใช้ตัวตรวจสอบค่าผิดพลาดได้จากการตรวจสอบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสมบูรณ์ Mean Absolute Deviation (MAD) ซึ่งเป็นเทคนิคที่วัดความแม่นยำโดยแก้ปัญหาเทคนิคค่าเฉลี่ยความผิดพลาด โดยการพิจารณาความแตกต่างของค่าจริงและค่าพยากรณ์ โดยไม่คิดเครื่องหมาย หรือตรวจสอบจากค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง Mean Square Deviation (MSD) ซึ่งเป็นเทคนิคที่วัดความแม่นยำโดยแก้ปัญหาเทคนิคค่าเฉลี่ยความผิดพลาด โดยพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์โดยวิธียกกำลังสอง หรือตรวจสอบจากค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสมบูรณ์ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) เป็นเทคนิควัดความแม่นยำ โดยคำนวณร้อยละความผิดพลาดในการพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย ค่าที่ได้ต่ำแสดงว่า เทคนิคนั้นมีความแม่นยำ

งานวิจัยด้านการพยากรณ์ในการผลิตนั้น มีผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยไว้ การเลือกใช้เทคนิคใดที่เหมาะสมที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะ และแนวโน้มของข้อมูล อัครช บรรจงศิลป์ ได้พยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในปี 2550 โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ ทั้ง 4 เทคนิค ที่กล่าวข้างต้น และเลือกเทคนิคที่แม่นยำที่สุด มาเป็นต้นแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แต่ละประเภท จากงานวิจัยนี้ จึงเห็น Gap (ช่องว่าง) ที่นำมาประยุกต์เพื่อการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส ได้เช่นกัน แต่ต่างกันตรงที่ข้อมูล และแนวโน้มข้อมูลซึ่งแตกต่างกัน และการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส ยังไม่มีนักวิจัยใดทำมาก่อนหน้านี้

2.2.4 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยด้านการศึกษาการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มีงานวิจัยลักษณะนี้หลายงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยใช้เทคนิควิจัยที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม โดยการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานควบคุมใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรม เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม โดยเน้นด้านพลังงานเป็นหลัก ไม่ได้วิจัยถึงการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากอุตสาหกรรมแต่ละกลุ่ม และยังมีงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันในเรื่อง การใช้แผนภูมิการกระจาย (scatter diagram) และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control chart หรือ CUSUM control chart) ในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน ได้วิจัย เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม ซึ่งเน้นเรื่องการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ ในส่วนของการใช้พลังงานในระบบขนส่งมวลชนทางรถไฟฟ้ามหานคร ได้มีนักวิจัยในประเทศ ได้วิเคราะห์การใช้พลังงานในการขนส่งมวลชนโดย

รถไฟฟ้าบีทีเอส โดยใช้ข้อมูลผู้โดยสารที่เดินทางจากสถานีต้นทาง ถึงสถานีปลายทาง ศึกษาเที่ยววิ่งและหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสาร ระยะทาง แต่งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าไว้ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัย เรื่องการศึกษาการใช้พลังงานและการเกิดก๊าซ CO₂ ของรถโดยสารประจำทางและรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2545-2550 ได้สุ่มสำรวจและบันทึกจำนวนผู้โดยสาร สถานีปลายทางของผู้โดยสารรถไฟฟ้าใต้ดินจำนวน 400 คนเพื่อหาระยะทางเฉลี่ย แล้วนำมาหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ และค่าการปล่อยก๊าซ CO₂ พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะ และค่าการปล่อยก๊าซ CO₂ รถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งมีการศึกษาทั้งในเรื่องของการใช้พลังงาน และได้ค่าการปล่อย CO₂ เท่ากับ 0.216 KgCO₂ /Passenger/Km นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน หรือ การปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ไม่ใช่ระบบรถไฟฟ้า เช่นรถไฟฟ้าระหว่างจังหวัดของการรถไฟแห่งประเทศไทย นักวิจัย ได้วิเคราะห์การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซ CO₂ ของการขนส่งทางรถไฟในประเทศไทย โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขนส่งผู้โดยสารและสินค้าทางรถไฟ ได้ค่าการปล่อย CO₂ ของการขนส่งผู้โดยสาร เท่ากับ 3.481 gCO₂/100 Passenger/Km หรือ 0.00003481 KgCO₂ /Passenger/Km ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าการปล่อยก๊าซ CO₂ รถไฟฟ้าใต้ดิน มีค่าแตกต่างกันมากเมื่อเทียบเป็นหน่วยเดียวกัน อาจมีสาเหตุมาจากพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถเป็นคนละประเภทกัน และจำนวนผู้โดยสารแตกต่างกันมาก และยังมีการศึกษาโครงการรถไฟความเร็วสูงที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยนักวิจัย ได้เลือกรูปแบบรถไฟความเร็วสูงในแต่ละประเทศ โดยศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พบว่ารถไฟความเร็วสูง Shinkansen N700 จากประเทศญี่ปุ่นมีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดคือ 0.029 Kwh/Seat/Km นำมาเป็นต้นแบบในการบริการพัฒนารถไฟความเร็วสูงในประเทศไทยในเส้นทางที่ศึกษา 4 เส้นทางคือ กรุงเทพ-เชียงใหม่ กรุงเทพ-หนองคาย กรุงเทพ-จันทบุรี กรุงเทพ-ปาดังเบซาร์ จากผลการศึกษาพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการเดินทางทั้ง 4 เส้นทาง ได้ค่าการปล่อย CO₂ เท่ากับ 0.01585 gCO₂/Seat/Km หรือ 0.00001585 KgCO₂/Seat/Km นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยสร้างโปรแกรมการคำนวณ CO₂ ที่เกิดจากระบบขนส่ง ได้เขียนโปรแกรมศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งของประเทศไทยโดยใช้ Microsoft Visual Basic และเก็บข้อมูลใน Microsoft Access ที่สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ต่างๆ ได้เช่น ปี ปริมาณเชื้อเพลิงแยกตามชนิด จำนวนรถชนิด และปริมาณการขนส่ง ค่า Emission Factor ที่สะดวกต่อการใช้งานและสามารถปรับปรุงให้ทันสมัยได้ ซึ่งช่วยให้ นักวิจัยท่านอื่นสามารถคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมขนส่งได้ง่ายขึ้น หากสามารถปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยอยู่เสมอ

ด้านการทบทวนงานวิจัยด้านนโยบายระดับประเทศ ได้ทบทวนงานวิจัยนโยบายด้านการปล่อยก๊าซ CO₂ ใน 4 ประเทศ คือ ไทย จีน อินเดีย และแคนาดา ดังนี้

ประเทศไทย นักวิจัย ได้ศึกษาแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคการขนส่งของประเทศไทย และนโยบายการลดผลกระทบ โดยคำนวณปริมาณก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานในภาคขนส่ง มีการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคขนส่งคือ จำนวนประชากร อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนแยกเป็นขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ และทำนายปริมาณก๊าซ CO₂ โดย

ใช้เทคนิค log-linear regression, path analysis, time series, curve estimation พบว่าเทคนิค path analysis ใช้ทำนายการปล่อยก๊าซ CO₂ จากตัวแปรจำนวนรถยนต์ขนาดใหญ่ที่จดทะเบียน อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และจำนวนประชากรได้อย่างมีนัยสำคัญ และใช้เทคนิค curve estimation กับการทำนายการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงสุด

ประเทศจีน นักวิจัย ได้ศึกษารูปแบบจำลองระบบการลดผลกระทบจากการปล่อยก๊าซ CO₂ ในระบบขนส่งในเมืองของประเทศจีน โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2000-2004 และระดับการควบคุมผลกระทบระดับกลางตามแผนนโยบาย 5 ปีที่จะมีการขยายระบบขนส่งทางราง 5.2 % ระบบทางด่วน 4.5 % ระบบขนส่งทางน้ำ 1.4 % เพิ่มภาษีเชื้อเพลิง 45 % และระดับการควบคุมผลกระทบระดับสูงที่เน้นการลงทุนระบบขนส่งที่ลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซ CO₂ เป็นหลักโดยมีการขยายระบบขนส่งทางราง 6.0 % ระบบทางด่วน 4.0 % ระบบขนส่งทางน้ำ 2.0 % เพิ่มภาษีเชื้อเพลิง 50 % การศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางในเมืองมีอัตรา 9 % ต่อปีคิดเป็น 6,600 พันล้านผู้โดยสารต่อกิโลเมตร ในปี ค.ศ. 2020 ถ้าไม่มีมาตรการใดๆมาควบคุม และถ้าใช้มาตรการมาควบคุมจะลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จาก 26 % เป็น 32 % การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) พบมาตรการที่ดีที่สุดคือการเร่งขยายเส้นทางระบบขนส่งทางราง ร่วมกับการลดการก่อสร้างทางด่วน ร่วมกับการเพิ่มภาษีการใช้เชื้อเพลิง

ประเทศอินเดีย นักวิจัย ได้ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งมวลชนในแง่ของการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศจากภาคการขนส่งของเมืองเดลี อินเดีย โดยทำการสำรวจข้อมูลแบบสุ่มทั่วทุกพื้นที่รวม 70 แห่ง ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2008-2009 โดยกระจายช่วงเวลาของการสำรวจตามช่วงเวลาคือช่วงเร่งด่วนเช้า ช่วงเร่งด่วนเย็น วันหยุด โดยนำระยะทาง ความหนาแน่นของการใช้ระบบขนส่ง ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง และการซ่อมบำรุงระบบขนส่ง นำมาคำนวณหาระยะทางเฉลี่ย การใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย จำนวนผู้โดยสารที่มาใช้บริการของการใช้ระบบขนส่งแต่ละประเภท โดยศึกษา 3 สถานการณ์ คือสถานการณ์การใช้ระบบขนส่งในปัจจุบัน สถานการณ์ที่ระบบขนส่งโดยรถประจำทางเพิ่มขึ้น สถานการณ์ระบบขนส่งโดยรถไฟในเมืองเพิ่มขึ้น โดยการใช้ Interpolation Method ทำนายล่วงหน้าในปี ค.ศ. 2025-2026 พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของการใช้ระบบขนส่งมวลชนทั้งรถโดยสารประจำทาง และระบบรถไฟในเมือง จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน แต่การเพิ่มการใช้ระบบรถไฟในเมืองจะช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศ มากกว่าระบบรถโดยสารประจำทางถึง 2 เท่า

ประเทศแคนาดา นักวิจัย ได้วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถไฟขนส่งมวลชนในเมือง มอนทรีออล ประเทศแคนาดา โดยได้ประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในเทคโนโลยีรถไฟที่มีในปัจจุบัน คือรถไฟที่ใช้น้ำมันดีเซล และเปรียบเทียบสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ คือการเปลี่ยนไปใช้รถไฟที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อน รถไฟที่ใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อน และจำนวนผู้โดยสารที่เปลี่ยนแปลงการเดินทาง และได้ประมาณการต้นทุนในการดำเนินงาน ต้นทุนด้านสินทรัพย์ในการปรับเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงพลังงานทดแทนนั้น พบว่ารถไฟ

พลังงานไฟฟ้าจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 98 % หรือมากกว่า 27,000 ตัน/ปี ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปรับเปลี่ยนรถพลังงานไฮโดรเจนยังไม่เห็นผลเด่นชัดนักแต่มีแนวโน้มว่าน้อยกว่าการปล่อยจากรถพลังงานไฟฟ้า ทางด้านต้นทุนในการดำเนินการและต้นทุนสิทธิบัตรนั้น รถพลังงานไฮโดรเจนจะใช้น้อยกว่าเนื่องจากไม่ต้องลงทุนดัดแปลงโครงสร้างพื้นฐานที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีกทางหนึ่งคือ การเพิ่มปริมาณการเดินทางของผู้โดยสารให้เต็มความสามารถของรถไฟที่รับได้

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่กล่าวนั้นทั้งในระดับภาครัฐกิจ อุตสาหกรรม และภาคนโยบายระดับประเทศ ต่างก็มีจุดมุ่งหมายเดียวกันคือ ศึกษาเพื่อให้รู้ระดับการปล่อยก๊าซ CO₂ ในหน่วยงานของตนเองเพื่อการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ให้น้อยที่สุด ส่วนระดับประเทศก็วิจัยเพื่อวางนโยบายในการนำไปสู่การออกมาตรการทั้งด้านการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยี การใช้พลังงานทดแทน หรือมาตรการด้านการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งมวลชน มาตรการแรงจูงใจด้านภาษี เพื่อนำไปสู่เป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ร่วมกัน

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าได้มีผู้วิจัยทั้งในประเทศ และต่างประเทศที่ศึกษาด้านการขนส่งโดยรถไฟฟ้ามหานครส่วนใหญ่จะเน้นศึกษาในด้านการใช้พลังงานโดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันไป แต่ยังขาดการวิจัยด้านปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากการขนส่งผู้โดยสาร มีนักวิจัยบางท่านได้ศึกษาการใช้พลังงานและการเกิดก๊าซ CO₂ ของรถโดยสารประจำทางและรถไฟฟ้ามหานครได้ดินในกรุงเทพมหานครไว้บ้าง แต่เป็นการเก็บข้อมูลจำนวนผู้โดยสารโดยการสุ่มตัวอย่าง ไม่ได้เกิดจากการใช้ข้อมูลที่ใช้จริง และยังไม่มีการศึกษาด้านการการใช้พลังงานและการเกิดก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากการเดินทางโดยรถไฟฟ้ามหานครซึ่งเป็นระบบขนส่งมวลชนแบบทางยกระดับลอยฟ้า อีกทั้งเทคนิคแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control chart หรือ CUSUM control chart) ซึ่งถือได้ว่ามีประสิทธิภาพในการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนถึงแม้ว่าจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ได้ถูกใช้แพร่หลายทั้งในทางการผลิต การแพทย์ พลังงาน แต่ยังไม่มีการนำวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการขนส่งโดยรถไฟฟ้ามหานคร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นสมควรที่จะใช้เทคนิคนี้ทำการวิจัยเพื่อให้ได้ค่าการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากผู้โดยสาร 1 คนที่เดินทางโดยรถไฟฟ้ามหานครในระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งองค์กรอื่นๆสามารถนำมาใช้ประโยชน์ และอ้างอิงในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของตนได้ และภาครัฐสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ไปกำหนดเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายระดับประเทศได้

ตาราง 2.8 แสดงการการอ้างอิงการทบทวนวรรณกรรม

Ref.	ชื่อผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	วิธีการศึกษาวิจัย	ผลการวิจัย
1	เป็นธิดา มณีโชติ และคณะ	วิเคราะห์ ประสิทธิภาพการใช้ พลังงานของโรงงาน ควบคุมโดยการหาค่า การใช้พลังงาน จำเพาะของโรงงาน ควบคุม	หาสมการถดถอย เชิงเส้นอย่างง่าย ประยุกต์ใช้การ วิเคราะห์ด้วย กราฟค่าผลรวม สะสมของความ แตกต่าง (CUSUM)	การใช้พลังงานควบคุม ของโรงงานในกลุ่ม อุตสาหกรรมโลหะขั้น มูลฐานมีความเสถียร แสดงถึงการจัด การพลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่ม อุตสาหกรรมจากแร่ อโลหะและ อุตสาหกรรมการผลิต โลหะเครื่องจักรและ อุปกรณ์ยังมีโรงงานที่ ต้องเร่งพัฒนาการจัด การพลังงานให้มี ประสิทธิภาพ

ตาราง 2.8 (ต่อ)

Ref.	ชื่อผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	วิธีการศึกษาวิจัย	ผลการวิจัย
2	เบญจวรรณ นิรมิตวสุ และคณะ	ตรวจติดตามการใช้พลังงาน ประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม	ประยุกต์ใช้ แผนภูมิการกระจาย (scatter diagram) และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control chart หรือ CUSUM control chart)	ปริมาณผลผลิตของโรงงานควบคุมตัวอย่างจำนวน 34 โรงงาน คือ มีจำนวนโรงงานที่มีผลประหยัดหรือมีความชันของแผนภูมิควบคุมสะสมเป็นลบทั้งสิ้น 21 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 61.76 ของจำนวนโรงงานตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์
			วิเคราะห์มาตรการที่นำมาใช้ควบคุมตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน	มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความถี่ในการจัดทำมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) การกำหนดเวลาเปิด – ปิดที่เหมาะสม 2) การใช้สวิตช์ควบคุมการเปิด – ปิด 3) บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์
3	นาริรัตน์ เกษมพัฒนาการ	วิเคราะห์การใช้พลังงานในการขนส่งมวลชนโดยรถไฟฟ้า	หาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสารระยะทางและพื้นที่สถานี โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสัมพันธ์กับผู้โดยสารอย่างยิ่งโดยเฉพาะในวันทำงาน ส่วนระยะทางมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า

ตาราง 2.8 (ต่อ)

Ref.	ชื่อผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	วิธีการศึกษาวิจัย	ผลการวิจัย
4	สาตักวิรัช พรนภดล	ศึกษาการใช้ พลังงานและการ เกิดก๊าซ CO ₂ ของรถโดยสาร ประจำทางและ รถไฟฟ้าใต้ดินใน กรุงเทพมหานคร	สุ่มสำรวจและ บันทึกจำนวน ผู้โดยสาร สถานี ปลายทางของ ผู้โดยสารรถไฟฟ้าใต้ ดิน	ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ และค่าการปล่อยก๊าซ CO ₂ รถไฟฟ้าใต้ดินเท่ากับ 0.296 Kwh/Passen- ger/Km และ 0.216 KgCO ₂ /Pas- senger/Kmตามลำดับ ซึ่ง น้อยกว่ารถโดยสารประจำ ทาง ที่เดินทางในระยะทาง เดียวกัน
5	ปิตา ปิตา, วารุณี เตีย	วิเคราะห์การใช้ พลังงานและการ ปล่อยก๊าซ CO ₂ ของการขนส่ง ทางรถไฟใน ประเทศไทยโดย ศึกษาปัจจัยที่มี ผลต่อการขนส่ง ผู้โดยสารและ สินค้าทางรถไฟ	แนวทางการคำนวณ ของ IPCC วิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการใช้ พลังงานจำเพาะ สำหรับการขนส่ง ผู้โดยสารได้แก่ จำนวน ชนิดตู้ โดยสาร และ อุณหภูมิอากาศ ขณะที่จำนวนรถ พ่วงสินค้าและ น้ำหนักของสินค้า	ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อ การใช้พลังงานจำเพาะ สำหรับการขนส่งผู้โดยสาร ได้แก่ จำนวน ชนิดตู้ โดยสาร และอุณหภูมิ อากาศ ขณะที่จำนวนรถ พ่วงสินค้าและน้ำหนักของ สินค้าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อ การใช้น้ำมันในการขนส่ง สินค้ามากที่สุด

ตาราง 2.8 (ต่อ)

Ref.	ชื่อผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	วิธีการศึกษาวิจัย	ผลการวิจัย
6	ชนัญฐิตา ศรีเชียงสา	ผลกระทบของการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงในประเทศไทยต่อการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซ CO ₂	ศึกษาข้อมูลของรถไฟฟ้าความเร็วสูงทั้งในยุโรปและเอเชีย นำรถไฟฟ้าความเร็วสูงรุ่นนี้มาเป็นแม่แบบในการพัฒนารถไฟฟ้าความเร็วสูงในประเทศไทย	พบว่าารถไฟฟ้าความเร็วสูง Shinkansen N700 จากประเทศญี่ปุ่นมีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดคือ 0.029 kWh/Seat/Km ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการเดินทางทั้ง 4 เส้นทางมีค่ารวมเท่ากับ 294.48 เมกะวัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ต่อปีเท่ากับ 305 จิกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ เท่ากับ 166.59 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี และ 0.01585 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อนั่งต่อระยะทาง
7	จุฑารัตน์ บุญแก้ว	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับภาคขนส่งในประเทศไทย	แนวทางการคำนวณของ IPCC เขียนโปรแกรมศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งของประเทศไทยโดยใช้ Microsoft Visual Basic	ภาคการขนส่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทุกชนิดมากที่สุดคือ ภาคการขนส่งทางถนน การขนส่งทางอากาศ การขนส่งทางรถไฟ และการขนส่งทางน้ำ โปรแกรมที่สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ได้เช่น ปี ปริมาณเชื้อเพลิงแยกตามชนิด จำนวนรถ ชนิด และปริมาณการขนส่ง ค่า Emission Factor ที่สะดวกต่อการใช้งาน

ตาราง 2.8 (ต่อ)

Ref.	ชื่อผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	วิธีการศึกษาวิจัย	ผลการวิจัย
8	RatanavarahaV., Jomnonkwao S.	ศึกษาแนวโน้ม การปล่อยก๊าซ CO ₂ ในภาคการ ขนส่งของ ประเทศไทย และนโยบายการ ลดผลกระทบ	คำนวณปริมาณก๊าซ CO ₂ จากการใช้ พลังงานในภาค ขนส่ง ใช้เทคนิค log-lin- ear regres-sion, path analysis, time series, curve estima- tion คำนวณการ ปล่อย	เทคนิค path analysis ใช้ ทำนายการปล่อยก๊าซ CO ₂ จากตัวแปรจำนวนรถยนต์ ขนาดใหญ่ที่จดทะเบียน อัตราการเจริญเติบโตทาง เศรษฐกิจ และจำนวน ประชากรได้อย่างมี นัยสำคัญ และใช้เทคนิค curve estimation กับ การทำนายการปล่อยก๊าซ CO ₂ สูงสุดในปี ค.ศ. 2030 เท่ากับ 225.33 ล้านตัน และใช้เทคนิค log-linear regression ทำนายการ ปล่อยก๊าซ CO ₂ ต่ำสุด เท่ากับ 91.68 ล้านตัน
9	Ji Han, Yohitsugo Hayashi	ศึกษารูป แบบจำลอง ระบบการลด ผลกระทบจาก การปล่อยก๊าซ CO ₂ ในระบบ ขนส่งในเมือง ของประเทศจีน	ใช้ข้อมูลการจราจร ระหว่างปี ค.ศ. 2000-2004 และ ระดับการควบคุม ผลกระทบระดับสูง กลาง และกรณีไม่ มีมาตรการใดมา ควบคุมเลย วิเคราะห์ความ อ่อนไหว (Sensitivity Anal- ysis)	พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง รูปแบบการเดินทางในเมือง มีอัตรา 9 % ต่อปีคิดเป็น 6,600 พันล้านผู้โดยสารต่อ กิโลเมตร ในปี ค.ศ. 2020 ถ้าไม่มีมาตรการใดๆมา ควบคุม และถ้าใช้มาตรการ มาควบคุมจะลดปริมาณการ ปล่อยก๊าซ CO ₂ จาก 26 % เป็น 32 % มาตรการที่ดีที่สุดคือการเร่ง ขยายเส้นทางระบบขนส่ง ทางรางร่วมกับการลดการ ก่อสร้างทางด่วน ร่วมกับ การเพิ่มภาษีการใช้เชื้อเพลิง

ตาราง 2.8 (ต่อ)

Ref.	ชื่อผู้วิจัย	หัวข้อวิจัย	วิธีการศึกษาวิจัย	ผลการวิจัย
10	Prachi Khanna et al	ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งมวลชนในแง่ของการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศจากภาคการขนส่งของเมืองเดลี อินเดีย	สำรวจข้อมูลแบบสุ่มทั่วทุกพื้นที่รวม 70 แห่ง ทุกช่วงเวลา และพื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรแตกต่างกัน ใช้ Interpolation Method ทำนายสัดส่วนการใช้ระบบขนส่งมวลชนรูปแบบต่าง ๆ ล่วงหน้า	พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของการใช้ระบบขนส่งมวลชนทั้งรถโดยสารประจำทางและระบบรถไฟฟ้าในเมือง จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน แต่การเพิ่มการใช้ระบบรถไฟฟ้าในเมืองจะช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศมากกว่าระบบรถโดยสารประจำทางถึง 2 เท่า
11	Sabrina Chan et al.	วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมือง มอลทรี ออล ประเทศแคนาดา	ประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในเทคโนโลยีรถไฟฟ้าเซลล์ที่มีในปัจจุบัน หาปริมาณผู้โดยสารที่เปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางเมื่อเปลี่ยนไปใช้รถไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันไป	รถไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 98 % หรือมากกว่า 27,000 ตัน/ปี ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปรับเปลี่ยนรถไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจน ยังไม่เห็นผลเด่นชัดนักแต่มีแนวโน้มว่าน้อยกว่าการปล่อยจากรถไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูล

ใช้ข้อมูลรายเดือน ระยะเวลา 55 เดือน เริ่มตั้งแต่ ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 ด้านจำนวนผู้โดยสาร ระยะทางให้บริการ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้ระบบขับเคลื่อน ในงานปฏิบัติการของบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด สำหรับการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซ CO₂ และข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้ระบบขับเคลื่อน ตั้งแต่เดือน ส.ค. 2558 ถึง ม.ค. 2559 ระยะเวลา 6 เดือน สำหรับทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ของการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้ปริมาณไฟฟ้าจริง

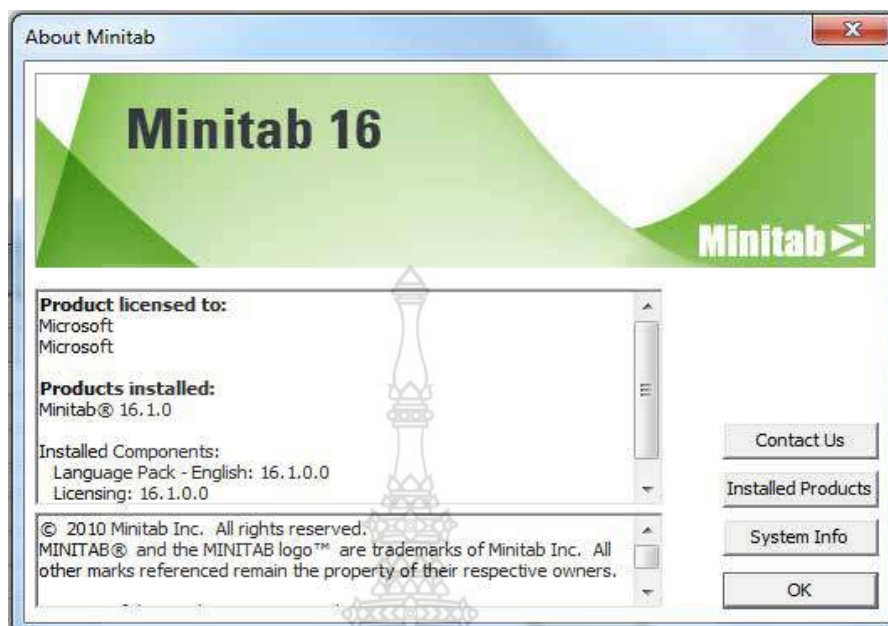
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 แบบบันทึกข้อมูลจำนวนผู้โดยสาร ระยะทางให้บริการ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้ระบบขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการจดบันทึก รวบรวมข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

DATA FROM RECORD	29	31	30	31	31	30	31	30	31
	Apr15	May15	Jun15	Jul15	Aug15	Sep15	Oct15	Nov15	Dec15
Traction Power									
25 Stations									
S7-S8 Stations									
E10-E14 Stations									
S9-S12 station									
Admin. Building and Depot									
Admin. Building									
Depot									
Train -Km									
DATA COMPARED TO KPI (FOR PLOTTING GRAPH)									
Traction Power (existing)									
Traction Power (extension S7, S8)									
KPI Traction									
(34) Station (excluded VGI)									
(25) Station (excluded VGI)									
(23) Station (excluded VGI)									
Admin. Building and Depot									
Admin. Building									
Depot									
KPI-Admin									
Previous Year									
Present Year									
CAR - km (EMU A)									
CAR - km (EMU B)									
Traction Power (existing) per CAR Train									

ภาพ 3.1 แสดงแบบบันทึกข้อมูลสำหรับงานวิจัย

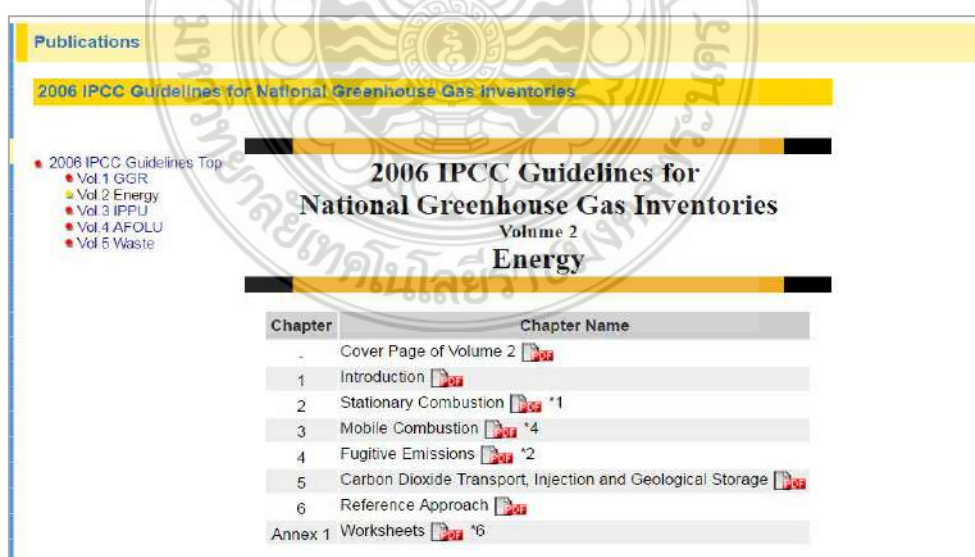
3.2.2 ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab 16 สำหรับใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ตั้งแต่เดือน ส.ค. 2558 ถึง ม.ค. 2559



ภาพ 3.2 แสดง Software Minitab 16 ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.3 ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel สำหรับใช้ในการทำแผนภาพการกระจาย Scatter Plot การวิเคราะห์สมการถดถอย และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม The Cumulative Sum Control Chart ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558

3.2.4 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories สำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละประเภท



ภาพ 3.3 แสดงแหล่งเผยแพร่ IPCC CO₂ Emission Methodology 2006 Volume 2 (Energy)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

- 3.3.1 แผนภาพการกระจาย Scatter Plot
- 3.3.2 การวิเคราะห์สมการถดถอย Regression Analysis
- 3.3.3 การพยากรณ์แบบวิเคราะห์แนวโน้ม Trend Analysis Method
- 3.3.4 การพยากรณ์แบบแยกส่วนตัวประกอบ Decomposition Method
- 3.3.5 การพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง Double Exponential Smoothing Method
- 3.3.6 การพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ Winters Exponential Smoothing Method
- 3.3.7 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม The Cumulative Sum Control Chart

3.4 การวางแผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

- 3.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.4.2 รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า จำนวนผู้โดยสารและระยะทางการให้บริการของรถไฟฟ้าบีทีเอส
- 3.4.3 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการปล่อย CO₂ ที่เกิดจากผู้โดยสารที่เดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส
- 3.4.4 วิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อย CO₂ ของการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส
- 3.4.5 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

3.5 ขั้นตอนการวิจัย



ภาพ 3.4 แสดงขั้นตอนการวิจัย

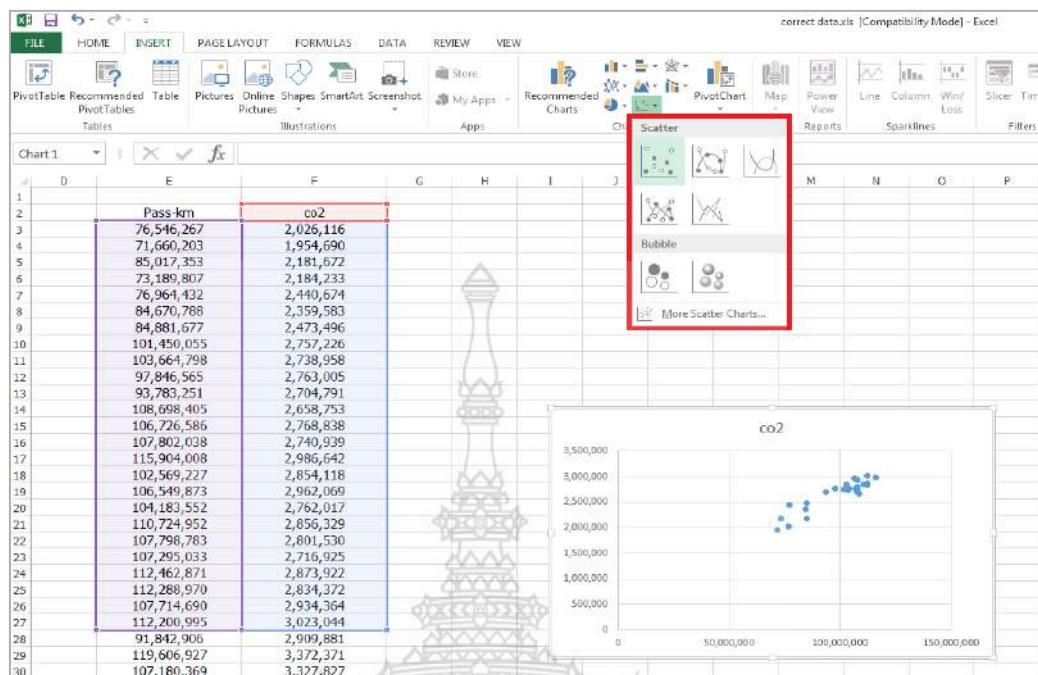
3.5.1 รวบรวมข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรถไฟฟ้ารายเดือน เป็นระยะเวลา 55 เดือน เริ่มตั้งแต่ ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 โดยรวบรวมและบันทึกลงในโปรแกรม Excel เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณและสามารถนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab ต่อได้สะดวกขึ้น แบบบันทึกข้อมูลแสดง ตามภาพ 3.5

3.5.2 คำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ รายเดือนจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ตามหลักการ
คำนวณของ IPCC CO₂ Emission Methodology 2006

จากข้อมูลแหล่งเผยแพร่หลักการคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากระบบไฟฟ้า นำมาคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน คูณด้วยค่า Emission Factor ในการผลิตกระแสไฟฟ้าหนึ่งหน่วยผลิตของประเทศนั้นในหน่วยเดียวกัน ตามหลักเกณฑ์ของหลักการคำนวณของ IPCC CO₂ Emission Methodology 2006 Volume 2 (Energy)

3.5.3 สร้างแผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนผู้โดยสารกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂

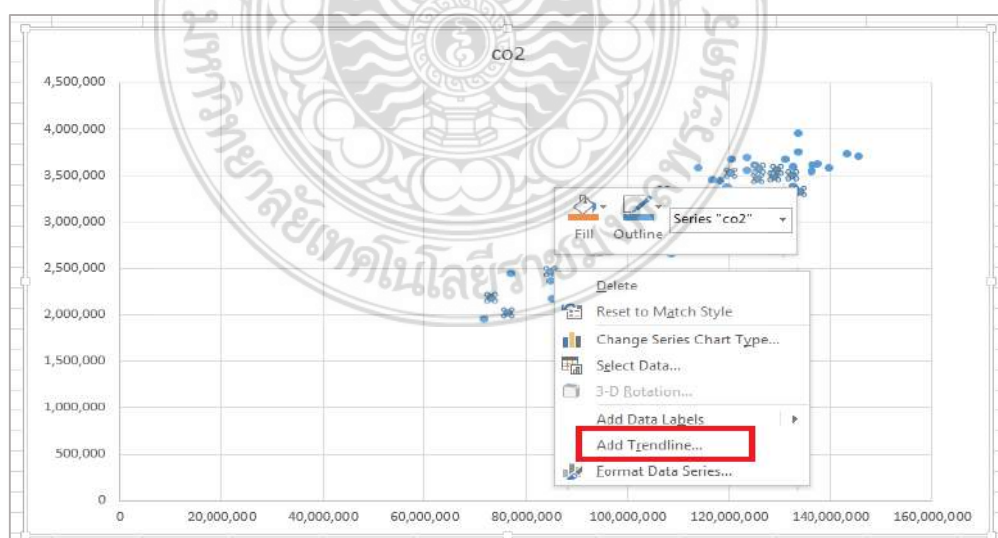
ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการบริการ คือจำนวนผู้โดยสาร
คุณด้วยระยะทางจำนวน 55 เดือนต่อเนื่อง และสร้าง Scatter Plot เพื่อดูลักษณะการกระจายตัว
ของข้อมูล โดยเข้าที่ Insert --> Chart --> Scatter ดังแสดงตามภาพ 3.6



ภาพ 3.6 แสดงการใช้ Scatter Plot โดยโปรแกรม Microsoft Excel

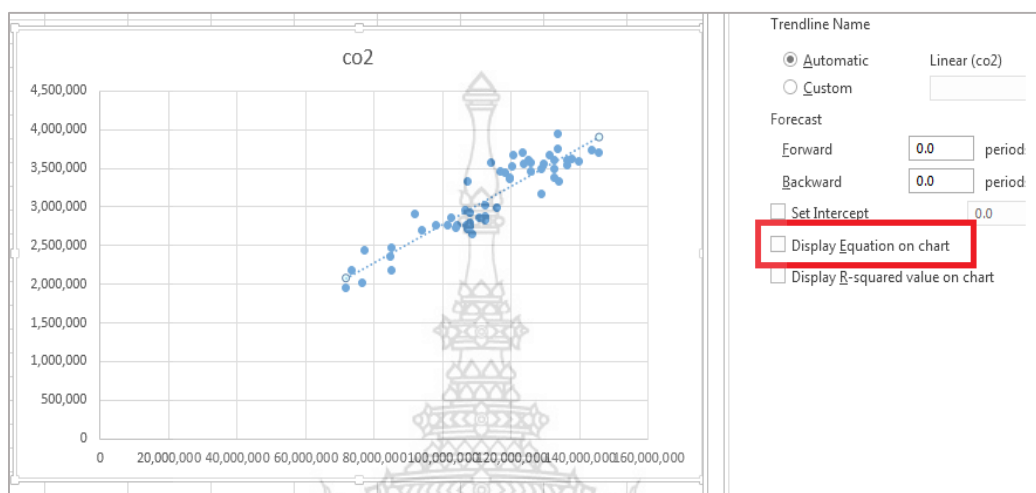
3.5.4 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการบริการ (Passenger-Km) และปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในรูปแบบสมการเส้นตรง

ผลจาก 3.5.3 เมื่อได้แผนภาพการกระจายแล้ว ใช้โปรแกรม Microsoft Excel วิเคราะห์แนวโน้ม โดยที่กลุ่มข้อมูลในกราฟ เข้าไปใช้ Add Trend line ดังแสดงตามภาพ 3.7



ภาพ 3.7 แสดงการใช้เส้นแสดงแนวโน้ม โดยโปรแกรม Microsoft Excel

3.5.5 ใช้สมการถดถอยอย่างง่าย คำนวณปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากผู้โดยสาร 1 คนที่เดินทาง โดยรถไฟฟ้าบีทีเอสในระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยใช้งาน Display Equation on chart โดยสมการถดถอย จะแสดงผลในรูปของ $Y = mX + c$ ดังแสดงตามภาพ 3.8



ภาพ 3.8 แสดงการสร้างสมการถดถอยโดยโปรแกรม Microsoft Excel

3.5.6 ใช้เทคนิคแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (The Cumulative Sum Control Chart) อธิบายปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในช่วงเวลาที่วิเคราะห์

นำสมการเส้นตรงในขั้นตอน 3.5.5 ใช้เป็นสมการฐานอ้างอิง คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ควรจะเป็นจากสมการฐานอ้างอิง ผลต่างระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ปล่อยจริงกับที่ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ คำนวณได้จะเป็นค่าผลต่างสะสมของแต่ละเดือน แล้วไปสร้างเป็นแผนภูมิ เชิงเส้น โดยให้แกน x เป็นแกนเวลา (เดือน) แกน y เป็นแกนของ CUSUM (ปริมาณก๊าซ CO₂ หน่วย กิโลกรัม)

3.5.7 พยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการบริการรถไฟฟ้าบีทีเอส และทดสอบความ แม่นยำของการพยากรณ์

3.5.8 วิเคราะห์ และอภิปรายผลเทคนิคการพยากรณ์ และการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากการ เดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสเปรียบเทียบกับระบบขนส่งมวลชนทางถนน

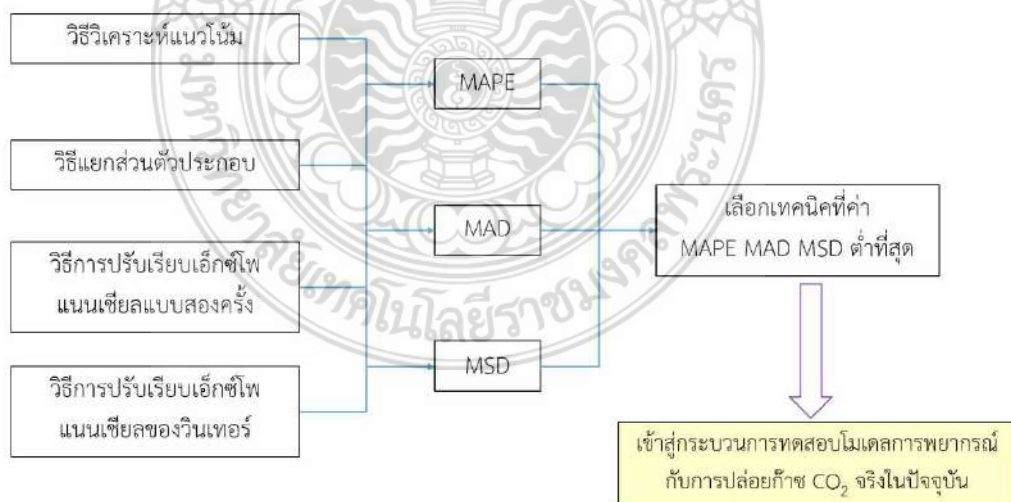
บทที่ 4

กระบวนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์

ในการพิจารณาแบบจำลองที่เหมาะสมในการพยากรณ์ สามารถพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่าพยากรณ์ ที่เราเรียกว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (residuals) โดยจะทดสอบทั้ง 3 ค่า ได้แก่ ค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Deviation (MAD) และ Mean Square Deviation (MSD) และ โดยจะต้องพิจารณาว่าค่าพยากรณ์ใดที่ให้ค่าสถิติทั้งสามค่าต่ำสุด จะมีค่าความแม่นยำในการพยากรณ์สูงสุด

ในการทดสอบความแม่นยำการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ของการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสนั้น จะทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของเทคนิคการพยากรณ์ทั้ง 4 เทคนิค คือ เทคนิคการพยากรณ์แบบวิเคราะห์แนวโน้ม เทคนิคการพยากรณ์แบบแยกส่วนตัวประกอบ เทคนิคการพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพแนนเชียลแบบสองครั้ง และเทคนิคการพยากรณ์การปรับเรียบเอ็กซ์โพแนนเชียลของวินเทอร์ โดยเทคนิคใดให้ค่า MAPE, MAD และ MSD ต่ำที่สุด จะเป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูง และจะนำเทคนิคนี้มาเป็นโมเดลของการพยากรณ์ และนำมาทดสอบความคลาดเคลื่อนกับการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยมีกระบวนการทดสอบ ดังนี้

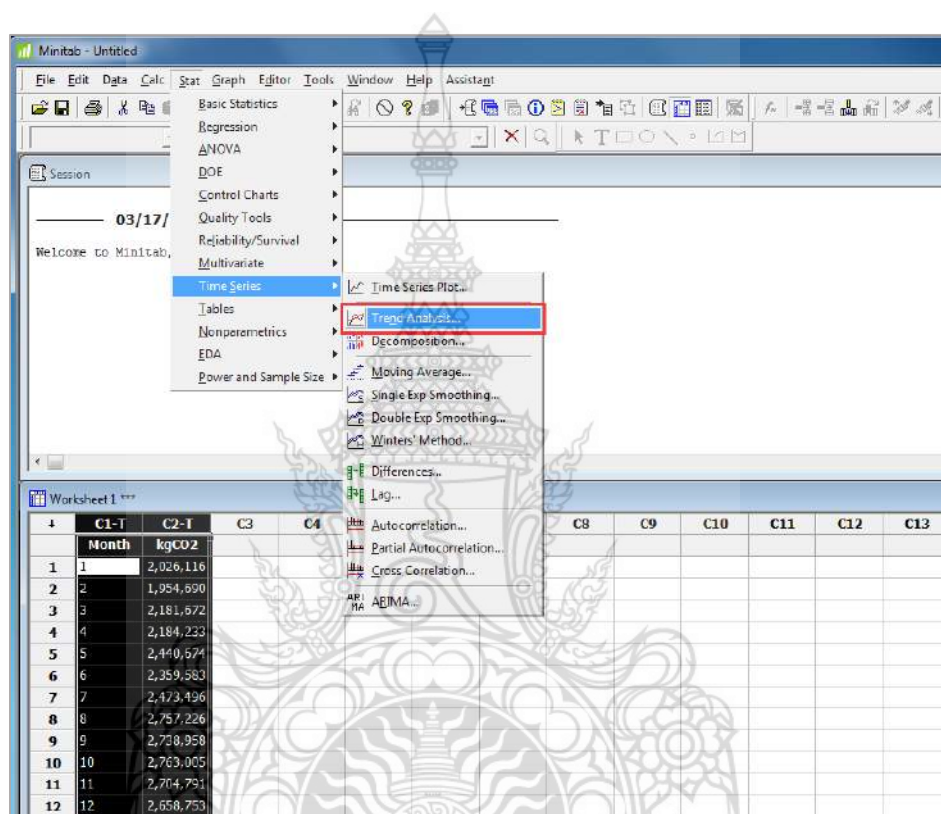
4.1 กระบวนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์ทางสถิติ



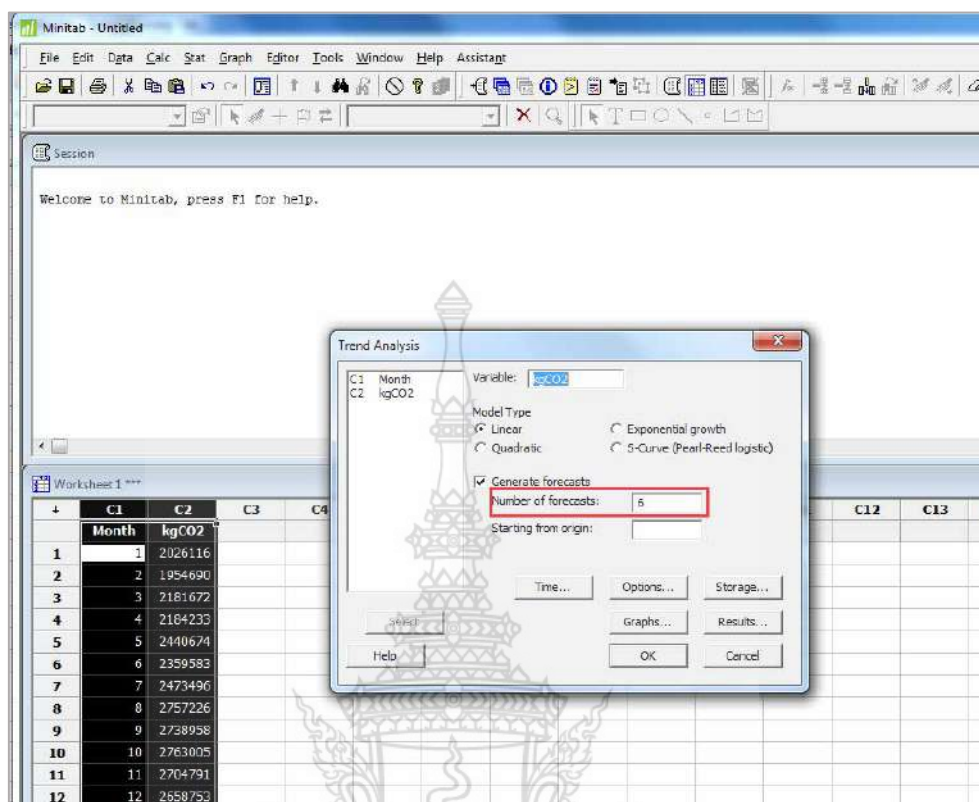
ภาพ 4.1 แสดงขั้นตอนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์ทางสถิติ

4.1.1 พยากรณ์โดยเทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม และหาค่า MAPE, MAD และ MSD โดยโปรแกรม Minitab

Input ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ใน worksheet และพยากรณ์โดยเข้าไปที่ Menu Bar Stat->Time Series->Trend Analysis ตามภาพ 4.2 Number of Forecast ให้ใส่ค่า 6 หมายถึงให้พยากรณ์ไปอีก 6 เดือนข้างหน้า ดังแสดงตามภาพ 4.3



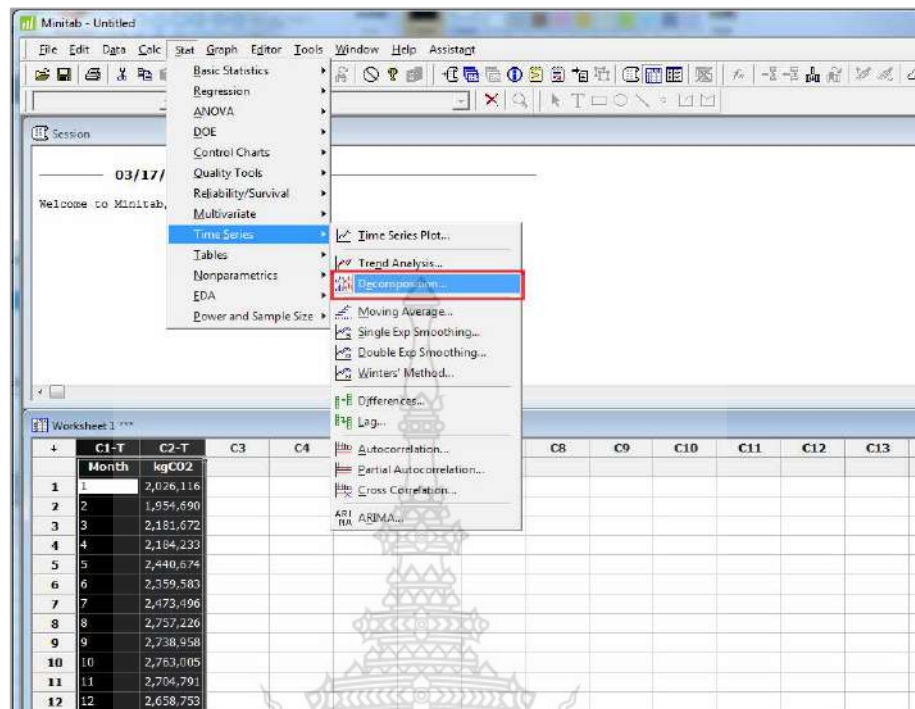
ภาพ 4.2 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม 1



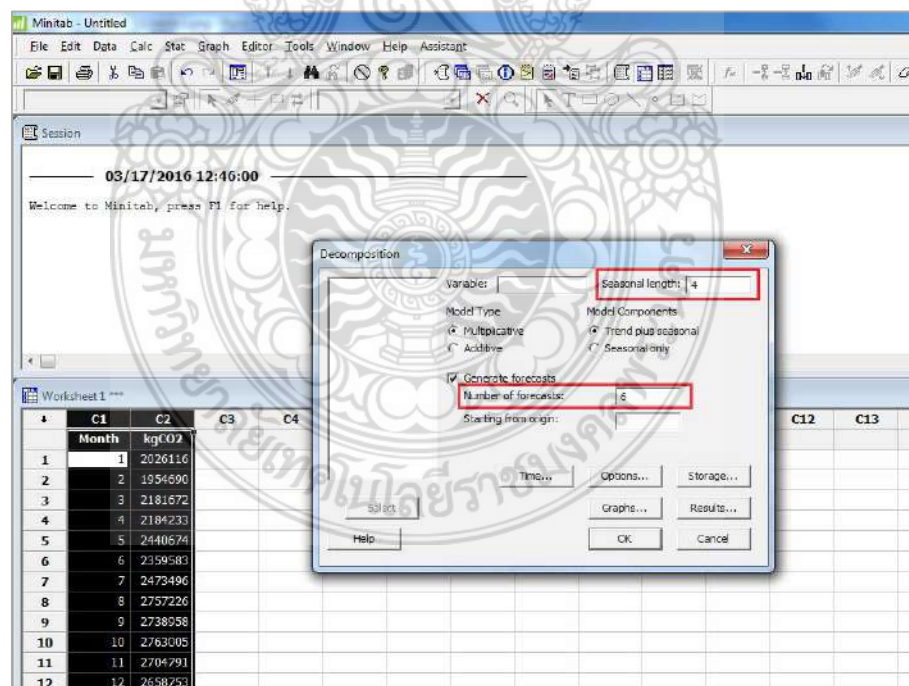
ภาพ 4.3 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม 2

4.1.2 พยากรณ์โดยเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ และหาค่า MAPE, MAD และ MSD โดยโปรแกรม Minitab

Input ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ใน worksheet และพยากรณ์โดยเข้าไปที่ Menu Bar Stat->Time Series->Decomposition ตามภาพ 4.4 และ ที่ Seasonal Length ใส่ค่า 4 หมายถึงให้ความสำคัญกับอิทธิพลของฤดูกาลในรอบ 4 เดือน และ ที่ Number of Forecast ให้ใส่ค่า 6 หมายถึงให้พยากรณ์ไปอีก 6 เดือนข้างหน้า ดังแสดงตามภาพ 4.5



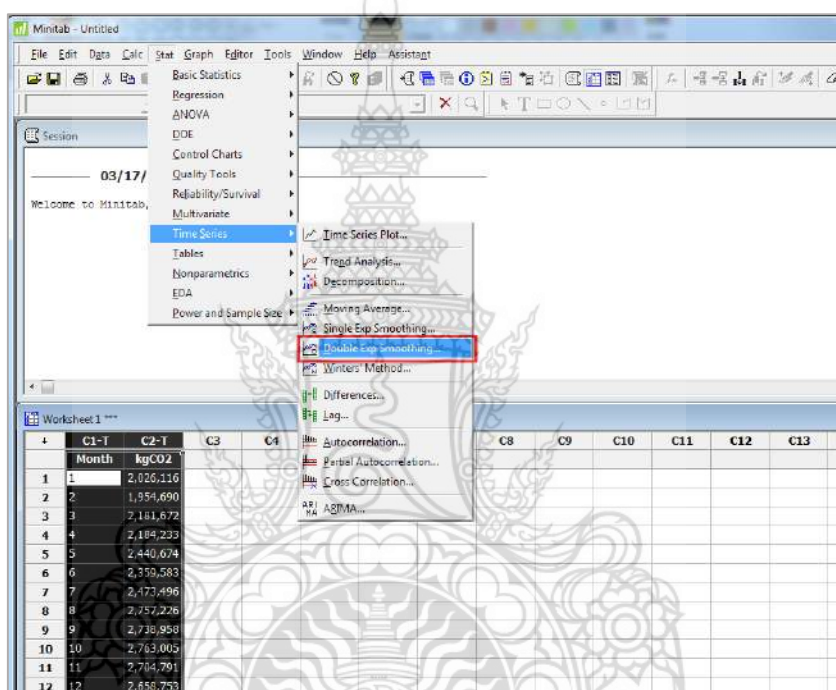
ภาพ 4.4 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ 1



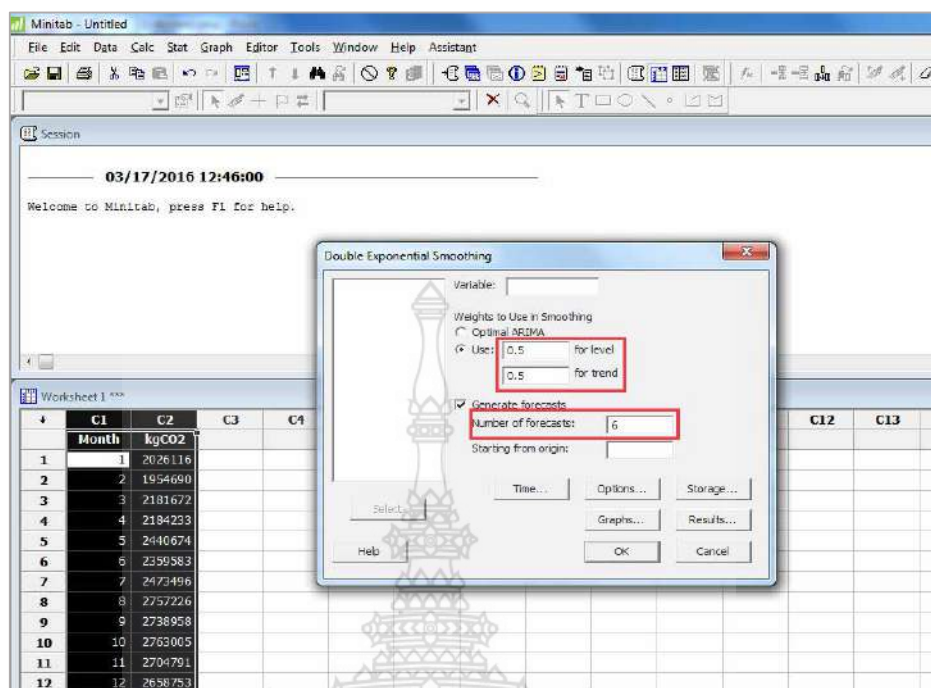
ภาพ 4.5 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ 2

4.1.3 พยากรณ์โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง และหาค่า MAPE, MAD และ MSD โดยโปรแกรม Minitab

Input ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ใน worksheet และพยากรณ์โดยเข้าไปที่ Menu Bar Stat->Time Series->Double Exp Smoothing ตามภาพ 4.6 และ ที่ Weights to Use in Smoothing ใส่ค่า 0.5 for Level และ 0.5 for Trend หมายถึงให้ความสำคัญกับข้อมูลที่ผ่านมา กับข้อมูลในอดีตอย่างเท่าเทียมกัน และ ที่ Number of Forecast ให้ใส่ค่า 6 หมายถึงว่าให้พยากรณ์ไปอีก 6 เดือนข้างหน้า ดังแสดงตามภาพ 4.7



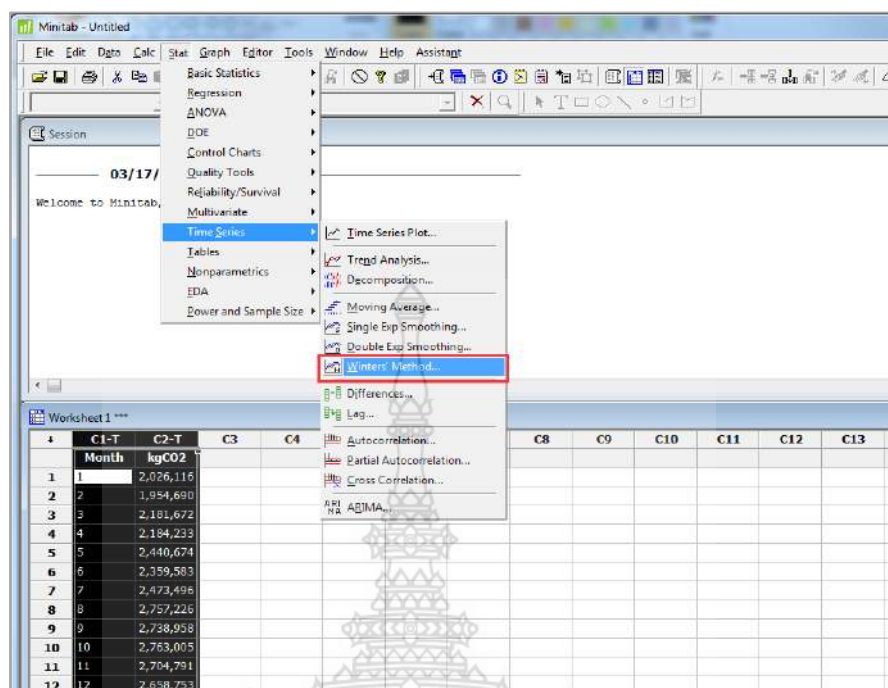
ภาพ 4.6 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง 1



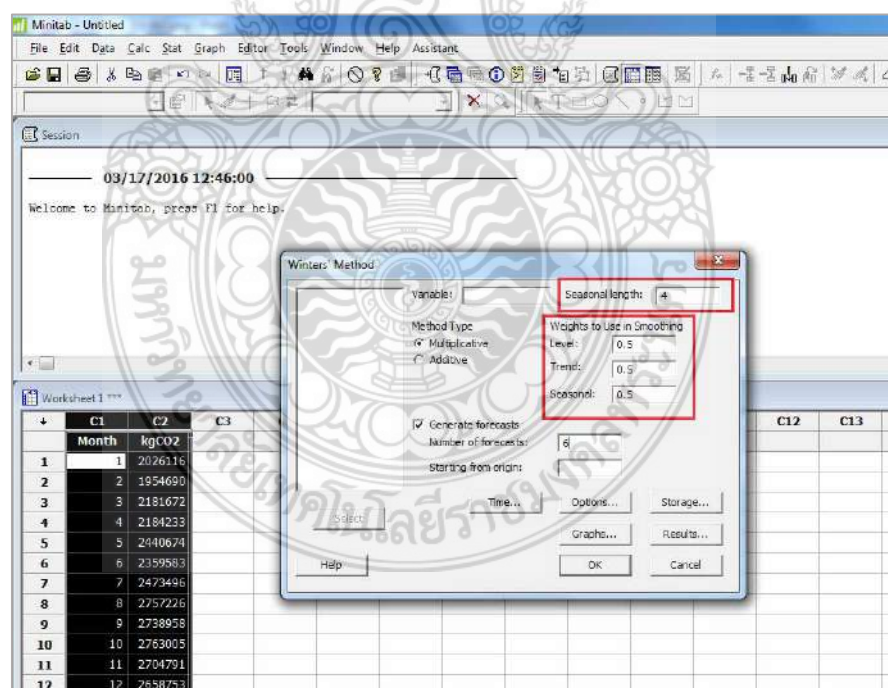
ภาพ 4.7 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง 2

4.1.4 พยากรณ์โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ และหาค่า MAPE, MAD และ MSD โดยโปรแกรม Minitab

Input ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ใน worksheet และพยากรณ์โดยเข้าไปที่ Menu Bar Stat->Time Series->Winters' Method ตามภาพที่ 4.8 และที่ Seasonal Length ใส่ค่า 4 หมายถึงให้ความสำคัญกับอิทธิพลของฤดูกาลในรอบ 4 เดือน ที่ Weights to Use in Smoothing ใส่ค่า 0.5 for Level, 0.5 for Trend และ 0.5 for Seasonal หมายถึงให้ความสำคัญกับข้อมูลที่ผ่านมา กับข้อมูลในอดีตอย่างเท่าเทียมกัน และ ที่ Number of Forecast ให้ใส่ค่า 6 หมายถึงให้พยากรณ์ไปอีก 6 เดือน ข้างหน้า ดังแสดงตามภาพ 4.9



ภาพ 4.8 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ 1



ภาพ 4.9 แสดงขั้นตอนพยากรณ์โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ 2

4.1.6 เลือกเทคนิคสมการพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากค่า MAPE, MAD และ MSD ที่มีค่าน้อยที่สุด เข้าสู่กระบวนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงในปัจจุบัน ในขั้นตอนที่ 4.2

4.2 กระบวนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงในปัจจุบัน

4.2.1 เทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด หรือมีค่าแม่นยำทางสถิติสูงสุดที่คัดเลือกจากข้อ 4.1

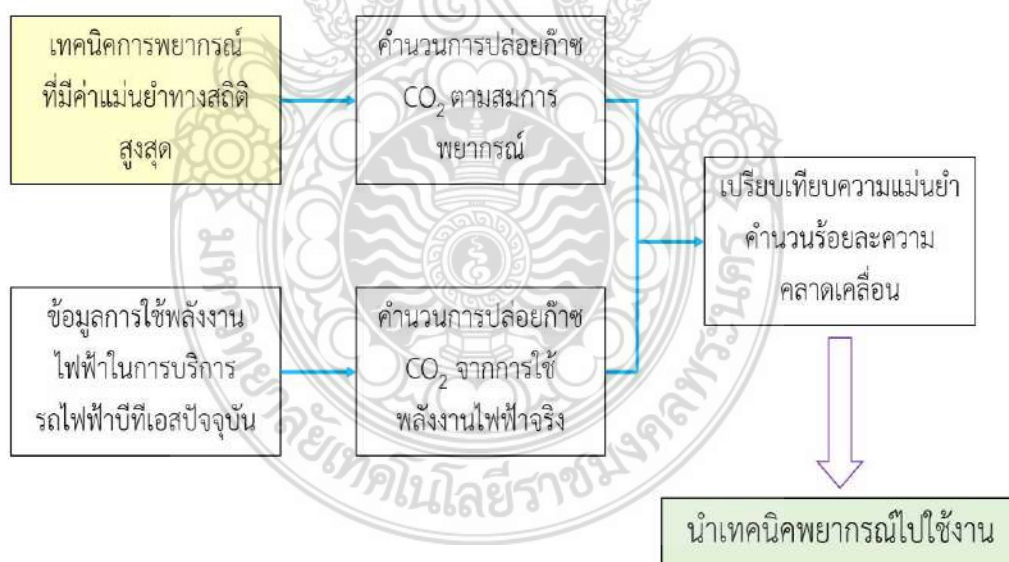
4.2.2 ใช้สมการพยากรณ์จากข้อ 4.2.1 มาคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากเดือน ส.ค. 2558 จนถึง ม.ค. 2559 ระยะเวลาพยากรณ์ 6 เดือน

4.2.3 รวบรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส นำมาคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นจริง เดือน ส.ค. 2558 จนถึง ม.ค. 2559

4.2.4 เปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการพยากรณ์จากข้อ 4.2.2 กับคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นจริง จากข้อ 4.2.3

4.2.5 คำนวณร้อยละความคลาดเคลื่อน สรุปและอภิปรายผลการทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO₂

4.2.6 นำการพยากรณ์ไปใช้งาน



ภาพ 4.10 แสดงขั้นตอนการทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงในปัจจุบัน

บทที่ 5

ผลการวิจัย

5.1 การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ระยะทางที่วิ่งให้บริการ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรถไฟฟ้ารายเดือน เป็นระยะเวลา 55 เดือน เริ่มตั้งแต่ ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 นำมาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ รายเดือน ของผู้โดยสาร 1 คนที่เดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสในระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ หาได้จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าคูณด้วยค่า Emission Factor จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 0.6093 kgCO₂e/kwh

ตาราง 5.1 ข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในรอบ 55 เดือน

เดือน	ระยะทาง (km)	จำนวน ผู้โดยสาร (เที่ยว-คน)	ปริมาณการ บริการ (pass-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kg)	CO ₂ จำเพาะ (kgCO ₂ /pass/ km)
1	379,589	12,837,326	76,546,267	2,026,116	0.0265
2	330,837	12,060,342	71,660,203	1,954,690	0.0273
3	379,862	14,451,045	85,017,353	2,181,672	0.0257
4	351,411	12,291,781	73,189,807	2,184,233	0.0298
5	393,614	12,941,461	76,964,432	2,440,674	0.0317
6	375,871	14,213,229	84,670,788	2,359,583	0.0279
7	414,535	14,295,139	84,881,677	2,473,496	0.0291
8	467,228	16,300,787	101,450,055	2,757,226	0.0272
9	468,457	16,062,647	103,664,798	2,738,958	0.0264
10	473,422	15,118,795	97,846,565	2,763,005	0.0282
11	471,151	14,385,780	93,783,251	2,704,791	0.0288
12	487,136	16,816,808	108,698,405	2,658,753	0.0245
13	483,484	16,398,429	106,726,586	2,768,838	0.0259
14	458,007	16,598,682	107,802,038	2,740,939	0.0254

ตาราง 5.1 (ต่อ)

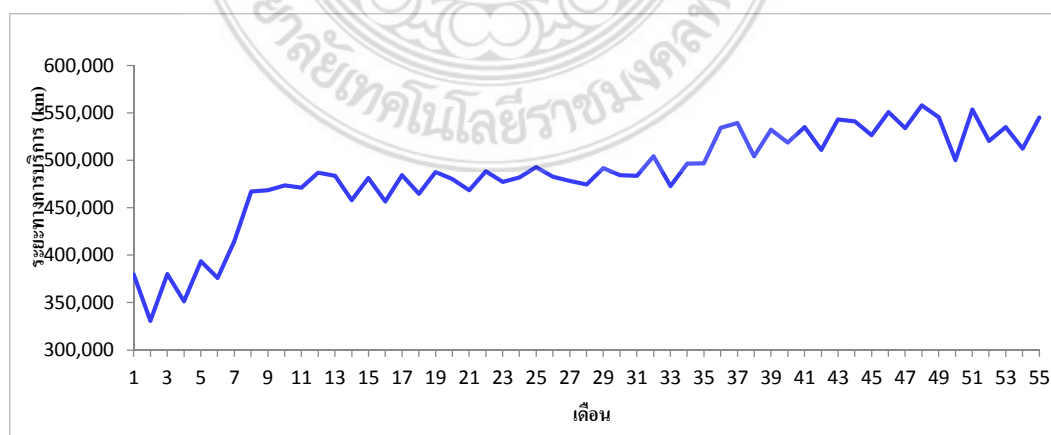
เดือน	ระยะทาง (km)	จำนวน ผู้โดยสาร (เที่ยว-คน)	ปริมาณการ บริการ (pass-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kg)	CO ₂ จำเพาะ (kgCO ₂ /pass/ km)
15	481,306	17,738,667	115,904,008	2,986,642	0.0258
16	456,576	15,644,937	102,569,227	2,854,118	0.0278
17	484,205	16,180,501	106,549,873	2,962,069	0.0278
18	464,605	16,136,852	104,183,552	2,762,017	0.0265
19	487,610	17,195,348	110,724,952	2,856,329	0.0258
20	480,097	16,980,550	107,798,783	2,801,530	0.026
21	468,254	16,472,700	107,295,033	2,716,925	0.0253
22	488,458	17,165,121	112,462,871	2,873,922	0.0256
23	477,238	17,369,496	112,288,970	2,834,372	0.0252
24	481,850	17,002,813	107,714,690	2,934,364	0.0272
25	492,606	17,377,029	112,200,995	3,023,044	0.0269
26	482,597	15,939,607	91,842,906	2,909,881	0.0317
27	478,314	18,767,942	119,606,927	3,372,371	0.0282
28	474,387	16,477,398	107,180,369	3,327,827	0.031
29	491,727	17,459,959	114,029,010	3,582,925	0.0314
30	484,271	17,752,577	116,711,196	3,456,460	0.0296
31	483,593	18,258,356	120,283,640	3,528,455	0.0293
32	504,296	19,234,112	124,933,978	3,614,683	0.0289
33	472,915	17,859,319	118,105,366	3,440,818	0.0291
34	496,517	18,738,104	123,445,107	3,553,552	0.0288
35	496,897	19,055,973	125,580,131	3,462,982	0.0276
36	534,324	17,997,220	119,442,627	3,378,330	0.0283
37	539,338	20,609,389	136,416,744	3,611,615	0.0265
38	504,081	19,398,989	128,843,940	3,491,188	0.0271
39	532,268	19,305,351	133,516,256	3,949,583	0.0296
40	518,687	17,465,421	120,453,265	3,680,187	0.0306
41	534,984	18,048,877	123,366,124	3,698,762	0.03

ตาราง 5.1 (ต่อ)

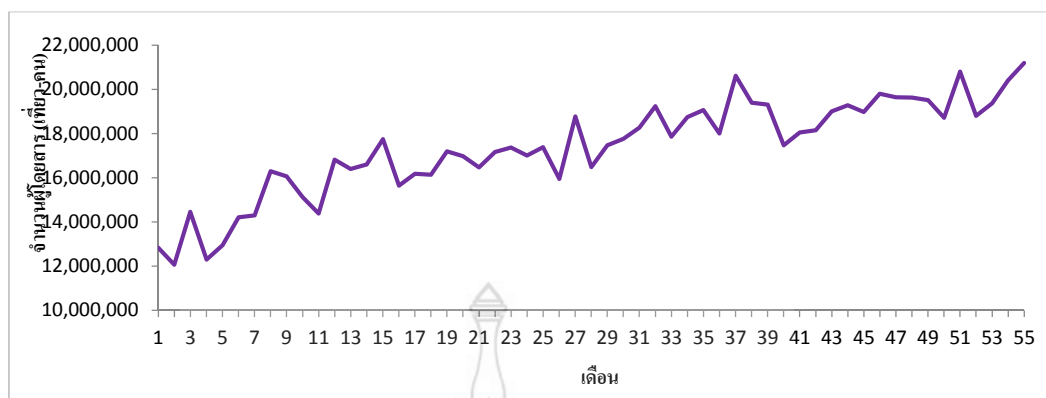
เดือน	ระยะทาง (km)	จำนวน ผู้โดยสาร (เที่ยว-คน)	ปริมาณการ บริการ (pass-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kg)	CO ₂ จำเพาะ (kgCO ₂ /pass/km)
42	510,997	18,141,779	125,597,581	3,568,701	0.0284
43	543,152	19,001,958	130,975,349	3,677,020	0.0281
44	540,894	19,273,587	132,417,782	3,599,649	0.0272
45	526,481	18,975,168	132,329,012	3,498,169	0.0264
46	550,624	19,803,559	137,503,765	3,625,951	0.0264
47	533,769	19,643,841	136,289,577	3,549,266	0.026
49	545,321	19,513,434	133,806,233	3,328,551	0.0249
50	500,059	18,708,981	128,573,542	3,175,990	0.0247
51	553,348	20,802,317	143,365,341	3,734,903	0.0261
52	520,239	18,800,466	129,301,263	3,561,120	0.0275
53	534,985	19,369,315	133,583,214	3,758,196	0.0281
54	512,345	20,413,334	139,723,666	3,584,809	0.0257
55	545,136	21,188,430	145,571,659	3,710,273	0.0255

ที่มา: บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด และจากการคำนวณ

นำข้อมูลมาสร้างกราฟ โดยระยะทางการบริการ (km) และจำนวนผู้โดยสาร (เที่ยว-คน) มาจากการเก็บข้อมูลจริงแบบรายเดือน ส่วนปริมาณก๊าซ CO₂ (kg) และปริมาณก๊าซ CO₂ จำเพาะ gCO₂e/passenger/km ได้จากการคำนวณจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบขับเคลื่อน (kwh) และ ระยะทางเฉลี่ยที่ผู้โดยสารเดินทาง (km) โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2553 – ก.ค. 2558 รวม 55 เดือน แสดงได้ดังภาพ 5.1 – 5.4

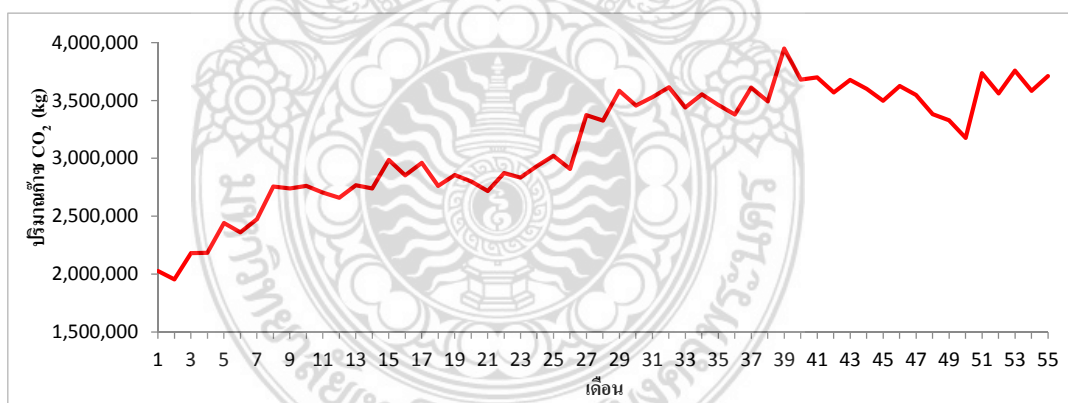


ภาพ 5.1 กราฟแสดงระยะทางการบริการรายเดือน

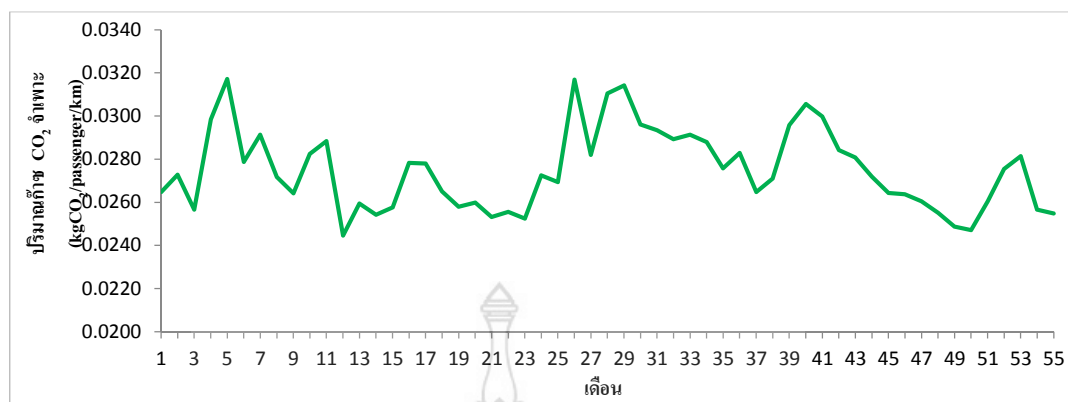


ภาพ 5.2 กราฟแสดงจำนวนผู้โดยสารรายเดือน

เปรียบเทียบระหว่างภาพ 5.1 แสดงระยะทางการบริการรายเดือนและภาพ 5.2 แสดงจำนวนผู้โดยสารรายเดือน พบว่ามีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกัน เมื่อจำนวนผู้โดยสารที่มาใช้บริการมาก ทางบีทีเอสก็ดำเนินการปรับเพิ่มความถี่ในการบริการ ส่งผลให้ระยะทางการให้บริการเพิ่มขึ้นด้วย โดยตั้งแต่เดือน ม.ค. 2553 ระยะทางการให้บริการ และปริมาณผู้โดยสารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขยายเส้นทางยาวขึ้น และผู้โดยสารเปลี่ยนระบบมาใช้รถไฟฟ้ามากขึ้น โดยเดือนที่ผู้โดยสารน้อยเนื่องจากมีวันหยุดต่อเนื่องหลายวัน ทางบีทีเอสก็จะปรับระยะทางการบริการหรือความถี่ลงด้วย เช่น เดือน เม.ย. ของทุกปี



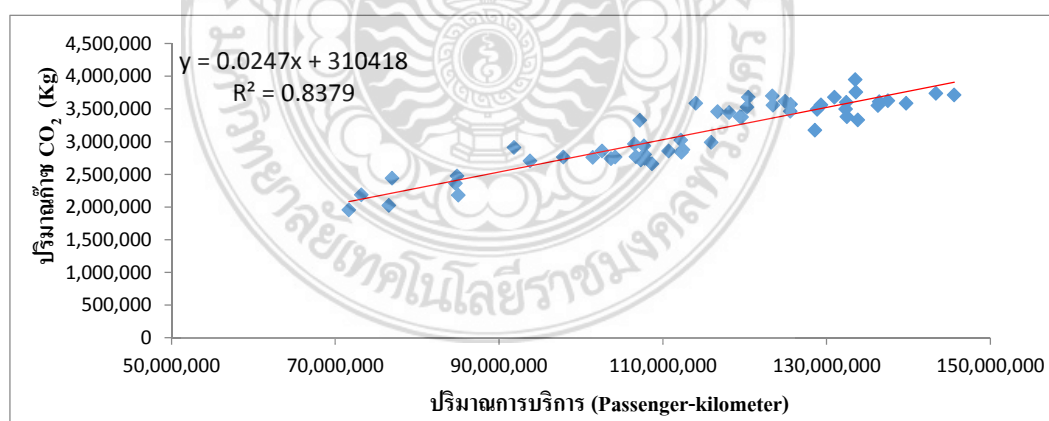
ภาพ 5.3 แสดงปริมาณก๊าซ CO₂ รายเดือน



ภาพ 5.4 แสดงปริมาณก๊าซ CO₂ จำเพาะรายเดือน

เปรียบเทียบระหว่างภาพ 5.3 ปริมาณก๊าซ CO₂ รายเดือน ภาพ 5.4 ปริมาณก๊าซ CO₂ จำเพาะรายเดือน พบว่า ในแต่ละเดือนไม่มีความสอดคล้องกัน โดยปริมาณก๊าซ CO₂ ที่ปล่อยออกมาในแต่ละเดือนจะแปรผันตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการเดินทางซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณก๊าซ CO₂ จำเพาะรายเดือน จะมีลักษณะไม่คงที่เนื่องจากการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดก๊าซ ที่ใช้ในการให้บริการเดินทางของผู้โดยสารไม่คงที่ แสดงถึงว่าบางเดือนมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่เท่ากัน แสดงถึงว่าบางเดือนมีการปล่อยก๊าซ CO₂ มากเกินความจำเป็น ซึ่งเมื่อใช้แผนภูมิ CUSUM มาวิเคราะห์จะเห็นข้อมูลชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2 การสร้างแผนภาพการกระจาย ระหว่างปริมาณการบริการ กับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂



ภาพ 5.5 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อย CO₂ กับปริมาณการบริการ

5.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการบริการ กับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

$$y = mx + c \quad (1)$$

เมื่อ

y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (Kg CO₂e)

x คือ ปริมาณการใช้บริการ (passenger-km)

m คือ ความชันของกราฟเส้นตรง

c คือ จุดตัดบนแกน y (x = 0)

R² ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) คือความผันแปรที่สามารถอธิบายได้หารด้วยความผันแปรทั้งหมด (Explained variation / Total Variation) ค่า R² เป็นค่าสัดส่วนดังนั้นจึงมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 เท่านั้น หากค่า R² มีค่าต่ำ หรือเข้าใกล้ 0 แสดงว่าสมการถดถอยหรือตัวแปร x มีความสามารถต่ำในการอธิบายความแปรผันใน y หรือความถูกต้องในการพยากรณ์จะต่ำ และเมื่อค่า R² เข้าใกล้ 1 แสดงว่าความแปรผัน ใน y เกือบทั้งหมดสามารถอธิบายได้โดยตัวแปร x หรือสมการถดถอยมีความถูกต้องในการพยากรณ์ตัวแปร y ได้ดี สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูลคือ

$$y = 0.0247x + 310418 \quad (2)$$

จากสมการ (2) อธิบายได้ว่า y คือปริมาณการปล่อย CO₂ ที่แปรผันตามปริมาณการบริการ หน่วยเป็น kgCO₂e ส่วน x คือปริมาณการบริการ (passenger-km) และ m หรือสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร x คือปริมาณ CO₂ ที่ถูกปล่อยจากการบริการ 1 หน่วย จากสมการนี้หมายความว่าผู้โดยสาร 1 คนเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร จะปล่อยก๊าซ CO₂ 0.0247 กิโลกรัม ค่า c คือค่าคงที่ที่เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้บริการ เช่น การเตรียมขบวนรถก่อนเวลาบริการ การนำขบวนรถเคลื่อนที่จากอู่จอดรถไฟฟ้าไปเริ่มต้นบริการแต่ละสถานี การนำขบวนรถไฟฟ้ากลับจากการบริการเก็บที่อู่จอดรถไฟฟ้า จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อวิเคราะห์ค่า R² เท่ากับ 0.8379 ข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่นอกเส้นแนวโน้มบ้าง แสดงถึงการให้บริการเดินรถไฟฟ้าในแต่ละเดือนมีการปล่อยก๊าซ CO₂ แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนซึ่งบางเดือนอาจจะมีวันหยุดเสาร์ อาทิตย์มากกว่าเดือนอื่นซึ่งความถี่และระยะทางการเดินรถสะสมจะน้อยกว่า ส่งผลให้การปล่อยก๊าซ CO₂ ในแต่ละเดือนในรอบ 55 เดือนมีความแตกต่างกัน

5.4 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ควรจะเป็นจากสมการฐานอ้างอิงโดยใช้แผนภูมิ CUSUM

ตาราง 5.2 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลรวมสะสมของผลต่าง ของการปล่อยก๊าซ CO₂ จากข้อมูล 55 เดือน

เดือน	ปริมาณการ บริการ (passenger-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kgCO ₂ e)	Baseline (kgCO ₂ e)	Difference (kgCO ₂ e)	CUSUM (kgCO ₂ e)
1	76546267	2026116	2201111	-174995	-58739
2	71660203	1954690	2080425	-125735	-184474
3	85017353	2181672	2410347	-228674	-413148
4	73189807	2184233	2118206	66026	-347121
5	76964432	2440674	2211439	229234	-117887
6	84670788	2359583	2401786	-42203	-160091
7	84881677	2473496	2406995	66501	-93590
8	101450055	2757226	2816234	-59008	-152598
9	103664798	2738958	2870939	-131980	-284578
10	97846565	2763005	2727228	35777	-248802
11	93783251	2704791	2626864	77926	-170875
12	108698405	2658753	2995269	-336516	-507391
13	106726586	2768838	2946565	-177726	-685117

ตาราง 5.2 (ต่อ)

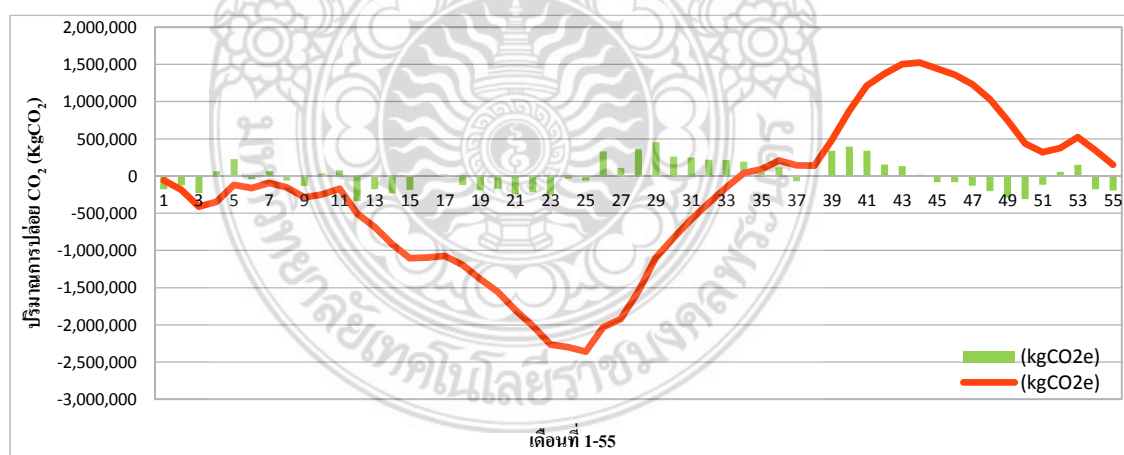
เดือน	ปริมาณการ บริการ (passenger-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kgCO ₂ e)	Baseline (kgCO ₂ e)	Difference (kgCO ₂ e)	CUSUM (kgCO ₂ e)
14	107802038	2740939	2973128	-232189	-917306
15	115904008	2986642	3173247	-186605	-1103912
16	102569227	2854118	2843878	10240	-1093671
17	106549873	2962069	2942200	19869	-1073802
18	104183552	2762017	2883752	-121735	-1195538
19	110724952	2856329	3045324	-188995	-1384533
20	107798783	2801530	2973048	-171518	-1556051
21	107295033	2716925	2960605	-243680	-1799731
22	112462871	2873922	3088251	-214328	-2014059
23	112288970	2834372	3083956	-249584	-2263643
24	107714690	2934364	2970971	-36606	-2300250
25	112200995	3023044	3081783	-58739	-2358989
26	91842906	2909881	2578938	330943	-2028046
27	119606927	3372371	3264709	107662	-1920383
28	107180369	3327827	2957773	370053	-1550330
29	114029010	3582925	3126935	455990	-1094340
30	116711196	3456460	3193185	263275	-831065
31	120283640	3528455	3281424	247031	-584033
32	124933978	3614683	3396287	218395	-365638
33	118105366	3440818	3227621	213198	-152440
34	123445107	3553552	3359512	194040	41600
35	125580131	3462982	3412247	50734	92334
36	119442627	3378330	3260651	117679	210013
37	136416744	3611615	3679912	-68296	141716
38	128843940	3491188	3492863	-1675	140041
39	133516256	3949583	3608270	341314	481355
40	120453265	3680187	3285614	394574	875928
41	123366124	3698762	3357561	341200	1217129
42	125597581	3568701	3412678	156023	1373152

ตาราง 5.2 (ต่อ)

เดือน	ปริมาณการ บริการ (passenger-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kgCO ₂ e)	Baseline (kgCO ₂ e)	Difference (kgCO ₂ e)	CUSUM (kgCO ₂ e)
43	130975349	3677020	3545509	131511	1504663
44	132417782	3599649	3581137	18512	1523175
45	132329012	3498169	3578945	-80775	1442399
48	132498196	3380764	3583123	-202360	1031725
49	133806233	3328551	3615432	-286881	744844
50	128573542	3175990	3486184	-310194	434650
51	143365341	3734903	3851542	-116639	318011
52	129301263	3561120	3504159	56961	374972
53	133583214	3758196	3609923	148273	523244
54	139723666	3584809	3761593	-176783	346461
55	145571659	3710273	3906038	-195765	150696

ที่มา: บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด และจากการคำนวณ

5.5 การนำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) ของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂

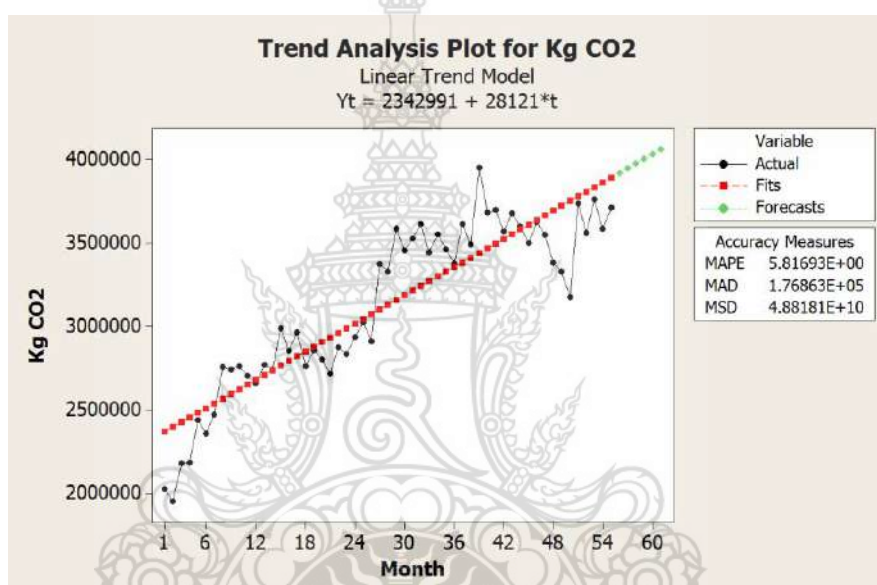


ภาพ 5.6 แผนภูมิผลรวมสะสมของผลต่างของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂
ในช่วงเวลาต่อเนื่อง 55 เดือน

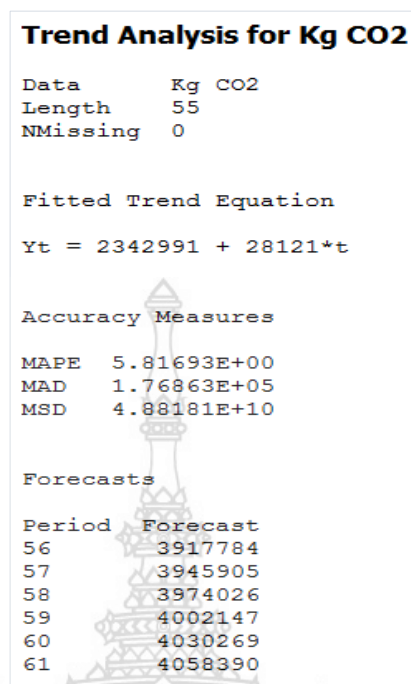
จากภาพ 5.6 แผนภูมิ CUSUM แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือช่วงที่ 1 (เดือนที่ 1-11) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบและบวกสลับกันตลอดช่วง หมายถึงมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่คงที่เมื่อ

เทียบกับค่าอ้างอิง ช่วงที่ 2 (เดือนที่ 12-25) กราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบอย่างต่อเนื่อง บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง ในช่วงที่ 3 (เดือนที่ 26-44) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวกอย่างต่อเนื่อง บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำ และการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง ในช่วงที่ 4 (เดือนที่ 45-55) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง

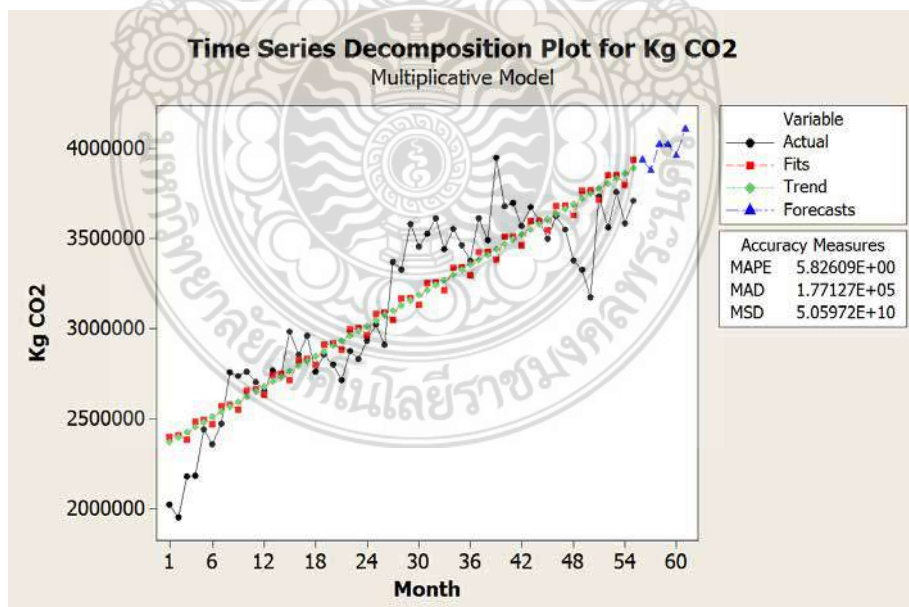
5.6 ผลการทดสอบโมเดลการพยากรณ์ทางสถิติ



ภาพ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กับเดือนโดยเทคนิควิธีวิเคราะห์แนวโน้ม



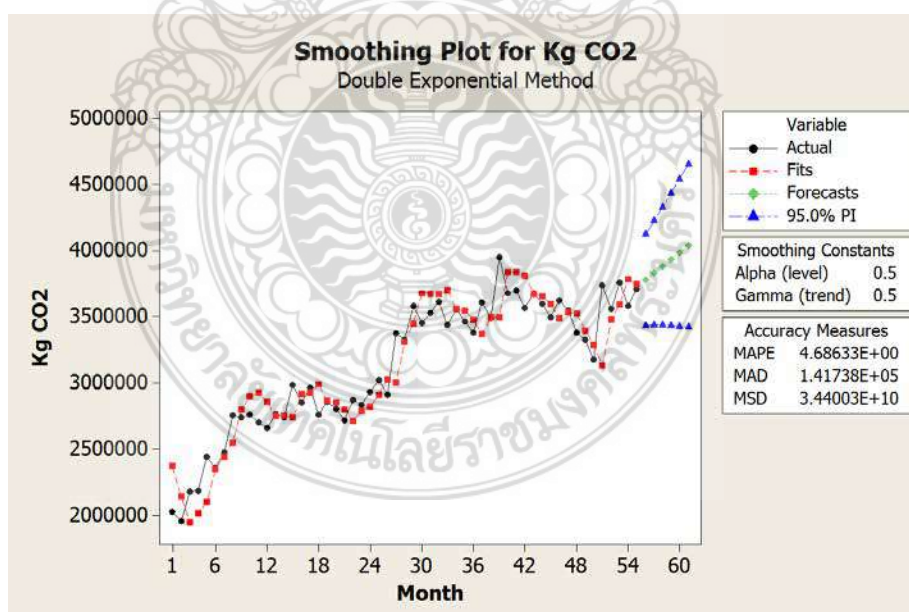
ภาพ 5.8 ข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO₂ เดือนที่ 56-61 (ส.ค. 58 - ม.ค. 59) โดยเทคนิคการพยากรณ์วิธีวิเคราะห์แนวโน้ม



ภาพ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กับเดือนโดยเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ

Time Series Decomposition for Kg CO2	
Multiplicative Model	
Data	Kg CO2
Length	55
NMissing	0
Fitted Trend Equation	
$Y_t = 2342210 + 28147 * t$	
Seasonal Indices	
Period	Index
1	1.01216
2	1.00489
3	0.98296
Accuracy Measures	
MAPE	5.82609E+00
MAD	1.77127E+05
MSD	5.05972E+10
Forecasts	
Period	Forecast
56	3937603
57	3879338
58	4023059
59	4022457
60	3962340
61	4108526

ภาพ 5.10 ข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO₂ เดือนที่ 56-61 (ส.ค. 58 - ม.ค. 59) โดยเทคนิคการพยากรณ์การแยกส่วนตัวประกอบ

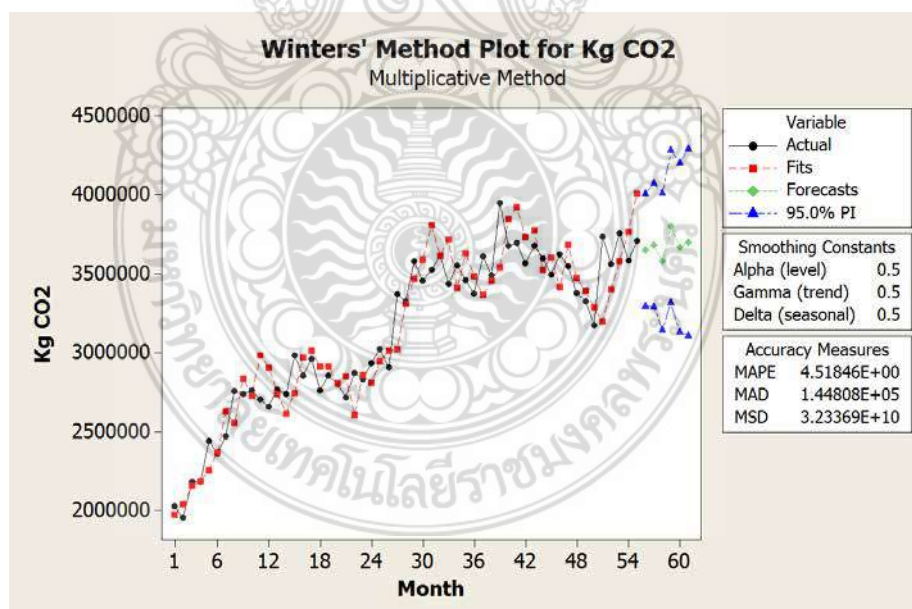


ภาพ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กับเดือนโดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง

Double Exponential Smoothing for Kg CO2

Data	Kg CO2		
Length	55		
Smoothing Constants			
Alpha (level)	0.5		
Gamma (trend)	0.5		
Accuracy Measures			
MAPE	4.68633E+00		
MAD	1.41738E+05		
MSD	3.44003E+10		
Forecasts			
Period	Forecast	Lower	Upper
56	3779804	3432553	4127054
57	3831532	3437787	4225277
58	3883260	3438175	4328346
59	3934989	3435210	4434768
60	3986717	3429877	4543557
61	4038446	3422836	4654055

ภาพ 5.12 ข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO₂ เดือนที่ 56-61 (ส.ค. 58 - ม.ค. 59) โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง



ภาพ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ กับเดือนโดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์

Winters' Method for Kg CO2			
Multiplicative Method			
Data	Kg CO2		
Length	55		
Smoothing Constants			
Alpha (level)	0.5		
Gamma (trend)	0.5		
Delta (seasonal)	0.5		
Accuracy Measures			
MAPE	4.51846E+00		
MAD	1.44808E+05		
MSD	3.23369E+10		
Forecasts			
Period	Forecast	Lower	Upper
56	3652768	3297994	4007542
57	3684541	3293599	4075482
58	3579146	3144638	4013653
59	3802097	3318622	4285572
60	3669888	3133520	4206255
61	3701789	3109655	4293923

ภาพ 5.14 ข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO₂ เดือนที่ 56-61 (ส.ค. 58 - ม.ค. 59) โดยเทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์

ตาราง 5.3 เปรียบเทียบค่าค่าความคลาดเคลื่อน MAPE, MAD และ MSD จากการพยากรณ์

ความคลาดเคลื่อนของเทคนิคการพยากรณ์	MAPE	MAD	MSD
เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม	5.8169	1.76863 x	4.88181 x
	3	10 ⁵	10 ¹⁰
เทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ	5.8260	1.77127 x	5.05972 x
	9	10 ⁵	10 ¹⁰
เทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง	4.6863	1.41738 x	3.44003 x
	3	10 ⁵	10 ¹⁰
เทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	4.5184	1.44808 x	3.23369 x
	6	10 ⁵	10 ¹⁰

ตาราง 5.4 เปรียบเทียบลำดับความแม่นยำการพยากรณ์จากค่าความคลาดเคลื่อน MAPE, MAD และ MSD

ลำดับความแม่นยำเทคนิคการพยากรณ์	MAPE	MAD	MSD
เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม	3	3	3
เทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ	4	4	4
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง	2	1	2
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	1	2	1

จากตารางการเปรียบเทียบค่า MAPE, MAD และ MSD จากการพยากรณ์ทั้ง 4 เทคนิค โดยคัดเลือกการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE, MAD และ MSD ต่ำที่สุดคือ เทคนิคการพยากรณ์โดยการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อน MAPE และ MSD ต่ำที่สุด แต่ค่า MAD ต่ำเป็นอันดับสองรองจากเทคนิคการพยากรณ์โดยการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง เมื่อดูในลำดับรวมแล้วเทคนิคการพยากรณ์โดยการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงสุด จึงนำมาเป็นเทคนิคการพยากรณ์ต้นแบบเปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงในปัจจุบัน

5.7 ผลการทดสอบโมเดลการพยากรณ์กับการปล่อยก๊าซ CO₂ จริง

ตาราง 5.5 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่ปล่อยจริง และจากการพยากรณ์

เทคนิคการพยากรณ์	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ (Kg)					
	ส.ค.-	ก.ย.-	ต.ค.-	พ.ย.-	ธ.ค.-	ม.ค.-
	58	58	58	58	58	59
ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO ₂ จริง	36533	35631	35988	35836	35312	34647
เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม	80	68	13	25	57	03
เทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบ	39177	39459	39740	40021	40302	40583
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง	84	05	26	47	69	90
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	39376	38793	40230	40224	39623	41085
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	03	38	59	57	40	26
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	37798	38315	38832	39349	39867	40384
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	04	32	60	89	17	46
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	36527	36845	35791	38020	38698	37017
เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์	68	41	46	97	88	89

จากตาราง 5.5 ได้เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซ CO₂ ที่ปล่อยจริงจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส ตั้งแต่เดือน ส.ค. 2558 – ม.ค. 2559 รวม 6 เดือน ดังแสดงผลดังตาราง และได้ นำข้อมูลพยากรณ์ จากเทคนิคพยากรณ์ 4 เทคนิค มาเปรียบเทียบกับ พบว่าแต่ละเทคนิคพยากรณ์ก็ จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ดังนั้นจึงได้คำนวณเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละเพื่อให้ เห็นความคลาดเคลื่อนชัดเจนขึ้น ดังแสดงผลตามตาราง 5.6

ตาราง 5.6 แสดงร้อยละความคลาดเคลื่อนปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการพยากรณ์

ความคลาดเคลื่อนเทคนิคการ พยากรณ์	เทคนิคการวิเคราะห์ แนวโน้ม	เทคนิคการแยกส่วนตัว ประกอบ	เทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์ โพเนนเชียลแบบสองครั้ง	เทคนิคการปรับเรียบเอ็กซ์ โพเนนเชียลของวินเทอร์
ปริมาณที่คลาดเคลื่อน (Kg)	264404	284223	126424	-612
ร้อยละ	7.24	7.78	3.46	-0.02
ปริมาณที่คลาดเคลื่อน (Kg)	382737	316170	268364	121373
ร้อยละ	10.74	8.87	7.53	3.41
ปริมาณที่คลาดเคลื่อน (Kg)	375213	424246	284447	-19667
ร้อยละ	10.43	11.79	7.90	-0.55
ปริมาณที่คลาดเคลื่อน (Kg)	418522	438832	351364	218472
ร้อยละ	11.68	12.25	9.80	6.10
ปริมาณที่คลาดเคลื่อน (Kg)	499012	431083	455460	338631
ร้อยละ	14.13	12.21	12.90	9.59
ปริมาณที่คลาดเคลื่อน (Kg)	593687	643823	573743	237086
ร้อยละ	17.14	18.58	16.56	6.84
ร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	11.89	11.91	9.69	4.23

จากตาราง 5.6 พบว่า เทคนิคการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด หรือแม่นยำที่สุด คือ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์มีความคลาดเคลื่อน 4.23 % เทคนิคการพยากรณ์ที่แม่นยำรองลงมาคือ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม และเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบที่ความคลาดเคลื่อน 9.69 %, 11.89 %, และ 11.91 % ตามลำดับ



บทที่ 6

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สามารถอธิบายพฤติกรรมการณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ โดยเส้นกราฟ CUSUM แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือช่วงที่ 1 (เดือนที่ 1-11) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบและบวกสลับกันตลอดช่วง หมายถึงมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่คงที่เมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง วิเคราะห์ได้ว่าในช่วงเวลานั้นรถไฟฟ้าบีทีเอสเริ่มมีการให้บริการเพิ่มขึ้น 2 สถานี คือสถานีกรุงธนบุรี และสถานีวงเวียนใหญ่ในเส้นทางสายสีลมทำให้มีผู้โดยสารเพิ่มขึ้นแต่ความถี่ในการบริการน้อยลงเนื่องจากอุปสรรคในการเดินรถรางเดียวที่สถานีสะพานตากสิน ผู้โดยสารในขบวนรถแน่นมากขึ้น บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำ จะเห็นได้จากกราฟช่วงที่ความชันเป็นลบ แต่อีกด้านหนึ่งช่วงเวลาดังกล่าวมีการวิ่งขบวนรถเปล่าในการทดสอบขบวนรถเพื่อปรับเปลี่ยนระบบควบคุมการเดินรถ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และเพิ่มก๊าซ CO₂ จะเห็นได้จากกราฟช่วงที่ความชันเป็นบวก ซึ่งทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่คงที่ในแต่ละเดือน ช่วงที่ 2 (เดือนที่ 12-25) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบอย่างต่อเนื่อง บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง เนื่องมาจากจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นอย่างมากจากการเปิดส่วนต่อขยายสายสุขุมวิท 5 สถานี จากสถานีอ่อนนุช ถึง สถานีแบริ่ง และเป็นช่วงที่กรุงเทพมหานครเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ ประชาชนย้ายที่พักไปพื้นที่ด้านตะวันออกของกรุงเทพ และเดินทางมาทำงานโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ในช่วงที่ 3 (เดือนที่ 26-44) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวกอย่างต่อเนื่อง บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำ และการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง เนื่องจากในช่วงนี้บีทีเอส มีโครงการใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการ หลายโครงการ เช่น การประกอบตู้รถไฟฟ้าเพิ่มจาก 3 ตู้ต่อขบวนเป็น 4 ตู้ต่อขบวน การติดตั้งประตูกันขานชาลาอัตโนมัติ โดยมีการวิ่งขบวนรถเปล่าเพื่อทดสอบระบบจำนวนมาก และการเปิดบริการเดินรถต่อจากสถานีวงเวียนใหญ่เพิ่มขึ้นอีกสองสถานีคือ สถานีโพธิ์นิมิตร และสถานีตลาดพลู ตามความจำเป็นที่ต้องเดินรถรูปแบบนี้ตามสัญญาจ้างเดินระบบ แต่ปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการค่อนข้างน้อย ทั้งหมดนี้ทำให้เกิดการสูญเสียในการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง ในช่วงที่ 4 (เดือนที่ 45-55) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง วิเคราะห์ได้ว่าในช่วงเวลานั้นรถไฟฟ้าบีทีเอส มีการเปิดเดินรถถึงสถานีบางหว้า และได้มีการปรับตารางเวลาการเดินรถให้เหมาะสมกับปริมาณผู้โดยสาร และงานทดสอบระบบต่าง ๆ ดำเนินการเสร็จสิ้น ปริมาณผู้โดยสารชาวไทย และผู้โดยสารที่เป็นนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศเริ่มเพิ่มมากขึ้น จากเหตุการณ์ทางการเมืองที่สงบลง เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม และการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง และจะมีบางช่วงเวลาเดือนที่ 52-53 ซึ่งตรงกับเดือน เม.ย.-พ.ค. เส้นกราฟจะมีความชันเป็นบวกระยะสั้นๆ เนื่องจากเป็นเดือนที่มีวันหยุด

หลายวัน ผู้โดยสารใช้บริการน้อย แต่บีทีเอสไม่ได้ปรับความถี่การเดินรถให้เหมาะสมกับจำนวนผู้โดยสารมากนัก ช่วง 2 เดือนนี้จึงเกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไม่เหมาะสม และการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง การพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ สามารถทำได้หลายเทคนิค แนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ ของบีทีเอส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้โดยสารใช้บริการเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะเวลาช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และการขยายเส้นทางรถไฟฟ้า ทำให้ทางบีทีเอสจำเป็นต้องเพิ่มเที่ยววิ่งเพื่อรองรับปริมาณผู้โดยสารที่เพิ่มมากขึ้น และเทคนิคการพยากรณ์โดยการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลของวินเทอร์ เป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้า BTS ที่แม่นยำที่สุดเนื่องจากเทคนิคนี้เหมาะกับการพยากรณ์ระยะสั้น ถึงระยะปานกลาง และเป็นข้อมูลรายเดือนจำนวน 55 เดือนที่ลักษณะข้อมูลแบบมีแนวโน้มและมีฤดูกาล โดยจำนวนการใช้ไฟฟ้าในการเดินรถจะน้อยในช่วงเดือน เม.ย. ถึง พ.ค. ของทุก ๆ ปี เนื่องจากมีวันหยุดยาวต่อเนื่อง ซึ่งจะมีการเดินรถไม่ถี่มากเท่าวันธรรมดา ดังนั้นเทคนิคการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลของวินเทอร์จึงเป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์ทั้งทางสถิติ และการเปรียบเทียบกับค่าการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงจากการใช้พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสนั้นขึ้นกับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน การใช้พลังงานไฟฟ้ามากจะมีการปล่อยก๊าซ CO₂ มากขึ้นด้วย จากการนำข้อมูลปริมาณการบริการและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส จำนวน 55 เดือนต่อเนื่องกัน มาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ พบว่า ปริมาณการบริการ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (kgCO₂e) หาได้จาก 0.0247 คูณกับปริมาณการบริการ (passenger – kilometer) บวกค่าคงที่ 310,418 และทราบจากสมการได้ว่าผู้โดยสาร 1 คนเดินทางโดยระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสระยะทาง 1 กิโลเมตรจะปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 24.7 gCO₂e และเมื่อเทียบกับการเดินทางโดยรถยนต์นั่งโดยถนนจะปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 90.0 gCO₂e จะเห็นได้ว่าการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสจะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ถึง 3.6 เท่า เมื่อเทียบกับการเดินทางโดยรถยนต์นั่งโดยถนนที่จำนวนคนและระยะทางที่เท่ากัน การใช้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมสามารถติดตามพฤติกรรมของการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสได้ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ เพียงเล็กน้อย และในรอบ 55 เดือน ตั้งแต่ 1 ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 รถไฟฟ้าบีทีเอสมีการปล่อยก๊าซ CO₂ แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากในช่วงเวลานั้นมีการเปิดสถานีส่วนต่อขยายอย่างต่อเนื่อง มีงานทดสอบระบบต่างๆ ซึ่งจะมีขบวนรถเปล่าวิ่งเพื่อทดสอบระบบ และหลังจากการเปิดบริการถึงสถานีบางหว้ามีผู้โดยสารเดินทางโดยระบบรถไฟฟ้ามากขึ้นโดยเฉพาะในช่วงเร่งด่วนเช้า ทางรถไฟฟ้าบีทีเอสได้มีการทดลองปรับตารางเวลาการเดินรถให้เหมาะสมกับปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการ จากบทสรุปของการวิจัยสามารถพัฒนาเพื่อต่อยอดการนำแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมาเฝ้าติดตามปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ เพื่อลดปริมาณการปล่อยให้ได้ตามค่าเป้าหมายของแต่ละองค์กร ตามหลักปฏิบัติของตลาดคาร์บอนต่อไปได้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

จากการนำข้อมูลปริมาณการบริการและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส จำนวน 55 เดือนต่อเนื่องกัน มาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ พบว่า ปริมาณการบริการมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (kgCO₂e) หาได้จาก 0.0247 คูณกับปริมาณการบริการ (passenger – kilometer) บวกค่าคงที่ 310,418 และทราบจากสมการได้ว่าผู้โดยสาร 1 คนเดินทางโดยระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสระยะทาง 1 กิโลเมตรจะปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 0.0247 KgCO₂e ซึ่งก็คือปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จำเพาะของการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส ตัวเลข 0.0247 นี้สามารถนำไปใช้คำนวณหาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในส่วนของการเดินทางของพนักงานที่เดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

การพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ของการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ 4 เทคนิคเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ทางสถิติ และเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินรถ พบว่าเทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติที่มีความแม่นยำมากที่สุด โดยการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนค่า MAPE, MAD และ MSD ที่น้อยที่สุด พบว่าเทคนิคที่มีความแม่นยำสูงสุดเรียงตามลำดับคือ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม และเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบที่ความคลาดเคลื่อน ตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จริงจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินรถ พบว่าเทคนิคที่มีความแม่นยำที่สุดคือ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์มีความคลาดเคลื่อน 4.23 % เทคนิคการพยากรณ์ที่แม่นยำรองลงมาคือ เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบสองครั้ง เทคนิคการวิเคราะห์แนวโน้ม และเทคนิคการแยกส่วนตัวประกอบที่ความคลาดเคลื่อน 9.69 %, 11.89 %, และ 11.91 % ตามลำดับ พบว่าจากการพยากรณ์ และจากการเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จริง มีความสอดคล้องกัน

บทที่ 8

การนำงานวิจัยไปใช้งาน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นแนวคิดในการวัดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีการใช้เทคนิคทางด้านวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยให้เข้าใจถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่แฝงอยู่ในผลิตภัณฑ์ บริการ หรือกิจกรรมต่างๆ และเป็นการวัดผลกระทบที่ปล่อยจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงานขององค์กร และคำนวณออกมาให้อยู่ในหน่วย “คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent) ซึ่งจะทำให้ทราบว่าการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ บริการ หรือกิจกรรมต่างๆ นั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณเท่าใด และจะทำให้เราหาแนวทางเพื่อลดขนาดผลกระทบทางด้านนี้ที่เกิดขึ้น

พิจารณาเอกสารแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ฉบับปัจจุบัน ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง กลุ่มขนส่งทางราง มีข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานเพียงข้อมูลเดียวคือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งสินค้าโดยรถไฟ มีค่าแฟกเตอร์เป็น 0.1111 KgCO₂e ต่อ Ton-KM ดังแสดงตามตาราง 8.1

ตาราง 8.1 แสดงค่า Factor การปล่อยก๊าซ CO₂ (KgCO₂e ต่อ หน่วย) ของกลุ่มขนส่ง

ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟกเตอร์ (KgCO ₂ e/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	หมายเหตุ
เรือบรรทุก container	ton-km	0.0100	The Environmental Footprint of Surface Freight Transportation, Lawson Economics Research Inc., 2007	
กลุ่มขนส่งทางราง				
รถไฟ	ton-km	0.1111	Train I, IDEMAT	
กลุ่มขนส่งทางอากาศ				
*เครื่องบิน	person-roundtrip	1100	Defra	average 1500 km per one-way trip

ที่มา:องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

พบว่ายังไม่มีรายการค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งผู้โดยสารโดยรถไฟไฟฟ้า ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปคำนวณการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ในการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเดินทางของพนักงานเพื่อประโยชน์ทางธุรกิจขององค์กร ก๊าซเรือน

กระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเดินทางเพื่อการติดต่อธุรกิจระหว่างลูกค้า หรือผู้มาติดต่อกับองค์กร ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเดินทางไป-กลับระหว่างองค์กรและที่พักของพนักงาน ดังตัวอย่าง หลักเกณฑ์การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเดินทางของพนักงานดังแสดงตาม ตาราง 8.2

ตาราง 8.2 แสดงหลักเกณฑ์การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเดินทางของ พนักงาน

องค์กรประเภทสำนักงาน		
ประเภทของ กิจกรรม	ตัวอย่างกิจกรรมที่มีการปล่อย หรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณ
ประเภทที่ 1	การเดินทางภายในและภายนอก สำนักงานด้วยยานพาหนะขององค์กร	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ x ค่า แพลกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือน กระจก ตามชนิดของน้ำมัน เชื้อเพลิง 2) ระยะทาง x น้ำหนักบรรทุก x ค่า แพลกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือน กระจก ตามประเภทของพาหนะที่ ใช้ 3) (ระยะทาง/อัตราการใช้เชื้อเพลิง) x ค่าแพลกเตอร์การ ปล่อยก๊าซเรือนกระจก แยกตาม ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 4) ระยะทางที่เดินทาง x ค่าแพลกเตอร์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการ เดินทางโดยเครื่องบิน (กรณี เดินทางด้วยเครื่องบินโดยสาร)
	การใช้สารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ x ค่าแพลกเตอร์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิด ของสารเคมี

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

ปัจจุบันงานวิจัยด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กร ยังใช้ข้อมูล Emission Factor จากสถาบันจากต่างประเทศ เช่นงานวิจัยเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กรและแนวทาง เชิงวิศวกรรมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกรมควบคุมมลพิษ ใช้ค่า Factor ต่อหน่วย ของการเดินทางโดยรถไฟฟ้าจากสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency - EPA) ของสหรัฐอเมริกาในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นที่เกิดจากการเดินทางของพนักงาน ที่เดินทางโดยรถไฟฟ้า BTS ดังแสดงตามตาราง 8.3

ตาราง 8.3 แสดงค่า Factor ต่อหน่วย และแหล่งอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณจากงานวิจัยตัวอย่าง

ชื่อ	หน่วย	ส่วนประกอบ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	หมายเหตุ
		kg CO ₂ /หน่วย		
รถตู้, รถสองแถว	km	0.02108333	EPA, 2008	
รถไฟฟ้าใต้ดิน, รถไฟฟ้า, BTS, Airportlink	km	0.10172	EPA, 2008	
รถมอเตอร์ไซด์รับจ้าง	km	0.052918	EPA, 2008	
เครื่องบินภายในประเทศ	km	Equation	regression guideline	รายละเอียดการคำนวณภาคผนวก ข
เครื่องบินภายใน international	km	Equation	regression guideline	รายละเอียดการคำนวณภาคผนวก ข
เครื่องปรับอากาศ				
น้ำยาเครื่องปรับอากาศ R-22	kg	1810	IPCC 2006	
น้ำยาล้างเครื่องปรับอากาศ HCFC-141b	kg	725	IPCC 2006	
กลุ่มรถบรรทุกขยะ				
รถกระบะบรรทุก 10 ถึง 16 คัน No load	km	0.5429	TC Common data	
รถกระบะบรรทุก 10 ถึง 16 คัน fully load	Ton-km	0.0425	TC Common data	
อุปกรณ์สำนักงาน				
กระดาษ	kg	1.15	TC Common data	1 รีม = 2.5 kg

ที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2555)

จากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กำหนดลำดับการใช้ข้อมูล Factor ต่อหน่วย ไว้ว่าในกรณีที่ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบปรกติได้ สามารถเลือกใช้ข้อมูลหัตถ์ภูมิที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมและกระบวนการย่อยที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมโดยตรงขององค์กร หรือค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการเผยแพร่แล้วตามแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ โดยหากเรียงตามลำดับความสำคัญ ความน่าเชื่อถือและคุณภาพของข้อมูลได้ดังนี้

ลำดับที่ 1 ฐานข้อมูลที่ทำการศึกษาและเผยแพร่โดยองค์กรภายในประเทศที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับกิจกรรมนั้นๆ

ลำดับที่ 2 ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย (Thai LCI Database) ซึ่งรวบรวมและจัดการโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ลำดับที่ 3 ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศซึ่งผ่านการกรองแล้ว (Peer-Reviewed Publications)

ลำดับที่ 4 ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Software) ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรมหรือฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศที่มี

ลำดับที่ 5 ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ซึ่งเป็นองค์กรของสหประชาชาติ

จากงานวิจัยตัวอย่างได้ใช้ค่า Factor ต่อหน่วย จากองค์กรระหว่างประเทศ EPA ในการคำนวณนั้นจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ฉบับปัจจุบัน ถือว่ามีความถูกต้อง

แม่นยำในลำดับท้ายสุดที่ลำดับ 5 เนื่องจากรูปแบบการบริการรถไฟฟ้าทั้งด้านประเภทรถไฟฟ้า ความถี่ในการบริการ และปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการนั้นแตกต่างกัน อีกทั้งเชื้อเพลิงที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเทศก็แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้ข้อมูลจากการวิจัยในประเทศจะมีความถูกต้อง และเหมาะสมมากกว่า ข้อมูลที่ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ และทำเป็นค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ในหน่วย KgCO_2e ต่อ Passenger-KM มีค่าเท่ากับ 0.0247 ซึ่งมีลำดับความถูกต้องน่าเชื่อถือลำดับ 3 สามารถนำมาอ้างอิง ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรได้ถูกต้องมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- กทม. ก๊าซคาร์บอนมาก 42 ล้านตันต่อปี. 2558. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.dailynews.co.th/bangkok/300302>, 17 มิถุนายน 2558.
- จุฑารัตน์ บุญแก้ว. 2542. การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับภาคการขนส่งในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม). คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชนัญฐดา ศรีเชียงสา. 2556. ผลกระทบของการพัฒนาระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงในประเทศไทยต่อการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. โครงการศึกษาวิจัยปริญญาโท (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไชยะ แซ่มซ้อย. 2554. การใช้เทคนิค SPC กับงานการจัดการพลังงาน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นาริรัตน์ เกษมพัฒน์. 2550. การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการขนส่งมวลชนด้วยรถไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บริษัท บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน). 2557. แบบแสดงรายการข้อมูลประจำปี 2556/57. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://bts.listedcompany.com/misc/form561/20140630-bts-form561-20132014-th.pdf>, 17 กุมภาพันธ์ 2558.
- เบญจวรรณ นิรมิตวสุ และคณะ. 2554. การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน. วารสารวิจัยพลังงาน. 8, 2: 35-44.
- ปิตา ปิตา, วารุณี เตีย. 2554. การวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการขนส่งทางรถไฟในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (สาขาการจัดการพลังงาน). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เป็นธิดา มณีโชติ และคณะ. 2554. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม: TSIC 33, 36, 37 และ 38. วารสารวิจัยพลังงาน. 8, 2: 12-19.
- สาตกวีวิช พรณอดล. 2551. การศึกษาการใช้พลังงานและการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถโดยสารประจำทางและรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สิริมา จิวสม. 2555. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางเชิงวิศวกรรมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกรมควบคุมมลพิษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร. คลายร้อนให้โลก(ที่)รัก. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.jica.go.jp/thailand/english/office/topics/pdf/events100929_01.pdf , 17 กุมภาพันธ์ 2558.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) จากการใช้พลังงานในช่วง 6 เดือนแรกของปี 2558. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.eppo.go.th/info/emission/2015_O2.pdf, 13 มกราคม 2559.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. Air Pollution Emission in The Energy Sector, Chapter 9. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.eppo.go.th/info/cd-2015/pdf/cha9.pdf>, 13 มกราคม 2559.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2554. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/filedownload/1386869761-46.pdf> , 17 มิถุนายน 2558.
- Chan, Sabrina, Moreno, Luis M., Patterson, Zachary. 2013. Analysis of GHG Emission for City Passenger Trains: Is Electricity an Obvious Option for Montreal Commuter Trains?. Transportation Technologies. 3: 17-29.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy. [Online] Available: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>, February 17, 2015.
- Ji, Han, Yoshitsugu, Hayashi. 2008. A system dynamics model of CO₂ mitigation in China's inter-city passenger transport. Transportation Research. 13: 295-305.
- Khanna, Prachi. *et al.* 2011. Impact of Increasing Mass Transit Share on Energy Use and Emissions from Transport Sector for National Capital Territory of Delhi. Transportation Research. 16: 65-72.
- Ratanavaraha, Vatanavongs, Jomnonkwao, Sajjakaj. 2015. Trends in Thailand CO₂ Emissions in the Transportation Sector and Policy Mitigation. Transport Policy. : 1-11.

ภาคผนวก

เอกสารตีพิมพ์





สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

“Sustainable Industrial Innovation and Management”

ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558
วันที่ 1 - 2 ตุลาคม 2558
ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา

เปิดรับสมัครบทความวิจัยสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน จำนวน 9 สาขา ดังนี้

1. วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Management Engineering)
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงวิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Engineering Product Development)
3. การบริหารและพัฒนาองค์กรในอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Organization Management and Development)
4. วิศวกรรมอุตสาหกรรม วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมวัสดุและโลหะการ (Industrial Engineering, Production Engineering, Metal and Material Engineering)
5. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Environment of Engineering)
6. วิศวกรรมพลังงานเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Energy Engineering)
7. การประกันคุณภาพเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Quality Assurance)
8. วิศวกรรมการจัดการกรีนโลจิสติกส์เพื่อความยั่งยืน (Sustainable Green Logistic Management Engineering)
9. การพัฒนาความยั่งยืนเชิงอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (Relate Topics in Sustainable Industrial Development)

กำหนดส่งบทความ	ลงทะเบียนล่วงหน้า
⚙️ ส่งไฟล์บทคัดย่อ ⚙️ แจ้งผลการตรวจรับบทคัดย่อและบทความ ⚙️ ส่งไฟล์บทความฉบับเต็มเรื่องเต็ม (Full Paper) ⚙️ แจ้งผลการประเมินบทความเรื่องเต็ม ⚙️ ส่งไฟล์บทความฉบับสมบูรณ์ผ่านการแก้ไขแล้ว	⚙️ ชำระเงินภายในวันที่ 25 กันยายน 2558 ⚙️ ชำระเงินหลังจากวันที่ 25 กันยายน 2558
ภายในวันที่ 31 กรกฎาคม 2558 ภายในวันที่ 2 สิงหาคม 2558 ภายในวันที่ 14 สิงหาคม 2558 ภายในวันที่ 4 กันยายน 2558 ภายในวันที่ 21 กันยายน 2558	1,500 บาท (รวม Vat แล้ว) 2,000 บาท (รวม Vat แล้ว)

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

เว็บไซต์ : www.iei.or.th

ติดต่อ : คุณชัชฎา แก้วเรือง

โทรศัพท์ : 02-345-1157 มือถือ : 086-399-2726 E-mail : chatchada.kn@gmail.com, chatchadak@off.fti.or.th

คุณดิฐพงษ์ เตมียะประดิษฐ์

โทรศัพท์ : 02-345-1157 มือถือ : 094-654-9545 E-mail : dithpong@off.fti.or.th



ภาพภาคผนวก ก 1 โปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ประจำปี พ.ศ.2558



ภาพภาคผนวก 2 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ประจำปี พ.ศ.2558



สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย THE FEDERATION OF THAI INDUSTRIES



ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ โซน ซี ชั้น ๔ ๖๐ ถนนรัชดาภิเษกใหม่ แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐ โทร. ๐ ๒๓๔๕ ๑๐๐๐ โทรสาร. ๐ ๒๓๔๕ ๑๒๖๖-๕
Queen Sirikit National Convention Center, Zone C, 4th Fl., 60 New Rachadapisek Rd., Klongtoey, Bangkok 10110 Thailand
Tel: 66(0)2345 1000 Fax: 66(0)2345 1296-9 Homepage : <http://www.fti.or.th>

ที่ 13/4974/2558 (3)

6 สิงหาคม 2558

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความ

เรียน คุณพนา อังกาบ

สิ่งที่ส่งมาด้วย Conference template paper จำนวน 4 หน้า

ตามที่ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กำหนดจัดงานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม “นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรม อย่างยั่งยืน Sustainable Industrial Innovation and Management” ครั้งที่ 4 ศูนย์นวัตกรรมและการประชุมไบเทค บางนา ในระหว่างวันที่ 1-2 ตุลาคม 2558 และท่านได้ร่วมส่งบทความ เรื่อง การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส เข้าร่วมการคัดเลือกเพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการดังกล่าว

ในการนี้ คณะกรรมการพิจารณาบทความทางวิชาการ ได้พิจารณาและประเมินผลบทความของบทความวิจัยของท่านเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ปรากฏว่า “ผ่านการพิจารณา” คณะกรรมการดำเนินการดำเนินงานจึงขอให้ท่านจัดทำบทความฉบับสมบูรณ์ (Full paper) โดยใช้ Conference template paper ที่ส่งมาด้วยนี้ และส่งบทความในรูปแบบไฟล์ word และ pdf ไปที่ e-mail : dithpongdt@off.fti.or.th ภายในวันที่ 21 สิงหาคม 2558 นี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และดำเนินการตามระยะเวลาที่กำหนด

ขอแสดงความนับถือ

(นายดิษฐ์พงศ์ เตมียะประดิษฐ์)

เลขานุการและกรรมการประชุมวิชาการ

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

โทรศัพท์ 02-345-1157

ศูนย์รวมอุตสาหกรรมไทย มุ่งมั่นให้บริการด้วยจรรยาบรรณ และคุณภาพบุคลากร

F.T.I. Is the Center for Thai Industries. We Are Determined to Provide Services with Ethics and Quality People

ภาพภาคผนวก 3 หนังสือแจ้งผลการพิจารณาบทความ



ที่ วจอ ๑๒๕/๖/๒๕๕๘

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
เพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



๒๓ กันยายน ๒๕๕๘

เรื่อง ตอบรับการตีพิมพ์บทความ ในรายงานการประชุมทางวิชาการ (Proceeding) การประชุมวิชาการและเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ ๔

เรียน ผู้เขียนบทความวิจัย

เอกสารที่แนบมาด้วย กำหนดการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม

ตามที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ร่วมกับสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จัดการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน “Sustainable Industrial Innovation and Management” ภายใต้งานสัมมนา Eco Innovation and Solution ๒๐๑๔ ระหว่างวันที่ ๑-๒ ตุลาคม ๒๕๕๘ ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา นั้น

ในการนี้ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ขอแจ้งให้ทราบว่า บทความเรื่อง การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส (Application of Statistical Process Control Technique for Carbon Dioxide Emission Monitoring from Travelling by BTS Train) ดังกล่าวได้ผ่านการประเมินจากกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว ขอให้ท่านเข้าร่วมนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบบรรยาย (Oral presentation) ในวันที่ ๒ ตุลาคม ๒๕๕๘ ณ ห้องย่อยที่ ๔ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา รายละเอียดดังเอกสารที่แนบมานี้

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ)

ประธานคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการ
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
โทร. ๐๒-๘๓๖-๓๐๐๐ ต่อ ๔๑๗๔ (ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์ ผู้ประสานงาน)

ภาพภาคผนวก 4 หนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความ



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการปล่อยก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส
Application of Statistical Process Control Technique for Carbon Dioxide
Emission Monitoring from Travelling by BTS Train

พนา อังกาบ*, ปริญญ์ บุญนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ

Email: pana.uk@outlook.com

สาขาวิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

การปล่อยก๊าซ CO₂ ของระบบขนส่งทางรางมีความสำคัญมากขึ้น รวมถึงการขยายเส้นทางรถไฟฟ้าบีทีเอสที่จะต้องมีการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซ CO₂ มากขึ้นด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส นำมาคำนวณเป็นค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของปริมาณ gCO₂e/passenger/km และสร้างสมการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ของการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอสในอนาคต กระบวนการวิจัยเริ่มจาก รวบรวมข้อมูลจำนวนผู้โดยสาร ระยะทาง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าในการเดินทางรายเดือน รวม 55 เดือน นำมาคำนวณการปล่อยก๊าซ CO₂ และใช้สมการถดถอย ร่วมกับเทคนิคควบคุมกระบวนการทางสถิติ ประเภทแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) มาเป็นเครื่องมือช่วยในการพยากรณ์ และวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผลิตภัณฑ์ของรถไฟฟ้าบีทีเอสเท่ากับ 24.7 gCO₂e/passenger/km ซึ่งมีความมากกว่ารถไฟฟ้า SMRT ของประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.1 gCO₂e/passenger/km และเมื่อเทียบกับการเดินทางโดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลซึ่งมีเท่ากับ 90.0 gCO₂e/passenger/km พบว่าการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสจะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ถึง 3.6 เท่า จากผลการวิจัยนี้ ผู้สนใจสามารถนำค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผลิตภัณฑ์ของรถไฟฟ้าบีทีเอส ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ขององค์กร ในส่วนที่เกิดจากการเดินทางของพนักงานและผู้มาติดต่อโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสได้ และหน่วยงานภาครัฐสามารถนำข้อมูลนี้เพื่อรณรงค์ให้ประชาชนใช้ระบบขนส่งมวลชนโดยรถไฟฟ้าให้มากขึ้น ตามหลักการระบบขนส่งที่ยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ (Key word): บีทีเอส ; เทคนิคควบคุมกระบวนการทางสถิติ ; gCO₂e/passenger/km ; CUSUM

* พนา อังกาบ



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

Abstract.

CO₂ emission of rail transportation system plays more important role including the expansion of BTS route that consume the energy and emit CO₂ gas more and more. The purpose of this research was to find out amount of CO₂ emission from travelling by BTS train and determine specific CO₂ emission per product in the form of gCO₂e/passenger/km then construct prediction equation on CO₂ emission from BTS operations. Research process was initiated from collecting monthly data on ridership, distance and electricity for 55 months continuously then both of regression analysis and CUSUM were used for prediction and analysis of CO₂ emission. The finding indicated that BTS's specific CO₂ emission was 24.7 gCO₂e/passenger/km compared to SMRT Singapore and private car were 14.1 and 90.0 gCO₂e/passenger/km respectively. Travelling by BTS train was reduced 3.6 times compared with travelling by private car. The result of these analysis could be used to calculate carbon footprint from staff travelling by BTS train and promote people to use public transport by government as sustainable transportation concept.

Keyword: BTS; Statistical Process Control Technique; gCO₂e/passenger/km; CUSUM

1. บทนำ (Introduction)

กรุงเทพมหานครมีปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงถึงปีละกว่า 42 ล้านตัน ถือเป็นอันดับหนึ่งของประเทศและติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก ซึ่งก๊าซดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนและส่งผลต่อสภาพแวดล้อมของเมืองอย่างมาก ซึ่งหากสภาพแวดล้อมไม่ได้คุณภาพก็จะส่งผลต่อเนื่องถึงสุขภาพของประชาชนอีกด้วย ทั้งนี้ก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้น กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการใช้พลังงานในระบบขนส่ง [1] จะเห็นได้ว่าประเทศไทยโดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครมีการใช้พลังงานในภาคการขนส่งทางถนนในสัดส่วนที่สูงมาก ความไม่สมดุลในภาคขนส่งที่เน้นการขนส่งทางถนนเป็นหลัก ส่งผลให้โครงข่ายการขนส่งในระบบราง ซึ่งถือได้ว่ามีต้นทุนต่อหน่วยการขนส่งที่ต่ำกว่าการขนส่งทางถนนไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ดี ประเทศไทยก็เริ่มที่จะขยายโครงข่ายการขนส่งระบบรางเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานภาคขนส่ง อันส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซ CO₂ น้อยลงตามไปด้วยเช่นกัน

ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสมีระยะทางรวม 36.25 กิโลเมตร ดำเนินกิจการโดยบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด หรือ บีทีเอสซี ได้รับสัมปทานจากกทม. ในปี พ.ศ. 2535 ให้เป็นผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบนทางวิ่งยกระดับสายแรกของกรุงเทพฯ ซึ่งครอบคลุมสายสุขุมวิทและสายสีลม ปัจจุบันให้บริการผู้โดยสารสูงถึง 222.2 ล้านเที่ยวคน ในปีงบประมาณ 2556/57 หรือคิดเป็นจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย 608,692 เที่ยวคนต่อวัน [6] ดังนั้นรถไฟฟ้าบีทีเอสจะมีการใช้กระแสไฟฟ้าในการเดินรถจำนวนมาก แต่ก็สามารถรองรับผู้โดยสารได้เป็นจำนวนมากในการวิ่งรถต่อหนึ่งเที่ยว แต่เมื่อเทียบกับระบบขนส่งทางถนนอื่นๆ แล้ว การเดินทางโดยระบบรางโดยรถไฟฟ้าจะปล่อยก๊าซ CO₂ ออกมาน้อยมาก เมื่อเทียบเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อผู้โดยสารในการเดินทางโดยพาหนะอื่นๆในระยะทางที่เท่ากัน และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ศึกษาการปล่อย CO₂ จากการขนส่งนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษา CO₂ ที่ถูกปล่อยมาจากการใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้โดยตรง และพบว่ามีการศึกษาการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซ CO₂ ในการขนส่งผู้โดยสารโดยรถไฟฟ้าอยู่บ้างแต่ยังขาดข้อมูลที่ได้นำมาจากการจัดบันทึกจากการปฏิบัติการจริง แบบรายเดือน ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์การปล่อยก๊าซ CO₂ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติ ชนิดแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของผลต่าง หรือที่เรียกว่า แผนภูมิ CUSUM (Cumulative Sum Control Chart) ที่คิดขึ้นโดยนักสถิติชาวอังกฤษชื่อ ES. Page ในปี ค.ศ. 1954 โดยหลักการของแผนภูมินี้คือ การนำเอาข้อมูลตลอดช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลมาใช้ประกอบการตัดสินใจ โดยการเขียนกราฟของผลรวมสะสมของความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมาย แผนภูมินี้มี



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

จุดเด่นคือเป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการผลิตในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตสามารถมองเห็นได้ง่ายจากกราฟ โดยดูที่การเปลี่ยนแปลงของความชันของจุดพล็อตจะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างเดือนชัดเจนขึ้น ถึงแม้จะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อยก็ตาม [4] จากหลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามการปล่อยก๊าซ CO_2 จำเพาะ ในหน่วยของ gCO_2e ต่อ passenger-km และจะยังสามารถใช้พยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO_2 จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้ามหานครได้

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) แสดงถึงข้อมูลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กรจากกิจกรรมต่างๆ ทั้งการผลิตและบริการขององค์กร นำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับหน่วยงาน บริษัท โรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และระดับประเทศ อีกทั้งสามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น และช่วยเสริมสร้างศักยภาพให้แก่ผู้ประกอบการ และธุรกิจของไทยให้สามารถแข่งขันได้ในเวทีการค้าโลกตลอดจนเป็นการเตรียมความพร้อมในกรณีที่ภาครัฐต้องรายงานปริมาณการปล่อย และดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Reporting) ขององค์กรต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย จากข้อมูลแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรฉบับปัจจุบัน พบว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง กลุ่มขนส่งทางราง มีข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานเพียงข้อมูลเดียวคือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งสินค้าโดยสารโดยรถไฟ มีค่าแฟกเตอร์เป็น $0.1111 \text{ kgCO}_2\text{e}$ ต่อ Ton-KM [10] ยังไม่มีรายการค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งผู้โดยสารโดยสารโดยรถไฟ ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปคำนวณการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเดินทางของพนักงานเพื่อประโยชน์ทางธุรกิจขององค์กร การเดินทางเพื่อการติดต่อธุรกิจระหว่างลูกค้า หรือผู้มาติดต่อกับองค์กร การเดินทางไป-กลับระหว่างองค์กรและที่พักของพนักงาน ซึ่งนิยมเดินทางด้วยรถไฟฟ้ามหานคร จึงเกิดอุปสรรคที่ผู้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรไม่สามารถหาข้อมูลอ้างอิงเพื่อนำมาคำนวณได้ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นปัญหาการวิจัยว่าจำเป็นต้องนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และทำเป็นค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเดินทางโดยรถไฟฟ้ามหานคร ในหน่วย gCO_2e ต่อ passenger-km และสร้างสมการพยากรณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเดินทางโดยรถไฟฟ้ามหานคร เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการคำนวณให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของตนเอง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ข้อสรุปดังนี้

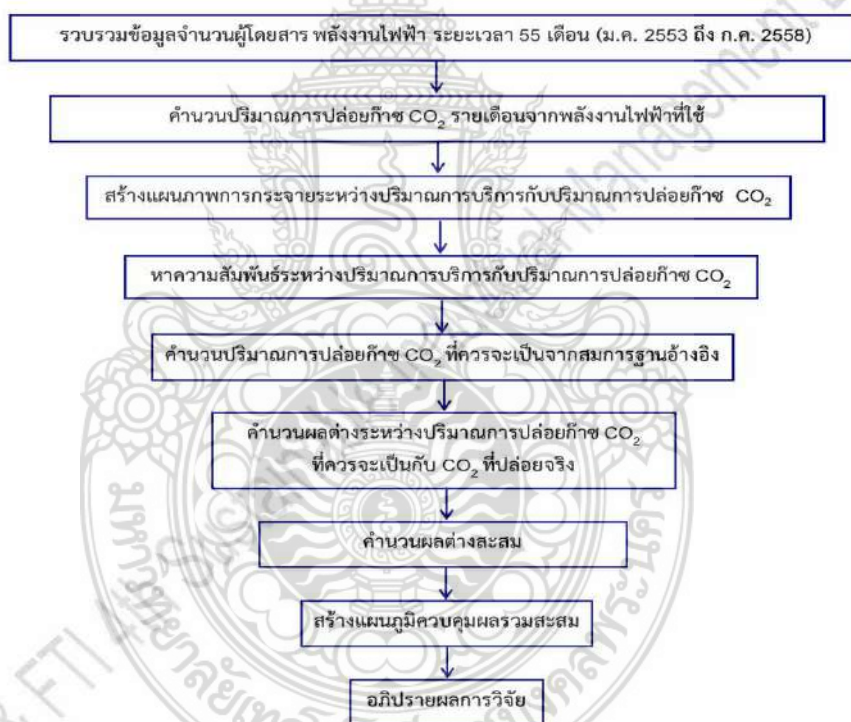
สาตภักดิ์ พรหมผล [8] ศึกษาการใช้พลังงานและการเกิดก๊าซ CO_2 ของรถโดยสารประจำทางและรถไฟฟ้าใต้ดินในกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2545-2550 นารัตน์ เกษมพัฒนา [5] ได้วิเคราะห์การใช้พลังงานในการขนส่งมวลชนโดยรถไฟฟ้า โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับจำนวนผู้โดยสาร ระยะทางและพื้นที่สถานี โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย จุฑารัตน์ บุญแก้ว [2] ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับภาคขนส่งในประเทศไทย โดยใช้แนวทางการคำนวณของ IPCC ชณัฐดา ศรีเชียงสา [3] ศึกษาผลกระทบของการพัฒนาระบบรถไฟความเร็วสูงในประเทศไทยต่อการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซ CO_2 โดยศึกษาข้อมูลของรถไฟความเร็วสูงทั้งในยุโรปและเอเชีย Ratanavaraha V., Jomnonkwa S. [12] ได้ศึกษาแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO_2 ในภาคการขนส่งของประเทศไทย และนโยบายการลดผลกระทบ โดยคำนวณปริมาณก๊าซ CO_2 จากการใช้พลังงานในภาคขนส่ง ใช้เทคนิค log-linear regression, path analysis, time series, curve estimation งานวิจัยดังกล่าวทั้งหมดเป็นการวิจัยโดยการสุ่มสำรวจข้อมูล



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

และใช้เทคนิคทางสถิติต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูล และยังไม่มีมีการวิจัยใดศึกษาการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เกิดจากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำกราฟค่าผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) มาประยุกต์ใช้มีผู้วิจัยอยู่บ้าง เช่น จิตา มณีโชติและคณะ [7] ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมโดยการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานควบคุมใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรมด้วยการหาสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายและประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงาน โดยมีข้อสังเกตว่าเทคนิค CUSUM นั้นมักใช้ในการติดตามการใช้พลังงาน และการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าเทคนิคนี้สามารถประยุกต์เพื่อวิเคราะห์การปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เกิดจากการบริการรถไฟฟ้าได้เช่นกัน

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 รวบรวมข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ระยะทางที่วิ่งให้บริการ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรถไฟฟ้ารายเดือน เป็นระยะเวลา 55 เดือน เริ่มตั้งแต่ ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 นำมาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 รายเดือน ของผู้โดยสาร 1 คนที่เดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสในระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 หาได้จาก



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าคูณด้วยค่า Emission Factor จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 0.6093 kgCO₂e/kwh

[11]

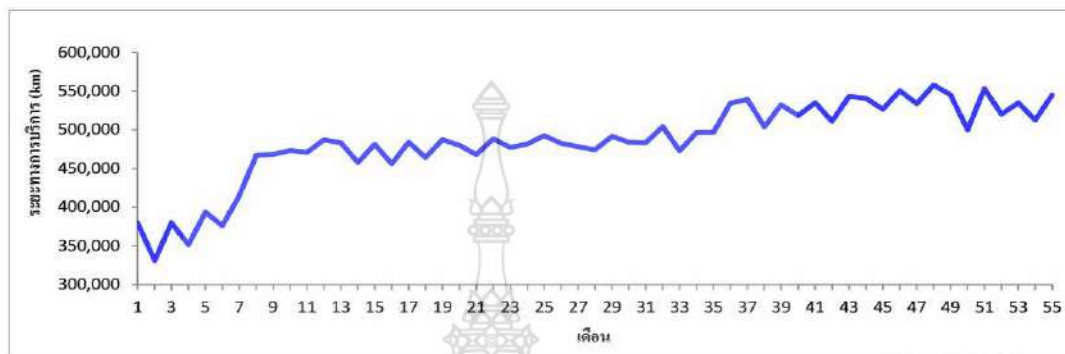
ตารางที่ 1 ข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในรอบ 55 เดือน

เดือน	ระยะทาง (km)	จำนวนผู้โดยสาร (เที่ยว-คน)	ปริมาณการบริการ (pass-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kg)	CO ₂ จำเพาะ (kgCO ₂ /pass-km)	เดือน	ระยะทาง (km)	จำนวนผู้โดยสาร (เที่ยว-คน)	ปริมาณการบริการ (pass-km)	ปริมาณก๊าซ CO ₂ (kg)	CO ₂ จำเพาะ (kgCO ₂ /pass-km)
1	379,589	12,837,326	76,546,267	2,026,116	0.0265	29	491,727	17,459,959	114,029,010	3,582,925	0.0314
2	330,837	12,060,342	71,660,203	1,954,690	0.0273	30	484,271	17,752,577	116,711,196	3,456,460	0.0296
3	379,862	14,451,045	85,017,353	2,181,672	0.0257	31	483,593	18,258,356	120,283,640	3,528,455	0.0293
4	351,411	12,291,781	73,189,807	2,184,233	0.0298	32	504,296	19,234,112	124,933,978	3,614,683	0.0289
5	393,614	12,941,461	76,964,432	2,440,674	0.0317	33	472,915	17,859,319	118,105,366	3,440,818	0.0291
6	375,871	14,213,229	84,670,788	2,359,583	0.0279	34	496,517	18,738,104	123,445,107	3,553,552	0.0288
7	414,535	14,295,139	84,881,677	2,473,496	0.0291	35	496,897	19,055,973	125,580,131	3,462,982	0.0276
8	467,228	16,300,787	101,450,055	2,257,226	0.0272	36	534,324	17,997,220	119,442,627	3,378,330	0.0283
9	468,457	16,062,647	103,664,798	2,738,958	0.0264	37	539,338	20,609,389	136,416,744	3,611,615	0.0265
10	473,422	15,118,795	97,846,565	2,763,005	0.0282	38	504,081	19,398,989	128,843,940	3,491,188	0.0271
11	471,151	14,385,780	93,783,251	2,704,791	0.0288	39	532,268	19,305,351	133,516,256	3,949,583	0.0296
12	487,136	16,816,808	108,696,405	2,658,753	0.0245	40	518,687	17,465,421	120,453,265	3,680,187	0.0306
13	483,484	16,398,429	106,726,586	2,768,838	0.0259	41	534,984	18,048,877	123,366,124	3,698,762	0.0300
14	458,007	16,598,682	107,802,038	2,740,539	0.0254	42	510,997	18,141,779	125,597,581	3,568,701	0.0284
15	481,306	17,738,667	115,904,008	2,986,642	0.0258	43	543,152	19,001,958	130,975,349	3,677,020	0.0281
16	456,576	15,644,937	102,569,227	2,854,118	0.0278	44	540,894	19,275,587	132,417,782	3,599,649	0.0272
17	484,205	16,180,501	106,549,873	2,962,069	0.0278	45	526,461	18,975,168	132,329,012	3,498,169	0.0264
18	464,605	16,136,852	104,183,552	2,762,017	0.0263	46	550,624	19,803,559	137,503,765	3,625,951	0.0264
19	487,610	17,195,348	110,724,952	2,856,329	0.0258	47	533,769	19,643,841	136,289,577	3,549,266	0.0260
20	480,097	16,980,550	107,798,783	2,891,530	0.0260	48	557,867	19,626,923	132,498,196	3,380,764	0.0255
21	468,254	16,472,700	107,295,033	2,716,925	0.0253	49	545,321	19,513,534	133,806,233	3,328,551	0.0249
22	488,458	17,165,121	112,462,871	2,873,922	0.0256	50	500,059	18,708,981	128,573,542	3,175,990	0.0247
23	477,238	17,309,496	112,288,970	2,834,372	0.0252	51	553,348	20,802,317	143,365,341	3,734,903	0.0261
24	481,850	17,002,813	107,714,690	2,934,364	0.0272	52	520,239	18,800,466	129,301,263	3,561,120	0.0275
25	492,606	17,377,025	112,200,995	3,023,044	0.0269	53	534,965	19,369,315	133,583,214	3,758,196	0.0281
26	482,597	15,939,607	91,842,506	2,909,881	0.0317	54	512,345	20,413,334	139,723,666	3,584,809	0.0257
27	478,314	18,767,942	119,606,927	3,372,371	0.0282	55	545,136	21,188,430	145,571,659	3,710,273	0.0255
28	474,387	16,477,398	107,180,369	3,327,827	0.0310						

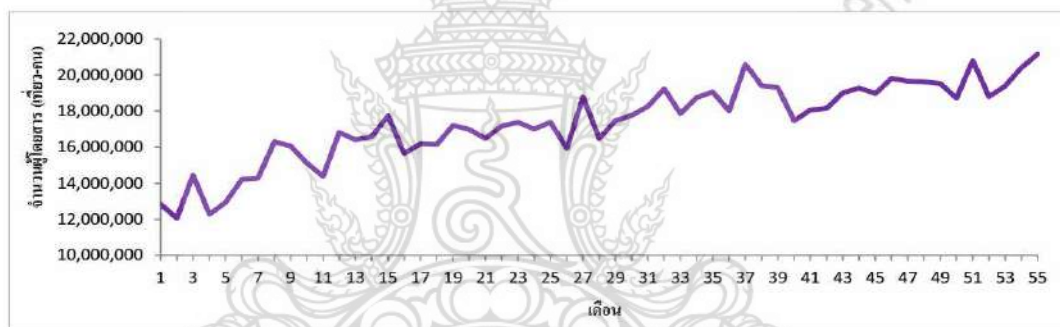
ที่มา: บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด และจากการคำนวณ



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
 นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558



ภาพที่ 2 แสดงระยะทางการบริการรายเดือน



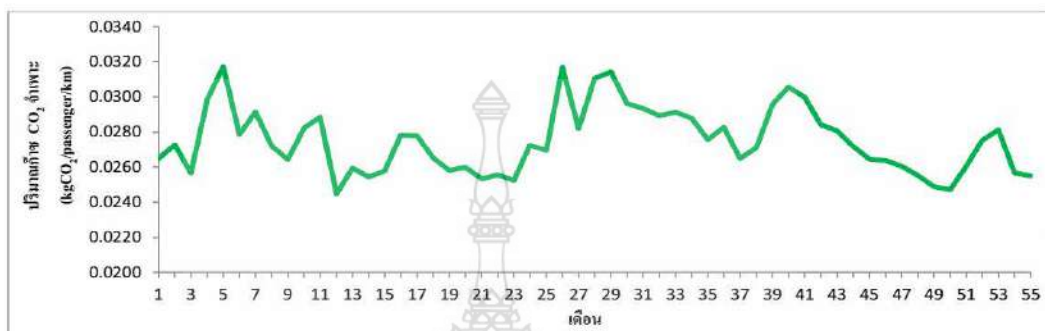
ภาพที่ 3 แสดงจำนวนผู้โดยสารรายเดือน



ภาพที่ 4 แสดงปริมาณก๊าซ CO₂ รายเดือน



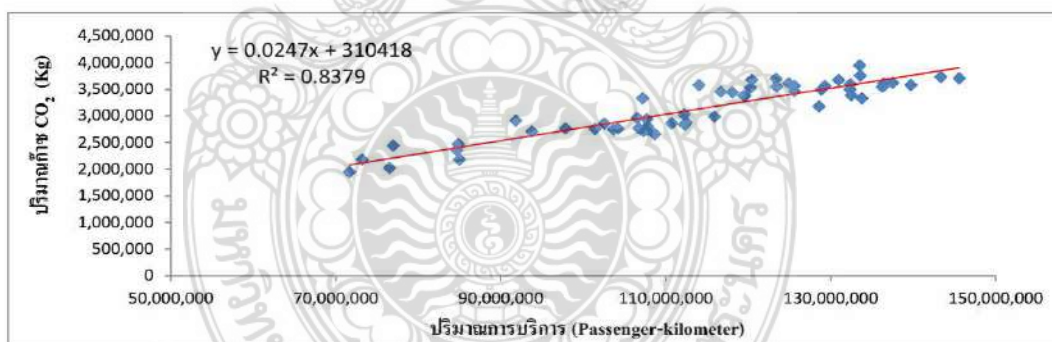
การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณก๊าซ CO₂ จำเพาะรายเดือน

จากกราฟระยะทางการบริการ (km) และจำนวนผู้โดยสาร (เที่ยว-คน) มาจากการเก็บข้อมูลจริงแบบรายเดือน ส่วนปริมาณก๊าซ CO₂ (kg) และปริมาณก๊าซ CO₂ จำเพาะ gCO₂e/passenger/km ได้จากการคำนวณจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบขับเคลื่อน (kwh) และ ระยะทางเฉลี่ยที่ผู้โดยสารเดินทาง (km) โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2553 – ก.ค. 2558 รวม 55 เดือน

3.2 นำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณการบริการ กับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂



ภาพที่ 6 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อย CO₂ กับปริมาณการบริการ

3.3 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการบริการ กับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

$$y = mx + c$$

(1)

เมื่อ y คือปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (kg CO₂e)

x คือปริมาณการใช้บริการ (passenger-km)

m คือความชันของกราฟเส้นตรง

c คือจุดตัดบนแกน y ($x = 0$)



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

R^2 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) คือความผันแปรที่สามารถอธิบายได้หาด้วยความผันแปรทั้งหมด (Explained variation / Total Variation) ค่า R^2 เป็นค่าสัดส่วนดังนั้นจึงมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 เท่านั้น หากค่า R^2 มีค่าต่ำ หรือเข้าใกล้ 0 แสดงว่าสมการถดถอยหรือตัวแปร x มีความสามารถต่ำในการอธิบายความแปรผันใน y หรือความถูกต้องในการพยากรณ์จะต่ำ และเมื่อค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าความแปรผัน ใน y เกือบทั้งหมดสามารถอธิบายได้โดยตัวแปร x หรือสมการถดถอยมีความถูกต้องในการพยากรณ์ตัวแปร y ได้ดี สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูลคือ

$$y = 0.0247x + 310418 \quad (2)$$

จากสมการ (2) อธิบายได้ว่า y คือปริมาณการปล่อย CO_2 ที่แปรผันตามปริมาณการบริการ หน่วยเป็น kgCO_2e ส่วน x คือปริมาณการบริการ (passenger-km) และ m หรือสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร x คือปริมาณ CO_2 ที่ถูกปล่อยจากการบริการ 1 หน่วย จากสมการนี้หมายความว่าโดยสาร 1 คนเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร จะปล่อยก๊าซ CO_2 0.0247 กิโลกรัม ค่า c คือค่าคงที่ที่เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้บริการ เช่น การเตรียมขบวนรถก่อนเวลาบริการ การนำขบวนรถเคลื่อนที่จากอุโมงค์รถไฟฟ้าไปเริ่มต้นบริการแต่ละสถานี การนำขบวนรถไฟฟ้ากลับจากการบริการเก็บที่อุโมงค์รถไฟฟ้า จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อวิเคราะห์ค่า R^2 เท่ากับ 0.8379 ข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่นอกเส้นแนวโน้มข้าง แสดงถึงการให้บริการเดินรถไฟฟ้าในแต่ละเดือนมีการปล่อยก๊าซ CO_2 แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนซึ่งบางเดือนอาจจะมีวันหยุดเสาร์ อาทิตย์มากกว่าเดือนอื่นซึ่งความถี่และระยะทางการเดินรถจะลดลงส่งผลให้การปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละเดือนในรอบ 55 เดือนมีความแตกต่างกัน

3.4 คำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ควรจะเป็นจากสมการฐานอ้างอิงโดยใช้ แผนภูมิ CUSUM

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลรวมสะสมของผลต่าง ของการปล่อยก๊าซ CO_2 จากข้อมูล 55 เดือน

เดือน	ปริมาณการบริการ (passenger-km)	ปริมาณก๊าซ CO_2 (kgCO_2e)	Baseline (kgCO_2e)	Difference (kgCO_2e)	CUSUM (kgCO_2e)	เดือน	ปริมาณการบริการ (passenger-km)	ปริมาณก๊าซ CO_2 (kgCO_2e)	Baseline (kgCO_2e)	Difference (kgCO_2e)	CUSUM (kgCO_2e)
1	76546267	2026116	2201111	-174995	-58739	29	114023010	3582925	3126935	455990	-1094340
2	71660203	1954690	2080425	-125735	-184474	30	116711196	3456460	3193185	263275	-831065
3	85017353	2181672	2410347	-228674	-413148	31	120283640	3528455	3281424	247031	-584033
4	73189807	2181233	2118206	66026	-347121	32	124953978	3610683	3396287	218395	-365638
5	76964432	2440674	2211439	229234	-117887	33	118105366	3440818	3227621	213198	-152440
6	84670788	2359583	2401786	-42203	-160091	34	1234645107	3553552	3359512	194040	41600
7	84881677	2473495	2406995	66501	-93590	35	125580131	3462982	3412247	50734	92334
8	101450055	2757226	2816234	-59008	-152598	36	119442627	3378330	3260651	117679	210013
9	103664796	2738958	2870939	-131980	-284578	37	136416744	3611615	3679912	-68296	141716
10	97846565	2763005	2727228	35777	-248802	38	128843940	3491188	3492863	-1675	140041
11	93783251	2704791	2626864	77926	-170875	39	133514256	3949583	3608260	341314	481355
12	108698405	2658753	2995269	-336516	-507391	40	120453265	3680187	3285614	394574	875928
13	106726586	2768838	2946565	-177726	-685117	41	123366124	3698762	3357561	341200	1217129
14	107802038	2740939	2973128	-232189	-917306	42	125597581	3568701	3412678	156023	1373152
15	115904008	2986642	3173247	-186605	-1103912	43	130975349	3677020	3545509	131511	1504663
16	102569227	2854118	2843878	10240	-1093671	44	132417782	3599649	3581137	18512	1523175
17	106549873	2962069	2942200	19869	-1073802	45	132329012	3498169	3578945	-80775	1442399
18	104183552	2762017	2883752	-121735	-1195538	46	137503765	3625951	3706761	-80810	1361589
19	110724952	2856329	3045324	-188995	-1384533	47	136289577	3549266	3676771	-127505	1234085
20	107798783	2801530	2973048	-171518	-1556051	48	132498196	3380764	3583123	-202360	1031725
21	107295033	2716925	2960605	-243680	-1799731	49	133806233	3328551	3615432	-286881	744844
22	112462871	2873922	3088251	-214328	-2014059	50	128573542	3175990	3486184	-310194	434650
23	112288970	2834372	3083956	-249584	-2263643	51	143365341	3734903	3851542	-116639	318011

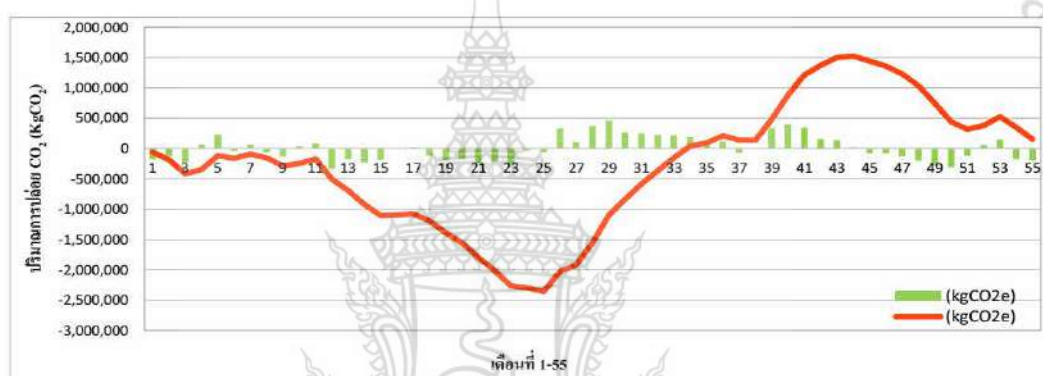


การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

24	107714690	2934364	2970971	-36606	-2300250	52	129301263	3561120	3504159	56961	374972
25	112200995	3023044	3081783	-58739	-2358989	53	133583214	3758196	3609923	148273	523244
26	91842906	2909881	2578938	330943	-2028046	54	139723666	3584809	3761593	-176783	346461
27	119606927	3372371	3264709	107662	-1920583	55	145571659	3710273	3906038	-195765	150696
28	107180369	3327827	2957773	370053	-1550330						

ที่มา: บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด และจากการคำนวณ

3.5 นำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) ของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂



ภาพที่ 7 แผนภูมิผลรวมสะสมของผลต่าง (CUSUM) ของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ในช่วงเวลาต่อเนื่อง 55 เดือน

4. อภิปรายผล (Discussion) จากการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ สามารถอธิบายพฤติกรรมของการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยเส้นกราฟ CUSUM แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือช่วงที่ 1 (เดือนที่ 1-11) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบและบวกสลับกันตลอดช่วง หมายถึงมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่คงที่เมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง วิเคราะห์ได้ว่าในช่วงเวลานั้นรถไฟฟ้าบีทีเอสเริ่มมีการให้บริการเพิ่มขึ้น 2 สถานี คือสถานีกรุงธนบุรี และสถานีวงเวียนใหญ่ในเส้นทางสายสีลม ทำให้ผู้โดยสารเพิ่มขึ้นแต่ความถี่ในการบริการน้อยลงเนื่องจากอุปสรรคในการเดินรถเดี่ยวที่สถานีสะพานตากสิน ผู้โดยสารในขบวนรถแน่นมากขึ้น บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำ จะเห็นได้จากกราฟช่วงที่ความชันเป็นลบ แต่อีกด้านหนึ่งช่วงเวลาดังกล่าวมีการวิ่งขบวนรถเปล่าในการทดสอบขบวนรถเพื่อปรับเปลี่ยนระบบควบคุมการเดินรถ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มก๊าซ CO₂ จะเห็นได้จากกราฟช่วงที่ความชันเป็นบวก ซึ่งทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ไม่คงที่ในแต่ละเดือน ช่วงที่ 2 (เดือนที่ 12-25) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบอย่างต่อเนื่อง บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง เนื่องมาจากจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นอย่างมากจากการเปิดส่วนต่อขยายสายสุขุมวิท 5 สถานี จากสถานีอ่อนนุช ถึง สถานีแบริ่ง และเป็นช่วงที่กรุงเทพมหานครเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ ประชาชนย้ายที่พักไปพื้นที่ด้านตะวันออกของกรุงเทพ และเดินทางมาทำงานโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส ในช่วงที่ 3 (เดือนที่ 26-44) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวกอย่างต่อเนื่อง บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำ และการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง เนื่องจากในช่วงนี้บีทีเอส มีโครงการใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการ หลายโครงการ เช่น การประกอบตู้รถไฟฟ้าเพิ่ม จาก 3 ตู้ต่อขบวนเป็น 4 ตู้ต่อขบวน การติดตั้งประตูกันขานชาลาอัตโนมัติ โดยมีการวิ่งขบวนรถเปล่าเพื่อทดสอบระบบจำนวนมาก และการเปิดบริการเดินรถต่อจากสถานีวงเวียนใหญ่เพิ่มขึ้นอีกสองสถานีคือ สถานีโพธิ์นิมิตร และสถานีตลาดพลู โดยเป็นการเดินรถแบบไป-กลับ ให้ผู้โดยสารมาเปลี่ยนขบวนรถที่สถานีวงเวียนใหญ่ ด้วยความถี่ 10 นาทีตลอดวัน โดยใช้ขบวนรถ 6 ตู้บริการในวันจันทร์ถึงวัน



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

ศุกร์ และขบวนรถ 4 ตู้บริการในวันเสาร์ และอาทิตย์ ความจำเป็นที่ต้องเดินรถรูปแบบนี้ตามสัญญาจ้างเดินระบบ แต่ปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการค่อนข้างน้อย ทั้งหมดนี้ทำให้เกิดการสูญเสียในการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง ในช่วงที่ 4 (เดือนที่ 45-55) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ บ่งบอกว่าเกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซ CO₂ ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง วิเคราะห์ได้ว่าในช่วงเวลานั้นรถไฟฟ้าบีทีเอส มีการเปิดเดินรถถึงสถานีบางหว้า และได้มีการปรับตารางเวลาการเดินรถให้เหมาะสมกับปริมาณผู้โดยสาร และงานทดสอบระบบต่าง ๆ ดำเนินการเสร็จสิ้น ปริมาณผู้โดยสารชาวไทย และผู้โดยสารที่เป็นนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศเริ่มเพิ่มมากขึ้น จากเหตุการณ์ทางการเมืองที่สงบลง เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม และการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง และจะมีบางช่วงเวลาเดือนที่ 52-53 ซึ่งตรงกับเดือน เม.ย.-พ.ค. เส้นกราฟจะมีความชันเป็นบวกระยะสั้นๆ เนื่องจากเป็นเดือนที่มีวันหยุดหลายวัน ผู้โดยสารใช้บริการน้อย แต่บีทีเอสไม่ได้ปรับความถี่การเดินรถให้เหมาะสมกับจำนวนผู้โดยสารมากนัก ช่วง 2 เดือนนี้จึงเกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไม่เหมาะสม และการปล่อยก๊าซ CO₂ มีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง

5. สรุปผล (Conclusion)

ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสนั้นขึ้นกับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน การใช้พลังงานไฟฟ้ามากจะมีการปล่อยก๊าซ CO₂ มากขึ้นด้วย จากการนำข้อมูลปริมาณการบริการและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส จำนวน 55 เดือนต่อเนื่องกัน มาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ พบว่า ปริมาณการบริการ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (kgCO₂e) หาได้จาก 0.0247 คูณกับปริมาณการบริการ (passenger – kilometer) บวกค่าคงที่ 310,418 และทราบจากสมการได้ว่าผู้โดยสาร 1 คนเดินทางโดยระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสระยะทาง 1 กิโลเมตรจะปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 24.7 gCO₂e ซึ่งมีค่ามากกว่ารถไฟฟ้า SMRT ของประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.1 gCO₂e/passenger/km [13] และเมื่อเทียบกับการเดินทางโดยรถยนต์นั่งโดยถนนจะปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 90.0 gCO₂e [9] จะเห็นได้ว่าการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอสจะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ถึง 3.6 เท่า เมื่อเทียบกับการเดินทางโดยรถยนต์นั่งโดยถนนที่จำนวนคนและระยะทางที่เท่ากัน การใช้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมสามารถติดตามพฤติกรรมของการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสได้ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ เพียงเล็กน้อย และในรอบ 55 เดือนตั้งแต่ 1 ม.ค. 2553 ถึง ก.ค. 2558 รถไฟฟ้าบีทีเอสมีการปล่อยก๊าซ CO₂ แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากในช่วงเวลานั้นมีการเปิดสถานีส่วนต่อขยายอย่างต่อเนื่อง มีงานทดสอบระบบต่างๆ ซึ่งจะมีขบวนรถเปล่าวิ่งเพื่อทดสอบระบบ และหลังจากการเปิดบริการถึงสถานีบางหว้ามีผู้โดยสารเดินทางโดยระบบรถไฟฟ้ามากขึ้นโดยเฉพาะในช่วงเร่งด่วนเช้า ทางรถไฟฟ้าบีทีเอสได้มีการทดลองปรับตารางเวลาการเดินรถให้เหมาะสมกับปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการ จากบทสรุปของการวิจัยสามารถพัฒนาเพื่อต่อยอดการนำแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมาเฝ้าติดตามปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ เพื่อลดปริมาณการปล่อยให้ได้ตามค่าเป้าหมายของแต่ละองค์กร ตามหลักปฏิบัติของตลาดคาร์บอนต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และข้อมูลสำหรับทำวิจัย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] กทม. ก๊าซคาร์บอนมาก 42 ล้านตันต่อปี. 11 กุมภาพันธ์ 2558. เดลินิวส์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2558

<http://www.dailynews.co.th/bangkok/300302>, 17 มิถุนายน 2558.

- [2] จุฑารัตน์ บุญแก้ว. 2542. “การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับภาค การขนส่งในประเทศไทย” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. (สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม). คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] ชณัฐดา ศรีเชียงสา. 2556. “ผลกระทบของการพัฒนาระบบรถไฟความเร็วสูงในประเทศไทยต่อการใช้ไฟฟ้า และ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.” โครงการศึกษาวิจัยปริญญาโท. (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). คณะ พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] ไชยะ แซ่มซ้อย. 2554. การใช้เทคนิค SPC กับงานการจัดการพลังงาน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [5] นาริรัตน์ เกษมพัฒนาการ. 2550. “การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการขนส่งมวลชนด้วยรถไฟฟ้า.” วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] บริษัท บีทีเอส กรุ๊ปโฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน). 2557. แบบแสดงรายการข้อมูลประจำปี 2556/57. [ออนไลน์] เข้าถึงได้ จาก : <http://bts.listedcompany.com/misc/form561/20140630-bts-form561-20132014-th.pdf>, 17 กุมภาพันธ์ 2558.
- [7] เป็นธิดา มณีโชติ และคณะ. 2554. “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38.” วารสารวิจัยพลังงาน. 8, 2 : 12-19.
- [8] สาทักวิรัช พรนภดล. 2551. “การศึกษาการใช้พลังงานและการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถโดยสารประจำ ทาง และรถไฟใต้ดินในกรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. (สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [9] สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น. ม.ป.ป. คลายร้อนให้โลก (ที่) รัก [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.jica.go.jp/thailand/english/office/topics/pdf/events100929_01.pdf, 17 กุมภาพันธ์ 2558.
- [10] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2554. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/filedownload/1386869761-46.pdf>, 17 มิถุนายน 2558.
- [11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2554. ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/download/Emission_Factor_CFP.pdf, 17 มิถุนายน 2558.
- [12] Ratanavaraha, Vatanavongs, Jomnonkwao, Sajama. 2015. “Trends in Thailand CO2 Emissions in the Transportation Sector and Policy Mitigation.” Transport Policy. : 1-11.
- [13] SMRT Cooperation LTD. 2015. SMRT Annual Report 2014 [Online] Available: http://www.smrt.com.sg/Portals/0/PDFs/Annual%20Reports/FA_SMRT%20AR14_040614.pdf, February 17, 2015.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายพนา อังคาบ
 วัน เดือน ปีเกิด 3 มกราคม 2515
 ภูมิลำเนา เลขที่ 80/19 ตำบล บางพลับ อำเภอบางแพ จังหวัด นครปฐม 11120
 ประวัติการศึกษา
 วุฒิมัธยมศึกษา ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา
 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี 2538

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้จัดการฝ่ายควบคุมงานเดินรถ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)
 เลขที่ 1000 อาคารบีทีเอส แขวง จอมพล เขต จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ

บทความวิชาการเรื่อง “การประยุกต์เทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติในการตรวจติดตามการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินทางโดยรถไฟฟ้าบีทีเอส” การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนครั้งที่ 4 ประจำปี พ.ศ. 2558

