

การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

STUDYING AND ANALYSIS SIGNAL BY
MATHEMATICAL METHOD



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDYING AND ANALYSIS SIGNAL BY
MATHEMATICAL METHOD



A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED MATHEMATICS)
DEPARTMENT OF MATHEMATICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเว็บไซต์หรือช่องทางอื่นๆ ของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




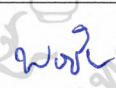
ACADEMIC YEAR 2018

หัวข้อปัญหาพิเศษ การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์
Studying and Analysis Signal by Mathematical Method

ชื่อนักศึกษา นายธีรพงษ์ นุชโสภา รหัสนักศึกษา 58050078
นางสาวนพรัตน์ เรืองสุวรรณ รหัสนักศึกษา 58050082
นางสาวพรสุณี โคจวงจันทร์ รหัสนักศึกษา 58050122

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา คณิตศาสตร์
ปีการศึกษา 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.บุษยมาส พิมพ์พรรณชาติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.พรชัย ชัยสนิท

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(คณิตศาสตร์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กัมปนาท นามงาม ประธานกรรมการ	
อ.ศิริกุล ศิริธีรากล กรรมการ	
ดร. บุษยมาส พิมพ์พรรณชาติ กรรมการและที่ปรึกษา	
อ.พรชัย ชัยสนิท กรรมการและที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์
ชื่อนักศึกษา	นายธีรพงษ์ นุชโสภา รหัสนักศึกษา 58050078 นางสาวนพรัตน์ เรืองสุวรรณ รหัสนักศึกษา 58050082 นางสาวพรสุณี โคจวงจันทร์ รหัสนักศึกษา 58050122
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา	คณิตศาสตร์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.บุษยมาส พิมพ์พรรณชาติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.พรชัย ชัยสนิห

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณ โดยสัญญาณที่เลือกใช้คือสัญญาณของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์คือข้อมูลกระแสไฟฟ้าจากการชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้กำลังสองน้อยสุดเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ และใช้อนุกรมเวลาเพื่อทำนายประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในรอบถัดไป โดยวัดความเหมาะสมของแบบจำลองจากค่า goodness of fit และค่าความคลาดเคลื่อน และจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อคำนวณ Regression หาสมการทั่วไป , แสดงกราฟ และคำนวณอนุกรมเวลาโดยในเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงกราฟ

คำสำคัญ : goodness of fit, ประสิทธิภาพแบตเตอรี่, วิธีกำลังสองน้อยสุด, อนุกรมเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	STUDYING AND ANALYSIS SIGNAL BY MATHEMATICAL METHOD		
Students	Mr. Teerapong Nuchsopa	Student ID	58050078
	Miss Noppharat Ruangsuwan	Student ID	58050082
	Miss Pornsunee Khojuangjan	Student ID	58050122
Degree	Bachelor of Science (Applied Mathematics)		
Department	Mathematics		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Dr.Busayamas Pimpunchat		
Co-advisor	Lecturer Pornchai Chaisanit		

Abstract

The purpose of this special problem is to study and analyze signals. The used signal is a signal of electricity compared with time at which the data is the data analysis from the electricity for battery charging. The least squares method use to analyze battery performance and the time series for predicting the next round of battery performance. And measure the suitability of the model based on goodness of fit and error values. To create a web application for calculating regression, showing general equations and graphing and calculating the time series in the web application will be represented by the graphs.

Keywords : Battery Performance, Least Squares Method, Time Series

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษนี้เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี อันเนื่องด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก ดร. บุษยมาส พิมพ์พรรณชาติและอ.พรชัย ชัยสนิทธิ ที่คอยให้การสนับสนุนในหน้าที่ อาจารย์ที่ปรึกษา ปัญหาพิเศษ รวมถึงคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ อีกทั้งยอมเสียสละเวลาเพื่อให้ความรู้ในความเข้าใจ ในการประยุกต์และแก้ไขจุดบกพร่องในปัญหาพิเศษเล่มนี้ ตั้งแต่เริ่มต้นการดำเนินงานกระทั่งสำเร็จ ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

นอกจากนี้ทางผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณดร.กัมปนาท นามงาม และ อ.ศิริกุล ศิริธีรากลุ ประธานกรรมการและคณะกรรมการการสอบปัญหาพิเศษ ตลอดจนคณะอาจารย์ในภาควิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์ที่คอยให้คำปรึกษา คอยให้คำแนะนำรวมถึงแนวคิดเพื่อนำมาปรับใช้ ปรับปรุง แก้ไขกับปัญหาพิเศษเล่มนี้ และช่วยตรวจสอบเพื่อแนะนำวิธีการแก้ไขให้ปัญหาพิเศษนี้มีความ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นทั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นสถาบันที่คอยให้ความรู้ความเข้าใจแก่นักศึกษาทุกคน เพื่อให้ได้นำความรู้จากการศึกษาเหล่านี้ไป ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์กับการทำงาน หรือการศึกษาต่อไป

ธีรพงษ์ นุชโสภา
นพรัตน์ เรืองสุวรรณ
พรสุณี โคจวงจันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของปัญหาพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ.....	2
1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สัญญาณ.....	4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของแบตเตอรี่.....	4
2.2 วิธีการทางคณิตศาสตร์.....	6
2.2.1 Curve-fitting by least square method.....	6
2.2.2 วิธีเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและรูปแบบเชิงเหตุผล.....	16
2.2.3 ค่าความคลาดเคลื่อน.....	31
2.3 โปรแกรม R.....	33
2.4 เว็บแอปพลิเคชัน.....	33
2.4.1 Visual Studio Code.....	33
2.4.2 XAMPP.....	34
2.4.3 phpMyAdmin.....	34
2.4.4 HTML.....	35
2.4.5 PHP.....	35
2.4.6 JavaScript.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 วิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1. การวิเคราะห์แบบจำลอง.....	37
3.2 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application).....	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล	
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลก่อนสร้างแบบจำลอง.....	40
4.2 วิเคราะห์แบบจำลอง.....	41
4.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร.....	41
4.2.2 การวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธี Least Square Regression.....	43
4.2.3 การวิเคราะห์เบตเตอร์ด้วยเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและ รูปแบบเชิงเหตุผล.....	48
4.3 Web Application.....	118
4.3.1 หน้าหลัก (Home).....	118
4.3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับ regression model.....	119
4.3.3 การคำนวณ regression model.....	120
4.3.4 หน้าจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับ regression model.....	126
4.3.5. แสดงข้อมูลหรือช่องทางการติดต่อ.....	127
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล.....	129
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	129
เอกสารอ้างอิง.....	130
ภาคผนวก.....	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 คำอธิบายตัวแปร.....	40
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของพลังงานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1.....	40
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ C ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน.....	42
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ T ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน.....	42
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ V ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน.....	42
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ I ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน.....	43
ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Goodness of fit ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1.....	44
ตารางที่ 4.8 แสดงสมการของ Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 ของ แบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อน.....	46
ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Goodness of fit ของแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อน.....	46
ตารางที่ 4.10 แสดงความชันของแบบจำลองในรูป Linear ของแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อน.....	47
ตารางที่ 4.11 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	50
ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงค่า error รายตัวของประสิทธิภาพ แบตเตอรี่ 20 รอบแรก.....	50
ตารางที่ 4.13 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	51
ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่าแอลฟาที่ใช้ในการการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่า อื่นแอลฟาค่าอื่น โดยการใช้ Grid search.....	51
ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงค่า error รายตัวของ ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 20 รอบแรก.....	52
ตารางที่ 4.16 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	53
ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงค่าบีตาที่ใช้ในการการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ ค่าบีตาค่าอื่น.....	53
ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และ ค่า error รายตัว.....	54
ตารางที่ 4.19 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	55
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และ ค่า error รายตัว.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.21 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	56
ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงค่าแอลฟา , แกมมา ที่ใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่าแอลฟา , แกมมา ค่าอื่น.....	56
ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และ ค่า error รายตัว.....	57
ตารางที่ 4.24 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	58
ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงค่าแอลฟา ที่ใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ ค่าแอลฟาอื่น.....	58
ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และ ค่า error รายตัว.....	59
ตารางที่ 4.27 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์.....	60
ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงค่าแอลฟา ที่ใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ ค่าแอลฟาอื่น.....	60
ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และ ค่า error รายตัว.....	60
ตารางที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน.....	66
ตารางที่ 4.31 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ที่คาดว่าเป็นของ เบนจามิน แฟรงกลินประกอบไปด้วยโพลแก้วเคลือบโลหะ 35 หน่วยต่อกัน.....	4
รูปที่ 2.2 แสดงหน้าโปรแกรม R.....	33
รูปที่ 2.3 แสดงหน้าโปรแกรม Visual Studio Code.....	34
รูปที่ 2.4 แสดงหน้าโปรแกรม XAMPP.....	34
รูปที่ 2.5 แสดงหน้าโปรแกรม phpMyAdmin.....	35
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	38
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการใช้เว็บแอปพลิเคชัน.....	39
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟจากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola , Polynomial Degree 3 , 4, 5 , 6 และ 7 กับข้อมูลจริง ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1	43
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟจากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 กับข้อมูลจริง ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1.....	44
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงหน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชัน.....	118
รูปที่ 4.4 แสดงแถบเมนูบาร์ของเว็บแอปพลิเคชัน.....	118
รูปที่ 4.5 รายละเอียดเนื้อหา regression model.....	119
รูปที่ 4.6 แสดงหน้า Model.....	120
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าเว็บเมื่อกด Cal-Model.....	120
รูปที่ 4.8 ภาพแสดงหน้าเว็บไซต์เมื่อกด Inputdata.....	121
รูปที่ 4.9 ภาพแสดงตัวอย่างการใส่ข้อมูลตัวแปร x และ y.....	121
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงการ Import file.....	122
รูปที่ 4.11 ภาพแสดงตัวอย่างการแสดงผลของไฟล์ที่ถูก Import โดยที่ข้อมูลนั้นผู้ใช้สามารถแก้ไขและลบได้.....	122
รูปที่ 4.12 ภาพแสดงตัวอย่างการแสดงผลสมการและ R-Square.....	122
รูปที่ 4.13 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี linear regression.....	123
รูปที่ 4.14 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี logarithmic regression.....	123
รูปที่ 4.15 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี quadratic regression.....	123
รูปที่ 4.16 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี cubic regression.....	124
รูปที่ 4.17 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 4.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไปอนภาวติให้วางไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 5.....	124
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 6.....	125
รูปที่ 4.20 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 7.....	125
รูปที่ 4.21 ภาพแสดงตัวอย่างการ Input ข้อมูลสำหรับคำนวณ Time Series.....	125
รูปที่ 4.22 ภาพแสดงตัวอย่างการแสดงกราฟของ Simple moving average n=2.....	126
รูปที่ 4.23 แสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ regression model.....	126
รูปที่ 4.24 แสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือเอกสารที่มีการประยุกต์ใช้ regression model.....	127



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สัญญาณคือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงปริมาณทางกายภาพ โดยทั่วไปสัญญาณจะถูกแทนด้วยฟังก์ชันของตัวแปรอิสระหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัวแปร เช่น สัญญาณ $x(t)$ หมายถึงสัญญาณ x ที่เป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ t ดังนั้นในทางปฏิบัติสัญญาณจึงมีมากมายหลายรูปแบบให้เห็นในชีวิตประจำวัน ทำให้เราสนใจที่จะศึกษาวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสัญญาณได้

จากวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่มากมายเราได้สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาเส้นโค้งที่เหมาะสม (curve fitting) ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อที่อาจจะนำมาตรวจสอบหรือพัฒนาสิ่งที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณนั้นได้ต่อไปในอนาคต โดยวิธีการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สนใจในตอนนี้คือ วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Regression) ซึ่งกำลังสองน้อยสุด เป็นการลากเส้นกราฟให้ผ่านจุดข้อมูลที่มีให้มากที่สุดซึ่งเส้นกราฟที่ได้จะเป็นตัวแทนของข้อมูล เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีความแปรปรวนหรืออาจมีความคลาดเคลื่อนสูง และวิธีของอนุกรมเวลา (Time Series) ซึ่งเป็นการพยากรณ์ค่าของข้อมูลที่ถูกเก็บมาตามระยะเวลาเป็นช่วง ๆ

โดยเมื่อทำการพิจารณาข้อมูลที่ถูกบันทึกการทดลองทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ จะพบว่าข้อมูลที่ได้ส่วนใหญ่เป็นจุดแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งผู้ทำการทดลองอาจมีความต้องการที่จะวาดเส้นกราฟที่ผ่านจุดเหล่านั้น เพื่อเป็นการอธิบายข้อมูล หรือต้องการทราบค่าระหว่างข้อมูลที่อยู่ระหว่างจุดของข้อมูล ซึ่งสามารถแก้ปัญหาสิ่งเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ นั่นคือวิธีการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมและพยากรณ์ข้อมูลโดยใช้อนุกรมเวลาเพื่อนำไปใช้คาดการณ์หรืออธิบายผลจากการทดลองต่อไป

ดังนั้นปัญหาพิเศษนี้จึงใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด มาใช้ในการหาเส้นโค้งที่เหมาะสม และอนุกรมเวลา (Time Series) เพื่อพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรม R มาช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผล เนื่องจากโปรแกรม R มี built-in function ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางสถิติและคณิตศาสตร์ค่อนข้างมาก นอกจากนี้ยังจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อใช้คำนวณกำลังสองน้อยสุด ซึ่งจะแสดงสมการทั่วไปและพล็อตกราฟที่ได้จากการคำนวณ และคำนวณอนุกรมเวลาโดยในเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1 ศึกษาวิธีกำลังสองน้อยสุด และนำโปรแกรม R มาสร้างแบบจำลอง
- 2 ศึกษาการพยากรณ์โดยใช้วิธีเชิงปริมาณ
- 3 สร้างเว็บแอปพลิเคชันเพื่อคำนวณข้อมูลทั่วไปและแสดงผลในรูปแบบของกราฟ

1.3 ขอบเขตของปัญหา

- 1 คำนวณประสิทธิภาพแบตเตอรี่ และศึกษาแบบจำลองใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด โดยใช้โปรแกรม R เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์
- 2 พยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยใช้วิธีเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและรูปแบบเชิงเหตุผล
- 3 ใช้กำลังสองน้อยสุด ในการหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมกับข้อมูลขนาดใหญ่ โดยจัดทำเว็บแอปพลิเคชันคำนวณข้อมูลแสดงกราฟ และสมการทั่วไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเลือกใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับสิ่งที่น่าสนใจวิเคราะห์ และใช้เพื่อเป็นแนวทางเพื่อให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาต่อไป

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินงาน									
	ปี 2561					ปี 2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1 ค้นหาหัวข้อที่สนใจในการทำปัญหาพิเศษ	✓									
2 ศึกษาข้อมูล เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	✓	✓	✓							
3 เตรียมแบบขออนุมัติทำปัญหาพิเศษต่อสาขาวิชา			✓							
4 จัดหาเครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้สำหรับปัญหาพิเศษ				✓	✓					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินงาน									
	ปี 2561					ปี 2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
5 นำตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษา มาประยุกต์ใช้กับปัญหาพิเศษ					✓	✓				
6 เขียนโปรแกรมของวิธีการหา ผลเฉลยเชิงตัวเลข						✓				
7 นำตัวอย่างจากงานวิจัยที่ ศึกษามาประยุกต์ใช้กับ โปรแกรม							✓			
8 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จาก งานวิจัย								✓	✓	
9 ประเมิน สรุปผลจากงานวิจัย และเสนอแนะ									✓	
10 จัดทำรูปเล่มปัญหาพิเศษ และนำเสนองานวิจัยทั้งหมด									✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณ

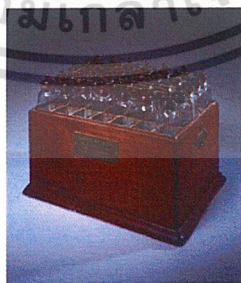
สัญญาณคือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงปริมาณหรือตัวแปรทางกายภาพ และจะนำเอาข้อมูลข่าวสารของกระบวนการทางกายภาพ (ระบบ) ของแหล่งกำเนิดมาด้วย โดยทั่วไปสัญญาณจะถูกแทนด้วยฟังก์ชันของตัวแปรอิสระหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัวแปร เช่น สัญญาณ $x(t)$ หมายถึง สัญญาณ x ที่เป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ t ดังนั้นในทางปฏิบัติสัญญาณจึงมีมากมายหลายรูปแบบให้พบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลา สัญญาณความดันโลหิต สัญญาณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องและสัญญาณราคาหลักทรัพย์ เป็นต้น

ซึ่งในปัญหาพิเศษนี้ผู้ศึกษาสนใจสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลา ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือข้อมูลกระแสไฟฟ้าจากการชาร์จแบตเตอรี่

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่มาจากคำว่า *battuerie* ในภาษาละติน ซึ่งเป็นรากของภาษาแองโกล-ฝรั่งเศส คำว่า *batterie* ซึ่งมีที่มาจากคำว่า *batre* หรือคำว่า *beat* แปลว่า ตีหรือทุบหลายๆ ครั้ง (strike)

การใช้คำว่าแบตเตอรี่ในความหมายว่าเป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า เริ่มจากเบนจามิน แฟรงกลิน (Benjamin Franklin) ได้ต่อตัวเก็บประจุ (capacitor) ที่ทำจากโพลีเอทิลีนและโลหะหลายๆ โพลีเอทิลีนเข้าด้วยกันเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จมาจากไฟฟ้าสถิต และเรียกชุดจ่ายกระแสไฟฟ้านี้ว่าแบตเตอรี่



รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ที่คิดว่าเป็นของ เบนจามิน แฟรงกลินประกอบไปด้วยโพลีเอทิลีนและโลหะ 35 หน่วยต่อกัน

ที่มา : http://www.benfranklin300.org/zm_04.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

- 1) แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง หรือ แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (primary batteries) เช่น ถ่านไฟฉายธรรมดา, เซลล์กระดุม เป็นต้น
- 2) แบตเตอรี่แบบชาร์จไฟใหม่ได้ หรือ แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (rechargeable batteries) เช่น ถ่านชาร์จแอลคาไลน์, แบตเตอรี่ลิเทียม/แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เป็นต้น

คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

- Ah (Ampere-hour) คือปริมาณพลังงานที่บรรจุในแบตเตอรี่ จะเท่ากับกระแสไฟฟ้า (A) คูณกับเวลา (hr) ในขณะที่แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า (คายประจุ) ด้วยความต่างศักย์คงที่
- Capacity (ความจุ มีหน่วยเป็น Ah หรือ C) ความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับอัตราการคายประจุ (ความเร็วในการทำงานแบตเตอรี่) ถ้าอัตราการคายประจุเพิ่มขึ้น ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลง เช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30 Ah ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึง แบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง ($30/10 = 3$ แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลงเนื่องจากแบตเตอรี่จะคายประจุ 6 แอมแปร์ในเวลา 5 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานหรือ Energy Efficiency โดยที่แบตเตอรี่โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ 70-80 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ(WH)}}{\text{พลังงานที่ใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}}$$

- Cycle (รอบการใช้งาน) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้ง
- Discharge (การคายประจุ) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา
- Charge (การประจุ) คือกระบวนการที่ประจุไฟฟ้าไหลเข้าเข้าแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วิธีการทางคณิตศาสตร์

2.2.1 Curve-fitting by least square method

2.2.1.1 Least Square method

เราสามารถประยุกต์หลักของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเพื่อที่จะฟิตข้อมูลเชิงตัวเลขให้เข้ากันได้กับรูปแบบตัวแทนเชิงวิเคราะห์หรือโพลิโนเมียลดีกรีต่าง ๆ ที่เราสนใจมากที่สุดนั่นคือเราต้องการฟังก์ชันที่เป็นตัวแทนของข้อมูลนั่นเอง

สมมติว่าเรามีคู่อันดับของข้อมูลตัวแปรต้นและตัวแปรตามจากการสังเกตหรือการทดลองเขียนอยู่ในรูปของ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ และเราต้องการฟิตข้อมูลนี้กับโพลิโนเมียลดีกรี n ซึ่งอยู่ในรูป

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x^1 + a_0$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ หาได้จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

การประมาณค่าของ y สำหรับ (x_1, y_1) คือ $a_n x_1^n + a_{n-1} x_1^{n-1} + \dots + a_2 x_1^2 + a_1 x_1^1 + a_0$ โดยมี y_1 เป็นค่าสังเกต ดังนั้น ค่าคลาดเคลื่อน E_1, E_2, \dots, E_n คือ

$$E_1 = y_1 - (a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_1^2 + \dots + a_n x_1^n)$$

$$E_2 = y_2 - (a_0 + a_1 x_2 + a_2 x_2^2 + \dots + a_n x_2^n)$$

$$\dots$$

$$E_m = y_m - (a_0 + a_1 x_m + a_2 x_m^2 + \dots + a_n x_m^n)$$

ดังนั้น ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณ คือ

$$S = E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_m^2 = \sum_{i=1}^m E_i^2$$

และมีสมการปกติที่สอดคล้อง คือ

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0, \dots, \quad \frac{\partial S}{\partial a_n} = 0$$

ซึ่งจะได้ระบบสมการ คือ

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m y_i &= m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^n \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} \\ &\vdots \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบฯ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีเมล: info@nec.go.th โทร: 0-2-645-2000

ซึ่งพิสูจน์ได้จาก

$$S = \sum_{i=1}^m E_i^2 = \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)]^2$$

ซึ่ง $\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0$ จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial a_0} &= \frac{\partial}{\partial a_0} \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)]^2 = 0 \\ 2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)] \frac{\partial}{\partial a_0} [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)] &= 0 \\ 2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)] (-1) &= 0 \\ -2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)] &= 0 \\ \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_n x_i^n)] &= 0 \\ \sum_{i=1}^m [y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - \dots - a_n x_i^n] &= 0 \\ \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m a_0 - a_1 \sum_{i=1}^m x_i - a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 - \dots - a_n \sum_{i=1}^m x_i^n &= 0 \\ \sum_{i=1}^m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^n &= \sum_{i=1}^m y_i \end{aligned}$$

จึงได้

$$\sum_{i=1}^m y_i = m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^n$$

และในทำนองเดียวกัน $\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0, \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0, \dots, \frac{\partial S}{\partial a_n} = 0$ จะได้

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_i y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} \\ &\dots \\ \sum_{i=1}^m x_i^n &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i^n + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} + \dots + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

รูปทั่วไปของสมการเชิงเส้นคือ $y=a_0+a_1x$ โดยมีระบบสมการในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 คือ

$$\sum_{i=1}^m y_i = ma_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i$$

$$\sum_{i=1}^m x_i y_i = a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2$$

ซึ่งพิสูจน์ได้จาก

$$s = \sum_{i=1}^m E_i^2 = \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i)]^2$$

ดังนั้น $\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0$ จะได้

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = \frac{\partial}{\partial a_0} \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i)]^2 = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i)] \frac{\partial}{\partial a_0} [y_i - (a_0 + a_1 x_i)] = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i)] (-1) = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i)] = 0$$

$$\sum_{i=1}^m [-y_i + (a_0 + a_1 x_i)] = 0$$

$$\sum_{i=1}^m [-y_i + a_0 + a_1 x_i] = 0$$

$$-\sum_{i=1}^m [y_i] + \sum_{i=1}^m [a_0] + \sum_{i=1}^m [a_1 x_i] = 0$$

$$\sum_{i=1}^m y_i = \sum_{i=1}^m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i$$

จึงได้

$$\sum_{i=1}^m y_i = ma_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i$$

และ ในทำนองเดียวกัน $\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0$ จะได้

$$\sum_{i=1}^m x_i y_i = a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการปกติเราสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \end{bmatrix}$$

โดยกฎของคราเมอร์ จะได้

$$a_0 = \frac{\det \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \end{bmatrix}} = \frac{\sum_{i=1}^m y_i \sum_{i=1}^m x_i^2 - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m x_i y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

$$a_1 = \frac{\det \begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i y_i \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \end{bmatrix}} = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

2 ความสัมพันธ์แบบพาราโบลา

รูปทั่วไปของสมการพาราโบลา คือ $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$ โดยมีระบบสมการในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0, a_1 และ a_2 คือ

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m y_i &= m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 \end{aligned}$$

ซึ่งพิสูจน์ได้จาก

$$s = \sum_{i=1}^m E_i^2 = \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)]^2$$

ดังนั้น $\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0$ จะได้

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = \frac{\partial}{\partial a_0} \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)]^2 = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)] \frac{\partial}{\partial a_0} [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)] = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 2 $\sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)](-1)$ นั้น = 0 มุ่งอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 -2 \sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)] &= 0 \\
 \sum_{i=1}^m [-y_i + a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2] &= 0 \\
 -\sum_{i=1}^m y_i + \sum_{i=1}^m a_0 + \sum_{i=1}^m [a_1 x_i] + \sum_{i=1}^m [a_2 x_i^2] &= 0 \\
 \sum_{i=1}^m y_i &= \sum_{i=1}^m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2
 \end{aligned}$$

จึงได้

$$\sum_{i=1}^m y_i = m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2$$

และ ในทำนองเดียวกัน $\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0$ และ $\frac{\partial S}{\partial a_2} = 0$ ได้

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^m x_i y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 \\
 \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4
 \end{aligned}$$

จากสมการปกติเราสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้

$$\begin{bmatrix}
 m & \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \\
 \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 \\
 \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 & \sum_{i=1}^m x_i^4
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 a_0 \\
 a_1 \\
 a_2
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 \sum_{i=1}^m y_i \\
 \sum_{i=1}^m x_i y_i \\
 \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i
 \end{bmatrix}$$

ตัวอย่าง การคำนวณข้อมูลเบตเตอร์จากเบตเตอร์ก้อนที่ 8 จำนวน 10 ตัวแรก

X (s)	2	12	22	32	41	51	61	71	81	92
Y (WH)	0.012	0.023	0.034	0.045	0.056	0.067	0.079	0.09	0.101	0.112

โดยพิจารณาในรูปของสมการพาราโบลา

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา a_0 , a_1 และ a_2 โดย

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 & \sum_{i=1}^m x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

หาค่า $\sum_{i=1}^m [x_i]$, $\sum_{i=1}^m [x_i^2]$, $\sum_{i=1}^m [x_i^3]$, $\sum_{i=1}^m [x_i^4]$, $\sum_{i=1}^m [y_i]$, $\sum_{i=1}^m [x_i y_i]$, $\sum_{i=1}^m [x_i^2 y_i]$

x_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	y_i	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$	
2	4	8	16	0.01	0.02	0.05	
12	144	1728	20736	0.02	0.27	3.28	
22	484	10648	234256	0.03	0.75	16.41	
32	1024	32768	1048576	0.05	1.44	46.08	
41	1681	68921	2825761	0.06	2.3	94.47	
51	2601	132651	6765201	0.07	3.44	175.31	
61	3721	226981	13845841	0.08	4.79	292.1	
71	5041	357911	25411681	0.09	6.37	452.18	
81	6561	531441	43046721	0.1	8.17	662	
92	8464	778688	71639296	0.11	10.31	948.81	
Σ	465	29725	2141745	1.65E+08	0.62	37.87	2690.69

จะได้

$$\begin{bmatrix} 10 & 465 & 29725 \\ 465 & 29725 & 2141745 \\ 29725 & 2141745 & 164838085 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.62 \\ 37.87 \\ 2690.69 \end{bmatrix}$$

$$a_0 = 0.008893167, \quad a_1 = 0.001163072 \text{ และ } a_2 = -0.000000392$$

$$\text{ดังนั้น } y = 0.008893167 + 0.001163072x - 0.000000392x^2$$

2.2.1.2 Least Square method by generalized inverse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พิจารณาสมการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Xb = y$$

เมื่อ $b \in \mathbb{R}^m$, $X \in \mathbb{R}^{n \times m}$ เป็นเมทริกซ์ลำดับชั้นเต็มและ $y \in \mathbb{R}^n$

จากนิยาม residue ได้

$$r(X,b,y) = \|Xb-y\|$$

โดย $\|\cdot\|$ เป็น Euclidean norm

ปัญหากำลังสองน้อยสุดเป็นการหาคำตอบ b ที่สอดคล้องกับ $Xb=y$ การหาค่า b เริ่มจากพิจารณากำลังสองของ residue คือ

$$\begin{aligned} r^2 &= \|Xb-y\|^2 \\ &= (Xb-y)^T(Xb-y) \\ &= b^T X^T X b - 2y^T X b + y^T y \end{aligned}$$

แล้วอนุพันธ์ของ r^2 เทียบ b เท่ากับ 0

$$\begin{aligned} \frac{\partial r^2}{\partial b} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} (b^T X^T X b - 2y^T X b + y^T y) &= 0 \\ 2b^T X^T X - 2y^T X &= 0 \end{aligned}$$

จัดรูปใหม่ได้

$$X^T X b = X^T y$$

จากคุณสมบัติลำดับชั้นเต็มของเมทริกซ์ X ทำให้ $X^T X$ เป็นเมทริกซ์ที่มีตัวผกผัน เมื่อคูณ $(X^T X)^{-1}$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y$$

ตัวอย่าง การคำนวณข้อมูลเบตเตอร์จากเบตเตอร์ก้อนที่ 8 จำนวน 10 ตัวแรก

ข้อมูลคือ

X (s)	2	12	22	32	41	51	61	71	81	92
Y (WH)	0.012	0.023	0.034	0.045	0.056	0.067	0.079	0.09	0.101	0.112

โดยพิจารณาในรูปของสมการพาราโบลา

$$y = b_1 + b_2 x + b_3 x^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลจะได้

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1 & 12 & 144 \\ 1 & 22 & 484 \\ 1 & 32 & 1024 \\ 1 & 41 & 1681 \\ 1 & 51 & 2601 \\ 1 & 61 & 3721 \\ 1 & 71 & 5041 \\ 1 & 81 & 6561 \\ 1 & 92 & 8464 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} 0.0116 \\ 0.0228 \\ 0.0339 \\ 0.045 \\ 0.0562 \\ 0.0674 \\ 0.0785 \\ 0.0897 \\ 0.1009 \\ 0.1121 \end{bmatrix}$$

หาค่า b จาก

$$b = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1 & 12 & 144 \\ 1 & 22 & 484 \\ 1 & 32 & 1024 \\ 1 & 41 & 1681 \\ 1 & 51 & 2601 \\ 1 & 61 & 3721 \\ 1 & 71 & 5041 \\ 1 & 81 & 6561 \\ 1 & 92 & 8464 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1 & 12 & 144 \\ 1 & 22 & 484 \\ 1 & 32 & 1024 \\ 1 & 41 & 1681 \\ 1 & 51 & 2601 \\ 1 & 61 & 3721 \\ 1 & 71 & 5041 \\ 1 & 81 & 6561 \\ 1 & 92 & 8464 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1 & 12 & 144 \\ 1 & 22 & 484 \\ 1 & 32 & 1024 \\ 1 & 41 & 1681 \\ 1 & 51 & 2601 \\ 1 & 61 & 3721 \\ 1 & 71 & 5041 \\ 1 & 81 & 6561 \\ 1 & 92 & 8464 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0.0116 \\ 0.0228 \\ 0.0339 \\ 0.045 \\ 0.0562 \\ 0.0674 \\ 0.0785 \\ 0.0897 \\ 0.1009 \\ 0.1121 \end{bmatrix} \right.$$

$$b = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 12 & 22 & 32 & 41 & 51 & 61 & 71 & 81 & 92 \\ 4 & 144 & 484 & 1024 & 1681 & 2601 & 3721 & 5041 & 6561 & 8464 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1 & 12 & 144 \\ 1 & 22 & 484 \\ 1 & 32 & 1024 \\ 1 & 41 & 1681 \\ 1 & 51 & 2601 \\ 1 & 61 & 3721 \\ 1 & 71 & 5041 \\ 1 & 81 & 6561 \\ 1 & 92 & 8464 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 12 & 22 & 32 & 41 & 51 & 61 & 71 & 81 & 92 \\ 4 & 144 & 484 & 1024 & 1681 & 2601 & 3721 & 5041 & 6561 & 8464 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0116 \\ 0.0228 \\ 0.0339 \\ 0.045 \\ 0.0562 \\ 0.0674 \\ 0.0785 \\ 0.0897 \\ 0.1009 \\ 0.1121 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 10 & 465 & 29725 \\ 465 & 29725 & 2141745 \\ 29725 & 2141745 & 164838085 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 12 & 22 & 32 & 41 & 51 & 61 & 71 & 81 & 92 \\ 4 & 144 & 484 & 1024 & 1681 & 2601 & 3721 & 5041 & 6561 & 8464 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0116 \\ 0.0228 \\ 0.0339 \\ 0.045 \\ 0.0562 \\ 0.0674 \\ 0.0785 \\ 0.0897 \\ 0.1009 \\ 0.1121 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0.730808 & -0.0303463 & 0.000262505 \\ -0.03035 & 0.001787186 & -0.000017749 \\ 0.000263 & -0.000017749 & 0.000000189 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 12 & 22 & 32 & 41 & 51 & 61 & 71 & 81 & 92 \\ 4 & 144 & 484 & 1024 & 1681 & 2601 & 3721 & 5041 & 6561 & 8464 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0116 \\ 0.0228 \\ 0.0339 \\ 0.045 \\ 0.0562 \\ 0.0674 \\ 0.0785 \\ 0.0897 \\ 0.1009 \\ 0.1121 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0.190241258 & 0.028530829 & -0.072120244 & -0.134078866 & -0.143536537 & -0.100493256 & -0.004949024 & 0.160788231 \\ 0.000381453 & 0.008669045 & 0.013092858 & 0.014635963 & 0.012629337 & 0.007072981 & -0.002033106 & -0.016149739 \\ -0.0000363 & -0.00011157 & -0.000146913 & -0.000150208 & -0.000115636 & -0.0000431961 & 0.0000671113 & 0.000232187 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0116 \\ 0.0228 \\ 0.0339 \\ 0.045 \\ 0.0562 \\ 0.0674 \\ 0.0785 \\ 0.0897 \\ 0.1009 \\ 0.1121 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0.008893167 \\ 0.001163072 \\ 0.000000039 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น

$$y = 0.008893167 + 0.001163072x + 0.000000039x^2$$

goodness of fit

จากหนังสือ Generalized Inverses of Linear Transformations ได้กล่าวว่า เราสามารถวัดค่า goodness of fit ได้จาก

$$R^2 = \frac{\|Xb\|^2}{\|y\|^2}$$

โดยที่ R^2 อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยที่เมื่อค่าเข้าใกล้ 1 แบบจำลองจะมีความเหมาะสม และเมื่อค่าเข้าใกล้ 0 แบบจำลองจะมีความเหมาะสมน้อย

2.2.2 วิธีเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและรูปแบบเชิงเหตุผล

การพยากรณ์เชิงปริมาณเป็นวิธีที่ต้องใช้ข้อมูลในอดีตมาสร้างรูปแบบการพยากรณ์ในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ ดังนั้นความถูกต้องของการพยากรณ์นี้จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของข้อมูลที่มีอยู่และวิธีการในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

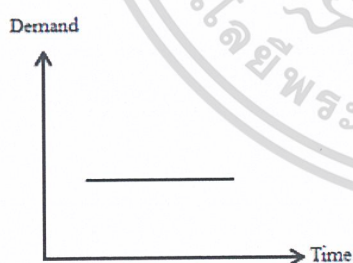
1. รูปแบบอนุกรมเวลา (Time Series Models) ได้แก่ วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบตรงตัว วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และวิธีการคาดคะเนแนวโน้มการพยากรณ์ โดยใช้รูปแบบอนุกรมเวลา

2. รูปแบบปัจจัยสาเหตุ หรือรูปแบบเชิงเหตุผล (Associative Models) เป็นการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่จะพยากรณ์เช่น การพยากรณ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ซึ่งต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามว่ามีความเกี่ยวเนื่องกันจนทำให้นำมาพยากรณ์ได้

2.2.2.1 การพยากรณ์โดยใช้รูปแบบอนุกรมเวลา

การพยากรณ์โดยใช้รูปแบบอนุกรมเวลาเป็นการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตจากข้อมูลในอดีต โดยที่ตัวแปรอื่น ๆ จะไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งรูปแบบของข้อมูล (Data Pattern) แบ่งได้ 5 รูปแบบ ดังนี้

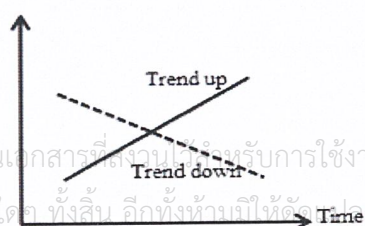
1. รูปแบบคงที่ (Constant): ความต้องการไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
Data Pattern กรณี Constant



เทคนิคที่เหมาะสม

- single moving average
- weighted moving average
- single exponential smoothing

2. รูปแบบมีแนวโน้ม (Trend): ความต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างมีทิศทาง
Data Pattern กรณี Trend



เทคนิคที่เหมาะสม

- linear moving average
- linear exponential smoothing
- regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและรูปแบบเชิงเหตุผล

การพยากรณ์เชิงปริมาณเป็นวิธีที่ต้องใช้ข้อมูลในอดีตมาสร้างรูปแบบการพยากรณ์ในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ ดังนั้นความถูกต้องของการพยากรณ์นี้จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของข้อมูลที่มีอยู่และวิธีการในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1.รูปแบบอนุกรมเวลา (Time Series Models) ได้แก่ วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบตรงตัว วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และวิธีการคาดคะเนแนวโน้มการพยากรณ์ โดยใช้รูปแบบอนุกรมเวลา

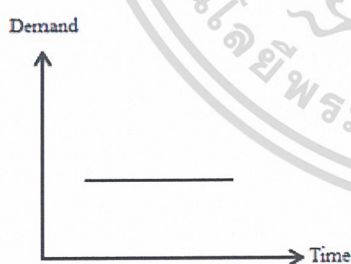
2.รูปแบบปัจจัยสาเหตุ หรือรูปแบบเชิงเหตุผล (Associative Models) เป็นการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่จะพยากรณ์เช่น การพยากรณ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ซึ่งต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามว่ามีความเกี่ยวเนื่องกันจนทำให้นำมาพยากรณ์ได้

2.2.2.1 การพยากรณ์โดยใช้รูปแบบอนุกรมเวลา

การพยากรณ์โดยใช้รูปแบบอนุกรมเวลาเป็นการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตจากข้อมูลในอดีต โดยที่ตัวแปรอื่น ๆ จะไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งรูปแบบของข้อมูล (Data Pattern) แบ่งได้ 5 รูปแบบ ดังนี้

1.รูปแบบคงที่ (Constant): ความต้องการไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

Data Pattern กรณี Constant

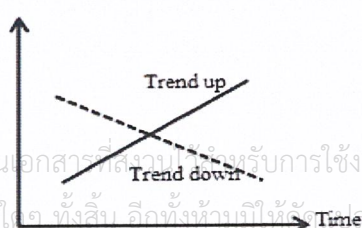


เทคนิคที่เหมาะสม

- single moving average
- weighted moving average
- single exponential smoothing

2. รูปแบบมีแนวโน้ม (Trend): ความต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างมีทิศทาง

Data Pattern กรณี Trend



เทคนิคที่เหมาะสม

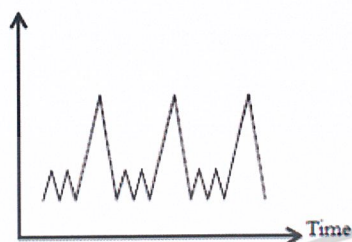
- linear moving average
- linear exponential smoothing
- regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบฤดูกาล (Seasonal): ข้อมูลมีการเคลื่อนไหวขึ้น ๆ ลง ๆ ตาม ตำแหน่งของเวลา (จุด เวลา) โดยช่วงเวลาจะเป็นช่วงสั้นๆ เช่น รายเดือน รายไตรมาส เป็นต้น

Data Pattern กรณี Seasonal

Demand



เทคนิคที่เหมาะสม

- decomposition
- winters
- regression

4. รูปแบบวัฏจักร (Cyclical): ข้อมูลมีการเคลื่อนไหวขึ้นๆ ลงๆ ตามช่วงเวลาที่แน่นอนข้อมูลที่เกิดขึ้นโดยมากจะเป็นรายปีและเก็บเป็นระยะเวลาที่ยาว

Data Pattern กรณี Cyclical

Demand



เทคนิคที่เหมาะสม

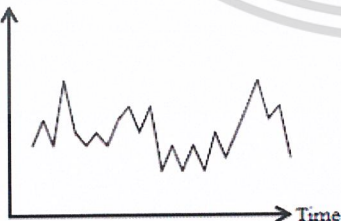
- winters

5. รูปแบบสุ่มหรือไม่แน่นอน (Random, Irregular): ข้อมูลมีลักษณะการเคลื่อนไหวอิสระจากเวลา

Data Pattern กรณี Random

อิสระจากเวลา

Demand



เทคนิคที่เหมาะสม

- ไม่สามารถระบุได้

เนื่องจากข้อมูลที่ถูกรวบรวมตั้งแต่อดีตต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันทำให้รู้ถึงรูปแบบหรือพฤติกรรมของข้อมูล และแนวโน้มของข้อมูลที่น่าสนใจและต้องการพยากรณ์ โดยมีสมมติฐานที่ว่า ข้อมูลที่จะพยากรณ์ในอนาคต ย่อมมีรูปแบบหรือพฤติกรรมเช่นเดียวกับข้อมูลในอดีต โดยมีการใช้เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับปรั้งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อนุกรมเวลาในการพยากรณ์ข้อมูล 7 วิธีการ ดังนี้ Simple Moving Average , exponential ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

smoothing , adaptive-response-rate exponential smoothing , linear moving average , Brown's one-parameter linear exponential smoothing , holt's two-parameter linear exponential smoothing และ Brown's quadratic exponential smoothing

1 การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Simple Moving Average

$$F_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N}$$

โดยที่ F_{t+1} คือ ค่าพยากรณ์ในวาระที่ $t+1$
 X_t คือ ค่าของข้อมูลในวาระที่ t
 X_{t-1} คือ ค่าของข้อมูลในวาระที่ $t-1$
 X_{t-2} คือ ค่าของข้อมูลในวาระที่ $t-2$
 X_{t-N+1} คือ ค่าของข้อมูลในวาระที่ $t-N+1$
 N คือ Moving Average Size ซึ่งจะเป็นจำนวนของข้อมูลที่จะทำการ Moving ในการพยากรณ์แต่ละรอบ

2 การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Exponential Smoothing

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t$$

โดยที่ F_{t+1} คือ ค่าพยากรณ์ในวาระที่ $t+1$
 F_t คือ ค่าพยากรณ์ในวาระที่ t
 X_t คือ ค่าของข้อมูลในวาระที่ t
 t คือ หน่วยของเวลา
 α คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือคือค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ

โดยใช้ Grid Search เพื่อค้นหาค่า α ที่เหมาะสม (ที่มีผลให้ MAPE มีค่าต่ำที่สุด) โดยที่ $0 < \alpha < 1$

3 การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Adaptive-Response-Rate Exponential Smoothing

ค่า α ตามวิธีนี้จะปรับตัวตามค่า β ดังนั้น ในทางปฏิบัติเราจะทำ Grid Search เพื่อหาค่า β ที่เหมาะสม โดยที่ $0 < \beta < 1$

$$F_t = \alpha_{t-1} X_{t-1} + (1 - \alpha_{t-1}) F_{t-1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\begin{aligned} e_t &= X_t - F_t \\ M_t &= \beta e_t + (1 - \beta)M_{t-1} \\ E_t &= \beta |e_t| + (1 - \beta)E_{t-1} \\ \alpha_t &= \left| \frac{E_{t-1}}{M_{t-1}} \right| \end{aligned}$$

- โดยที่ F_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ วาระที่ t
 X_t คือ ค่าของข้อมูล ณ วาระที่ t
 t คือ หน่วยของเวลา
 e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ วาระที่ t
 E_t คือ ค่า Smoothed Error ณ วาระที่ t
 M_t คือ ค่า Absolute Smoothed Error ณ วาระที่ t
 α คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ ณ วาระที่ t ซึ่ง ค่า α ตามวิธีนี้จะปรับตัวตามค่า β
 β คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือคือค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ
- โดยทั่วไปจะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ $F_1 = X_1, E_1 = 0.000001, M_1 = 0.001$

4 การพยากรณ์ข้อมูลโดยใช้วิธี Linear Moving Average

เมื่อ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

$$\begin{aligned} S'_t &= \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N} \\ S''_t &= \frac{S'_t + S'_{t-1} + S'_{t-2} + \dots + S'_{t-N+1}}{N} \\ a_t &= \frac{2S'_t - S''_t}{2} \\ b_t &= \frac{2(S'_t - S''_t)}{N - 1} \end{aligned}$$

- โดยที่ F_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ วาระที่ $t + m$
 X_t คือ ค่าของข้อมูล ณ วาระที่ t
 t คือ หน่วยของเวลา
 m คือ จำนวนวาระที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า
 S'_t คือ ค่าจากการทำ Moving Average หรือ MA
 S''_t คือ ค่าจากการทำ double Moving Average หรือ 2MA
 N คือ Moving Average Size ซึ่งจะเป็นจำนวนของข้อมูลที่จะทำการ Moving

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Brown's One-Parameter Linear Exponential Smoothing

โดยการพยากรณ์วิธี Brown's One-Parameter Linear Exponential Smoothing บางครั้งเรียกอีกชื่อว่า Double Exponential Smoothing เป็นวิธีที่ประยุกต์มาจาก Linear Moving Average โดยเปลี่ยนจากการคำนวณ MA มาเป็นวิธี Exponential Smoothing จะได้สมการการพยากรณ์ดังนี้

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

เมื่อ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$a_t = S'_t + (S'_t - S''_t) = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

โดยที่ F_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ วนวาระที่ $t + m$

X_t คือ ค่าของข้อมูล ณ วนวาระที่ t

t คือ หน่วยของเวลา

m คือ จำนวนวนวาระที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

S'_t คือ ค่าจาก Single Exponential Smoothing ณ วนวาระที่ t

S''_t คือ ค่าจาก Double Exponential Smoothing ณ วนวาระที่ t

α คือ ค่าน้ำหนักที่ใช้ถ่วง และ $0 < \alpha < 1$

ใช้ Grid Search เพื่อค้นหาค่า α ที่เหมาะสม(ที่มีผลให้ MAPE มีค่าต่ำที่สุด) และโดยเริ่มต้น จะกำหนดให้ S'_1 และ S''_1 ก่อน เช่น $S'_1 = S''_1 = X_1$

6 การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี holt's two-parameter linear exponential smoothing

$$F_{t+m} = S_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

เมื่อ

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$$

โดยที่ F_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ วนวาระที่ $t + m$

X_t คือ ค่าของข้อมูล ณ วนวาระที่ t

t คือ หน่วยของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- m คือ จำนวนวาระที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า
 S_t คือ Smoothed data หรือ ค่าการข้อมูลปรับให้เรียบ
 b_t คือ Smoothed trend หรือ ค่าการปรับแนวโน้มให้เรียบ
 α คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือคือค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ
 γ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือคือค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ

ซึ่ง α และ γ เป็นพารามิเตอร์ที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$ เพื่อหา α, γ ที่เหมาะสม จะใช้

Grid Search

7 การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Brown's quadratic exponential smoothing

$$F_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m^2$$

เมื่อ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$S'''_t = \alpha S''_t + (1 - \alpha) S'''_{t-1}$$

$$a_t = 3S'_t - 3S''_t + S'''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha}{2(1 - \alpha)} [(6 - 5\alpha)S'_t - (10 - 8\alpha)S''_t + (4 - 3\alpha)S'''_t]$$

$$c_t = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} (S'_t - S''_t + S'''_t)$$

โดยที่ F_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ วาระที่ $t + m$

X_t คือ ค่าของข้อมูล ณ วาระที่ t

t คือ หน่วยของเวลา

m คือ จำนวนวาระที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

S'_t คือ ค่าจากการทำ Exponential Smoothing จากข้อมูลจริง

S''_t คือ ค่าจากการทำ Exponential Smoothing จากค่า S'_t

S'''_t คือ ค่าจากการทำ Exponential Smoothing จากค่า S''_t

α คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือคือค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ

ใช้ Grid Search เพื่อค้นหาค่า α ที่เหมาะสม(ที่มีผลให้ MAPE มีค่าต่ำที่สุด) $0 < \alpha < 1$ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ค่าเริ่มต้นจะกำหนดตามความเหมาะสม เช่นกำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = S'''_1 = X_1$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เป็นเทคนิคในการสร้างรูปแบบสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable) 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) 1 ตัว โดยตัวแปรทั้งสองต้องเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตรงตั้งสมการนี้

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

โดยที่ \hat{Y} คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

X คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

β_0 คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการประมาณ

β_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient)

ε คือ ค่าคลาดเคลื่อน

สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย สามารถหาค่าของ β_0 และ β_1 ดังนี้

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

$$\beta_1 = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

โดยที่ \hat{Y} คือ ตัวแปรตาม

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวแปรอิสระ

\bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวแปรตาม

β_0 คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอยอย่างง่าย

β_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างง่ายหรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์

x คือ ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวแปรอิสระ หรือ $x - \bar{X}$

y คือ ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวแปรอิสระ หรือ $y - \bar{Y}$

ตัวอย่าง ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ โดยยกตัวอย่างประสิทธิภาพของพลังงานของแบตเตอรี่ 5 รอบแรก ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1

รอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Xt	0.99154	0.99213	0.98395	1	0.99671	0.97703	0.99128	0.99976	0.99011	0.96573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี Simple Moving Average

จากสมการ

$$F_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N}$$

โดยใช้ 3MA กำหนดให้ $N=3$

เมื่อกำหนดใน $N=3$ ทำให้การพยากรณ์ค่าแรกจะเริ่มที่ F_4 นั่นคือการพยากรณ์ค่าในรอบที่ 4 ทำได้ดังนี้

$$F_4 = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} = \frac{0.991546928 + 0.992138487 + 0.98395006}{3}$$

$$= 0.989211825$$

ดังนั้น ค่าพยากรณ์ในรอบที่ 4 คือ 0.989211825

เช่นเดียวกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป ดังนี้

$$F_5 = \frac{X_2 + X_3 + X_4}{3} = \frac{0.992138487 + 0.98395006 + 1}{3}$$

$$= 0.992029516$$

$$F_6 = \frac{X_3 + X_4 + X_5}{3} = \frac{0.98395006 + 1 + 0.996715289}{3}$$

$$= 0.993555116$$

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี exponential smoothing

จากสมการ

$$F_{t+1} = \alpha X_t + F_t(1 - \alpha) \quad 0 < \alpha < 1$$

กำหนดให้ $\alpha = 0.2$ $F_2 = X_1$

นั่นคือให้ค่าการพยากรณ์ครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับค่าจริงค่าแรก

ดังนั้นจะได้ $F_2 = 0.9915469280$

ทำให้สามารถคำนวณค่าการพยากรณ์ค่าที่ 3 ได้ดังนี้

$$F_3 = 0.2X_2 + F_2(1 - 0.2)$$

$$= 0.2(0.992138487) + (0.991546928)(1 - 0.2)$$

$$= 0.99166524$$

ดังนั้นค่าพยากรณ์ในรอบที่ 3 คือ 0.99166524

เช่นเดียวกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป สามารถทำได้ดังนี้

$$F_4 = 0.2X_3 + F_3(1 - 0.2)$$

$$= 0.2(0.98395006) + (0.99166524)(1 - 0.2)$$

$$= 0.990122204$$

$$F_5 = 0.2X_4 + F_4(1 - 0.2)$$

$$= 0.2(1) + (0.990122204)(1 - 0.2)$$

$$= 0.992097763$$

$$F_6 = 0.2X_5 + F_5(1 - 0.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้สนใจสามารถติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ศูนย์ช่วยเหลือและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= 0.2(0.996715289) + (0.992097763)(1 - 0.2) \\
&= 0.993021268 \\
F_7 &= 0.2X_6 + F_6(1 - 0.2) \\
&= 0.2(0.977038156) + (0.993021268)(1 - 0.2) \\
&= 0.989824646
\end{aligned}$$

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี adaptive-response-rate exponential smoothing

จากสมการ

$$F_t = \alpha_{t-1}X_{t-1} + (1 - \alpha_{t-1})F_{t-1}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
\alpha_t &= \frac{|E_{t-1}|}{M_{t-1}} \\
M_t &= \beta e_t + (1 - \beta)M_{t-1} & 0 < \beta < 1 \\
E_t &= \beta |e_t| + (1 - \beta)E_{t-1} & 0 < \beta < 1 \\
e_t &= X_t - F_t
\end{aligned}$$

$$\text{กำหนดให้ } \beta = 0.1 \quad F_2 = X_1 \quad E_1 = 0.000001 \quad M_1 = 0.001$$

ในการพยากรณ์ค่าจะเริ่มที่การคำนวณค่า F_t ซึ่งในการพยากรณ์เริ่มต้นจะกำหนดให้ $F_2 = X_1$ จะได้

$$F_2 = 0.991546928$$

จากนั้นทำการคำนวณค่า α โดยทำการคำนวณค่า α_2 ได้ดังนี้

$$\alpha_2 = \frac{|E_1|}{M_1} = \frac{|0.000001|}{0.001} = 0.001$$

ทำให้สามารถคำนวณค่า e_2 ได้ดังนี้

$$e_2 = X_2 - F_2 = 0.992138487 - 0.991546928 = 0.000591559$$

เมื่อคำนวณค่า e_2 แล้วจะต้องคำนวณค่า M_2, E_2 เป็นลำดับถัดไป

$$\begin{aligned}
M_2 &= \beta e_2 + M_1(1 - \beta) \\
&= 0.1(0.000591559) + 0.001(1 - 0.1) = 0.000959156
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_2 &= \beta |e_2| + E_1(1 - \beta) \\
&= 0.1(|0.000591559|) + 0.000001(1 - 0.1) = 0.00006006
\end{aligned}$$

ค่า M_2, E_2 ที่คำนวณได้จะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณหา α_3 ในการพยากรณ์รอบถัดไป ได้ดังที่แสดงต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
F_3 &= \alpha_2 X_2 + F_2(1 - \alpha_2) \\
&= 0.001(0.992138487) + (0.991546928)(1 - 0.001) = 0.99154752
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_3 &= \frac{|E_2|}{M_2} \\
&= \frac{|0.00006006|}{0.000959156} = 0.062613283
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_3 &= X_3 - F_3 \\
&= 0.98395006 - 0.99154752
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -0.00759746 \\
M_3 &= \beta e_3 + M_2(1 - \beta)
\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.1(-0.00759746) + 0.000959156(1 - 0.1)$$

$$= 0.001622986$$

$$E_3 = \beta|e_3| + E_2(1 - \beta)$$

$$= 0.1(|-0.00759746|) + 0.00006006(1 - 0.1)$$

$$= -0.000705696$$

เช่นเดียวกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป สามารถทำได้ดังนี้

$$F_4 = \alpha_3 X_3 + F_3(1 - \alpha_3)$$

$$= 0.062613283(0.992138487) + (0.991546928)(1 - 0.062613283)$$

$$= 0.991071818$$

$$\alpha_4 = \frac{|E_3|}{|M_3|}$$

$$= \frac{|0.001622986|}{|-0.000705696|} = 0.434813073$$

$$e_4 = X_4 - F_4$$

$$= 1 - 0.991071818$$

$$= 0.008928182$$

$$M_4 = \beta e_4 + M_3(1 - \beta)$$

$$= 0.1(0.008928182) + 0.001622986(1 - 0.1)$$

$$= 0.002353506$$

$$E_4 = \beta|e_4| + E_3(1 - \beta)$$

$$= 0.1(|0.008928182|) - 0.000705696(1 - 0.1)$$

$$= 0.000257692$$

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี linear moving average

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่

$$S'_t = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N}$$

$$S''_t = \frac{S'_t + S'_{t-1} + S'_{t-2} + \dots + S'_{t-N+1}}{N}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{2(S'_t - S''_t)}{N - 1}$$

ในการคำนวณค่าการพยากรณ์ด้วยวิธี linear moving average ต้องกำหนดค่า N ที่จะใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ย ซึ่งในตัวอย่างการคำนวณนี้กำหนดให้ N=4 ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\text{กำหนดให้ } S'_t = 4MA \quad S''_t = 4 \times 4MA \quad m = 1$$

ทำการคำนวณค่า S'_t ได้ดังนี้

$$S'_4 = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 0.991908869 \\
 S'_5 &= \frac{X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{N} \\
 &= \frac{0.992138487 + 0.98395006 + 1 + 0.996715289}{4} \\
 &= 0.993200959 \\
 S'_6 &= \frac{X_3 + X_4 + X_5 + X_6}{N} \\
 &= \frac{0.98395006 + 1 + 0.996715289 + 0.977038156}{4} \\
 &= 0.989425876 \\
 S'_7 &= \frac{X_4 + X_5 + X_6 + X_7}{N} \\
 &= \frac{1 + 0.996715289 + 0.977038156 + 0.991282283}{4} \\
 &= 0.991258932
 \end{aligned}$$

จากนั้นทำการคำนวณ S''_7 จากการหาค่าเฉลี่ยของค่า S'_i โดยที่ $N=4$ และคำนวณค่า a_7 และ b_7

$$\begin{aligned}
 S''_7 &= \frac{S'_4 + S'_5 + S'_6 + S'_7}{N} \\
 &= \frac{0.991908869 + 0.993200959 + 0.989425876 + 0.991258932}{4} \\
 &= 0.991448659 \\
 a_7 &= 2S'_7 - S''_7 \\
 &= 2(0.991258932) - 0.991448659 = 0.991069205 \\
 b_7 &= \frac{2(S'_7 - S''_7)}{N - 1} \\
 &= \frac{2(0.991258932 - 0.991448659)}{4 - 1} = -0.000126485
 \end{aligned}$$

เมื่อทำการคำนวณค่าข้างต้นจนครบแล้ว จะทำการพยากรณ์ค่าในรอบที่ 8 ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 F_8 &= F_{7+1} = a_7 + b_7(1) \\
 &= 0.991069205 - 0.000126485(1) \\
 &= 0.99094272
 \end{aligned}$$

เช่นเดียวกันกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป สามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 S'_8 &= \frac{X_5 + X_6 + X_7 + X_8}{N} \\
 &= \frac{0.996715289 + 0.977038156 + 0.991282283 + 0.99976649}{4} \\
 &= 0.991200555 \\
 S''_8 &= \frac{S'_5 + S'_6 + S'_7 + S'_8}{N} \\
 &= \frac{0.993200959 + 0.989425876 + 0.991258932 + 0.991200555}{4} \\
 &= 0.99127158 \\
 a_8 &= 2S'_8 - S''_8 \\
 &= 2(0.991200555) - 0.99127158 = 0.991129529
 \end{aligned}$$

$$b_8 = \frac{2(S'_8 - S''_8)}{N - 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น = 0.0000474

$$\begin{aligned} F_9 &= F_{8+1} = a_8 + b_8(1) \\ &= 0.991129529 - 0.0000474(1) = 0.991082178 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าพยากรณ์ในรอบที่ 9 คือ 0.991082178

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ

$$\begin{aligned} S'_t &= \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \\ S''_t &= \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \\ a_t &= 2S'_t - S''_t \\ b_t &= \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha} \end{aligned}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1$, $m = 1$, $\alpha = 0.1$

ในการเริ่มต้นการพยากรณ์จะได้ว่า

$$S'_1 = S''_1 = X_1 = 0.991546928$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ S'_2 และ S''_2 ได้

$$\begin{aligned} S'_2 &= \alpha X_2 + (1 - \alpha)S'_1 \\ &= 0.1(0.992138487) + (1 - 0.1)0.991546928 \\ &= 0.991606084 \\ S''_2 &= \alpha S'_2 + (1 - \alpha)S''_1 \\ &= 0.1(0.991606084) + (1 - 0.1)0.991546928 \\ &= 0.991552844 \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า S'_2 และ S''_2 มาใช้คำนวณค่า a_2 และ b_2

$$\begin{aligned} a_2 &= 2S'_2 - S''_2 \\ &= 2(0.991606084) - 0.991552844 \\ &= 0.991659324 \\ b_2 &= \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} \\ &= \frac{0.1(0.991606084 - 0.991552844)}{1 - 0.1} \\ &= 0.000005916 \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ค่า โดยที่ค่าการพยากรณ์แรกจะเริ่มที่ F_3

$$\begin{aligned} F_3 &= F_{2+1} = a_2 + b_2(1) \\ &= 0.991659324 + 0.000005916(1) \\ &= 0.991665240 \end{aligned}$$

เช่นเดียวกันกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป สามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} S'_3 &= \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 \\ &= 0.1(0.98395006) + (1 - 0.1)0.991606084 \\ &= 0.990840482 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น $S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha)S''_2 = 0.1(0.990840482) + (1 - 0.1)0.991552844$ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 0.991481607 \\
 a_3 &= 2S'_3 - S''_3 \\
 &= 2(0.990840482) - 0.991481607 \\
 &= 0.990199356 \\
 b_3 &= \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} \\
 &= \frac{0.1(0.990840482 - 0.991481607)}{1 - 0.1} \\
 &= -0.000071236 \\
 F_4 &= F_{3+1} = a_3 + b_3(1) \\
 &= 0.990199356 - 0.000071236(1) \\
 &= 0.990128119
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าพยากรณ์ในรอบที่ 4 คือ 0.990128119

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี holt's two-parameter linear exponential smoothing

จากสมการ

$$F_{t+m} = S_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 S_t &= \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) & 0 < \alpha < 1 \\
 b_t &= \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1} & 0 < \gamma < 1
 \end{aligned}$$

กำหนดให้ $b_1 = \frac{X_2 - X_1}{2} + \frac{X_4 - X_3}{2}$ $S_1 = X_1$ $m = 1$ $\alpha = 0.2$ $\gamma = 0.3$

ในการเริ่มต้นการพยากรณ์จะได้ว่า

$$S_1 = 0.991546928$$

ทำการคำนวณค่า b_1 เพื่อนำมาพยากรณ์ค่า F_2 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{X_2 - X_1}{2} + \frac{X_4 - X_3}{2} \\
 &= \frac{0.992138487 - 0.991546928}{2} + \frac{1 - 0.98395006}{2} \\
 &= 0.00832075
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_2 &= F_{1+1} = S_1 + b_1(1) \\
 &= 0.991546928 + 0.00832075(1) \\
 &= 0.999867678
 \end{aligned}$$

เช่นเดียวกันกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป สามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 S_2 &= \alpha X_2 + (1 - \alpha)(S_1 + b_1) \\
 &= 0.2(0.992138487) + (1 - 0.2)(0.991546928 + 0.00832075) \\
 &= 0.99754892
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_2 &= \gamma(S_2 - S_1) + (1 - \gamma)b_1 \\
 &= 0.3(0.99754892 - 0.991546928) + (1 - 0.3)0.00832075 \\
 &= 0.007856998
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_3 &= F_{2+1} = S_2 + b_2(1) \\
 &= 0.99754892 + 0.007856998(1) \\
 &= 1.005405918
 \end{aligned}$$

เอกสาร ดังนั้นค่าพยากรณ์ในรอบที่ 3 คือ 1.005405918 ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการพยากรณ์ด้วยวิธี Brown's quadratic exponential smoothing

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m^2 \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$\begin{aligned} S'_t &= \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1} \\ S''_t &= \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1} \\ S'''_t &= \alpha S''_t + (1 - \alpha) S'''_{t-1} \\ a_t &= 3S'_t - 3S''_t + S'''_t \\ b_t &= \frac{\alpha}{2(1 - \alpha)} [(6 - 5\alpha)S'_t - (10 - 8\alpha)S''_t \\ &\quad + (4 - 3\alpha)S'''_t] \\ c_t &= \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} (S'_t - S''_t + S'''_t) \end{aligned}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = S'''_1 = X_1$ $m = 1$ $\alpha = 0.1$

ในการเริ่มต้นการพยากรณ์จะได้ว่า

$$S'_1 = S''_1 = S'''_1 = 0.991546928$$

ทำการคำนวณค่า S'_2, S''_2 และ S'''_2 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} S'_2 &= \alpha X_2 + (1 - \alpha) S'_1 \\ &= 0.1(0.992138487) + (1 - 0.1)0.991546928 \\ &= 0.991606084 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S''_2 &= \alpha S'_2 + (1 - \alpha) S''_1 \\ &= 0.1(0.991606084) + (1 - 0.1)0.991546928 \\ &= 0.991552844 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S'''_2 &= \alpha S''_2 + (1 - \alpha) S'''_1 \\ &= 0.1(0.991606084) + (1 - 0.1)0.991546928 \\ &= 0.99154752 \end{aligned}$$

ทำการคำนวณค่า a_2, b_2 และ c_2

$$\begin{aligned} a_2 &= 3S'_2 - 3S''_2 + S'''_2 \\ &= 3(0.991606084) - 3(0.991552844) + 0.99154752 \\ &= 0.99170724 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{\alpha}{2(1 - \alpha)} [(6 - 5\alpha)S'_2 - (10 - 8\alpha)S''_2 + (4 - 3\alpha)S'''_2] \\ &= \frac{0.1}{2(1 - (0.1))} [(6 - 5(0.1))0.991606084 - (10 - 8(0.1))0.991552844 \\ &\quad + (4 - 3(0.1))0.99154752] \\ &= 0.00001517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} (S'_2 - S''_2 + S'''_2) \\ &= \frac{(0.1)^2}{(1 - (0.1))^2} (0.991606084 - 0.991552844 + 0.99154752) \\ &= 0.012241985 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการคำนวณค่าในข้างต้นครบแล้ว นำค่า a_2, b_2 และ c_2 เพื่อมาคำนวณค่าพยากรณ์ของ F_3 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} F_3 &= F_{2+1} = a_2 + b_2(1) + \frac{1}{2}c_2(1)^2 \\ &= 0.99170724 + 0.00001517(1) + \frac{1}{2}0.012241985(1)^2 \\ &= 0.991665240 \end{aligned}$$

เช่นเดียวกันกับการพยากรณ์ค่าในรอบถัดๆ ไป สามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} S'_3 &= \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 \\ &= 0.1(0.98395006) + (1 - 0.1)0.991606084 \\ &= 0.990840482 \\ S''_3 &= \alpha S'_3 + (1 - \alpha)S''_2 \\ &= 0.1(0.990840482) + (1 - 0.1)0.991552844 \\ &= 0.991481607 \\ S'''_3 &= \alpha S''_3 + (1 - \alpha)S'''_2 \\ &= 0.1(0.991481607) + (1 - 0.1)0.99154752 \\ &= 0.991540928 \\ a_3 &= 3S'_3 - 3S''_3 + S'''_3 \\ &= 3(0.990840482) - 3(0.991481607) + 0.991540928 \\ &= 0.989617551 \\ b_3 &= \frac{\alpha}{2(1 - \alpha)} [(6 - 5\alpha)S'_3 - (10 - 8\alpha)S''_3 + (4 - 3\alpha)S'''_3] \\ &= \frac{0.1}{2(1 - (0.1))} [(6 - 5(0.1))0.990840482 - (10 - 8(0.1))0.991481607 \\ &\quad + (4 - 3(0.1))0.991540928] \\ &= -0.00018371 \\ c_3 &= \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} (S'_3 - S''_3 + S'''_3) \\ &= \frac{(0.1)^2}{(1 - (0.1))^2} (0.990840482 - 0.991481607 + 0.991540928) \\ &= 0.012233331 \\ F_4 &= F_{3+1} = a_3 + b_3(1) + \frac{1}{2}c_3(1)^2 \\ &= 0.989617551 - 0.00018371(1) + \frac{1}{2}0.012233331(1)^2 = 0.99555051 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าพยากรณ์ในรอบที่ 4 คือ 0.99555051

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ทำการพิสูจน์ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ (predict) ค่า \hat{Y} ในอนาคตมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะใช้วิธีพิสูจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ระหว่าง ค่า \hat{Y} ที่เก็บข้อมูลมาได้กับค่าที่ได้

จากการใส่ค่า X ใน Model ที่ได้มาซึ่งเรียกว่า residual นั่นเอง ซึ่งใช้ f -statistic ในการทดสอบความคลาดเคลื่อนนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_0 : ค่าความคลาดจากการใช้แบบจำลองนี้พยากรณ์ค่า \hat{Y} เป็นค่าที่ไม่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่

H_a : ค่าความคลาดจากการใช้แบบจำลองนี้พยากรณ์ค่า \hat{Y} เป็นค่าที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่

การทดสอบใช้สถิติ F-Test ซึ่งจะเป็นการทดสอบความเหมาะสมของโมเดล ก็คือการทดสอบตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามหรือไม่ ซึ่งจะเปรียบเทียบค่า Significance F กับระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05

ถ้าค่า Significance F > ระดับนัยสำคัญที่กำหนด จะกล่าวว่าตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม ซึ่งก็คือไม่เหมาะสมที่จะนำมาพยากรณ์ค่าต่อไป ก็คือค่า Y โมเดลนี้ขึ้นอยู่กับค่า X เป็นส่วนใหญ่

ถ้าค่า Significance F < ระดับนัยสำคัญที่กำหนด ปฏิเสธ H_0 จะกล่าวว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม ซึ่งจะเหมาะสมที่จะนำมาพยากรณ์ค่าต่อไป นั่นก็คือค่า Y โมเดลนี้ขึ้นอยู่กับค่า X เป็นส่วนใหญ่

การตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับค่าคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์ ตัวแปรต้น

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_a: \beta_1 \neq 0$$

การทดสอบใช้สถิติ T-Test ซึ่งจะเป็นการทดสอบค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย โดยจะพิจารณาที่ค่า P - value หรือตรงส่วนที่เป็น $P > |t|$ ซึ่งจะเปรียบเทียบค่า P - value กับระดับนัยสำคัญที่กำหนด คือ 0.05

ถ้า P - value > ระดับนัยสำคัญที่กำหนด จะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระนั้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด หรือไม่มีความจำเป็นที่จะคงไว้ในสมการ

ถ้า P - value < ระดับนัยสำคัญที่กำหนด ปฏิเสธ H_0 จะให้ทำการคงไว้ในสมการหรือจะกล่าวว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

2.2.3 ค่าความคลาดเคลื่อน

2.2.3.1 การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error : MAPE) คือเป็นวิธีวัดความแม่นยำโดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่า โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย มีความถูกต้องแม่นยำสูง แสดงได้ดังสมการ

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - F_i}{X_i} \right| \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

X_i คือ ข้อมูลเดิม

F_i คือ ข้อมูลที่ได้มาจากการประมาณ

n คือ ขนาดของข้อมูล

2.2.3.2 ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Square Error : MSE) เป็นวิธีการวัดความแม่นยำของการประมาณข้อมูลโดยการพิจารณาข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีกำลังสอง

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - X_i)^2 \quad ; \quad MSE \geq 0$$

เมื่อ

X_i คือ ข้อมูลเดิม

F_i คือ ข้อมูลที่ได้มาจากการประมาณ

n คือ ขนาดของข้อมูล

2.2.3.3 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (Mean absolute deviation : MAD) เป็นวิธีวัดความแม่นยำที่จะพิจารณาจากข้อมูลจริงและข้อมูลที่ได้จากการประมาณ โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย

$$MAD = \frac{\sum |X_i - F_i|}{n}$$

เมื่อ

X_i คือ ข้อมูลเดิม

F_i คือ ข้อมูลที่ได้มาจากการประมาณ

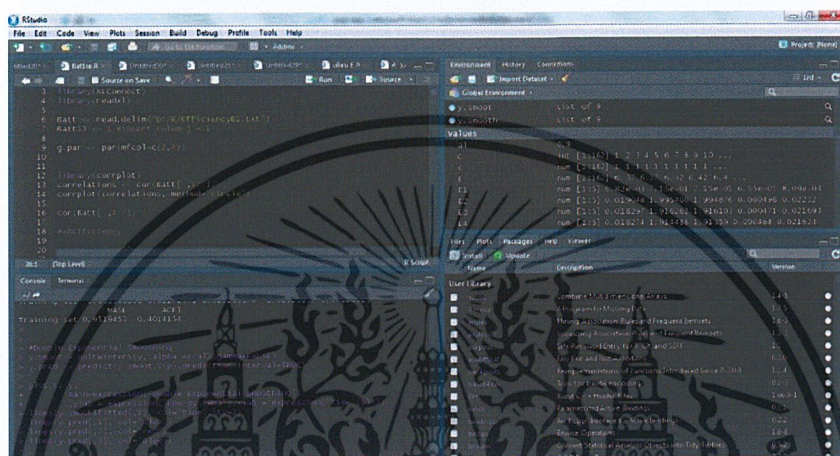
n คือ ขนาดของข้อมูล

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของวิธีการต่าง ๆ แล้ว จะทำให้ทราบว่าวิธีการประมาณค่าใดดีที่สุดซึ่งสามารถเห็นได้ชัดจากค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โปรแกรม R

เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1991 โดยมี Robert Gentleman และ Ross Ihaka จาก ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยโอ๊คแลนด์ ประเทศนิวซีแลนด์ เป็นผู้พัฒนาขึ้น เพื่อใช้สอนในวิชาสถิติ เป็น Open Source Software ที่เปิดให้ใช้ฟรีโดยไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ รองระบบปฏิบัติการได้ทุกระบบทั้ง Windows , Mac OS หรือ Linux สามารถดาวน์โหลดโปรแกรม R ได้ที่ <http://mirrors.psu.ac.th/pub/cran/>



รูปที่ 2.2 แสดงหน้าโปรแกรม R

2.4 เว็บแอปพลิเคชัน

เว็บไซต์ (Website) คือ หน้าเว็บเพจหลายหน้า ที่ทำการเชื่อมโยงกันผ่านทาง Hyperlink ส่วนใหญ่จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ แต่ไม่สามารถคำนวณ หรือทำงานอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้

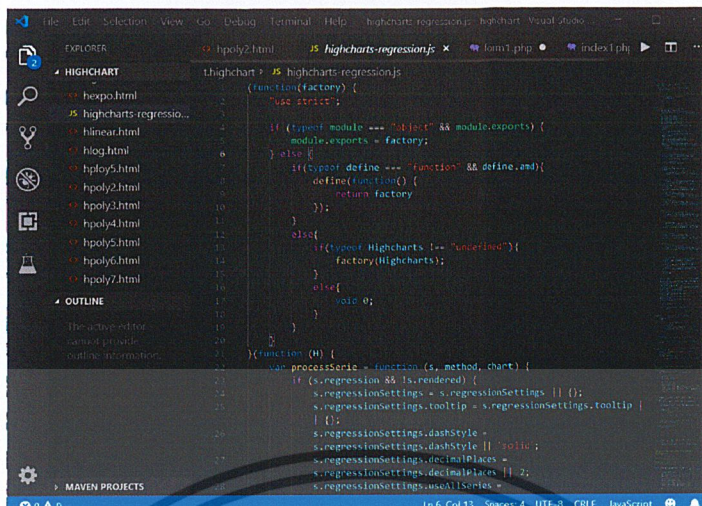
เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) คือเว็บที่นำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในเว็บซึ่งเชื่อมต่อฐานข้อมูล สามารถเปลี่ยนข้อมูลที่แสดงในเว็บได้อย่างง่ายดายโดยไม่ต้องแก้ไข HTML, CSS และ JavaScript เช่นเว็บคำนวณ เว็บประมูล เว็บขายของ เป็นต้น

Editor ที่ใช้

2.4.1. Visual Studio Code

Visual Studio Code หรือ VSCode เป็นโปรแกรม Code Editor ที่ใช้ในการแก้ไขและปรับแต่งโค้ด จากไมโครซอฟท์ มีการพัฒนาออกมาในรูปแบบของ Opensource ซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่ต้องการใช้งานข้ามแพลตฟอร์ม รองรับการใช้งานทั้งบน Windows, macOS และ Linux สนับสนุนทั้งภาษา JavaScript, TypeScript และ Node.js สามารถเชื่อมต่อกับ Git ได้

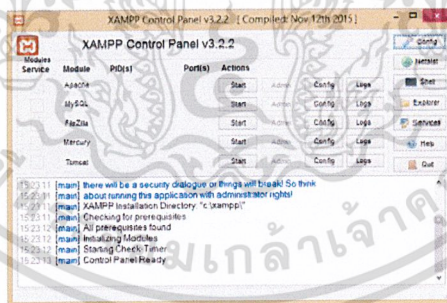
นำมาใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีเครื่องมือส่วนขยายต่าง ๆ ให้เลือกใช้ เช่น การเปิดใช้งานภาษาต่าง ๆ หรือ การ Commands เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงหน้าโปรแกรม Visual Studio Code

2.4.2. XAMPP

XAMPP ประกอบด้วย Apache, PHP, MySQL, phpMyAdmin, Perl โปรแกรมสำหรับจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลให้ทำงานในลักษณะของ Web Server หมายความว่าเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นทั้งเครื่องแม่ และเครื่องลูกในเครื่องเดียวกัน ทำให้ไม่ต้องเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ก็สามารถทดสอบเว็บไซต์ได้

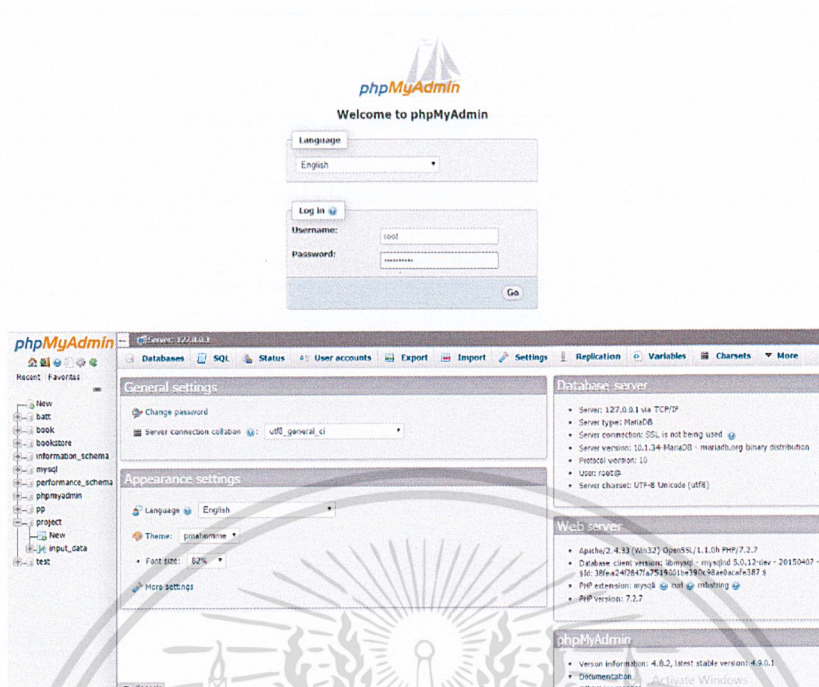


รูปที่ 2.4 แสดงหน้าโปรแกรม XAMPP

2.4.3.phpMyAdmin

phpMyAdmin คือเครื่องมือที่ใช้จัดการกับ Database Management System ที่เป็น MySQL ซึ่ง phpMyAdmin ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา PHP เพื่อใช้จัดการฐานข้อมูลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่ง phpMyAdmin สามารถสร้างและลบฐานข้อมูล จัดการตาราง เช่น แทรกข้อมูล ลบ และแก้ไขฐานข้อมูลได้ และสามารถหาผลสรุปได้ด้วยคำสั่ง SQL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงหน้าโปรแกรม phpMyAdmin

2.4.4. HTML

HTML ย่อมาจากคำว่า Hypertext Markup Language เป็นภาษามาตรฐานที่ใช้พัฒนาเอกสารในรูปแบบของเว็บเพจบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การเรียกใช้เอกสารเหล่านี้ทำได้โดยการ ใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) เช่น Mosaic , Opera , Internet Explorer เป็นต้น

2.4.5. PHP

PHP มาจากคำว่า PHP Hypertext Preprocessor เป็นประเภท Script Language ทำงานแบบ Server Side Script กระบวนการทำงานจะทำงานแบบโปรแกรมแปลคำสั่ง interpreter คือ แปลภาษาทุกครั้งที่มีคนเรียกสคริปต์ ซึ่ง PHP เป็นการเขียนโปรแกรมบนเว็บ เพราะจะเก็บโค้ดคำสั่ง หรือสคริปต์ทั้งหมดที่เขียนขึ้นมาไว้บน Web Server ที่เดียว และผู้ใช้งานจะเรียกใช้งานโปรแกรมผ่านเว็บเบราว์เซอร์ต่าง ๆ เช่น Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลมาแสดงผลที่หน้าจอของผู้ใช้

2.4.6. JavaScript

JavaScript คือ ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต เป็นภาษา สคริปต์เชิงวัตถุ ซึ่งใช้ในการสร้างและพัฒนาเว็บไซต์ เพื่อให้เว็บไซต์สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในลักษณะ "แปลความและดำเนินงานไปทีละคำสั่ง" (interpret) หรือเรียกว่า

Object Oriented Programming ที่มีเป้าหมายในการ ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในระบบ เอกสารบนเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน การค้า อินเทอร์เน็ต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วิจัยที่เกี่ยวข้อง

Daniel Le and Xidong Tang[1] เนื่องจากการคำนวณ SOH สามารถคำนวณได้สองวิธีคือใช้ความต้านทานของแบตเตอรี่มาพิจารณาเพื่อกำหนด SOH ของแบตเตอรี่ ส่วนอีกวิธีหนึ่งจะพิจารณา SOH จากค่าความจุของแบตเตอรี่ บทความนี้เสนอการใช้ความจุของแบตเตอรี่เป็นวิธีพื้นฐานในการคำนวณ SOH และใช้คุณสมบัติเฉพาะของ Ah เพื่อประเมิน SOH นั่นคือ Ah-V ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แสดงให้เห็นว่า Ah-V profiles สามารถสะท้อนถึงอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ ซึ่งความจุของแบตเตอรี่จะลดลงตลอดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และอุณหภูมิก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย เมื่ออายุการใช้งานลดลงจะส่งผลให้ความสามารถในการเก็บและปล่อยพลังงานลดลง

John Wesley Cain[2] เสนอบทความการอธิบายกระบวนการ least squares regression ของการ fitting เส้นโค้งกับข้อมูล รวมทั้งการเลือกฟังก์ชันที่เหมาะสมกับข้อมูล จุดประสงค์หนึ่งของการวิเคราะห์การถดถอยคือการสร้างกราฟของฟังก์ชันการถดถอยซึ่งเป็นเส้นโค้งที่ถูกออกแบบมาให้อยู่ใกล้กับจุดข้อมูลจริงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ฟังก์ชันการถดถอย $f(x)$ เช่น linear, exponential และ power ถ้าค่า goodness of fit ระหว่าง $f(x)$ กับค่าจริง มาก นั่นคือค่า RSS (residual sum of squares) มาก หมายความว่าค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าประมาณมีค่ามาก ในการดำเนินการและการอธิบายข้อมูลเชิงทดลอง ข้อมูลที่ได้มาจะต้อง

- ข้อมูลจะต้องดูน่าเชื่อถือ ไม่มีข้อผิดพลาดจากการวัดหรือจากการ calibrate เครื่องมือ
- การวัดความสัมพันธ์ของตัวแปร การประมาณค่าในช่วงและนอกช่วง

นอกจากนี้ต้องทำการเลือกฟังก์ชันให้มีความเหมาะสมกับข้อมูล

Sunita Daniel and Abin Sam[3] นำเสนอการใช้ generalized inverse ของเมทริกซ์กับวิธี least square solution แล้วนำไปใช้ในการทำ curve fitting โครงสร้างสถาปัตยกรรม โดยการกำหนดจุดข้อมูลให้ใกล้เคียงกับส่วนโค้งของสถาปัตยกรรมนั้น ซึ่งในบทความนี้ใช้โปรแกรม MATHEMATICA™ ในการคำนวณหารูปแบบสมการทั่วไป มีการวัดค่าความแม่นยำจากการทำ curve fitting โดยการวัดจากค่า goodness of fit

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาปัญหาพิเศษเรื่อง การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ได้นำสัญญาณแบบเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์ เป้าหมายในการวิเคราะห์สัญญาณแบบเตอร์คือการวิเคราะห์เพื่อการดูประสิทธิภาพของแบบเตอร์ โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้จะใช้วิธีดังนี้

3.1. การวิเคราะห์แบบจำลอง

3.1.1 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยใช้ค่าสหสัมพันธ์ซึ่งเป็นการดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยมี Correlation Coefficient (r) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง $+1.0$ หากค่าใกล้ -1.0 นั้นหมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม หากมีค่าใกล้ $+1.0$ นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก และหากมีค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

3.1.2 เลือกตัวแปรที่จะนำมาสร้างแบบจำลองจากการดูความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นตัวช่วยในการเลือกตัวแปร โดยจะทำการเลือกตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป

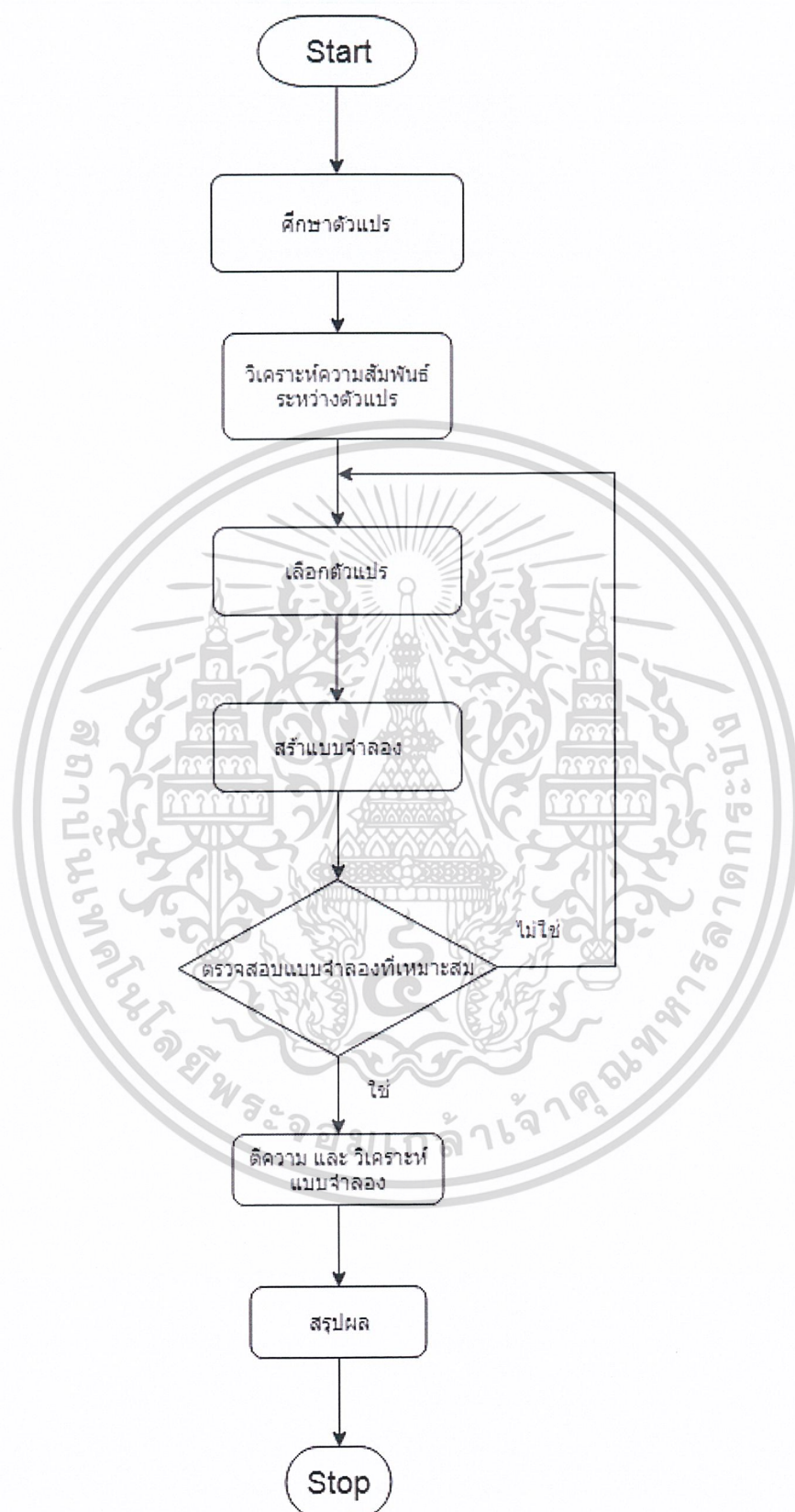
3.1.3 สร้างแบบจำลองและตรวจสอบแบบจำลองที่เหมาะสมโดยใช้

3.1.3.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการสร้างแบบจำลอง และใช้ค่า goodness of fit และค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบความเหมาะสม

3.1.3.2 วิธีเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและรูปแบบเชิงเหตุผล และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบความเหมาะสม

3.1.4 วิเคราะห์แบบจำลอง และสรุปผล

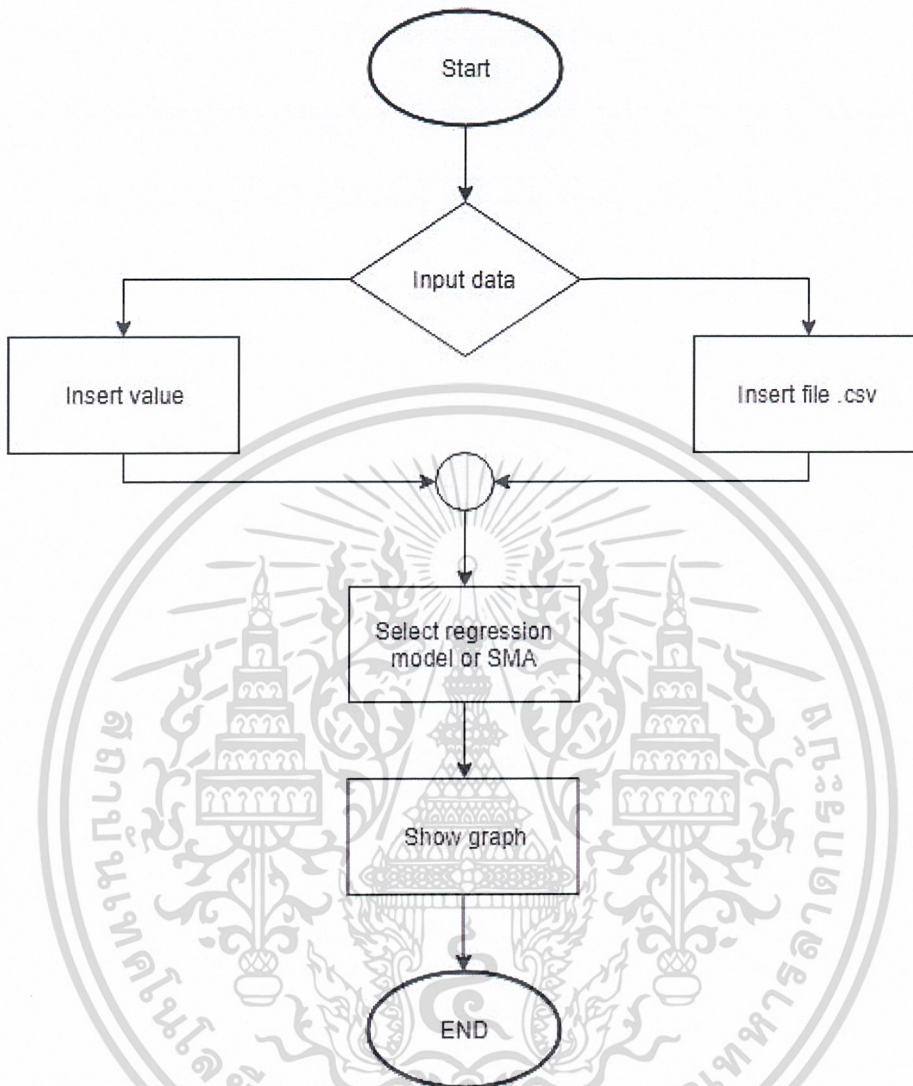
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการใช้เว็บแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลก่อนสร้างแบบจำลอง

นำข้อมูลมาคำนวณประสิทธิภาพ โดยมีคำอธิบายเกี่ยวกับตัวแปรข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.1 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	คำอธิบาย
T	เวลา หน่วยเป็น วินาที (s)
C	รอบการชาร์จของแบตเตอรี่
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น โวลต์ (v)
I	กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)
E	พลังงานของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อชั่วโมง (WH)

จากการศึกษาตัวแปรจากข้อมูลสัญญาณแบตเตอรี่ที่นำมาศึกษา และทำการหาประสิทธิภาพจากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่อัดประจุ (WH)}}{\text{พลังงานที่ใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}}$$

ทำการคำนวณประสิทธิภาพของพลังงานโดยใช้โปรแกรม Excel โดยเลือกการค่าที่บวกของคอลัมน์ E ที่มีค่าสูงสุดในแต่ละรอบการชาร์จ นำค่าที่ได้หารด้วยค่าที่เป็นบวกสูงสุดของคอลัมน์พลังงาน (E)

คำนวณประสิทธิภาพของพลังงานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 ได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของพลังงานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1

C	V	I	E	E-Efficiency
1	4.17	1070	6.37	0.99
2	4.16	1070	6.37	0.99
3	4.16	1070	6.32	0.98
4	4.16	1071	6.42	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C	V	I	E	E-Efficiency
5	4.17	1068	6.4	1
6	4.17	1072	6.28	0.98
7	4.16	1072	6.37	0.99
8	4.16	1071	6.42	1
9	4.17	1071	6.36	0.99
10	4.16	1073	6.2	0.97
11	4.16	1072	6.37	0.99
12	4.16	1052	6.33	0.99
13	4.16	1072	6.34	0.99
14	4.16	1070	6.39	0.99
15	4.16	1046	6.3	0.98
16	4.16	1076	6.33	0.99
17	4.16	1074	6.37	0.99
18	4.16	1050	6.39	1
19	4.16	1070	6.24	0.97
20	4.16	1076	6.29	0.98

โดยที่ C คือ Cycle ของแบตเตอรี่

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น โวลต์ (v)

I คือ กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น มิลลิแอมป์ (mA)

E คือ พลังงานของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อชั่วโมง (WH)

E-Efficiency คือ ประสิทธิภาพของพลังงานของแบตเตอรี่

4.2 วิเคราะห์แบบจำลอง

4.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยวิเคราะห์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่าง EEfficiency กับ C , V , I และ E ของแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อนได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ C ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

แบตเตอรี่ ก้อนที่	ค่า Correlation	ระดับ ความสัมพันธ์	ทิศทางของ ความสัมพันธ์
1	-0.9325	มาก	ทิศตรงกันข้าม
2	-0.97276	มาก	ทิศตรงกันข้าม
3	-0.96511	มาก	ทิศตรงกันข้าม
4	-0.91541	มาก	ทิศตรงกันข้าม
5	-0.75461	ปานกลาง	ทิศตรงกันข้าม
6	-0.92071	มาก	ทิศตรงกันข้าม
7	-0.92165	มาก	ทิศตรงกันข้าม
8	-0.94714	มาก	ทิศตรงกันข้าม

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ T ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

แบตเตอรี่ ก้อนที่	ค่า Correlation	ระดับ ความสัมพันธ์	ทิศทางของ ความสัมพันธ์
1	0.272634	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
2	0.192372	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
3	0.128978	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
4	0.264013	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
5	0.62521	ปานกลาง	ทิศเดียวกัน
6	0.422531	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
7	0.654529	ปานกลาง	ทิศเดียวกัน
8	0.468476	ต่ำ	ทิศเดียวกัน

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ V ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

แบตเตอรี่ ก้อนที่	ค่า Correlation	ระดับ ความสัมพันธ์	ทิศทางของ ความสัมพันธ์
1	0.250709	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน
2	0.091016	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน
3	-0.07225	ต่ำมาก	ทิศตรงกันข้าม
4	0.136975	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน
5	0.120496	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน
6	0.073309	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน
7	0.093496	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน
8	0.150035	ต่ำมาก	ทิศเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการที่ใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

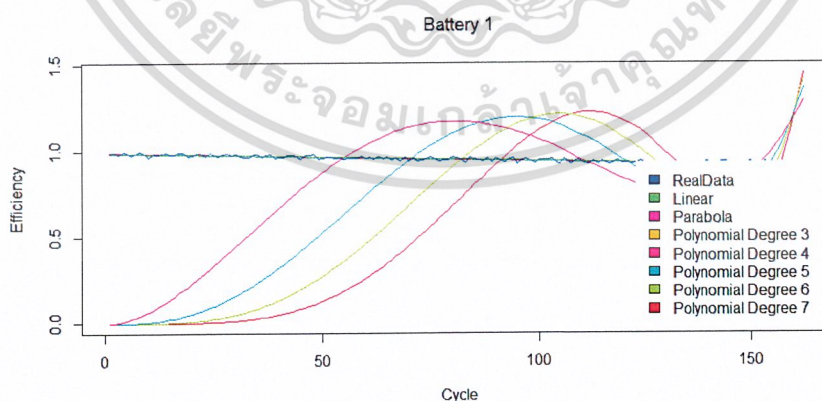
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง E-Efficiency กับ I ของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

แบตเตอรี่ ก้อนที่	ค่า Correlation	ระดับ ความสัมพันธ์	ทิศทางของ ความสัมพันธ์
1	-0.08968	ต่ำมาก	ทิศตรงกันข้าม
2	0.452743	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
3	0.642177	ปานกลาง	ทิศเดียวกัน
4	0.550105	ปานกลาง	ทิศเดียวกัน
5	0.432262	ต่ำ	ทิศเดียวกัน
6	0.627735	ปานกลาง	ทิศเดียวกัน
7	0.542445	ปานกลาง	ทิศเดียวกัน
8	0.331296	ต่ำ	ทิศเดียวกัน

จากตารางทั้ง 3 จะเห็นได้ว่า E-Efficiency กับ C มีความสัมพันธ์กันสูงจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ส่วนในทิศทางนั้น มีทิศทางตรงกันข้ามนั่นคือ เมื่อ C มากขึ้น E-Efficiency จะลดลง

4.2.2 การวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธี Least Square Regression

สร้างจำลองด้วยวิธี Least Square Regression โดยจะสร้างแบบจำลองในรูปแบบ Linear , Parabola , Polynomial Degree 3 , Polynomial Degree 4 , Polynomial Degree 5 , Polynomial Degree 6 และ Polynomial Degree 7 จากแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 สร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม R จะได้



รูปภาพ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟจากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola , Polynomial Degree 3 , Polynomial Degree 4 , Polynomial Degree 5 , Polynomial Degree 6 และ Polynomial Degree 7 กับข้อมูลจริง ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1

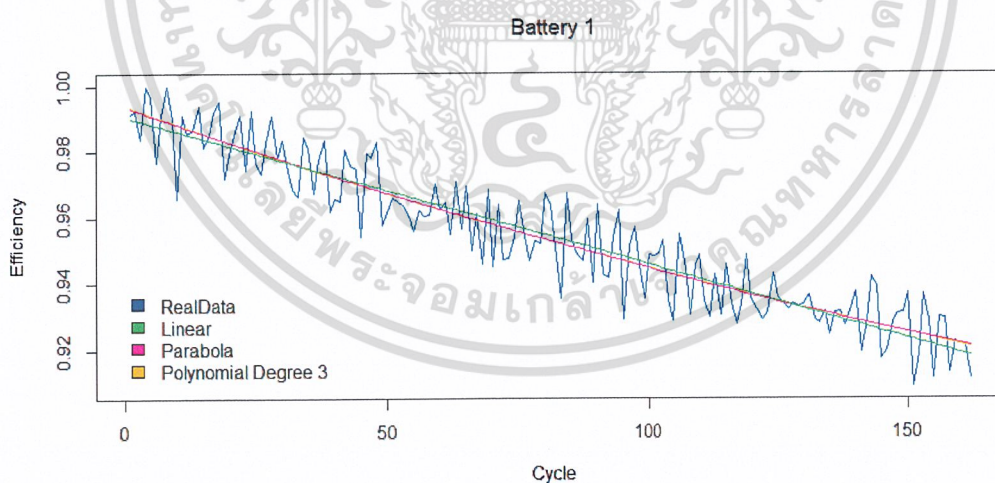
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์หว่าแบบจำลองใดเหมาะสมสามารถใช้ค่า Goodness of fit ช่วยในการตัดสินใจเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมได้ โดยจะแสดงค่า Goodness of fit ของแบบเตอริก้อนที่ 1 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Goodness of fit ของแบบเตอริก้อนที่ 1

แบบจำลอง	ค่า Goodness of fit
Linear	0.999928
Parabola	0.999930
Polynomial Degree 3	0.999930
Polynomial Degree 4	0.831263
Polynomial Degree 5	0.736922
Polynomial Degree 6	0.657902
Polynomial Degree 7	0.592481

ซึ่งจากตารางจะเห็นว่าค่า Goodness of fit ของ Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบเส้นกราฟเพื่อพิจารณาต่อ ดังนี้

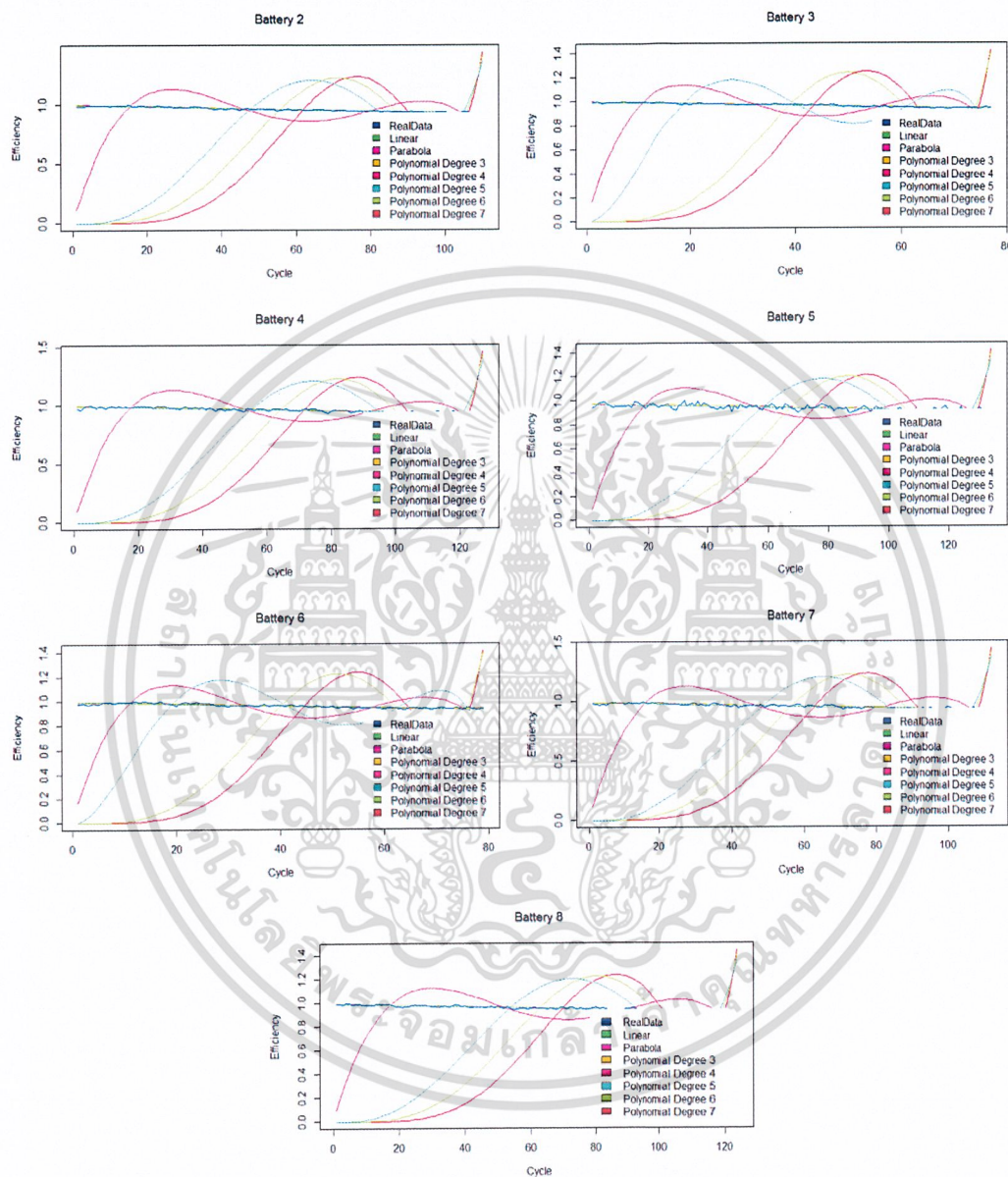


รูปภาพ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟจากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 กับข้อมูลจริง ของแบบเตอริก้อนที่ 1

หลังจากทำการวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมของแบบเตอริก้อนที่ 1 โดยเปรียบเทียบเส้นกราฟจากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola , Polynomial Degree 3 , Polynomial Degree 4 , Polynomial Degree 5 , Polynomial Degree 6 และ Polynomial Degree 7 กับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจริง และพิจารณาค่า Goodness of fit จึงทำการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ก้อนที่ 2-8 ด้วยวิธีเดียวกัน



รูปภาพ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟจากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola , Polynomial Degree 3 , Polynomial Degree 4 , Polynomial Degree 5 , Polynomial Degree 6 และ Polynomial Degree 7 กับข้อมูลจริง ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 2-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Goodness of fit ของแบบเตอรีก้อนที่ 2-8

แบบจำลอง	แบบเตอรีก้อนที่						
	2	3	4	5	6	7	8
Linear	0.999974	0.999973	0.999916	0.999649	0.999919	0.999923	0.999945
Parabola	0.999975	0.999973	0.999916	0.999649	0.999919	0.999923	0.999946
Polynomial Degree 3	0.999977	0.999974	0.999923	0.999652	0.999943	0.999932	0.999946
Polynomial Degree 4	0.962936	0.965158	0.962477	0.961474	0.966308	0.962905	0.961278
Polynomial Degree 5	0.738732	0.888575	0.738766	0.738435	0.889315	0.739614	0.738160
Polynomial Degree 6	0.659604	0.663572	0.659405	0.658857	0.660188	0.659919	0.659225
Polynomial Degree 7	0.594141	0.597631	0.593700	0.592961	0.594120	0.593852	0.593812

จากการเปรียบเทียบเส้นกราฟ และ พิจารณาค่า Goodness of fit จากแบบจำลองทั้ง 7 จะเห็นว่าผลที่ได้ไปในทางเดียวกันคือ แบบจำลองโดยวิธี Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 มีความใกล้เคียงกว่าแบบจำลองโดยวิธี Polynomial Degree 4, Polynomial Degree 5, Polynomial Degree 6 และ Polynomial Degree 7 เหมือนดังผลที่ได้จากแบบเตอรีก้อนที่ 1

แสดงสมการจากแบบเตอรีทั้ง 8 ก้อน จากการประมาณโดยวิธี Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 เพื่อนำไปพิจารณาต่อ

ตาราง 4.9 แสดงสมการของ Linear , Parabola และ Polynomial Degree 3 ของแบบเตอรีทั้ง 8 ก้อน

แบบเตอรี ก้อนที่	แบบจำลอง		
	Linear	Parabola	Polynomial Degree 3
1	$Y = 0.990723 - 0.000447 * C$	$Y = 0.9938 - 0.00056 * C + 6.9e-07 * C^2$	$Y = 0.9941 - 6e-04 * C + 1e-06 * C^2 - 1e-09 * C^3$
2	$Y = 0.999741 - 0.000646 * C$	$Y = 1.0014 - 0.00073 * C + 7.9e-07 * C^2$	$Y = 0.9976 - 3e-04 * C - 8.3e-06 * C^2 + 5.4e-08 * C^3$
3	$Y = 0.99906 - 0.000841 * C$	$Y = 0.9993 - 0.00086 * C + 2.3e-07 * C^2$	$Y = 0.9956 - 3e-04 * C - 1.75e-05 * C^2 + 1.52e-07 * C^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ในรายวิชาการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ ก้อนที่	แบบจำลอง		
	Linear	Parabola	Polynomial Degree 3
4	$Y = 0.995829 - 0.000545 * C$	$Y = 0.9961 - 0.00056 * C + 9e-08 * C^2$	$Y = 0.9893 + 1e-04 * C - 1.2e-05 * C^2 + 6.3e-08 * C^3$
5	$Y = 0.972786 - 0.000523 * C$	$Y = 0.9716 - 0.00047 * C - 4e-07 * C^2$	$Y = 0.967 - 1e-04 * C - 7.7e-06 * C^2 + 3.6e-08 * C^3$
6	$Y = 0.99839 - 0.000897 * C$	$Y = 0.9982 - 0.00089 * C - 1.4e-07 * C^2$	$Y = 0.9847 + 0.0011 * C - 6.11e-05 * C^2 + 5.08e-07 * C^3$
7	$Y = 0.994523 - 0.000619 * C$	$Y = 0.9948 - 0.00063 * C + 1.2e-07 * C^2$	$Y = 0.9866 + 2e-04 * C - 1.85e-05 * C^2 + 1.1e-07 * C^3$
8	$Y = 0.994259 - 0.000586 * C$	$Y = 0.9965 - 0.00069 * C + 8.5e-07 * C^2$	$Y = 0.9981 - 8e-04 * C + 3.9e-06 * C^2 - 1.6e-08 * C^3$

เนื่องจากความชันของกราฟสามารถบอกถึงอัตราการลดลงของประสิทธิภาพพลังงานของแบตเตอรี่ได้ นั่นคือความชันกราฟยิ่งต่ำมากอัตราการลดลงของประสิทธิภาพยิ่งมาก หมายความว่าแบตเตอรี่เริ่มเสื่อมประสิทธิภาพได้เร็วมากขึ้น ในวิจัยเล่มนี้จึงได้นำแบบจำลอง Linear มาหาความชันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ห้อัตราการลดลงของประสิทธิภาพพลังงานของแบตเตอรี่ โดยความชันของแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อน ดังตาราง

ตารางที่ 4.10 แสดงความชันของแบบจำลองในรูปแบบ Linear ของแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อน

แบตเตอรี่ก้อนที่	Slop
1	-0.00044684
2	-0.00064581
3	-0.00084071
4	-0.00054541
5	-0.00052257
6	-0.00089684
7	-0.00061872
8	-0.00058637

จากตารางข้างต้นจะสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพพลังงานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีการลดลงต่ำที่สุด แต่ก็เป็น การการดูประสิทธิภาพจากปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้นหากใช้ปัจจัยอื่นอาจได้ข้อสรุปที่ถูกต้อง และแม่นยำกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์เบตเตอร์ด้วยเชิงปริมาณในรูปแบบอนุกรมเวลาและรูปแบบเชิงเหตุผล

หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวในเบื้องต้นแล้ว ในส่วนต่อมาจะทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพของเบตเตอร์ในการชาร์จเบตเตอร์รอบถัดไป โดยจะใช้การพยากรณ์รูปแบบอนุกรมเวลา และใช้ regression analysis ซึ่งในส่วนของการใช้ Least squares method ในการหาสมการที่เหมาะสมกับข้อมูล เพื่อใช้วิเคราะห์และพยากรณ์ประสิทธิภาพของเบตเตอร์ในการชาร์จเบตเตอร์รอบถัดไป ว่ามีความเหมาะสมต่อการพยากรณ์หรือไม่อย่างไร

เนื่องจากข้อมูลประสิทธิภาพของเบตเตอร์ที่ผ่านการวิเคราะห์มาแล้วมีแนวโน้มของข้อมูล จึงทำให้เหมาะสมที่จะใช้การพยากรณ์ในรูปแบบอนุกรมเวลาทั้ง 7 วิธี คือ

การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Simple Moving Average

$$F_{t+1} = \frac{(X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-n+1})}{N}$$

การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Exponential Smoothing

$$F_{t+1} = \alpha X_t + F_t(1 - \alpha) \quad 0 < \alpha < 1$$

การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Adaptive-Response-Rate Exponential Smoothing

$$F_t = \alpha_{t-1} X_{t-1} + F_{t-1}(1 - \alpha_{t-1})$$

การพยากรณ์ข้อมูลโดยใช้วิธี Linear Moving Average

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

$$S'_t = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N}$$

$$S''_t = \frac{S'_t + S'_{t-1} + S'_{t-2} + \dots + S'_{t-N+1}}{N}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{2(S'_t - S''_t)}{N - 1}$$

การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Brown's One-Parameter Linear Exponential Smoothing

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 $0 < \alpha < 1$

การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Holt's Ttwo-Parameter Linear Exponential Smoothing

$$F_{t+m} = S_t + b_t m \quad m = 1,2,3 \dots$$

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$$

การพยากรณ์ข้อมูล โดยใช้วิธี Brown's quadratic exponential smoothing

$$F_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m^2 \quad m = 1,2,3 \dots$$

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1}$$

$$S'''_t = \alpha S''_t + (1 - \alpha)S'''_{t-1}$$

$$a_t = 3S'_t - 3S''_t + S'''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha}{2(1 - \alpha)} [(6 - 5\alpha)S'_t - (10 - 8\alpha)S''_t + (4 - 3\alpha)S'''_t]$$

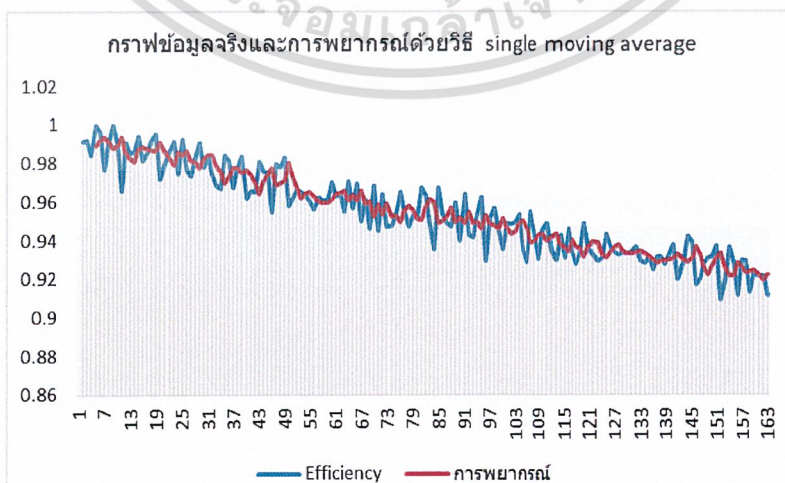
$$c_t = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} (S'_t - S''_t + S'''_t)$$

$$0 < \alpha < 1$$

ใช้ excel ในการคำนวณการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี กับข้อมูลแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธี Simple Moving Average

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 โดยใช้สูตรการเคลื่อนที่แบบ Simple Moving Average



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.84561993
mean square error (MSE)	0.0001007
MAD	0.008057786

จากตารางที่ 4.11 พบว่าวิธี Simple Moving Average มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.8456%

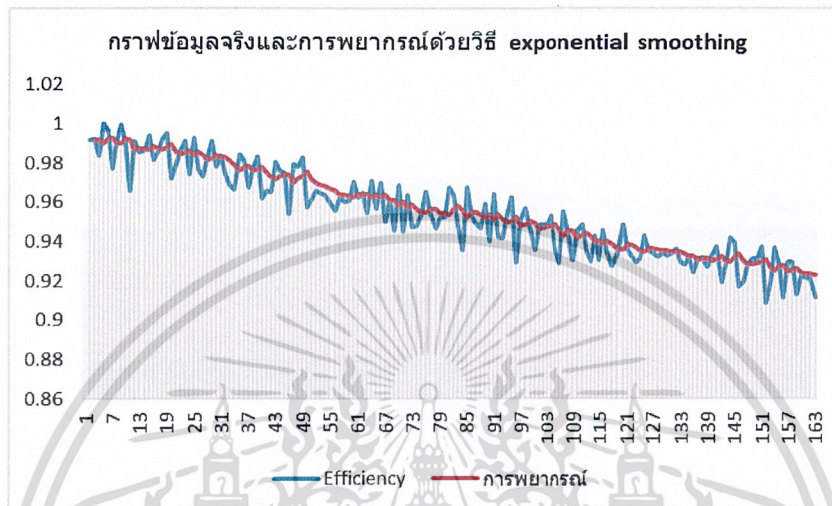
ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงค่า error รายตัวของประสิทธิภาพแบบเตอร์รี่ 20 รอบแรก

รอบ	Efficiency	การพยากรณ์	percentage error	square error	ค่าจริง-ค่าประมาณ
1	0.991546928				
2	0.992138487				
3	0.98395006				
4	1	0.989211825	1.0788175	0.0001164	0.010788175
5	0.996715289	0.992029516	0.470121547	0.0000220	0.004685773
6	0.977038156	0.993555116	1.690513337	0.0002728	0.01651696
7	0.991282283	0.991251148	0.003140848	0.0000000	3.11347E-05
8	0.99976649	0.988345243	1.142391493	0.0001304	0.011421247
9	0.990114731	0.98936231	0.075993348	0.0000006	0.000752421
10	0.965736258	0.993721168	2.897779779	0.0007832	0.02798491
11	0.991017638	0.985205826	0.586448863	0.0000338	0.005811812
12	0.985569065	0.982289542	0.332754221	0.0000108	0.003279523
13	0.986643212	0.98077432	0.594834242	0.0000344	0.005868892
14	0.994053271	0.987743305	0.634771414	0.0000398	0.006309966
15	0.981490418	0.988755183	0.74017683	0.0000528	0.007264765
16	0.985382256	0.987395634	0.20432453	0.0000041	0.002013378
17	0.992076218	0.986975315	0.514164427	0.0000260	0.005100903
18	0.995314227	0.986316297	0.904029042	0.0000810	0.00899793
19	0.971978766	0.990924234	1.949164769	0.0003589	0.018945468
20	0.979528932	0.986456404	0.707224814	0.0000480	0.006927472

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี exponential smoothing

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 โดยใช้สูตรเวลารูปแบบ exponential smoothing



ตารางที่ 4.13 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.7689701
mean square error (MSE)	0.000082
MAD	0.007321301

จากตารางที่ 4.13 พบว่าวิธี exponential smoothing มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.769%

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่าแอลฟาที่ใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่าอื่น แอลฟาอื่น โดยการ ใช้ Grid search

ค่าแอลฟา	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ค่าMAPE	0.8042	0.7690	0.7869	0.8144	0.8454	0.8758	0.9082	0.9424	0.9820	1.0249

จากตารางด้านบนจะพบว่าค่าแอลฟาที่ 0.2 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นจึงทำการแสดงตารางผลการคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

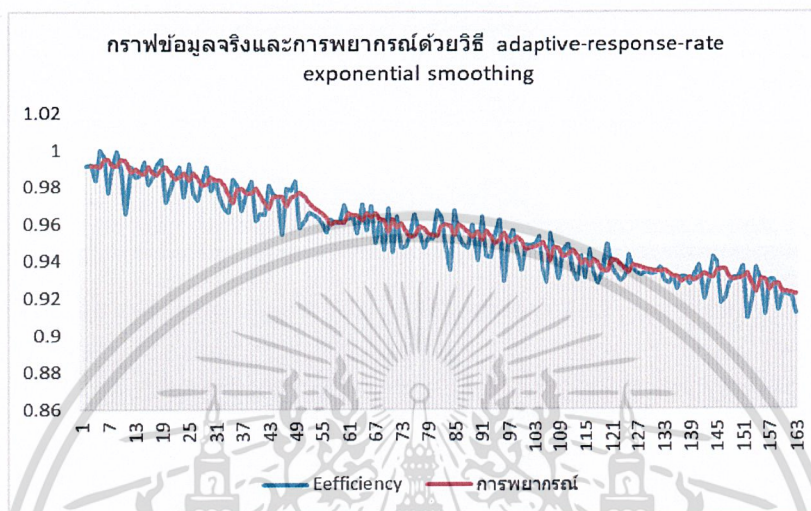
ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงค่า error รายตัวของประสิทธิภาพ
แบบเตอร์ 20 รอบแรก

รอบ	Efficiency	การพยากรณ์	absolute percentage error	square error	ค่าจริง-ค่าประมาณ
1	0.991546928				
2	0.992138487	0.99155			
3	0.98395006	0.99167	0.784102783	0.0000595	0.00771518
4	1	0.99012	0.987779616	0.0000976	0.009877796
5	0.996715289	0.99210	0.463274315	0.0000213	0.004617526
6	0.977038156	0.99302	1.635873907	0.0002555	0.015983112
7	0.991282283	0.98982	0.147045622	0.0000021	0.001457637
8	0.99976649	0.99012	0.965257073	0.0000931	0.009650317
9	0.990114731	0.99205	0.195078968	0.0000037	0.001931506
10	0.965736258	0.99166	2.684343397	0.0006720	0.025923677
11	0.991017638	0.98648	0.458360966	0.0000206	0.004542438
12	0.985569065	0.98738	0.184119272	0.0000033	0.001814623
13	0.986643212	0.98702	0.038266221	0.0000001	0.000377551
14	0.994053271	0.98695	0.715054047	0.0000505	0.007108018
15	0.981490418	0.98837	0.700611881	0.0000473	0.006876438
16	0.985382256	0.98699	0.163318629	0.0000026	0.001609313
17	0.992076218	0.98667	0.544969396	0.0000292	0.005406512
18	0.995314227	0.98775	0.759882478	0.0000572	0.007563218
19	0.971978766	0.98926	1.778319329	0.0002988	0.017284886
20	0.979528932	0.98581	0.640894088	0.0000394	0.006277743

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี adaptive-response-rate exponential smoothing

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์รี่ก่อนที่ 1 โดยใช้อนุกรมเวลารูปแบบ adaptive-response-rate exponential smoothing



ตารางที่ 4.16 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.8229276
mean square error (MSE)	0.0000955
MAD	0.007830465

จากตารางที่ 4.16 พบว่าวิธี adaptive-response-rate exponential smoothing โดยที่ค่า β ที่ 0.1 มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.8229%

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงค่าบีตาที่ใช้ในการการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่าบีตาอื่น

ค่าบีตา	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ค่า	0.822	0.851	0.908	0.918	0.915	0.915	0.926	0.943	0.955	1.024
MAPE	9	0	2	9	9	0	4	2	6	5

จากตารางด้านบนจะพบว่าค่าบีตาที่ 0.1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นจึงทำการแสดงตารางผลการคำนวณได้ดังนี้

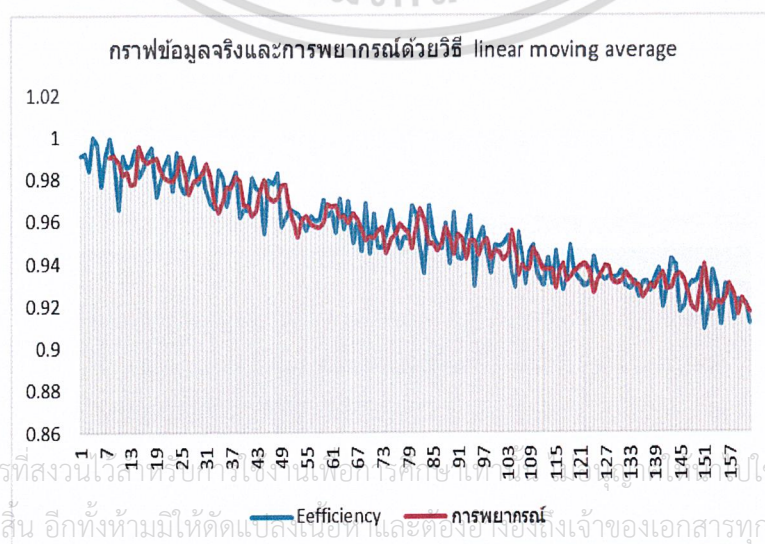
เอกสารกำหนดให้ $F_2 = X_1$, $E_1 = 0.000001$, $M_1 = 0.001$ และ $\beta = 0.1$ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และค่า error รายตัว

รอบ	Efficiency	การพยากรณ์	e_t	E_t	M_t	α_t	ค่าจริง-	absolute	square
							ค่าประมาณ	percentage error	error
1	0.9915469			0.0000010	0.001000				
2	0.9921385	0.991547	0.000591	0.0000601	0.000959	0.0010000			
3	0.9839501	0.991548	-0.00760	-0.0007057	0.001623	0.0626133	0.0075975	0.7721387	0.0000577
4	1.0000000	0.991072	0.008928	0.0002577	0.002354	0.4348131	0.0089282	0.8928182	0.0000797
5	0.9967153	0.994954	0.001761	0.0004081	0.002294	0.1094929	0.0017614	0.1767186	0.0000031
6	0.9770382	0.995147	-0.01811	-0.0014436	0.003876	0.1778591	0.0181086	1.8534190	0.0003279
7	0.9912823	0.991926	-0.00064	-0.0013636	0.003553	0.3724738	0.0006437	0.0649363	0.0000004
8	0.9997665	0.991686	0.008080	-0.0004192	0.004005	0.3838443	0.0080803	0.8082154	0.0000653
9	0.9901147	0.994788	-0.00467	-0.0008446	0.004072	0.1046682	0.0046731	0.4719712	0.0000218
10	0.9657363	0.994299	-0.02856	-0.0036164	0.006521	0.2074153	0.0285624	2.9575786	0.0008158
11	0.9910176	0.988374	0.002643	-0.0029904	0.006133	0.5545669	0.0026433	0.2667210	0.0000070
12	0.9855691	0.989840	-0.00427	-0.0031185	0.005947	0.4875704	0.0042712	0.4333721	0.0000182
13	0.9866432	0.987758	-0.00111	-0.0029181	0.005464	0.5243728	0.0011145	0.1129621	0.0000012
14	0.9940533	0.987173	0.006880	-0.0019383	0.005606	0.5340748	0.0068800	0.6921115	0.0000473
15	0.9814904	0.990848	-0.00936	-0.0026802	0.005981	0.3457875	0.0093573	0.9533774	0.0000876
16	0.9853823	0.987612	-0.00223	-0.0026352	0.005606	0.4481455	0.0022298	0.2262908	0.0000050
17	0.9920762	0.986613	0.005463	-0.0018253	0.005591	0.4700977	0.0054634	0.5507057	0.0000298
18	0.9953142	0.989181	0.006133	-0.0010295	0.005646	0.3264514	0.0061331	0.6161962	0.0000376
19	0.9719788	0.991183	-0.01921	-0.0028470	0.007001	0.1823506	0.0192045	1.9758177	0.0003688
20	0.9795289	0.987681	-0.00815	-0.0033775	0.007117	0.4066275	0.0081524	0.8322780	0.0000665

วิธี linear moving average

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 โดยใช้สูตรเวลารูปแบบ linear moving average



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.908568629
mean square error (MSE)	0.00011308
MAD	0.008654517

จากตารางที่ 4.19 พบว่าวิธี linear moving average มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.9086%

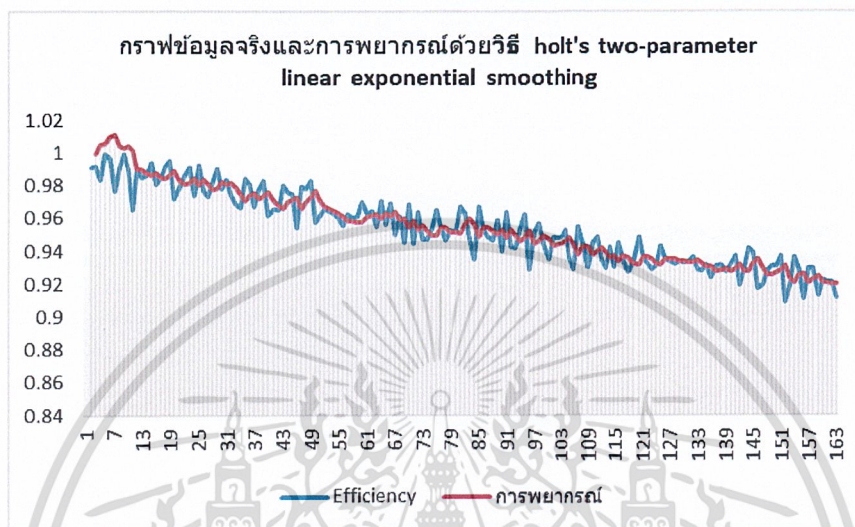
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และค่า error รายตัว

รอบ	Efficiency	4 MA (St')	4x4 MA (St'')	value of a(t)	value of b(t)	การพยากรณ์ F(t)	ค่าจริง-ค่าประมาณ	PE percentage error	square error
1	0.9915469								
2	0.9921385								
3	0.9839501								
4	1	0.9919089							
5	0.9967153	0.9932010							
6	0.9770382	0.9894259							
7	0.9912823	0.9912589	0.9914487	0.9910692	-0.0001265				
8	0.9997665	0.9912006	0.9912716	0.9911295	-0.0000474	0.9909427	0.0088238	0.882583059	0.000078
9	0.9901147	0.9895504	0.9903589	0.9887419	-0.0005390	0.9910822	0.0009674	0.097710589	0.000001
10	0.9657363	0.9867249	0.9896837	0.9837662	-0.0019725	0.9882029	0.0224666	2.326370968	0.000505
11	0.9910176	0.9866588	0.9885337	0.9847839	-0.0012499	0.9817937	0.0092240	0.930758493	0.000085
12	0.9855691	0.9831094	0.9865109	0.9797080	-0.0022676	0.9835340	0.0020351	0.206490605	0.000004
13	0.9866432	0.9822415	0.9846837	0.9797994	-0.0016281	0.9774403	0.0092029	0.932748497	0.000085
14	0.9940533	0.9893208	0.9853326	0.9933090	0.0026588	0.9781713	0.0158819	1.59769521	0.000252
15	0.9814904	0.9869390	0.9854027	0.9884753	0.0010242	0.9959677	0.0144773	1.475033605	0.000210
16	0.9853823	0.9868923	0.9863484	0.9874362	0.0003626	0.9894995	0.0041172	0.417831798	0.000017
17	0.9920762	0.9882505	0.9878507	0.9886504	0.0002666	0.9877988	0.0042775	0.431161954	0.000018
18	0.9953142	0.9885658	0.9876619	0.9894697	0.0006026	0.9889170	0.0063972	0.642732616	0.000041
19	0.9719788	0.9861879	0.9874741	0.9849016	-0.0008575	0.9900722	0.0180935	1.861509748	0.000327
20	0.9795289	0.9847245	0.9869322	0.9825169	-0.0014718	0.9840441	0.0045152	0.460954306	0.000020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี holt's two-parameter linear exponential smoothing

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 โดยใช้สูตรเวลารูปแบบ holt's two-parameter linear exponential smoothing



ตารางที่ 4.21 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.850855273
mean square error (MSE)	0.000103717
MAD	0.0081250

จากตารางที่ 4.21 พบว่าวิธี holt's two-parameter linear exponential smoothing โดยที่ $\gamma = 0.2$ $\alpha = 0.3$ มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.85086%

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงค่าแอลฟา , แกมมา ที่ใช้ในการการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่าแอลฟา , แกมมา ค่าอื่น

ค่าแอลฟา	GAMMA									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	1.24663	0.92773	0.87300	0.86897	0.88788	0.91461	0.94715	0.98595	1.03073	1.24663
0.2	1.01750	0.86265	0.85086	0.86975	0.90109	0.93806	0.98173	1.02873	1.07940	1.01750
0.3	0.93842	0.85454	0.85880	0.88716	0.92583	0.97175	1.02173	1.07398	1.13104	0.93842
0.4	0.90331	0.86017	0.86721	0.90290	0.95316	1.00555	1.06191	1.12250	1.18503	0.90331
0.5	0.88994	0.86559	0.87616	0.92463	0.98075	1.04000	1.10514	1.17472	1.24294	0.88994

ค่าแอลฟา	GAMMA									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.6	0.86559	0.86531	0.88980	0.94672	1.00911	1.07724	1.15306	1.22839	1.30376	0.86559
0.7	0.91595	0.86435	0.90699	0.96979	1.03957	1.11778	1.20487	1.28364	1.36884	0.91595
0.8	0.92612	0.86221	0.92514	0.99404	1.07399	1.15865	1.25835	1.34283	1.43766	0.92612
0.9	0.10000	0.87098	0.94235	1.01940	1.10959	1.20656	1.31168	1.40557	1.50486	0.10000
1	0.91430	0.88353	0.95837	1.04749	1.14864	1.25923	1.36428	1.47059	1.57614	0.91430

กำหนดให้ $S_1 = X_1$, $b_1 = (X_1 X_2)/2 + (X_4 X_3)/2$, $\gamma = 0.2$ และ $\alpha = 0.3$

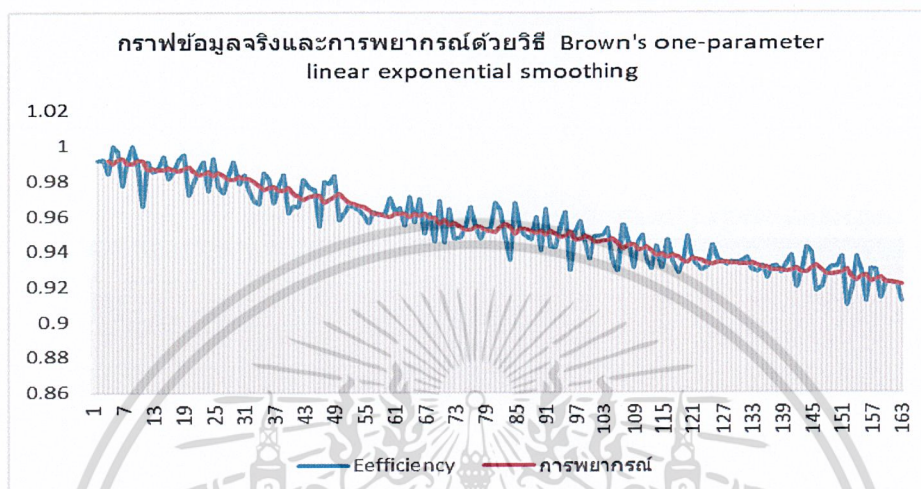
ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และค่า error รายตัว

รอบ	Efficiency	smoothing data S(t)	smoothing Trend b(t)	การพยากรณ์	ค่าจริง- ค่าประมาณ	absolute percentage error	square error
1	0.991546928	0.991546928	0.00832075				
2	0.992138487	0.99754892	0.007856998	0.999867678			
3	0.98395006	0.998969161	0.006569647	1.005405918	0.021455858	2.180584086	0.000460354
4	1	1.003877165	0.006237318	1.005538807	0.005538807	0.553880746	3.06784E-05
5	0.996715289	1.006094725	0.005433366	1.010114483	0.013399194	1.344335186	0.000179538
6	0.977038156	1.001181111	0.00336397	1.011528091	0.034489935	3.530050007	0.001189556
7	0.991282283	1.000566242	0.002568202	1.004545081	0.013262798	1.337943631	0.000175902
8	0.99976649	1.002124058	0.002366125	1.003134444	0.003367954	0.336874079	1.13431E-05
9	0.990114731	1.000177547	0.001503598	1.004490183	0.014375452	1.451897608	0.000206654
10	0.965736258	0.990897679	-0.000653095	1.001681146	0.035944888	3.722019054	0.001292035
11	0.991017638	0.9904765	-0.000606712	0.990244584	0.000773054	0.078006071	5.97612E-07
12	0.985569065	0.988579571	-0.000864755	0.989869788	0.004300723	0.436369551	1.84962E-05
13	0.986643212	0.987393335	-0.000929052	0.987714816	0.001071604	0.108611091	1.14834E-06
14	0.994053271	0.98874098	-0.000473712	0.986464283	0.007588988	0.763438745	5.75927E-05
15	0.981490418	0.986234212	-0.000880323	0.988267267	0.006776849	0.690465142	4.59257E-05
16	0.985382256	0.985362399	-0.000878621	0.985353889	2.83668E-05	0.002878764	8.04677E-10
17	0.992076218	0.98676151	-0.000423075	0.984483778	0.00759244	0.765308139	5.76451E-05
18	0.995314227	0.989031173	0.000115473	0.986338435	0.008975792	0.901804842	8.05648E-05
19	0.971978766	0.983996282	-0.0009146	0.989146645	0.017167879	1.766281315	0.000294736
20	0.979528932	0.982015857	-0.001127765	0.983081681	0.003552749	0.362699794	1.2622E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 โดยใช้สูตรเวลารูปแบบ Brown's one-parameter linear exponential smoothing



ตารางที่ 4.24 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.753017706
mean square error (MSE)	0.0000776
MAD	0.00718243

จากตารางที่ 4.24 พบว่าวิธี holt's two-parameter linear exponential smoothing โดยที่ $\alpha = 0.1$ มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.753%

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงค่าแอลฟา ที่ใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่าแอลฟาอื่น

ค่าแอลฟา	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ค่าMAPE	0.7530	0.8230	0.8940	0.9699	1.0567	1.1595	1.2711	1.3976	1.5452

กำหนดให้ $S'_1 = S_1'' = X_1$ และ $\alpha = 0.1$

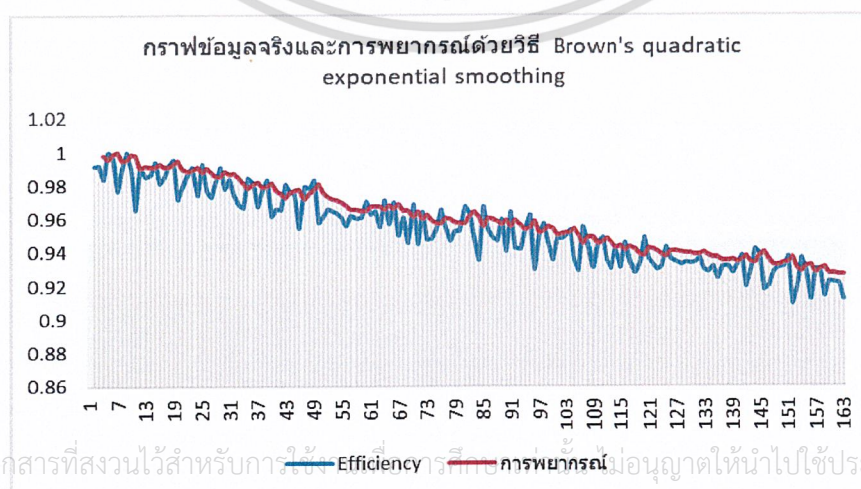
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และค่า error รายตัว

รอบ	Efficiency	single smooth	double smooth	value of a(t)	value of b(t)	การพยากรณ์	ค่าจริง-ค่าประมาณ	absolute percentage error	square error
1	0.991547	0.991547	0.991547						
2	0.992138	0.991606	0.991553	0.991659	0.000006				
3	0.983950	0.990840	0.991482	0.990199	-0.000071	0.991665	0.007715	0.784103	0.000060
4	1.000000	0.991756	0.991509	0.992004	0.000027	0.990128	0.009872	0.987188	0.000098
5	0.996715	0.992252	0.991583	0.992921	0.000074	0.992031	0.004684	0.469947	0.000022
6	0.977038	0.990731	0.991498	0.989964	-0.000085	0.992996	0.015957	1.633241	0.000255
7	0.991282	0.990786	0.991427	0.990145	-0.000071	0.989878	0.001404	0.141624	0.000002
8	0.999766	0.991684	0.991453	0.991916	0.000026	0.990074	0.009693	0.969483	0.000094
9	0.990115	0.991527	0.991460	0.991594	0.000007	0.991941	0.001826	0.184473	0.000003
10	0.965736	0.988948	0.991209	0.986687	-0.000251	0.991602	0.025865	2.678307	0.000669
11	0.991018	0.989155	0.991004	0.987307	-0.000205	0.986436	0.004582	0.462316	0.000021
12	0.985569	0.988796	0.990783	0.986810	-0.000221	0.987101	0.001532	0.155450	0.000002
13	0.986643	0.988581	0.990563	0.986600	-0.000220	0.986589	0.000054	0.005461	0.000000
14	0.994053	0.989128	0.990419	0.987837	-0.000143	0.986379	0.007674	0.771978	0.000059
15	0.981490	0.988365	0.990214	0.986515	-0.000205	0.987694	0.006204	0.632057	0.000039
16	0.985382	0.988066	0.989999	0.986134	-0.000215	0.986310	0.000928	0.094136	0.000001
17	0.992076	0.988467	0.989846	0.987089	-0.000153	0.985919	0.006157	0.620653	0.000038
18	0.995314	0.989152	0.989776	0.988528	-0.000069	0.986936	0.008379	0.841808	0.000070
19	0.971979	0.987435	0.989542	0.985327	-0.000234	0.988458	0.016479	1.695447	0.000272
20	0.979529	0.986644	0.989252	0.984036	-0.000290	0.985093	0.005564	0.568024	0.000031

วิธี Brown's quadratic exponential smoothing

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก่อนที่ 1 โดยใช้สูตรเวลารูปแบบ Brown's quadratic exponential smoothing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ — Efficiency การพยากรณ์ — ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 แสดงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์

ค่า error	
mean absolute percentage error (MAPE)	0.920856358
mean square error (MSE)	0.000121406
MAD	0.00874

จากตารางที่ 4.27 พบว่าวิธี Brown's quadratic exponential smoothing โดยที่ $\alpha = 0.1$ มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์คิดเป็น 0.9209%

ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงค่าแอลฟา ที่ใช้ในการพยากรณ์ รวมถึงค่า error ในกรณีที่ใช้ค่าแอลฟาค่าอื่น

ค่าแอลฟา	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ค่าMAPE	0.921	3.162	9.237	22.300	50.114	112.680	272.543	800.725	4052.951

กำหนดให้ $S_1 = S_1'' = S_1''' = X_1$ $\alpha = 0.1$

ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงข้อมูลจริงและผลการพยากรณ์ รวมถึงการคำนวณ และค่า error รายตัว

รอบ	Efficiency	single smooth	double smooth	triple smooth	value of a(t)	value of b(t)	value of c(t)	การพยากรณ์	ค่าจริง - ค่าประมาณ	PE percentage error	square error
1	0.99155	0.99155	0.99155	0.99155							
2	0.99214	0.99161	0.99155	0.99155	0.99171	0.00000	0.01224				
3	0.98395	0.99084	0.99148	0.99154	0.98962	-0.00018	0.01223	0.99784	0.01389	1.41200	0.00019
4	1.00000	0.99176	0.99151	0.99154	0.99228	0.00008	0.01224	0.99555	0.00445	0.44495	0.00002
5	0.99672	0.99225	0.99158	0.99154	0.99355	0.00020	0.01225	0.99848	0.00177	0.17739	0.00000
6	0.97704	0.99073	0.99150	0.99154	0.98924	-0.00023	0.01223	0.99987	0.02283	2.33681	0.00052
7	0.99128	0.99079	0.99143	0.99153	0.98960	-0.00018	0.01223	0.99513	0.00384	0.38772	0.00001
8	0.99977	0.99168	0.99145	0.99152	0.99221	0.00008	0.01224	0.99555	0.00422	0.42221	0.00002
9	0.99011	0.99153	0.99146	0.99151	0.99172	0.00003	0.01224	0.99842	0.00831	0.83882	0.00007
10	0.96574	0.98895	0.99121	0.99148	0.98470	-0.00063	0.01221	0.99787	0.03213	3.32706	0.00103
11	0.99102	0.98916	0.99100	0.99144	0.98589	-0.00048	0.01222	0.99017	0.00085	0.08530	0.00000
12	0.98557	0.98880	0.99078	0.99137	0.98541	-0.00049	0.01222	0.99152	0.00595	0.60401	0.00004
13	0.98664	0.98858	0.99056	0.99129	0.98535	-0.00046	0.01221	0.99103	0.00439	0.44479	0.00002
14	0.99405	0.98913	0.99042	0.99120	0.98733	-0.00023	0.01222	0.99100	0.00306	0.30764	0.00001
15	0.98149	0.98837	0.99021	0.99110	0.98556	-0.00038	0.01221	0.99321	0.01172	1.19371	0.00014
16	0.98538	0.98807	0.99000	0.99099	0.98520	-0.00039	0.01221	0.99128	0.00590	0.59852	0.00003
17	0.99208	0.98847	0.98985	0.99088	0.98674	-0.00021	0.01222	0.99091	0.00116	0.11717	0.00000
18	0.99531	0.98915	0.98978	0.99077	0.98890	0.00001	0.01222	0.99264	0.00267	0.26852	0.00001
19	0.97198	0.98744	0.98954	0.99065	0.98432	-0.00042	0.01220	0.99502	0.02304	2.37051	0.00053
20	0.97953	0.98664	0.98925	0.99051	0.98268	-0.00054	0.01220	0.99001	0.01048	1.06975	0.00011

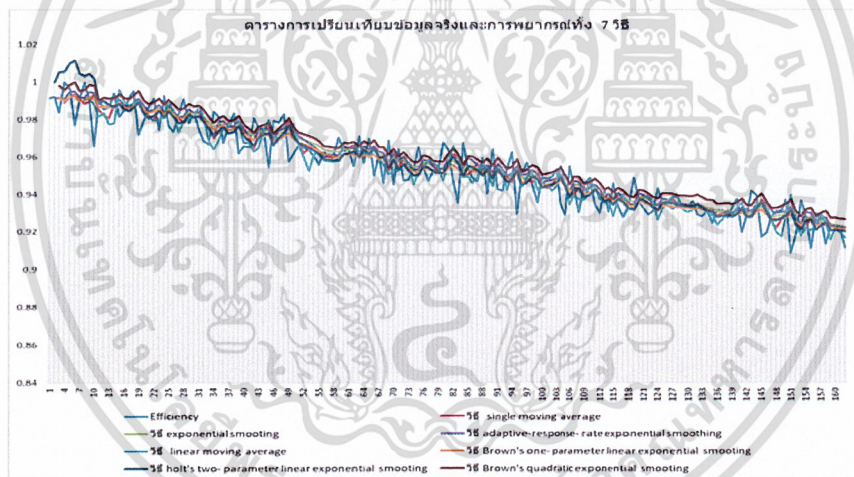
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องขอร้องให้แจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี

โดยมีสัญลักษณ์ดังนี้

1. SMA คือ Simple Moving Average
2. ES คือ exponential smoothing
3. AES คือ adaptive-response-rate exponential smoothing
4. LMA คือ holt's two-parameter linear exponential smoothing
5. 1-LES คือ Brown's one-parameter linear exponential smoothing
6. 2-LES คือ holt's two-parameter linear exponential smoothing
7. Q-ES คือ Brown's quadratic exponential smoothing

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ก้อนที่ 1



ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.8456	0.769	0.8229	0.9086	0.753	0.8509	0.9209
MSE	0.000101	8.17E-05	9.55E-05	0.000113	7.76E-05	0.000104	0.000121
MAD	0.008058	0.007321	0.007831	0.008655	0.007182	0.008125	0.00874

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ก้อนที่ 1 จะพบว่าวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการ

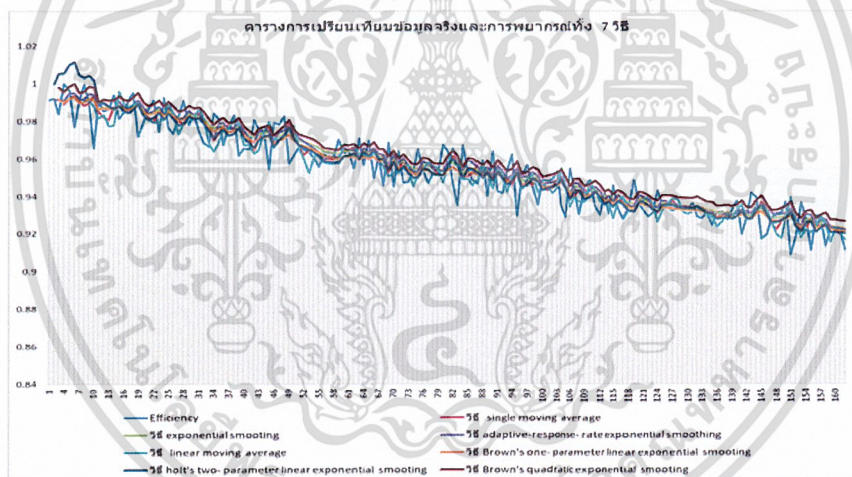
พยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.7530%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี
โดยมีสัญลักษณ์ดังนี้

1. SMA คือ Simple Moving Average
2. ES คือ exponential smoothing
3. AES คือ adaptive-response-rate exponential smoothing
4. LMA คือ holt's two-parameter linear exponential smoothing
5. 1-LES คือ Brown's one-parameter linear exponential smoothing
6. 2-LES คือ holt's two-parameter linear exponential smoothing
7. Q-ES คือ Brown's quadratic exponential smoothing

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ที่ 1



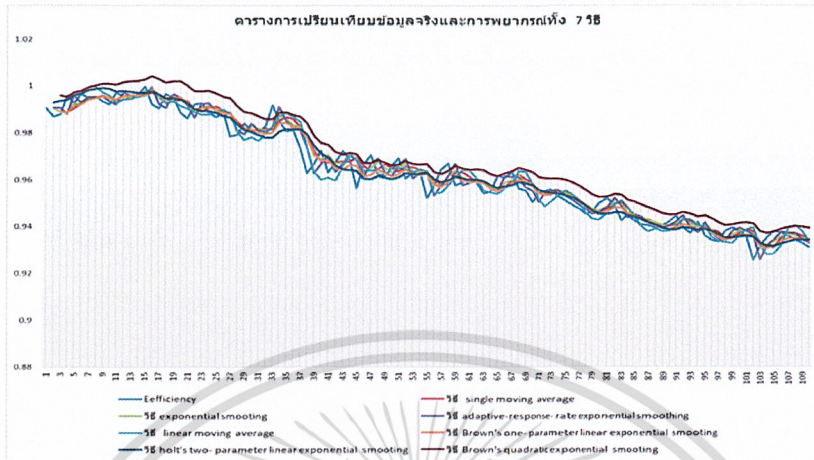
ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.8456	0.769	0.8229	0.9086	0.753	0.8509	0.9209
MSE	0.000101	8.17E-05	9.55E-05	0.000113	7.76E-05	0.000104	0.000121
MAD	0.008058	0.007321	0.007831	0.008655	0.007182	0.008125	0.00874

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ที่ 1 จะพบว่าวิธี
Brown's one-parameter linear exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการ

พยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.7530%

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงส่วนโงสสำหรับกรเชงนงนเพอกรศกษเทहनงน ไม่นองนยตให้นงไปใช้ประโยชน์ด้นกรค้
ไม่วกรณโงง หงส้ น อกทงห้หมให้ดตเปลงเนือหและดองอ้งงถึงเจ้ของเอกสรทกคร้งทงมีกรนงไปใช้

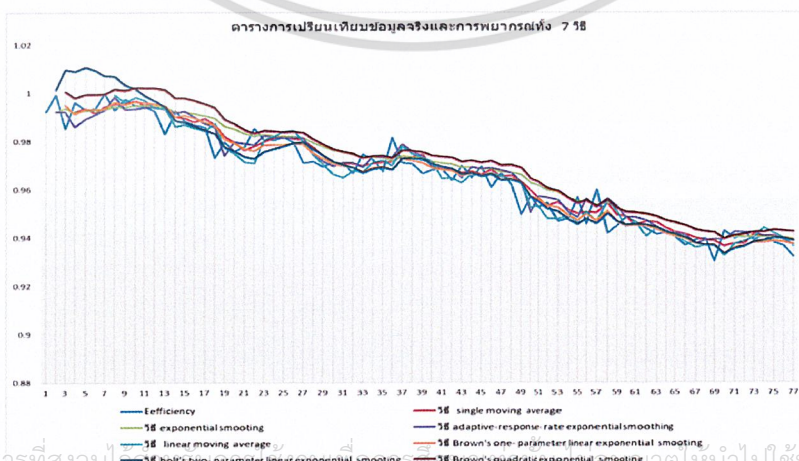
เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอรืทั้ง 7 วิธีของแบบเตอรืกัอนที่ 2



ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.3962	0.3691	0.3658	0.4072	0.3634	0.3765	0.6584
MSE	0.0000230	0.0000205	0.0000203	0.0000263	0.0000205	0.0000220	0.0000563
MAD	0.0038120	0.0035535	0.0037156	0.0043783	0.0035027	0.0036300	0.00634

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอรืกัอนที่ 2 จะพบว่าวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.3634%

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอรืทั้ง 7 วิธีของแบบเตอรืกัอนที่ 3

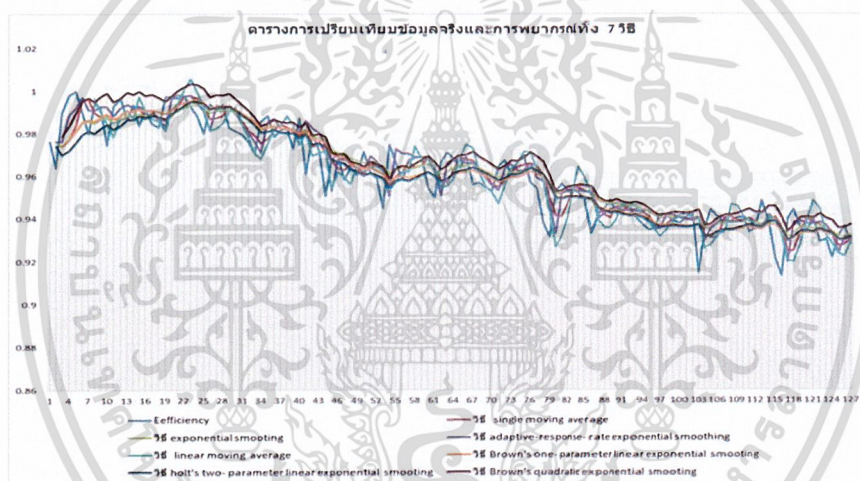


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งหนังสือที่ออกมามีลิขสิทธิ์และสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.3971	0.5147	0.4553	0.462	0.4347	0.5139	0.6897
MSE	0.000025	0.0000384	0.0000317	0.000034	0.0000296	0.000025	0.0000621
MAD	0.0038236	0.0049509	0.0043901	0.0044528	0.0041884	0.0049922	0.0066604

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ที่ 3 จะพบว่าวิธี Simple Moving Average เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.3971%

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ที่ 4

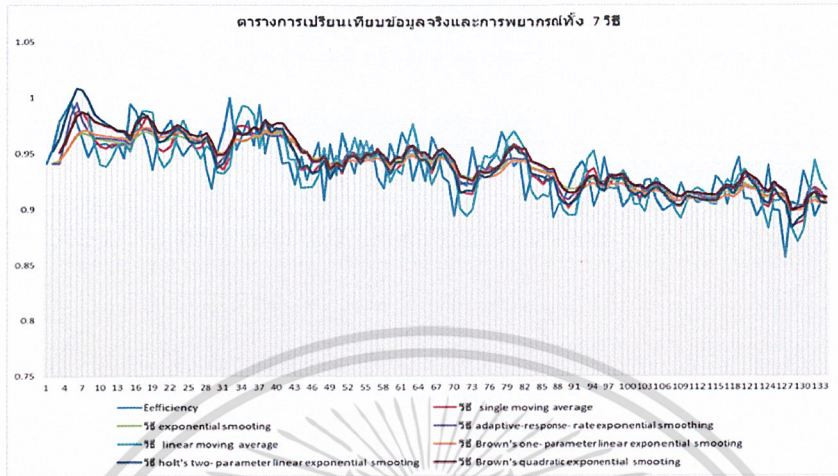


ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.7729	0.7159	0.7253	0.9016	0.7272	0.7477	0.8427
MSE	0.0000882	0.0000809	0.0000854	0.0000759	0.0000793	0.0000866	0.0001163
MAD	0.0074067	0.0068651	0.0069447	0.0086335	0.0069791	0.0071871	0.0080627

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ที่ 4 จะพบว่าวิธี exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.7159%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

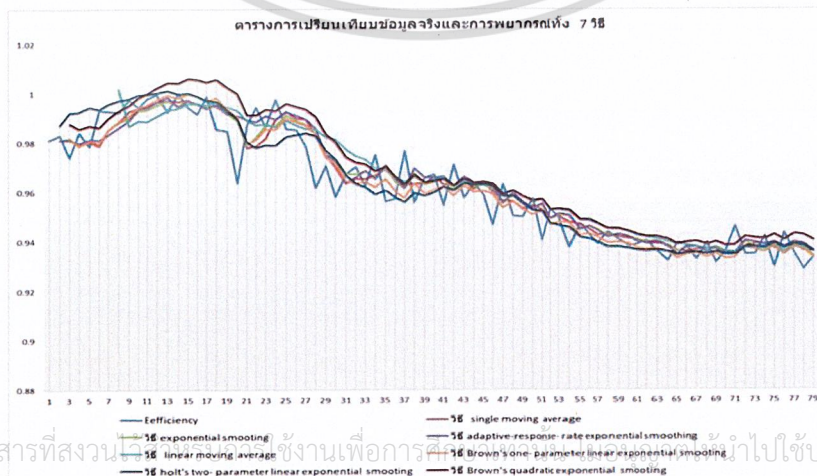
เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ก้อนที่ 5



ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	1.7794	1.6049	1.6554	2.3451	1.6414	1.7878	1.8201
MSE	0.000433	0.0003645	0.0003741	0.0006921	0.0003754	0.0004325	0.0004351
MAD	0.0166664	0.0150307	0.0154673	0.0219314	0.0153952	0.0167608	0.0170019

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ก้อนที่ 5 จะพบว่าวิธี exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 1.6049%

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ก้อนที่ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งงานเพื่อการศึกษานี้จัดทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.6133	0.6658	0.6826	0.7152	0.6525	0.6673	0.8070
MSE	0.0000567	0.0000642	0.0000679	0.0000795	0.0000644	0.0000717	0.0001019
MAD	0.0059112	0.0064111	0.0065674	0.0068733	0.0062924	0.0064355	0.0077624

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ที่ 6 จะพบว่าวิธี Simple Moving Average เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.6133%

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ที่ 7

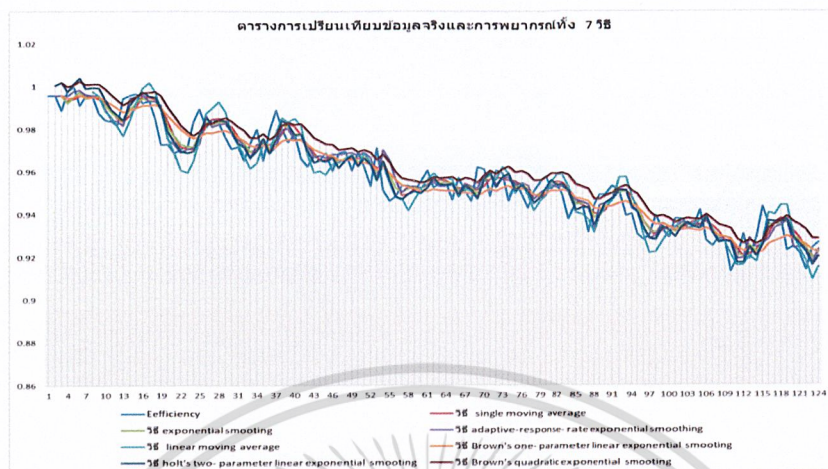


ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.7523	0.7003	0.7544	0.8843	0.7090	0.7095	0.9236
MSE	0.0000805	0.0000730	0.0000780	0.0001105	0.0000736	0.0000774	0.0001068
MAD	0.0072277	0.0067284	0.0072384	0.0084806	0.0068208	0.0068292	0.0088469

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ที่ 7 จะพบว่าวิธี exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.7003%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์ทั้ง 7 วิธีของแบบเตอร์ที่ 8



ค่าคลาดเคลื่อน	การพยากรณ์						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
MAPE	0.6259	0.6240	0.6167	0.7874	0.6532	0.6665	0.8256
MSE	0.0000524	0.0000524	0.0000568	0.0000787	0.0000561	0.0000591	0.0000948
MAD	0.0059802	0.0059600	0.0058873	0.0075296	0.0062455	0.0063752	0.0078727

จากตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ของแบบเตอร์ที่ 8 จะพบว่าวิธี adaptive-response-rate exponential smoothing เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ 0.6167%

จากการคำนวณการพยากรณ์ที่แสดงข้างต้นนำมาสรุปเพื่อเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน (MAPE) ของแบบเตอร์ทั้ง 8 ก้อน จะได้ตารางเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน (MAPE)

แบบเตอร์ ก้อนที่	Error						
	SMA	ES	AES	LMA	1-LES	2-LES	Q-ES
1	0.8456	0.769	0.8229	0.9086	0.753	0.8509	0.9209
2	0.3962	0.3691	0.3658	0.4072	0.3634	0.3765	0.6584
3	0.3971	0.5147	0.4553	0.462	0.4347	0.5139	0.6897
4	0.7729	0.7159	0.7253	0.9016	0.7272	0.7477	0.8427
5	1.7794	1.6049	1.6554	2.3451	1.6414	1.7878	1.8201
6	0.6133	0.6658	0.6826	0.7152	0.6525	0.6673	0.807
7	0.7523	0.7003	0.7544	0.8843	0.709	0.7095	0.9236
8	0.6259	0.624	0.6167	0.7874	0.6532	0.6665	0.8256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ซึ่งในการเปรียบเทียบเราจะทำการให้คะแนนเฉลี่ยโดยจะมีค่า ตั้งแต่ 1-7 โดยให้คะแนนแบบเตอร์แต่ละก่อนในแต่ละวิธี เช่นในแบบเตอร์ที่ 1 วิธี 1-LES ให้คะแนน 7 เนื่องจากมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยสุดและไล่ไปตามลำดับจนถึง Q-ES ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุด ให้คะแนนเป็น 1 และหลังจากนั้นจะทำการรวบรวมคะแนนจากแบบเตอร์ทั้ง 8 ก่อนในแต่ละวิธีเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบบเตอร์

จากผลการคำนวณการพยากรณ์แบบเตอร์ทั้ง 8 ก่อน พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดคือวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นในข้อมูลทั้ง 8 ชุดนี้ วิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing จึงมีความเหมาะสมที่สุด

สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่มีความเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของพลังงาน รวมถึงปัจจัยเกี่ยวเนื่องต่าง ๆ ภายในข้อมูลจากสมการ

$$\text{Efficiency} = \beta_0 - \beta_1 C$$

เมื่อ ปัจจัยเกี่ยวเนื่องคือรอบการชาร์จ

ในกรณีนี้จำศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของพลังงานนั้นมีความอิสระต่อกันหรือไม่ โดยจะทำการแยกการทดสอบแต่ละปัจจัยเกี่ยวเนื่องออกจากกัน มีสมมติฐานเพื่อการทดสอบ ในการพิสูจน์สมมติ จะใช้ t-statistic โดยมีสมการดังนี้

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_a: \beta_1 \neq 0$$

และทำการพิสูจน์ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ (predict) ค่า Efficiency ในอนาคตมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะใช้วิธีพิสูจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ระหว่างค่า Efficiency ที่เก็บข้อมูลมาได้กับค่าที่ได้จากการใส่ค่า C ใน Model ที่ได้มาซึ่งเรียกว่า residual นั้นเอง ซึ่งใช้ f-statistic ในการทดสอบความคลาดเคลื่อน

H_0 : Error จากการใส่ Modal นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่ไม่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่

H_a : Error จากการใส่ Modal นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หลังจากทำการทดสอบค่าสถิติ T , F ที่มีค่านัยสำคัญคือค่า Sig ถ้าหากมีนี้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดคือ $\alpha = 0.05$ จะแสดงว่า ตัวแปร C ไม่เป็นอิสระหรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับประสิทธิภาพของพลังงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในกรณีที่ค่า sig มีค่ามากกว่า 0.05 ให้ทำการยอมรับ H_0

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบบเตอร์กอนที่ 1 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.990723 - 0.000447 C$$

จากตาราง summary ของแบบเตอร์กอนที่ 1 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0205182 -0.0060755  0.0004601  0.0065179  0.0151562

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.907e-01  1.286e-03  770.64  <2e-16 ***
C            -4.468e-04  1.368e-05  -32.66  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.008144 on 160 degrees of freedom
R-squared:  0.8696,    Adjusted R-squared:  0.8687
F-statistic: 1067 on 1 and 160 DF, p-value: < 2.2e-16

> eqC
[1] "Y = 0.990723 - 0.000447 *C "
```

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.932504345
R Square	0.869564353
Adjusted R Square	0.868749131
Standard Error	0.008143598
Observations	162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	0.070738866	0.070739	1066.659	0.000	
Residual	160	0.010610911	6.63E-05			
Total	161	0.081349776				

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.990722856	0.00128559	770.6366	0.000	0.988183942	0.99326177
C	-0.000446843	1.36818E-05	-32.6597	0.000	-0.000473864	-0.0004198

ค่า $R^2 = 0.869564353$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 97

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -32.6597 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1066.659 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.999741 - 0.000646 C$$

จากตาราง summary ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-0.0142206 -0.0029593  0.0003906  0.0035334  0.0136191
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.997e-01  9.469e-04 1055.80 <2e-16 ***
C            -6.458e-04  1.481e-05  -43.61 <2e-16 ***
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าความผิดหากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.004932 on 108 degrees of freedom

R-squared: 0.9463, Adjusted R-squared: 0.9458

F-statistic: 1902 on 1 and 108 DF, p-value: < 2.2e-16

> eqC

[1] "Y = 0.999741 - 0.000646 * C "

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.972761
R Square	0.946263
Adjusted R Square	0.945766
Standard Error	0.004932
Observations	110

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.046256	0.046256	1901.791	0.000
Residual	108	0.002627	2.43E-05		
Total	109	0.048883			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.999741	0.000947	1055.804	0.000	0.997864	1.001618
รอบ	-0.00065	1.48E-05	-43.6095	0.000	-0.00068	-0.00062

ค่า $R^2 = 0.946263$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 95

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1901.791 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -43.6095 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบบเตอร์ก่อนที่ 3 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.99906 - 0.000841C$$

จากตาราง summary ของแบบเตอร์ก่อนที่ 3 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-0.0112122 -0.0036970  0.0004782  0.0032886  0.0126219
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.991e-01  1.182e-03  845.01  <2e-16 ***
C            -8.407e-04  2.634e-05  -31.92  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.005137 on 75 degrees of freedom
R-squared:  0.9314,    Adjusted R-squared:  0.9305
F-statistic: 1019 on 1 and 75 DF, p-value: < 2.2e-16

> eqC
[1] "Y = 0.99906 - 0.000841 * C "
```

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.965108
R Square	0.931434
Adjusted R Square	0.93052
Standard Error	0.005137
Observations	77

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.026885	0.026885	1018.839	0.000
Residual	75	0.001979	2.64E-05		
Total	76	0.028864			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.99906	0.001182	845.0116	0.000	0.996704	1.001415
รอบ	-0.00084	2.63E-05	-31.9193	0.000	-0.00089	-0.00079

ค่า $R^2 = 0.931434$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 93

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -31.9193 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1018.839 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบตเตอรี่ก้อนที่ 4 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.995829 - 0.000545 C$$

จากตาราง summary ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 4 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel

```
> summary(modelC)
```

```
Call:
```

```
lm(formula = y ~ C)
```

```
Residuals:
```

```
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-0.030941 -0.003720  0.001490  0.005509  0.014863
```

```
Coefficients:
```

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.958e-01  1.582e-03  629.42 <2e-16 ***
C            -5.454e-04  2.145e-05  -25.43 <2e-16 ***
```

```
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.008862 on 125 degrees of freedom
```

```
R-squared:  0.838, Adjusted R-squared:  0.8367
```

```
F-statistic: 646.5 on 1 and 125 DF, p-value: < 2.2e-16
```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นให้ไม่มีเหตุใดแต่สิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

> eqC

[1] "Y = 0.995829 - 0.000545 * C "

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.915407
R Square	0.83797
Adjusted R Square	0.836674
Standard Error	0.008862
Observations	127

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.050774	0.050774	646.4644	0.000
Residual	125	0.009818	7.85E-05		
Total	126	0.060592			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.995829	0.001582	629.4171	0.000	0.992698	0.99896
C	-0.00055	2.15E-05	-25.4257	0.000	-0.00059	-0.0005

ค่า $R^2 = 0.83797$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 84

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -25.4257 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 646.4644 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบตเตอรี่ก้อนที่ 5 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $Efficiency = 0.972786 - 0.000523C$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบสลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง summary ของแบบเตอร์ที่ 5 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q     Max
-0.050051 -0.010601 -0.001003  0.011884  0.043937
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 9.728e-01 3.077e-03 316.15 <2e-16 ***
C          -5.226e-04 3.955e-05 -13.21 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.01771 on 132 degrees of freedom
R-squared:  0.5694,    Adjusted R-squared:  0.5662
F-statistic: 174.6 on 1 and 132 DF, p-value: < 2.2e-16
```

```
> eqC
[1] "Y = 0.972786 - 0.000523 * C"
```

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics						
Multiple R		0.754605				
R Square		0.569429				
Adjusted R Square		0.566167				
Standard Error		0.01771				
Observations		134				

ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	0.054751	0.054751	174.5698	0.000	
Residual	132	0.0414	0.000314			
Total	133	0.09615				

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.972786	0.003077	316.1503	0.000	0.966699	0.978872
รอบ	-0.00052	3.96E-05	-13.2125	0.000	-0.0006	-0.00044

ค่า $R^2 = 0.569429$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพ

ของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -13.2125 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 174.5698 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบตเตอรี่ก่อนที่ 6 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.99839 - 0.000897 C$$

จากตาราง summary ของแบตเตอรี่ก่อนที่ 6 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel จะได้ว่า

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q     Max
-0.0216435 -0.0056504  0.0004449  0.0064783  0.0207459
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.984e-01  1.995e-03  500.6 <2e-16 ***
C            -8.968e-04  4.332e-05  -20.7 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.00878 on 77 degrees of freedom
R-squared:  0.8477,    Adjusted R-squared:  0.8457
F-statistic: 428.6 on 1 and 77 DF, p-value: < 2.2e-16
```

```
> eqC
[1] "Y = 0.99839 - 0.000897 *C "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.920714
R Square	0.847715
Adjusted R Square	0.845737
Standard Error	0.00878
Observations	79

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.033041	0.033041	428.63	0.000
Residual	77	0.005936	7.71E-05		
Total	78	0.038977			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.99839	0.001995	500.564	0.000	0.994418	1.002362
รอบ	-0.0009	4.33E-05	-20.7034	0.000	-0.00098	-0.00081

ค่า $R^2 = 0.847715$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 85

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -20.7034 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 428.63 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบตเตอรี่ก่อนที่ 7 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.994523 - 0.000619C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง summary ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 7 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel จะได้ว่า

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-0.0170866 -0.0062221  0.0001306  0.0058465  0.0193880
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 9.945e-01  1.617e-03  615.12  <2e-16 ***
C          -6.187e-04  2.484e-05  -24.91  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.008498 on 110 degrees of freedom
R-squared:  0.8494,    Adjusted R-squared:  0.8481
F-statistic: 620.6 on 1 and 110 DF, p-value: < 2.2e-16
```

```
> eqC
[1] "Y = 0.994523 - 0.000619 * C "
```

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.921647
R Square	0.849432
Adjusted R Square	0.848064
Standard Error	0.008498
Observations	112

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.044815	0.044815	620.569	0.000
Residual	110	0.007944	7.22E-05		
Total	111	0.052759			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.994523	0.001617	615.1221	0.000	0.991319	0.997727
รอบ	-0.00062	2.48E-05	-24.9112	0.000	-0.00067	-0.00057

ค่า $R^2 = 0.849432$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของเอกสารแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 85 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -24.9112 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ใน R ที่ได้มีค่าเท่ากับ 620.569 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ(significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลแบตเตอรี่ก่อนที่ 8 เมื่อพารามิเตอร์ของสมการประสิทธิภาพพลังงานกับตัวแปรอิสระ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\text{Efficiency} = 0.994259 - 0.000586 C$$

จากตาราง summary ของแบตเตอรี่ก่อนที่ 8 โดยการคำนวณจากโปรแกรม R และ Excel จะได้ว่า

```
> summary(modelC)
Call:
lm(formula = y ~ C)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q     Max
-0.0165053 -0.0055705  0.0003773  0.0057243  0.0168070
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.943e-01  1.295e-03  767.71  <2e-16 ***
C            -5.864e-04  1.798e-05  -32.61  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.007167 on 122 degrees of freedom
R-squared:  0.8971,    Adjusted R-squared:  0.8962
F-statistic: 1063 on 1 and 122 DF, p-value: < 2.2e-16

> eqC
[1] "Y = 0.994259 - 0.000586 * C "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.947144
R Square	0.897082
Adjusted R Square	0.896238
Standard Error	0.007167
Observations	124

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.054627	0.054627	1063.406	0.000
Residual	122	0.006267	5.14E-05		
Total	123	0.060894			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	0.994259	0.001295	767.7064	0.000	0.991695	0.996823
รอบ	-0.00059	1.8E-05	-32.6099	0.000	-0.00062	-0.00055

ค่า $R^2 = 0.8971$ หมายความว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ด้วยร้อยละ 90

ค่าสถิติ T ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า T summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ -32.6099 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า จำนวนรอบในการชาร์จแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ค่าสถิติ F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) จากตาราง พบว่าค่า F summary ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1063.406 และมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ก็คือค่า P value ใน R และค่า sig. ใน excel ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α คือ 0.05 จึงทำการปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า Error จากการใช้ Model นี้ Predict ค่า Efficiency เป็น Error ที่สามารถอธิบายได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็คือ C นั้นมีผลต่อการพยากรณ์ Efficiency มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า regression model ที่ได้มานั้นเหมาะสมที่จะนำไปพยากรณ์ ค่า Efficiency

จากการพยากรณ์ข้างต้นนี้เป็นการพยากรณ์โดยใช้วิธี linear regression ซึ่งจะพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานจากรอบของการชาร์จ แสดงค่าความคลาดเคลื่อนดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน

แบตเตอรี่ก้อนที่	MAPE	MSE	MAD
1	0.714742124	0.000066	0.018267357
2	0.395542763	0.000024	0.003821998
3	0.428372359	0.000026	0.00413184
4	0.695743253	0.000079	0.006681669
5	1.490768752	0.000314	0.013989701
6	0.727770687	0.000077	0.007041329
7	0.694767982	0.000072	0.006680502
8	0.62416325	0.000051	0.005974445

เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

จากการทำการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่าวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับการใช้พยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ คือการใช้การพยากรณ์รูปแบบอนุกรมเวลาโดยเลือกใช้วิธีการ Brown's one-parameter linear exponential smoothing ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ดีสำหรับแบตเตอรี่ทุกก้อน จึงสรุปได้ว่าวิธีการนี้เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่

โดยในส่วนต่อมาจะทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานของแบตเตอรี่ ในรอบการชาร์จถัดไปของแบตเตอรี่ โดยใช้โปรแกรม R เพื่อเป็นตัวช่วยในการพยากรณ์ ซึ่งจำทำการพยากรณ์โดยใช้วิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing และมีการเสริมวิธี exponential smoothing เพื่อเป็นพื้นฐานให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นในการเขียน R code อีกทั้งยังเป็นส่วนเปรียบเทียบอีกรอบเพื่อพิสูจน์ว่าทั้งสองวิธีนี้ที่มีความเหมาะสมกว่ากันมาน้อยเพียงใด

หลังจากทำการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาด้วยวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing แล้วนั้นพบว่าประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ ในรอบการชาร์จถัดไปของแบตเตอรี่

มีค่าเป็น 0.918726474 ในการชาร์จรอบที่ 163 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 1

มีค่าเป็น 0.932392804 ในการชาร์จรอบที่ 111 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 2

มีค่าเป็น 0.934764422 ในการชาร์จรอบที่ 78 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 3

มีค่าเป็น 0.929767552 ในการชาร์จรอบที่ 128 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 4

มีค่าเป็น 0.903947762 ในการชาร์จรอบที่ 135 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 5

เอกสารนี้เป็นมีค่าเป็น 0.933150265 ในการชาร์จรอบที่ 80 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 6 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าเป็น 0.929517712 ในการชาร์จรอบที่ 113 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 7

มีค่าเป็น 0.922811845 ในการชาร์จรอบที่ 125 สำหรับแบตเตอรี่ก้อนที่ 8

ซึ่งจะสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อนแม้มีการชาร์จต่อในรอบถัดไปก็ยังคงจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากเนื่องจากประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 หรือ 90%

หากผู้ใช้งานแบตเตอรี่มีการใช้งานรวมถึงการชาร์จแบตเตอรี่ในรูปแบบลักษณะเดิม ซึ่งจะกำหนดให้ค่าพยากรณ์ที่ได้เท่ากับค่าจริง $X_{t+1} = F_{t+1}$ โดยที่ t เป็นรอบในการชาร์จในรอบต่อ ๆ มา และทำการพยากรณ์ค่าต่อหรืออาจใช้การคำนวณตามสูตร จาก

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

ซึ่งในวิจัยเล่มนี้มีการคำนวณค่าล่าสุดไว้แล้ว ดังนั้นจึงได้สมการเพื่อทำนายการชาร์จในรอบที่ต้องการของแบตเตอรี่แต่ละก้อนดังนี้

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 1

$$a_t = 0.919220054$$

$$b_t = -0.00049358$$

$$\text{Efficiency}_{162+m} = 0.919220054 - 0.00049358m$$

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 2

$$a_t = 0.932755533$$

$$b_t = -0.00036273$$

$$\text{Efficiency}_{110+m} = 0.932755533 - 0.00036273m$$

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 3

$$a_t = 0.935378616$$

$$b_t = -0.000614195$$

$$\text{Efficiency}_{77+m} = 0.935378616 - 0.000614195m$$

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 4

$$a_t = 0.930143605$$

$$b_t = -0.000376054$$

$$\text{Efficiency}_{127+m} = 0.930143605 - 0.000376054m$$

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 5

$$a_t = 0.904380226$$

$$b_t = -0.000432464$$

$$\text{Efficiency}_{134+m} = 0.904380226 - 0.000432464m$$

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 6

$$a_t = 0.933587655$$

$$b_t = -0.00043739$$

$$\text{Efficiency}_{79+m} = 0.933587655 - 0.00043739m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 7

$$a_t = 0.929995698$$

$$b_t = -0.000477986$$

$$\text{Efficiency}_{112+m} = 0.929995698 - 0.000477986m$$

สมการในการพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 8

$$a_t = 0.923320734$$

$$b_t = -0.00050889$$

$$\text{Efficiency}_{124+m} = 0.923320734 - 0.00050889m$$

โดยที่ m เป็นรอบที่ต้องการพยากรณ์เพิ่ม

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในรอบ 300

จะได้ว่า m มีค่าเท่ากับ $300 - 162 = 138$ หลังจากนั้นให้แทนค่า m ลงไปแล้วจะได้ค่าพยากรณ์ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ในรอบที่ 300

ในลำดับต่อมาจะทำพยากรณ์ด้วยวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing ต่อจนถึง 500 รอบ เพื่อที่จะระบุว่าแบตเตอรี่จะมีประสิทธิภาพลดลงจนต่ำกว่า 90% และ 80% ในรอบการชาร์จที่เท่าไรและรวมถึงหากทำการชาร์จครบ 500 รอบ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่กี่เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการศึกษาดังนี้

แบตเตอรี่ก้อนที่ 1

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1$, $m = 1$, $\alpha = 0.1$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 162 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha) S'_1 = 0.1(0.992138487) + (1 - 0.1)0.991546928 = 0.991606084$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha) S''_1 = 0.1(0.991606084) + (1 - 0.1)0.991546928 = 0.991552844$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.991606084) - 0.991552844 = 0.991659324$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.991606084 - 0.991552844)}{1 - 0.1} = 0.000005916$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.991659324 + 0.000005916(1) = 0.991665240$$

เอกสาร $S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha) S'_2 = 0.1(0.98395006) + (1 - 0.1)0.991606084 = 0.990840482$ ด้านการคำนวณ

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha) S''_2 = 0.1(0.990840482) + (1 - 0.1)0.991552844 = 0.991481607$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบส่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3 = 2(0.990840482) - 0.991481607 = 0.990199356$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.990840482 - 0.991481607)}{1 - 0.1} = -0.000071236$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.990199356 - 0.000071236(1) = 0.990128119$$

$$S'_4 = \alpha X_4 + (1 - \alpha)S'_3 = 0.1(1) + (1 - 0.1)0.990840482 = 0.991756433$$

$$S''_4 = \alpha S'_4 + (1 - \alpha)S''_3 = 0.1(0.991756433) + (1 - 0.1)0.991481607 = 0.99150909$$

$$a_4 = 2S'_4 - S''_4 = 2(0.991756433) - 0.99150909 = 0.992003777$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S'_4 - S''_4)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.991756433 - 0.99150909)}{1 - 0.1} = 0.000027483$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.992003777 + 0.000027483(1) = 0.992031259$$

$$S'_5 = \alpha X_5 + (1 - \alpha)S'_4 = 0.1(0.996715289) + (1 - 0.1)0.991756433 = 0.992252319$$

$$S''_5 = \alpha S'_5 + (1 - \alpha)S''_4 = 0.1(0.992252319) + (1 - 0.1)0.99150909 = 0.991583413$$

$$a_5 = 2S'_5 - S''_5 = 2(0.992252319) - 0.991583413 = 0.992921225$$

$$b_5 = \frac{\alpha(S'_5 - S''_5)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.992252319 - 0.991583413)}{1 - 0.1} = 0.000074323$$

$$F_6 = F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.992921225 + 0.000074323(1) = 0.992995548$$

$$S'_6 = \alpha X_6 + (1 - \alpha)S'_5 = 0.1(0.977038156) + (1 - 0.1)0.992252319 = 0.990730903$$

$$S''_6 = \alpha S'_6 + (1 - \alpha)S''_5 = 0.1(0.990730903) + (1 - 0.1)0.991583413 = 0.991498162$$

$$a_6 = 2S'_6 - S''_6 = 2(0.990730903) - 0.991498162 = 0.989963643$$

$$b_6 = \frac{\alpha(S'_6 - S''_6)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.990730903 - 0.991498162)}{1 - 0.1} = -0.000085251$$

$$F_7 = F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.989963643 - 0.000085251(1) = 0.989878392$$

$$S'_{161} = \alpha X_{161} + (1 - \alpha)S'_{160} = 0.1(0.921384872) + (1 - 0.1)0.925391895 = 0.924991193$$

$$S''_{161} = \alpha S'_{161} + (1 - \alpha)S''_{160} = 0.1(0.924991193) + (1 - 0.1)0.928998832 = 0.928598068$$

$$a_{161} = 2S'_{161} - S''_{161} = 2(0.924991193) - 0.928598068 = 0.921384317$$

$$b_{161} = \frac{\alpha(S'_{161} - S''_{161})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.924991193 - 0.928598068)}{1 - 0.1} = -0.000400764$$

$$F_{162} = F_{161+1} = a_{161} + b_{161}(1) = 0.921384317 - 0.000400764(1) = 0.920983553$$

$$S'_{162} = \alpha X_{162} + (1 - \alpha)S'_{161} = 0.1(0.911701979) + (1 - 0.1)0.924991193 = 0.923662271$$

$$S''_{162} = \alpha S'_{162} + (1 - \alpha)S''_{161} = 0.1(0.923662271) + (1 - 0.1)0.928598068 = 0.928104488$$

$$a_{162} = 2S'_{162} - S''_{162} = 2(0.923662271) - 0.928104488 = 0.919220054$$

$$b_{162} = \frac{\alpha(S'_{162} - S''_{162})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.923662271 - 0.928104488)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{163} = F_{162+1} = a_{162} + b_{162}(1) = 0.919220054 - 0.00049358(1) = 0.918726474$$

⋮
⋮

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 164 ซึ่งจะทำให้ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 163 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{163} = F_{163} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{163} = \alpha X_{163} + (1 - \alpha)S'_{162} = 0.1(0.918726474) + (1 - 0.1)0.923662271 = 0.923168692$$

$$S''_{163} = \alpha S'_{163} + (1 - \alpha)S''_{162} = 0.1(0.923168692) + (1 - 0.1)0.928104488 = 0.927610909$$

$$a_{163} = 2S'_{163} - S''_{163} = 2(0.923168692) - 0.927610909 = 0.918726474$$

$$b_{163} = \frac{\alpha(S'_{163} - S''_{163})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.923168692 - 0.927610909)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{164} = F_{163+1} = a_{163} + b_{163}(1) = 0.918726474 - 0.00049358(1) = 0.918232895$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 164

$$F_{164} = F_{162+m} \\ m = 164 - 162 = 2$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{164} = \text{Efficiency}_{162+m} \\ \text{Efficiency}_{162+2} = 0.919220054 - 0.00049358(2)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 164

$$\text{Efficiency}_{164} = 0.918232895$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 165 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 164 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{164} = F_{164} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{164} = \alpha X_{164} + (1 - \alpha)S'_{163} = 0.1(0.918232895) + (1 - 0.1)0.923168692 = 0.922675112$$

$$S''_{164} = \alpha S'_{164} + (1 - \alpha)S''_{163} = 0.1(0.922675112) + (1 - 0.1)0.927610909 = 0.927117329$$

$$a_{164} = 2S'_{164} - S''_{164} = 2(0.922675112) - 0.927117329 = 0.918232895$$

$$b_{164} = \frac{\alpha(S'_{164} - S''_{164})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.922675112 - 0.927117329)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{165} = F_{164+1} = a_{164} + b_{164}(1) = 0.918232895 - 0.00049358(1) = 0.917739315$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 165

$$\begin{aligned} F_{165} &= F_{162+m} \\ m &= 165 - 162 = 3 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{165} &= \text{Efficiency}_{162+m} \\ \text{Efficiency}_{162+3} &= 0.919220054 - 0.00049358(3) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 165

$$\text{Efficiency}_{165} = 0.917739315$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 200 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 199 โดยที่พยากรณ์ค่าทีละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{199} = F_{199}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{199} = \alpha X_{199} + (1 - \alpha)S'_{198} = 0.1(0.900957606) + (1 - 0.1)0.905893403 = 0.905399823$$

$$S''_{199} = \alpha S'_{199} + (1 - \alpha)S''_{198} = 0.1(0.905399823) + (1 - 0.1)0.91033562 = 0.90984204$$

$$a_{199} = 2S'_{199} - S''_{199} = 2(0.905399823) - 0.90984204 = 0.900957606$$

$$b_{199} = \frac{\alpha(S'_{199} - S''_{199})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.905399823 - 0.90984204)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{200} = F_{199+1} = a_{199} + b_{199}(1) = 0.900957606 - 0.00049358(1) = 0.900464026$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 200

$$\begin{aligned} F_{200} &= F_{162+m} \\ m &= 200 - 162 = 38 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{200} &= \text{Efficiency}_{162+m} \\ \text{Efficiency}_{162+38} &= 0.919220054 - 0.00049358(38) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 200

$$\text{Efficiency}_{200} = 0.900464026$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 201 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 200 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{200} = F_{200} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{200} = \alpha X_{200} + (1 - \alpha) S'_{199} = 0.1(0.900464026) + (1 - 0.1)0.905399823 = 0.904906243$$

$$S''_{200} = \alpha S'_{200} + (1 - \alpha) S''_{199} = 0.1(0.904906243) + (1 - 0.1)0.90984204 = 0.909348461$$

$$a_{200} = 2S'_{200} - S''_{200} = 2(0.904906243) - 0.909348461 = 0.900464026$$

$$b_{200} = \frac{\alpha(S'_{200} - S''_{200})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.904906243 - 0.909348461)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{201} = F_{200+1} = a_{200} + b_{200}(1) = 0.900464026 - 0.00049358(1) = 0.899970447$$

ในส่วนต่อมาจะเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 201

$$F_{201} = F_{162+m} \\ m = 201 - 162 = 39$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{201} = \text{Efficiency}_{162+m}$$

$$\text{Efficiency}_{162+39} = 0.919220054 - 0.00049358(39)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 201

$$\text{Efficiency}_{201} = 0.899970447$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 403 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 402 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{402} = F_{402} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{402} = \alpha X_{402} + (1 - \alpha) S'_{401} = 0.1(0.800760931) + (1 - 0.1)0.805696728 = 0.805203148$$

$$S''_{402} = \alpha S'_{402} + (1 - \alpha) S''_{401} = 0.1(0.805203148) + (1 - 0.1)0.810138945 = 0.809645365$$

$$a_{402} = 2S'_{402} - S''_{402} = 2(0.805203148) - 0.809645365 = 0.800760931$$

$$b_{402} = \frac{\alpha(S'_{402} - S''_{402})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.805203148 - 0.809645365)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{403} = F_{402+1} = a_{402} + b_{402}(1) = 0.800760931 - 0.00049358(1) = 0.800267351$$

ในส่วนต่อมาจะเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 403

$$\begin{aligned} F_{403} &= F_{162+m} \\ m &= 403 - 162 = 241 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{403} &= \text{Efficiency}_{162+m} \\ \text{Efficiency}_{162+241} &= 0.919220054 - 0.00049358(241) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 403

$$\text{Efficiency}_{403} = 0.800267351$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 404 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 403 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{403} = F_{403}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{403} = \alpha X_{403} + (1 - \alpha)S'_{402} = 0.1(0.800267351) + (1 - 0.1)0.805203148 = 0.804709568$$

$$S''_{403} = \alpha S'_{403} + (1 - \alpha)S''_{402} = 0.1(0.804709568) + (1 - 0.1)0.809645365 = 0.809151785$$

$$a_{403} = 2S'_{403} - S''_{402} = 2(0.804709568) - 0.809151785 = 0.800267351$$

$$b_{403} = \frac{\alpha(S'_{403} - S''_{403})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.804709568 - 0.809151785)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{404} = F_{403+1} = a_{403} + b_{403}(1) = 0.800267351 - 0.00049358(1) = 0.799773771$$

ในส่วนต่อมาจะเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 404

$$\begin{aligned} F_{404} &= F_{162+m} \\ m &= 404 - 162 = 242 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{404} &= \text{Efficiency}_{162+m} \\ \text{Efficiency}_{162+242} &= 0.919220054 - 0.00049358(242) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 404

$$\text{Efficiency}_{404} = 0.799773771$$

⋮

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{499} = F_{499} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha) S'_{498} = 0.1(0.752883702) + (1 - 0.1)0.757819499 = 0.757325919$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha) S''_{498} = 0.1(0.757325919) + (1 - 0.1)0.762261716 = 0.761768136$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.757325919) - 0.761768136 = 0.752883702$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.757325919 - 0.761768136)}{1 - 0.1} = -0.00049358$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.752883702 - 0.00049358(1) = 0.752390122$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 162 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{162}, b_{162} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.919220054 - 0.00049358(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 500

$$F_{500} = F_{162+m}$$

$$m = 500 - 162 = 338$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{500} = \text{Efficiency}_{162+m}$$

$$\text{Efficiency}_{162+338} = 0.919220054 - 0.00049358(338)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.752390122$$

แบบเตอร์ก่อนที่ 2

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1 \quad m = 1 \quad \alpha = 0.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 110 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha)S'_1 = 0.2(0.987089551) + (1 - 0.2)0.990802733 = 0.990060096$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha)S''_1 = 0.2(0.990060096) + (1 - 0.2)0.990802733 = 0.990654206$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.990060096) - 0.990654206 = 0.989465987$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.990060096 - 0.990654206)}{1 - 0.2} = -0.000148527$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.989465987 - 0.000148527(1) = 0.98931746$$

$$S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 = 0.2(0.988060691) + (1 - 0.2)0.990060096 = 0.989660215$$

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha)S''_2 = 0.2(0.989660215) + (1 - 0.2)0.990654206 = 0.990455408$$

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3 = 2(0.989660215) - 0.990455408 = 0.988865023$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.989660215 - 0.990455408)}{1 - 0.2} = -0.000198798$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.988865023 - 0.000198798(1) = 0.988666225$$

$$S'_4 = \alpha X_4 + (1 - \alpha)S'_3 = 0.2(0.996149716) + (1 - 0.2)0.989660215 = 0.990958115$$

$$S''_4 = \alpha S'_4 + (1 - \alpha)S''_3 = 0.2(0.990958115) + (1 - 0.2)0.990455408 = 0.990555949$$

$$a_4 = 2S'_4 - S''_4 = 2(0.990958115) - 0.990555949 = 0.991360282$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S'_4 - S''_4)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.990958115 - 0.990555949)}{1 - 0.2} = 0.000100542$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.992003777 + 0.000027483(1) = 0.991460823$$

$$S'_5 = \alpha X_5 + (1 - \alpha)S'_4 = 0.2(0.992710737) + (1 - 0.2)0.990958115 = 0.99130864$$

$$S''_5 = \alpha S'_5 + (1 - \alpha)S''_4 = 0.2(0.99130864) + (1 - 0.2)0.990555949 = 0.990706487$$

$$a_5 = 2S'_5 - S''_5 = 2(0.99130864) - 0.990706487 = 0.991910792$$

$$b_5 = \frac{\alpha(S'_5 - S''_5)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.99130864 - 0.990706487)}{1 - 0.2} = 0.000150538$$

$$F_6 = F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.991910792 + 0.000150538(1) = 0.99206133$$

$$S'_6 = \alpha X_6 + (1 - \alpha)S'_5 = 0.2(0.996709549) + (1 - 0.2)0.99130864 = 0.992388822$$

$$S''_6 = \alpha S'_6 + (1 - \alpha)S''_5 = 0.2(0.992388822) + (1 - 0.2)0.990706487 = 0.991042954$$

$$a_6 = 2S'_6 - S''_6 = 2(0.992388822) - 0.991042954 = 0.993734689$$

$$b_6 = \frac{\alpha(S'_6 - S''_6)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.992388822 - 0.991042954)}{1 - 0.2} = 0.000336467$$

$$F_7 = F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.993734689 + 0.000336467(1) = 0.994071156$$

⋮

$$S'_{109} = \alpha X_{109} + (1 - \alpha)S'_{108} = 0.2(0.932979915) + (1 - 0.2)0.935481919 = 0.934981518$$

$$S''_{109} = \alpha S'_{109} + (1 - \alpha)S''_{108} = 0.2(0.934981518) + (1 - 0.2)0.936279745 = 0.9360201$$

$$a_{109} = 2S'_{109} - S''_{109} = 2(0.934981518) - 0.9360201 = 0.933942937$$

$$b_{109} = \frac{\alpha(S'_{109} - S''_{109})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.934981518 - 0.9360201)}{1 - 0.2} = -0.000259645$$

$$F_{110} = F_{109+1} = a_{109} + b_{109}(1) = 0.933942937 - 0.000259645(1) = 0.933683291$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S''_{110} = \alpha S'_{110} + (1 - \alpha)S''_{109} = 0.2(0.934206452) + (1 - 0.2)0.9360201 = 0.93565737$$

$$a_{110} = 2S'_{110} - S''_{110} = 2(0.934206452) - 0.93565737 = 0.932755533$$

$$b_{110} = \frac{\alpha(S'_{110} - S''_{110})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.934206452 - 0.93565737)}{1 - 0.2} = -0.00036273$$

$$F_{111} = F_{110+1} = a_{110} + b_{110}(1) = 0.932755533 - 0.00036273(1) = 0.932392804$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 112 ซึ่งจะทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 111 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{111} = F_{111} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{111} = \alpha X_{111} + (1 - \alpha)S'_{110} = 0.2(0.932392804) + (1 - 0.2)0.934206452 = 0.933843722$$

$$S''_{111} = \alpha S'_{111} + (1 - \alpha)S''_{110} = 0.2(0.933843722) + (1 - 0.2)0.93565737 = 0.935294641$$

$$a_{111} = 2S'_{111} - S''_{111} = 2(0.933843722) - 0.935294641 = 0.932392804$$

$$b_{111} = \frac{\alpha(S'_{111} - S''_{111})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.933843722 - 0.935294641)}{1 - 0.2} = -0.00036273$$

$$F_{112} = F_{111+1} = a_{111} + b_{111}(1) = 0.932392804 - 0.00036273(1) = 0.932030074$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 110 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{110}, b_{110} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.932755533 - 0.00036273(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 112

$$F_{112} = F_{110+m}$$

$$m = 112 - 110 = 2$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{112} = \text{Efficiency}_{110+m}$$

$$\text{Efficiency}_{110+2} = 0.932755533 - 0.00036273(2)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 112

$$\text{Efficiency}_{112} = 0.932030074$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 201 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 200 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{200} = F_{200} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{200} = \alpha X_{200} + (1 - \alpha)S'_{199} = 0.2(0.900109867) + (1 - 0.2)0.901923515 = 0.901560786$$

$$S''_{200} = \alpha S'_{200} + (1 - \alpha)S''_{199} = 0.2(0.901560786) + (1 - 0.2)0.903374434 =$$

$$0.903011704$$

$$a_{200} = 2S'_{200} - S''_{200} = 2(0.901560786) - 0.903011704 = 0.900109867$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุตบแต่งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_{200} = \frac{\alpha(S'_{200} - S''_{200})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.901560786 - 0.903011704)}{1 - 0.2} = -0.00036273$$

$$F_{201} = F_{200+1} = a_{200} + b_{200}(1) = 0.900109867 - 0.00036273(1) = 0.899747138$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 110 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{110} , b_{110} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.932755533 - 0.00036273(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 201

$$F_{201} = F_{110+m}$$

$$m = 201 - 110 = 91$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{112} = \text{Efficiency}_{110+m}$$

$$\text{Efficiency}_{110+91} = 0.932755533 - 0.00036273(91)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 201

$$\text{Efficiency}_{201} = 0.899747138$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 476 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 475 โดยที่พยากรณ์ค่าทีละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้ $X_{t+1} =$

F_{t+1} ดังนั้นจะได้ว่า $X_{475} = F_{475}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{475} = \alpha X_{475} + (1 - \alpha)S'_{474} = 0.2(0.800359221) + (1 - 0.2)0.802172869 = 0.80181014$$

$$S''_{475} = \alpha S'_{475} + (1 - \alpha)S''_{474} = 0.2(0.80181014) + (1 - 0.2)0.803623788 = 0.803261058$$

$$a_{475} = 2S'_{475} - S''_{475} = 2(0.80181014) - 0.803261058 = 0.800359221$$

$$b_{475} = \frac{\alpha(S'_{475} - S''_{475})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.80181014 - 0.803261058)}{1 - 0.2} = -0.00036273$$

$$F_{476} = F_{475+1} = a_{475} + b_{475}(1) = 0.800359221 - 0.00036273(1) = 0.799996492$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 110 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{110} , b_{110} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.932755533 - 0.00036273(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 476

$$F_{476} = F_{110+m}$$

$$m = 476 - 110 = 366$$

แทนค่า m ลงในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ Efficiency₄₇₆ = Efficiency_{110+m} อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Efficiency₁₁₀₊₃₆₆ = 0.932755533 - 0.00036273(366)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 476

$$\text{Efficiency}_{476} = 0.899747138$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{499} = F_{499}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha) S'_{498} = 0.2(0.79165371) + (1 - 0.2)0.793467358 = 0.793104629$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha) S''_{498} = 0.2(0.793104629) + (1 - 0.2)0.794918277 = 0.794555547$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.793104629) - 0.794555547 = 0.79165371$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.793104629 - 0.794555547)}{1 - 0.2} = -0.00036273$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.79165371 - 0.00036273(1) = 0.791290981$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 110 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{110}, b_{110} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.932755533 - 0.00036273(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\begin{aligned} F_{500} &= F_{110+m} \\ m &= 500 - 110 = 390 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{500} &= \text{Efficiency}_{110+m} \\ \text{Efficiency}_{110+390} &= 0.932755533 - 0.00036273(390) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.791290981$$

แบตเตอรี่ก่อนที่ 3

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1$ $m = 1$ $\alpha = 0.2$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 110 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha) S'_1 = 0.2(0.999414064) + (1 - 0.2)0.992321618 = 0.993740107$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha) S''_1 = 0.2(0.993740107) + (1 - 0.2)0.992321618 = 0.992605315$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.993740107) - 0.992605315 = 0.994874898$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.993740107 - 0.992605315)}{1 - 0.2} = 0.000283698$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.994874898 + 0.000283698(1) = 0.995158596$$

$$S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha) S'_2 = 0.2(0.985325369) + (1 - 0.2)0.993740107 = 0.992057159$$

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha) S''_2 = 0.2(0.992057159) + (1 - 0.2)0.992605315 = 0.992495684$$

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3 = 2(0.992057159) - 0.992495684 = 0.991618635$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.992057159 - 0.992495684)}{1 - 0.2} = -0.000109631$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.991618635 - 0.000109631(1) = 0.991509003$$

$$S'_4 = \alpha X_4 + (1 - \alpha) S'_3 = 0.2(0.996388187) + (1 - 0.2)0.992057159 = 0.992923365$$

$$S''_4 = \alpha S'_4 + (1 - \alpha) S''_3 = 0.2(0.992923365) + (1 - 0.2)0.992495684 = 0.99258122$$

$$a_4 = 2S'_4 - S''_4 = 2(0.992923365) - 0.99258122 = 0.993265509$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S'_4 - S''_4)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.992923365 - 0.99258122)}{1 - 0.2} = 0.000085536$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.993265509 + 0.000085536(1) = 0.993351046$$

$$S'_5 = \alpha X_5 + (1 - \alpha) S'_4 = 0.2(0.993038733) + (1 - 0.2)0.992923365 = 0.992946438$$

$$S''_5 = \alpha S'_5 + (1 - \alpha) S''_4 = 0.2(0.992946438) + (1 - 0.2)0.99258122 = 0.992654264$$

$$a_5 = 2S'_5 - S''_5 = 2(0.992946438) - 0.992654264 = 0.993238613$$

$$b_5 = \frac{\alpha(S'_5 - S''_5)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.992946438 - 0.992654264)}{1 - 0.2} = 0.000073044$$

$$F_6 = F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.993238613 + 0.000073044(1) = 0.993351046$$

$$S'_6 = \alpha X_6 + (1 - \alpha) S'_5 = 0.2(0.993895773) + (1 - 0.2)0.992946438 = 0.993136305$$

$$S''_6 = \alpha S'_6 + (1 - \alpha) S''_5 = 0.2(0.993136305) + (1 - 0.2)0.992654264 = 0.992750672$$

$$a_6 = 2S'_6 - S''_6 = 2(0.993136305) - 0.992750672 = 0.993521939$$

$$b_6 = \frac{\alpha(S'_6 - S''_6)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.993136305 - 0.992750672)}{1 - 0.2} = 0.000096408$$

$$F_7 = F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.993521939 + 0.000096408(1) = 0.993618347$$

⋮

$$S'_{76} = \alpha X_{76} + (1 - \alpha) S'_{75} = 0.2(0.936723569) + (1 - 0.2)0.939881909 = 0.939250241$$

$$S''_{76} = \alpha S'_{76} + (1 - \alpha) S''_{75} = 0.2(0.939250241) + (1 - 0.2)0.941320398 = 0.940906367$$

$$a_{76} = 2S'_{76} - S''_{76} = 2(0.939250241) - 0.940906367 = 0.937594115$$

$$b_{76} = \frac{\alpha(S'_{76} - S''_{76})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.939250241 - 0.940906367)}{1 - 0.2} = -0.000014031$$

$$F_{77} = F_{76+1} = a_{76} + b_{76}(1) = 0.937594115 - 0.000014031(1) = 0.937180083$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 79 ซึ่งจะทำให้ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 78 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{78} = F_{78}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{78} = \alpha X_{78} + (1 - \alpha)S'_{77} = 0.2(0.934764422) + (1 - 0.2)0.937835394 = 0.9372212$$

$$S''_{78} = \alpha S'_{78} + (1 - \alpha)S''_{77} = 0.2(0.9372212) + (1 - 0.2)0.940292172 = 0.939677978$$

$$a_{78} = 2S'_{78} - S''_{78} = 2(0.9372212) - 0.939677978 = 0.934764422$$

$$b_{78} = \frac{\alpha(S'_{78} - S''_{78})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.9372212 - 0.939677978)}{1 - 0.2} = -0.000614195$$

$$F_{79} = F_{78+1} = a_{78} + b_{78}(1) = 0.934764422 - 0.000614195(1) = 0.934150227$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 77 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{77}, b_{77} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.935378616 - 0.000614195(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 79

$$F_{79} = F_{77+m}$$

$$m = 79 - 77 = 2$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{79} = \text{Efficiency}_{77+m}$$

$$\text{Efficiency}_{77+2} = 0.935378616 - 0.000614195(2)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 79

$$\text{Efficiency}_{79} = 0.934150227$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอร์ในการชาร์จรอบที่ 135 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 134 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{134} = F_{134}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{134} = \alpha X_{134} + (1 - \alpha)S'_{133} = 0.2(0.90036953) + (1 - 0.2)0.903440502 = 0.902826308$$

$$S''_{134} = \alpha S'_{134} + (1 - \alpha)S''_{133} = 0.2(0.902826308) + (1 - 0.2)0.90589728 = 0.905283086$$

$$a_{134} = 2S'_{134} - S''_{134} = 2(0.902826308) - 0.905283086 = 0.90036953$$

$$b_{134} = \frac{\alpha(S'_{134} - S''_{134})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.901560786 - 0.905283086)}{1 - 0.2} = -0.000614195$$

$$F_{135} = F_{134+1} = a_{134} + b_{134}(1) = 0.90036953 - 0.000614195(1) = 0.899755335$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 77 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{77}, b_{77} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

เอกสารนี้จะได้อีกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก $\text{Efficiency}_{t+m} = 0.935378616 - 0.000614195(m)$ สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 135

$$F_{135} = F_{77+m}$$

$$m = 135 - 77 = 58$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{135} = \text{Efficiency}_{77+m}$$

$$\text{Efficiency}_{77+58} = 0.935378616 - 0.000614195(58)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 135

$$\text{Efficiency}_{135} = 0.899755335$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 298 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 297 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{297} = F_{297}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{297} = \alpha X_{297} + (1 - \alpha)S'_{296} = 0.2(0.800255825) + (1 - 0.2)0.803326798 = 0.802712603$$

$$S''_{297} = \alpha S'_{297} + (1 - \alpha)S''_{296} = 0.2(0.802712603) + (1 - 0.2)0.805783576 = 0.805169382$$

$$a_{297} = 2S'_{297} - S''_{297} = 2(0.802712603) - 0.805169382 = 0.800255825$$

$$b_{297} = \frac{\alpha(S'_{297} - S''_{297})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.802712603 - 0.805169382)}{1 - 0.2} = -0.000614195$$

$$F_{298} = F_{297+1} = a_{297} + b_{297}(1) = 0.800255825 - 0.000614195(1) = 0.799641631$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 77 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{77}, b_{77} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.935378616 - 0.000614195(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 298

$$F_{298} = F_{77+m}$$

$$m = 298 - 77 = 221$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{298} = \text{Efficiency}_{77+m}$$

$$\text{Efficiency}_{77+221} = 0.935378616 - 0.000614195(221)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 298

$$\text{Efficiency}_{298} = 0.799641631$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

เอกสาร $X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{499} = F_{499}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไปให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha)S'_{498} = 0.2(0.676188536) + (1 - 0.2)0.679259508 = 0.678645314$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha)S''_{498} = 0.2(0.678645314) + (1 - 0.2)0.681716286 = 0.681102092$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.678645314) - 0.681102092 = 0.676188536$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.678645314 - 0.681102092)}{1 - 0.2} = -0.000614195$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.79165371 - 0.00036273(1) = 0.675574341$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 77 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{77}, b_{77} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.935378616 - 0.000614195(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$F_{500} = F_{77+m}$$

$$m = 500 - 77 = 423$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{500} = \text{Efficiency}_{77+m}$$

$$\text{Efficiency}_{77+423} = 0.935378616 - 0.000614195(423)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.799641631$$

แบตเตอรี่ก่อนที่ 4

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1$ $m = 1$ $\alpha = 0.1$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 110 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha)S'_1 = 0.1(0.963797435) + (1 - 0.1)0.976398255 = 0.975138173$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha)S''_1 = 0.1(0.975138173) + (1 - 0.1)0.976398255 = 0.976272246$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.975138173) - 0.976272246 = 0.974004099$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.975138173 - 0.976272246)}{1 - 0.1} = -0.000126008$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.974004099 - 0.000126008(1) = 0.973878091$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 1.0.1 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
S'_3 &= \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 = 0.1(0.989726299) + (1 - 0.1)0.975138173 = 0.976596985 \\
S''_3 &= \alpha S'_3 + (1 - \alpha)S''_2 = 0.1(0.976596985) + (1 - 0.1)0.976272246 = 0.97630472 \\
a_3 &= 2S'_3 - S''_3 = 2(0.976596985) - 0.97630472 = 0.97688925 \\
b_3 &= \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.976596985 - 0.97630472)}{1 - 0.1} = 0.000032474 \\
F_4 &= F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.97688925 + 0.000032474(1) = 0.976921724
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S'_4 &= \alpha X_4 + (1 - \alpha)S'_3 = 0.1(0.998109216) + (1 - 0.1)0.976596985 = 0.978748208 \\
S''_4 &= \alpha S'_4 + (1 - \alpha)S''_3 = 0.1(0.978748208) + (1 - 0.1)0.97630472 = 0.976549069 \\
a_4 &= 2S'_4 - S''_4 = 2(0.978748208) - 0.976549069 = 0.980947348 \\
b_4 &= \frac{\alpha(S'_4 - S''_4)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.980947348 - 0.976549069)}{1 - 0.1} = 0.000244349 \\
F_5 &= F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.980947348 + 0.000244349(1) = 0.981191696
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S'_5 &= \alpha X_5 + (1 - \alpha)S'_4 = 0.1(1) + (1 - 0.1)0.978748208 = 0.980873388 \\
S''_5 &= \alpha S'_5 + (1 - \alpha)S''_4 = 0.1(0.980873388) + (1 - 0.1)0.976549069 = 0.976981501 \\
a_5 &= 2S'_5 - S''_5 = 2(0.980873388) - 0.976981501 = 0.984765274 \\
b_5 &= \frac{\alpha(S'_5 - S''_5)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.980873388 - 0.976981501)}{1 - 0.1} = 0.000432432 \\
F_6 &= F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.984765274 + 0.000432432(1) = 0.985197706
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S'_6 &= \alpha X_6 + (1 - \alpha)S'_5 = 0.1(0.989805633) + (1 - 0.1)0.980873388 = 0.981766612 \\
S''_6 &= \alpha S'_6 + (1 - \alpha)S''_5 = 0.1(0.981766612) + (1 - 0.1)0.976981501 = 0.977460012 \\
a_6 &= 2S'_6 - S''_6 = 2(0.981766612) - 0.977460012 = 0.986073212 \\
b_6 &= \frac{\alpha(S'_6 - S''_6)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.981766612 - 0.977460012)}{1 - 0.1} = 0.000478511 \\
F_7 &= F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.986073212 + 0.000478511(1) = 0.986551723
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S'_{126} &= \alpha X_{126} + (1 - \alpha)S'_{125} = 0.1(0.936427344) + (1 - 0.1)0.933878045 = 0.934132975 \\
S''_{126} &= \alpha S'_{126} + (1 - \alpha)S''_{125} = 0.1(0.934132975) + (1 - 0.1)0.937639249 = 0.937288622 \\
a_{126} &= 2S'_{126} - S''_{126} = 2(0.934132975) - 0.937288622 = 0.930977328 \\
b_{126} &= \frac{\alpha(S'_{126} - S''_{126})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.934132975 - 0.937288622)}{1 - 0.1} = -0.000350627 \\
F_{127} &= F_{126+1} = a_{126} + b_{126}(1) = 0.930977328 - 0.000350627(1) = 0.9306267
\end{aligned}$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบบเตอรีในการชาร์จรอบที่ 129 ซึ่งจะทำให้พยากรณ์ต่อจากรอบที่ 128 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้ $X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{128} = F_{128}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{128} = \alpha X_{128} + (1 - \alpha)S'_{127} = 0.1(0.929767552) + (1 - 0.1)0.933528087 =$$

เอกส่า 0.933152033 ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S'_{128} = \alpha S'_{78} + (1 - \alpha) S''_{127} = 0.1(0.933152033) + (1 - 0.1)0.936912568 = 0.936536515$$

$$a_{128} = 2S'_{128} - S''_{128} = 2(0.933152033) - 0.936536515 = 0.929767552$$

$$b_{128} = \frac{\alpha(S'_{128} - S''_{128})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.933152033 - 0.936536515)}{1 - 0.1} = -0.000376054$$

$$F_{129} = F_{128+1} = a_{128} + b_{128}(1) = 0.929767552 - 0.000376054(1) = 0.929391498$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 127 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{127}, b_{127} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.930143605 - 0.000376054(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 129

$$F_{129} = F_{127+m}$$

$$m = 129 - 127 = 2$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{129} = \text{Efficiency}_{127+m}$$

$$\text{Efficiency}_{127+2} = 0.930143605 - 0.000376054(2)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 129

$$\text{Efficiency}_{129} = 0.929391498$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 208 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 207 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{207} = F_{207}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{207} = \alpha X_{207} + (1 - \alpha) S'_{206} = 0.1(0.900059325) + (1 - 0.1)0.90381986 = 0.903443806$$

$$S''_{207} = \alpha S'_{207} + (1 - \alpha) S''_{206} = 0.1(0.903443806) + (1 - 0.1)0.907204341 = 0.906828288$$

$$a_{207} = 2S'_{207} - S''_{207} = 2(0.903443806) - 0.906828288 = 0.900059325$$

$$b_{207} = \frac{\alpha(S'_{207} - S''_{207})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.903443806 - 0.906828288)}{1 - 0.1} = -0.000376054$$

$$F_{208} = F_{207+1} = a_{207} + b_{207}(1) = 0.900059325 - 0.000376054(1) = 0.899683271$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 127 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{127}, b_{127} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.930143605 - 0.000376054(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$F_{208} = F_{127+m}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = 208 - 127 = 81$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{208} &= \text{Efficiency}_{127+m} \\ \text{Efficiency}_{127+81} &= 0.930143605 - 0.000376054(131) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 208

$$\text{Efficiency}_{208} = 0.899683271$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 474 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 473 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{473} = F_{473}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{473} = \alpha X_{473} + (1 - \alpha)S'_{472} = 0.1(0.800029092) + (1 - 0.1)0.803789627 = 0.803413573$$

$$S''_{473} = \alpha S'_{473} + (1 - \alpha)S''_{472} = 0.1(0.803413573) + (1 - 0.1)0.807174108 = 0.806798055$$

$$a_{473} = 2S'_{473} - S''_{473} = 2(0.803413573) - 0.806798055 = 0.800029092$$

$$b_{473} = \frac{\alpha(S'_{473} - S''_{473})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.803413573 - 0.806798055)}{1 - 0.1} = -0.000376054$$

$$F_{474} = F_{473+1} = a_{473} + b_{473}(1) = 0.800029092 - 0.000376054(1) = 0.799653038$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 127 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{127}, b_{127} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.930143605 - 0.000376054(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 474

$$\begin{aligned} F_{474} &= F_{127+m} \\ m &= 474 - 127 = 347 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{474} &= \text{Efficiency}_{127+m} \\ \text{Efficiency}_{127+347} &= 0.930143605 - 0.000376054(347) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 474

$$\text{Efficiency}_{474} = 0.799653038$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{499} = F_{499}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha)S'_{498} = 0.1(0.790251701) + (1 - 0.1)0.794012236 =$$

$$0.793636182$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha)S''_{498} = 0.1(0.793636182) + (1 - 0.1)0.797396717 = 0.797020664$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.793636182) - 0.797020664 = 0.790251701$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.793636182 - 0.797020664)}{1 - 0.1} = -0.000376054$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.790251701 - 0.000376054(1) = 0.789875647$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 127 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{127}, b_{127} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.930143605 - 0.000376054(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$F_{500} = F_{127+m}$$

$$m = 500 - 127 = 373$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{500} = \text{Efficiency}_{127+m}$$

$$\text{Efficiency}_{127+373} = 0.930143605 - 0.000376054(373)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.799653038$$

แบตเตอรี่ก่อนที่ 5

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1 \quad m = 1 \quad \alpha = 0.1$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 110 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha)S'_1 = 0.1(0.954266732) + (1 - 0.1)0.941403469 = 0.942689796$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha)S''_1 = 0.1(0.942689796) + (1 - 0.1)0.941403469 = 0.941532102$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.942689796) - 0.941532102 = 0.943847489$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.942689796 - 0.941532102)}{1 - 0.1} = 0.000128633$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.943847489 + 0.000128633(1) = 0.943976122$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 = 0.1(0.979119054) + (1 - 0.1)0.942689796 = 0.946332721$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_3'' = \alpha S_3' + (1 - \alpha) S_2'' = 0.1(0.946332721) + (1 - 0.1)0.941532102 = 0.942012164$$

$$a_3 = 2S_3' - S_3'' = 2(0.946332721) - 0.942012164 = 0.950653279$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S_3' - S_3'')}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.946332721 - 0.942012164)}{1 - 0.1} = 0.000480062$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.950653279 + 0.000480062(1) = 0.951133341$$

$$S_4' = \alpha X_4 + (1 - \alpha) S_3' = 0.1(0.988248223) + (1 - 0.1)0.946332721 = 0.950524272$$

$$S_4'' = \alpha S_4' + (1 - \alpha) S_3'' = 0.1(0.950524272) + (1 - 0.1)0.942012164 = 0.942863375$$

$$a_4 = 2S_4' - S_4'' = 2(0.950524272) - 0.942863375 = 0.958185169$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S_4' - S_4'')}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.950524272 - 0.942863375)}{1 - 0.1} = 0.000851211$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.958185169 + 0.000851211(1) = 0.959036379$$

$$S_5' = \alpha X_5 + (1 - \alpha) S_4' = 0.1(0.997240018) + (1 - 0.1)0.950524272 = 0.955195846$$

$$S_5'' = \alpha S_5' + (1 - \alpha) S_4'' = 0.1(0.955195846) + (1 - 0.1)0.942863375 = 0.944096622$$

$$a_5 = 2S_5' - S_5'' = 2(0.955195846) - 0.944096622 = 0.966295071$$

$$b_5 = \frac{\alpha(S_5' - S_5'')}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.955195846 - 0.944096622)}{1 - 0.1} = 0.001233247$$

$$F_6 = F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.966295071 + 0.001233247(1) = 0.967528318$$

$$S_6' = \alpha X_6 + (1 - \alpha) S_5' = 0.1(0.978094988) + (1 - 0.1)0.955195846 = 0.95748576$$

$$S_6'' = \alpha S_6' + (1 - \alpha) S_5'' = 0.1(0.95748576) + (1 - 0.1)0.944096622 = 0.945435536$$

$$a_6 = 2S_6' - S_6'' = 2(0.95748576) - 0.945435536 = 0.969535985$$

$$b_6 = \frac{\alpha(S_6' - S_6'')}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.95748576 - 0.945435536)}{1 - 0.1} = 0.001338914$$

$$F_7 = F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.969535985 + 0.001338914(1) = 0.970874899$$

$$S_{133}' = \alpha X_{133} + (1 - \alpha) S_{133}' = 0.1(0.905099097) + (1 - 0.1)0.909019845 = 0.90862777$$

$$S_{133}'' = \alpha S_{133}' + (1 - \alpha) S_{132}'' = 0.1(0.90862777) + (1 - 0.1)0.913038079 = 0.912597048$$

$$a_{133} = 2S_{133}' - S_{133}'' = 2(0.90862777) - 0.912597048 = 0.904658492$$

$$b_{133} = \frac{\alpha(S_{133}' - S_{133}'')}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.90862777 - 0.912597048)}{1 - 0.1} = -0.000441031$$

$$F_{134} = F_{133+1} = a_{133} + b_{133}(1) = 0.904658492 - 0.000441031(1) = 0.904217461$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 136 ซึ่งจะทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 135 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{135} = F_{135} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S_{135}' = \alpha X_{135} + (1 - \alpha) S_{134}' = 0.1(0.903947762) + (1 - 0.1)0.908272405 = 0.907839941$$

$$S_{135}'' = \alpha S_{135}' + (1 - \alpha) S_{134}'' = 0.1(0.907839941) + (1 - 0.1)0.912164584 =$$

$$0.91173212$$

$$a_{135} = 2S_{135}' - S_{135}'' = 2(0.907839941) - 0.91173212 = 0.903947762$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบสลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_{135} = \frac{\alpha(S'_{135} - S''_{135})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.907839941 - 0.91173212)}{1 - 0.1} = -0.000432464$$

$$F_{136} = F_{135+1} = a_{135} + b_{135}(1) = 0.903947762 - 0.000432464(1) = 0.903515297$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 134 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{134}, b_{134} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.904380226 - 0.000432464(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 134

$$\begin{aligned} F_{136} &= F_{134+m} \\ m &= 136 - 134 = 2 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{136} &= \text{Efficiency}_{134+m} \\ \text{Efficiency}_{134+2} &= 0.904380226 - 0.000432464(2) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 136

$$\text{Efficiency}_{136} = 0.903515297$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 145 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 144 โดยที่พยากรณ์ค่าทีละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{144} = F_{144}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{144} = \alpha X_{144} + (1 - \alpha)S'_{143} = 0.1(0.900055582) + (1 - 0.1)0.904380226 = 0.903947762$$

$$S''_{144} = \alpha S'_{144} + (1 - \alpha)S''_{143} = 0.1(0.903947762) + (1 - 0.1)0.908272405 = 0.907839941$$

$$a_{144} = 2S'_{144} - S''_{144} = 2(0.903947762) - 0.907839941 = 0.900055582$$

$$b_{144} = \frac{\alpha(S'_{144} - S''_{144})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.903947762 - 0.907839941)}{1 - 0.1} = -0.000432464$$

$$F_{145} = F_{144+1} = a_{144} + b_{144}(1) = 0.900055582 - 0.000432464(1) = 0.899623118$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 134 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{134}, b_{134} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.904380226 - 0.000432464(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 145

$$\begin{aligned} F_{145} &= F_{134+m} \\ m &= 145 - 134 = 11 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาค้นคว้าเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $\text{Efficiency}_{145} = \text{Efficiency}_{134+m}$
 $\text{Efficiency}_{134+11} = 0.904380226 - 0.000432464(11)$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 145

$$\text{Efficiency}_{145} = 0.899623118$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 376 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 375 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{375} = F_{375}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{375} = \alpha X_{375} + (1 - \alpha)S'_{374} = 0.1(0.800156319) + (1 - 0.1)0.804480963 = 0.804048498$$

$$S''_{375} = \alpha S'_{375} + (1 - \alpha)S''_{374} = 0.1(0.804048498) + (1 - 0.1)0.808373142 = 0.807940677$$

$$a_{375} = 2S'_{375} - S''_{375} = 2(0.804048498) - 0.807940677 = 0.800156319$$

$$b_{375} = \frac{\alpha(S'_{375} - S''_{375})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.804048498 - 0.807940677)}{1 - 0.1} = -0.000432464$$

$$F_{376} = F_{375+1} = a_{375} + b_{375}(1) = 0.800156319 - 0.000432464(1) = 0.799723855$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 134 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{134}, b_{134} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.904380226 - 0.000432464(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 376

$$F_{376} = F_{134+m}$$

$$m = 376 - 134 = 242$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{376} = \text{Efficiency}_{134+m}$$

$$\text{Efficiency}_{134+242} = 0.904380226 - 0.000432464(242)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 376

$$\text{Efficiency}_{376} = 0.899623118$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{499} = F_{499}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha)S'_{498} = 0.1(0.746530741) + (1 - 0.1)0.750855384 = 0.75042292$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha)S''_{498} = 0.1(0.75042292) + (1 - 0.1)0.754747563 = 0.754315099$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.75042292) - 0.754315099 = 0.746530741$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.75042292 - 0.754315099)}{1 - 0.1} = -0.000432464$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.746530741 - 0.000432464(1) = 0.746098276$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 134 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{134} , b_{134} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.904380226 - 0.000432464(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\begin{aligned} F_{500} &= F_{134+m} \\ m &= 376 - 134 = 366 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{500} &= \text{Efficiency}_{134+m} \\ \text{Efficiency}_{134+366} &= 0.904380226 - 0.000432464(366) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.746098276$$

แบตเตอรี่ก่อนที่ 6

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1$ $m = 1$ $\alpha = 0.2$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 79 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha)S'_1 = 0.2(0.983057499) + (1 - 0.2)0.981187061 = 0.981561148$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha)S''_1 = 0.2(0.981561148) + (1 - 0.2)0.981187061 = 0.981261878$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.981561148) - 0.981261878 = 0.981860419$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.981561148 - 0.981261878)}{1 - 0.2} = 0.000074818$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.981860419 + 0.000074818(1) = 0.981935236$$

$$S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 = 0.2(0.974056013) + (1 - 0.2)0.981561148 = 0.980060121$$

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha)S''_2 = 0.2(0.980060121) + (1 - 0.2)0.981261878 = 0.981021527$$

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3 = 2(0.980060121) - 0.981021527 = 0.979098716$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.980060121 - 0.981021527)}{1 - 0.2} = -0.000240351$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.979098716 - 0.000240351(1) = 0.978858364$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบบสองเงื่อนไขและต้องอ้างอิงถึงใจของเอกสารไว้ทุกที่ที่มีการนำไปใช้

$$S'_4 = \alpha X_4 + (1 - \alpha)S'_3 = 0.2(0.984092921) + (1 - 0.2)0.980060121 = 0.980866681$$

$$S_4'' = \alpha S_4' + (1 - \alpha) S_3'' = 0.2(0.980866681) + (1 - 0.2)0.981021527 = 0.980990558$$

$$a_4 = 2S_4' - S_4'' = 2(0.980866681) - 0.980990558 = 0.980742805$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S_4' - S_4'')}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.980866681 - 0.980990558)}{1 - 0.2} = -0.000030969$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.980742805 - 0.000030969(1) = 0.980711836$$

$$S_5' = \alpha X_5 + (1 - \alpha) S_4' = 0.2(0.978523355) + (1 - 0.2)0.980866681 = 0.980398016$$

$$S_5'' = \alpha S_5' + (1 - \alpha) S_4'' = 0.2(0.980398016) + (1 - 0.2)0.980990558 = 0.980872049$$

$$a_5 = 2S_5' - S_5'' = 2(0.980398016) - 0.980872049 = 0.979923983$$

$$b_5 = \frac{\alpha(S_5' - S_5'')}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.980398016 - 0.980872049)}{1 - 0.2} = -0.000118508$$

$$F_6 = F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = .979923983 - 0.000118508(1) = 0.979805474$$

$$S_6' = \alpha X_6 + (1 - \alpha) S_5' = 0.2(0.993094407) + (1 - 0.2)0.980398016 = 0.982937294$$

$$S_6'' = \alpha S_6' + (1 - \alpha) S_5'' = 0.2(0.982937294) + (1 - 0.2)0.980872049 = 0.981285098$$

$$a_6 = 2S_6' - S_6'' = 2(0.982937294) - 0.981285098 = 0.98458949$$

$$b_6 = \frac{\alpha(S_6' - S_6'')}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.982937294 - 0.981285098)}{1 - 0.2} = 0.000413049$$

$$F_7 = F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.969535985 + 0.000413049(1) = 0.985002539$$

$$S_{78}' = \alpha X_{78} + (1 - \alpha) S_{77}' = 0.2(0.928881578) + (1 - 0.2)0.937478528 = 0.935759138$$

$$S_{78}'' = \alpha S_{78}' + (1 - \alpha) S_{77}'' = 0.2(0.935759138) + (1 - 0.2)0.937965423 = 0.937524166$$

$$a_{78} = 2S_{78}' - S_{78}'' = 2(0.935759138) - 0.937524166 = 0.93399411$$

$$b_{78} = \frac{\alpha(S_{78}' - S_{78}'')}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.935759138 - 0.937524166)}{1 - 0.2} = -0.000441257$$

$$F_{79} = F_{78+1} = a_{78} + b_{78}(1) = 0.93399411 - 0.000441257(1) = 0.933552853$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 81 ซึ่งจะทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 80 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{80} = F_{80}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S_{80}' = \alpha X_{80} + (1 - \alpha) S_{79}' = 0.1(0.933150265) + (1 - 0.1)0.935337216 = 0.934899826$$

$$S_{80}'' = \alpha S_{80}' + (1 - \alpha) S_{79}'' = 0.1(0.934899826) + (1 - 0.1)0.937086776 = 0.936649386$$

$$a_{80} = 2S_{80}' - S_{80}'' = 2(0.934899826) - 0.936649386 = 0.933150265$$

$$b_{80} = \frac{\alpha(S_{80}' - S_{80}'')}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.934899826 - 0.936649386)}{1 - 0.1} = -0.000437390$$

$$F_{81} = F_{80+1} = a_{80} + b_{80}(1) = 0.933150265 - 0.000437390(1) = 0.932712875$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 79 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{79}, b_{79} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.933587655 - 0.000437390(m)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 81

$$F_{81} = F_{79+m}$$

$$m = 81 - 79 = 2$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{81} = \text{Efficiency}_{79+m}$$

$$\text{Efficiency}_{79+2} = 0.933587655 - 0.000437390(2)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 81

$$\text{Efficiency}_{81} = 0.932712875$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 156 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 155 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{155} = F_{155}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{155} = \alpha X_{155} + (1 - \alpha)S'_{154} = 0.1(0.900055582) + (1 - 0.1)0.904380226 = 0.903947762$$

$$S''_{155} = \alpha S'_{155} + (1 - \alpha)S''_{154} = 0.1(0.903947762) + (1 - 0.1)0.908272405 = 0.907839941$$

$$a_{155} = 2S'_{155} - S''_{155} = 2(0.903947762) - 0.907839941 = 0.900055582$$

$$b_{155} = \frac{\alpha(S'_{155} - S''_{155})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.903947762 - 0.907839941)}{1 - 0.1} = -0.000432464$$

$$F_{156} = F_{155+1} = a_{155} + b_{155}(1) = 0.900055582 - 0.000432464(1) = 0.899623118$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 79 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{79}, b_{79} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.933587655 - 0.000437390(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 156

$$F_{156} = F_{79+m}$$

$$m = 156 - 79 = 77$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{156} = \text{Efficiency}_{79+m}$$

$$\text{Efficiency}_{79+77} = 0.933587655 - 0.000437390(77)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 156

$$\text{Efficiency}_{156} = 0.89990862$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 385 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 384 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

เอกสาร $X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{384} = F_{384}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไปให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S'_{384} = \alpha X_{384} + (1 - \alpha)S'_{383} = 0.1(0.800156319) + (1 - 0.1)0.804480963 = 0.804048498$$

$$S''_{384} = \alpha S'_{384} + (1 - \alpha)S''_{383} = 0.1(0.804048498) + (1 - 0.1)0.808373142 = 0.807940677$$

$$a_{384} = 2S'_{384} - S''_{384} = 2(0.804048498) - 0.807940677 = 0.800156319$$

$$b_{384} = \frac{\alpha(S'_{384} - S''_{384})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.804048498 - 0.807940677)}{1 - 0.1} = -0.000432464$$

$$F_{385} = F_{384+1} = a_{384} + b_{384}(1) = 0.800156319 - 0.000432464(1) = 0.799723855$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 79 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{79} , b_{79} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.933587655 - 0.000437390(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 385

$$F_{385} = F_{79+m}$$

$$m = 385 - 79 = 306$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{385} = \text{Efficiency}_{79+m}$$

$$\text{Efficiency}_{79+306} = 0.933587655 - 0.000437390(385)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 385

$$\text{Efficiency}_{385} = 0.89990862$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{499} = F_{499} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha)S'_{498} = 0.1(0.749883823) + (1 - 0.1)0.752070774 = 0.751633384$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha)S''_{498} = 0.1(0.751633384) + (1 - 0.1)0.753820334 = 0.753382944$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.751633384) - 0.753382944 = 0.749883823$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.751633384 - 0.753382944)}{1 - 0.1} = -0.000437390$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.749883823 - 0.000437390(1) = 0.749446433$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 79 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{79} , b_{79} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.933587655 - 0.000437390(m)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการใช้นิติหรือการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$F_{500} = F_{79+m}$$

$$m = 500 - 79 = 421$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{500} = \text{Efficiency}_{79+m}$$

$$\text{Efficiency}_{79+421} = 0.933587655 - 0.000437390(421)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.749446433$$

แบตเตอรี่ก่อนที่ 7

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1 \quad m = 1 \quad \alpha = 0.2$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 79 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha)S'_1 = 0.2(0.979029352) + (1 - 0.2)0.988026189 = 0.986226821$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha)S''_1 = 0.2(0.986226821) + (1 - 0.2)0.988026189 = 0.987666315$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.986226821) - 0.987666315 = 0.984787328$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.986226821 - 0.987666315)}{1 - 0.2} = -0.000359873$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.984787328 - 0.000359873(1) = 0.984427454$$

$$S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha)S'_2 = 0.2(0.975580016) + (1 - 0.2)0.986226821 = 0.98409746$$

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha)S''_2 = 0.2(0.98409746) + (1 - 0.2)0.987666315 = 0.986952544$$

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3 = 2(0.98409746) - 0.986952544 = 0.981242376$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.98409746 - 0.986952544)}{1 - 0.2} = -0.000713771$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.981242376 - 0.000713771(1) = 0.980528605$$

$$S'_4 = \alpha X_4 + (1 - \alpha)S'_3 = 0.2(0.979391862) + (1 - 0.2)0.98409746 = 0.983156341$$

$$S''_4 = \alpha S'_4 + (1 - \alpha)S''_3 = 0.2(0.983156341) + (1 - 0.2)0.986952544 = 0.986193303$$

$$a_4 = 2S'_4 - S''_4 = 2(0.983156341) - 0.986193303 = 0.980119378$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S'_4 - S''_4)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.983156341 - 0.986193303)}{1 - 0.2} = -0.000759241$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.980119378 - 0.000759241(1) = 0.979360137$$

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในนโยบายด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
S'_5 &= \alpha X_5 + (1 - \alpha)S'_4 = 0.2(0.974646278) + (1 - 0.2)0.983156341 = 0.981454328 \\
S''_5 &= \alpha S'_5 + (1 - \alpha)S''_4 = 0.2(0.981454328) + (1 - 0.2)0.986193303 = 0.985245508 \\
a_5 &= 2S'_5 - S''_5 = 2(0.981454328) - 0.985245508 = 0.977663148 \\
b_5 &= \frac{\alpha(S'_5 - S''_5)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.981454328 - 0.985245508)}{1 - 0.2} = -0.000947795 \\
F_6 &= F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.977663148 - 0.000947795(1) = 0.976715353
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S'_6 &= \alpha X_6 + (1 - \alpha)S'_5 = 0.2(0.997275683) + (1 - 0.2)0.981454328 = 0.984618599 \\
S''_6 &= \alpha S'_6 + (1 - \alpha)S''_5 = 0.2(0.984618599) + (1 - 0.2)0.985245508 = 0.985120127 \\
a_6 &= 2S'_6 - S''_6 = 2(0.984618599) - 0.985120127 = 0.984117072 \\
b_6 &= \frac{\alpha(S'_6 - S''_6)}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.984618599 - 0.985120127)}{1 - 0.2} = -0.000125382 \\
F_7 &= F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.984117072 - 0.000125382(1) = 0.98399169
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S'_{111} &= \alpha X_{111} + (1 - \alpha)S'_{110} = 0.2(0.932803849) + (1 - 0.2)0.937478528 = \\
&0.935759138 \\
S''_{111} &= \alpha S'_{111} + (1 - \alpha)S''_{110} = 0.2(0.935759138) + (1 - 0.2)0.937965423 = \\
&0.937524166 \\
a_{111} &= 2S'_{111} - S''_{111} = 2(0.935759138) - 0.937524166 = 0.93399411 \\
b_{111} &= \frac{\alpha(S'_{111} - S''_{111})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.935759138 - 0.937524166)}{1 - 0.2} = -0.000441257 \\
F_{112} &= F_{111+1} = a_{111} + b_{111}(1) = 0.93399411 - 0.000441257(1) = 0.933552853
\end{aligned}$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 114 ซึ่งจะทำให้ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 113 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมามีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{113} = F_{113}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$\begin{aligned}
S'_{113} &= \alpha X_{113} + (1 - \alpha)S'_{112} = 0.2(0.929517712) + (1 - 0.2)0.931907642 = \\
&0.931429656 \\
S''_{113} &= \alpha S'_{113} + (1 - \alpha)S''_{112} = 0.2(0.931429656) + (1 - 0.2)0.933819586 = 0.9333416 \\
a_{113} &= 2S'_{113} - S''_{113} = 2(0.931429656) - 0.9333416 = 0.929517712 \\
b_{113} &= \frac{\alpha(S'_{113} - S''_{113})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.931429656 - 0.9333416)}{1 - 0.2} = -0.000477986 \\
F_{114} &= F_{113+1} = a_{113} + b_{113}(1) = 0.929517712 - 0.000477986(1) = 0.929039726
\end{aligned}$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 112 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{112}, b_{112} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.929995698 - 0.000477986(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 114

$$F_{114} = F_{112+m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $m = 114 - 112 = 2$ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{114} &= \text{Efficiency}_{112+m} \\ \text{Efficiency}_{112+2} &= 0.929995698 - 0.000477986(2) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 114

$$\text{Efficiency}_{114} = 0.929039726$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 175 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 174 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{174} = F_{174}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{174} = \alpha X_{174} + (1 - \alpha)S'_{173} = 0.2(0.900360564) + (1 - 0.2)0.902750494 = 0.903947762$$

$$S''_{174} = \alpha S'_{174} + (1 - \alpha)S''_{173} = 0.2(0.903947762) + (1 - 0.2)0.908272405 = 0.904184452$$

$$a_{174} = 2S'_{174} - S''_{174} = 2(0.903947762) - 0.904184452 = 0.900360564$$

$$b_{174} = \frac{\alpha(S'_{174} - S''_{174})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.903947762 - 0.904184452)}{1 - 0.2} = -0.000477986$$

$$F_{175} = F_{174+1} = a_{174} + b_{174}(1) = 0.900360564 - 0.000477986(1) = 0.899882578$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 112 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{112}, b_{112} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.929995698 - 0.000477986(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 175

$$\begin{aligned} F_{175} &= F_{112+m} \\ m &= 175 - 112 = 63 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{175} &= \text{Efficiency}_{112+m} \\ \text{Efficiency}_{112+63} &= 0.929995698 - 0.000477986(63) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 175

$$\text{Efficiency}_{175} = 0.899882578$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 384 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 383 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{383} = F_{383}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{383} = \alpha X_{383} + (1 - \alpha)S'_{382} = 0.2(0.800461482) + (1 - 0.2)0.802851412 = 0.802373426$$

$$S''_{383} = \alpha S'_{383} + (1 - \alpha)S''_{382} = 0.2(0.802373426) + (1 - 0.2)0.804763357 = 0.80428537$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_{383} = 2S'_{383} - S''_{383} = 2(0.802373426) - 0.80428537 = 0.800461482$$

$$b_{383} = \frac{\alpha(S'_{383} - S''_{383})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.802373426 - 0.80428537)}{1 - 0.2} = -0.000477986$$

$$F_{384} = F_{383+1} = a_{383} + b_{383}(1) = 0.800461482 - 0.000477986(1) = 0.799983496$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 112 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{112} , b_{112} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.929995698 - 0.000477986(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 384

$$F_{384} = F_{112+m}$$

$$m = 384 - 112 = 272$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{384} = \text{Efficiency}_{112+m}$$

$$\text{Efficiency}_{112+272} = 0.929995698 - 0.000477986(272)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 384

$$\text{Efficiency}_{384} = 0.799983496$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{499} = F_{499}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha)S'_{498} = 0.2(0.745015102) + (1 - 0.2)0.747405032 = 0.746927046$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha)S''_{498} = 0.2(0.746927046) + (1 - 0.2)0.749316976 = 0.74883899$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.746927046) - 0.74883899 = 0.745015102$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.2(0.746927046 - 0.74883899)}{1 - 0.2} = -0.000477986$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.745015102 - 0.000477986(1) = 0.744537116$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 112 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{112} , b_{112} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.929995698 - 0.000477986(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$F_{500} = F_{112+m}$$

$$m = 500 - 112 = 388$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในพิธีการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แทนค่า m ลงในสมการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Efficiency}_{500} = \text{Efficiency}_{112+m}$$

$$\text{Efficiency}_{112+388} = 0.929995698 - 0.000477986(388)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.744537116$$

แบตเตอรี่ก่อนที่ 8

จากสมการ

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1$ และ

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

$$b_t = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$$

กำหนดให้ $S'_1 = S''_1 = X_1$ $m = 1$ $\alpha = 0.1$

ทำการคำนวณจนถึงรอบที่ 124 คือรอบสุดท้ายของข้อมูลจริงเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1 - \alpha) S'_1 = 0.1(0.99579384) + (1 - 0.1)0.995817272 = 0.995814929$$

$$S''_2 = \alpha S'_2 + (1 - \alpha) S''_1 = 0.1(0.995814929) + (1 - 0.1)0.995817272 = 0.995817038$$

$$a_2 = 2S'_2 - S''_2 = 2(0.995814929) - 0.995817038 = 0.99581282$$

$$b_2 = \frac{\alpha(S'_2 - S''_2)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.986226821 - 0.995817038)}{1 - 0.1} = -0.000000234$$

$$F_3 = F_{2+1} = a_2 + b_2(1) = 0.99581282 - 0.000000234(1) = 0.995812586$$

$$S'_3 = \alpha X_3 + (1 - \alpha) S'_2 = 0.1(0.988822627) + (1 - 0.1)0.995814929 = 0.995115699$$

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha) S''_2 = 0.1(0.995115699) + (1 - 0.1)0.995817038 = 0.995746904$$

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3 = 2(0.995115699) - 0.995746904 = 0.994484493$$

$$b_3 = \frac{\alpha(S'_3 - S''_3)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.995115699 - 0.995746904)}{1 - 0.1} = -0.000070134$$

$$F_4 = F_{3+1} = a_3 + b_3(1) = 0.994484493 - 0.000070134(1) = 0.99441436$$

$$S'_4 = \alpha X_4 + (1 - \alpha) S'_3 = 0.1(0.998125388) + (1 - 0.1)0.995115699 = 0.995416668$$

$$S''_4 = \alpha S'_4 + (1 - \alpha) S''_3 = 0.1(0.995416668) + (1 - 0.1)0.995746904 = 0.99571388$$

$$a_4 = 2S'_4 - S''_4 = 2(0.983156341) - 0.99571388 = 0.995119455$$

$$b_4 = \frac{\alpha(S'_4 - S''_4)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.983156341 - 0.99571388)}{1 - 0.1} = -0.000033024$$

$$F_5 = F_{4+1} = a_4 + b_4(1) = 0.995119455 - 0.000033024(1) = 0.995086431$$

$$S'_5 = \alpha X_5 + (1 - \alpha) S'_4 = 0.1(1) + (1 - 0.1)0.995416668 = 0.995875001$$

$$S''_5 = \alpha S'_5 + (1 - \alpha) S''_4 = 0.1(0.995875001) + (1 - 0.1)0.99571388 = 0.995729992$$

$$a_5 = 2S'_5 - S''_5 = 2(0.995875001) - 0.995729992 = 0.996020009$$

$$b_5 = \frac{\alpha(S'_5 - S''_5)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.995875001 - 0.995729992)}{1 - 0.1} = 0.000016112$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_6 = F_{5+1} = a_5 + b_5(1) = 0.996020009 + 0.000016112(1) = 0.996036121$$

$$S'_6 = \alpha X_6 + (1 - \alpha)S'_5 = 0.1(0.991154175) + (1 - 0.1)0.995875001 = 0.995402918$$

$$S''_6 = \alpha S'_6 + (1 - \alpha)S''_5 = 0.1(0.995402918) + (1 - 0.1)0.995729992 = 0.995697285$$

$$a_6 = 2S'_6 - S''_6 = 2(0.995402918) - 0.995697285 = 0.995108552$$

$$b_6 = \frac{\alpha(S'_6 - S''_6)}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.995402918 - 0.995697285)}{1 - 0.1} = -0.000032707$$

$$F_7 = F_{6+1} = a_6 + b_6(1) = 0.995108552 - 0.000032707(1) = 0.995075844$$

$$S'_{123} = \alpha X_{123} + (1 - \alpha)S'_{122} = 0.1(0.928464986) + (1 - 0.1)0.933539556 = 0.928040369$$

$$S''_{123} = \alpha S'_{123} + (1 - \alpha)S''_{122} = 0.1(0.928040369) + (1 - 0.1)0.937965423 = 0.932989638$$

$$a_{123} = 2S'_{123} - S''_{123} = 2(0.928040369) - 0.932989638 = 0.9230911$$

$$b_{123} = \frac{\alpha(S'_{123} - S''_{123})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.928040369 - 0.932989638)}{1 - 0.1} = -0.000549919$$

$$F_{124} = F_{123+1} = a_{123} + b_{123}(1) = 0.9230911 - 0.000549919(1) = 0.922541181$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 126 ซึ่งจะทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 125 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{125} = F_{125}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{125} = \alpha X_{125} + (1 - \alpha)S'_{124} = 0.1(0.922811845) + (1 - 0.1)0.927900741 = 0.927391852$$

$$S''_{125} = \alpha S'_{125} + (1 - \alpha)S''_{124} = 0.1(0.927391852) + (1 - 0.1)0.932480748 = 0.931971858$$

$$a_{125} = 2S'_{125} - S''_{125} = 2(0.927391852) - 0.931971858 = 0.922811845$$

$$b_{125} = \frac{\alpha(S'_{125} - S''_{125})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.927391852 - 0.931971858)}{1 - 0.1} = -0.000508890$$

$$F_{125} = F_{125+1} = a_{125} + b_{125}(1) = 0.922811845 - 0.000508890(1) = 0.922302955$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 124 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{124} , b_{124} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.923320734 - 0.000508890(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 126

$$F_{126} = F_{124+m}$$

$$m = 126 - 124 = 2$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{126} = \text{Efficiency}_{124+m}$$

$$\text{Efficiency}_{124+2} = 0.923320734 - 0.000508890(2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 126

$$\text{Efficiency}_{126} = 0.922302955$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 170 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 169 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{169} = F_{169} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{169} = \alpha X_{169} + (1 - \alpha)S'_{168} = 0.1(0.9004207) + (1 - 0.1)0.905509597 = 0.905000707$$

$$S''_{169} = \alpha S'_{169} + (1 - \alpha)S''_{168} = 0.1(0.905000707) + (1 - 0.1)0.910089604 = 0.909580714$$

$$a_{169} = 2S'_{169} - S''_{169} = 2(0.905000707) - 0.909580714 = 0.9004207$$

$$b_{169} = \frac{\alpha(S'_{169} - S''_{169})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.905000707 - 0.909580714)}{1 - 0.1} = -0.000508890$$

$$F_{170} = F_{169+1} = a_{169} + b_{169}(1) = 0.9004207 - 0.000508890(1) = 0.899911811$$

ในส่วนต่อมาจะเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 124 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{124}, b_{124} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.923320734 - 0.000508890(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 170

$$F_{170} = F_{124+m}$$

$$m = 170 - 124 = 46$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\text{Efficiency}_{170} = \text{Efficiency}_{124+m}$$

$$\text{Efficiency}_{124+46} = 0.923320734 - 0.000508890(46)$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 170

$$\text{Efficiency}_{170} = 0.899911811$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 367 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 366 โดยที่พยากรณ์ค่าที่ละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$$X_{t+1} = F_{t+1} \text{ ดังนั้นจะได้ว่า } X_{366} = F_{366} \text{ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป}$$

$$S'_{366} = \alpha X_{366} + (1 - \alpha)S'_{365} = 0.1(0.80016944) + (1 - 0.1)0.805258337 = 0.804749447$$

$$S''_{366} = \alpha S'_{366} + (1 - \alpha)S''_{365} = 0.1(0.804749447) + (1 - 0.1)0.809838344 = 0.809329454$$

$$a_{366} = 2S'_{366} - S''_{366} = 2(0.804749447) - 0.809329454 = 0.80016944$$

$$b_{366} = \frac{\alpha(S'_{366} - S''_{366})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.804749447 - 0.809329454)}{1 - 0.1} = -0.000508890$$

$$F_{367} = F_{366+1} = a_{366} + b_{366}(1) = 0.80016944 - 0.000508890(1) = 0.799660551$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 124 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{124}, b_{124} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.923320734 - 0.000508890(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 367

$$\begin{aligned} F_{367} &= F_{124+m} \\ m &= 367 - 124 = 243 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{367} &= \text{Efficiency}_{124+m} \\ \text{Efficiency}_{124+243} &= 0.923320734 - 0.000508890(243) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 367

$$\text{Efficiency}_{367} = 0.799660551$$

ในส่วนนี้จะเป็นการทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500 ทำการพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 499 โดยที่พยากรณ์ค่าทีละตัว ซึ่งในกรณีนี้จะมีค่า $m = 1$ โดยจะกำหนดให้

$X_{t+1} = F_{t+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า $X_{499} = F_{499}$ และทำการพยากรณ์ค่าต่อไป

$$S'_{499} = \alpha X_{499} + (1 - \alpha)S'_{498} = 0.1(0.732487117) + (1 - 0.1)0.737576014 = 0.737067124$$

$$S''_{499} = \alpha S'_{499} + (1 - \alpha)S''_{498} = 0.1(0.737067124) + (1 - 0.1)0.742156021 = 0.741647131$$

$$a_{499} = 2S'_{499} - S''_{499} = 2(0.737067124) - 0.741647131 = 0.732487117$$

$$b_{499} = \frac{\alpha(S'_{499} - S''_{499})}{1 - \alpha} = \frac{0.1(0.737067124 - 0.741647131)}{1 - 0.1} = -0.000508890$$

$$F_{500} = F_{499+1} = a_{499} + b_{499}(1) = 0.732487117 - 0.000508890(1) = 0.731978228$$

ในส่วนต่อมาเป็นพยากรณ์ต่อจากรอบที่ 124 โดยที่ให้ค่า $m = 1, 2, 3, \dots$

แทนค่า a_{124}, b_{124} ลงในสมการการพยากรณ์

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

จะได้ว่า

$$\text{Efficiency}_{t+m} = 0.923320734 - 0.000508890(m)$$

ต้องการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\begin{aligned} F_{500} &= F_{124+m} \\ m &= 500 - 124 = 376 \end{aligned}$$

แทนค่า m ลงในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Efficiency}_{500} &= \text{Efficiency}_{124+m} \\ \text{Efficiency}_{124+376} &= 0.923320734 - 0.000508890(376) \end{aligned}$$

และทำการพยากรณ์ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในการชาร์จรอบที่ 500

$$\text{Efficiency}_{500} = 0.799660551$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโท ปริญญาตรี และปริญญาโท นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการศึกษา

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 1

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 201

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899970447

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 404

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799773771

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.752390122 หรือประมาณ 75%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 2

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 201

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899747138

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 476

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799996492

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.791290981 หรือประมาณ 79%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 3

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 135

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899755335

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 298

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799641631

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.675574341 หรือ ประมาณ 68%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 4

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 208

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899683271

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 474

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799653038

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.789875647 หรือประมาณ 79%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 145

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899623118

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 376

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799723855

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.746098276 หรือประมาณ 75%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 6

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 156

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.89990862

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 385

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799746292

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.749446433 หรือ ประมาณ 75%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 7

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 175

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899882578

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 384

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799983496

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.744537116 หรือประมาณ 74%

ประสิทธิภาพของพลังงานแบตเตอรี่ก้อนที่ 8

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 90% ในการชาร์จรอบที่ 170

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.899911811

คาดการณ์ว่าจะลดลงจนต่ำกว่า 80% ในการชาร์จรอบที่ 367

มีค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 0.799660551

เมื่อทำการชาร์จในรอบที่ 500 คาดการณ์ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปอยู่ที่

0.731978228 หรือประมาณ 73%

จากผลที่เกิดจากการพยากรณ์ Brown's one-parameter linear exponential พบว่าเป็นไปตามที่

คาดการณ์ไว้ว่าแบตเตอรี่ขนาดเล็กจะมีรอบการชาร์จอยู่ที่ 300-500 รอบ และหลังจากนั้น

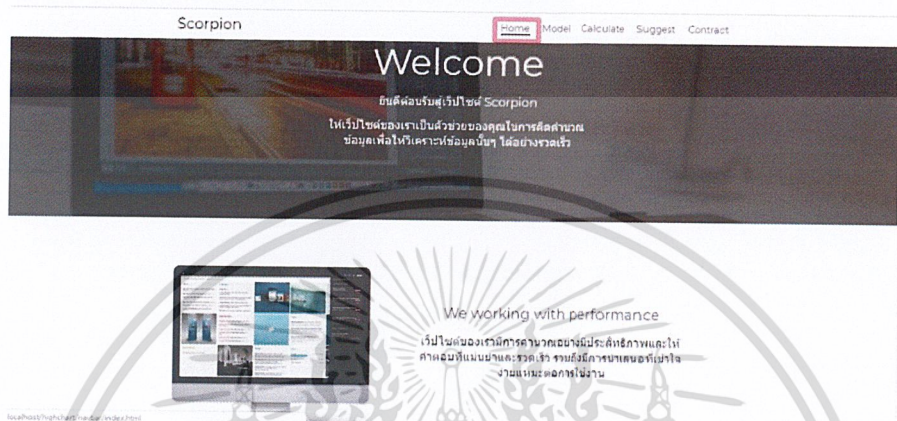
ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงไปต่ำกว่า 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Web Application

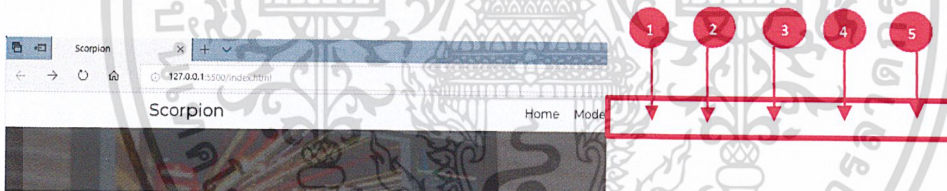
4.3.1 หน้าหลัก (Home)

หน้าหลักเป็นการแสดงวัตถุประสงค์ของตัวเว็บ นั่นคือเพื่อเป็นตัวช่วยในการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี Regression



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงหน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 1 เมื่อโหลด URL แล้วจะปรากฏเมนูการใช้งานต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงแถบเมนูบาร์ของเว็บแอปพลิเคชัน

เมนูบาร์ ซึ่งจะประกอบด้วยหน้าจอลูก ๆ ภายในเว็บไซต์ 5 เมนูได้แก่ Home , Model , Cal-Model , Suggest , Contact

หมายเลข 1 Home เป็นหน้าแรกของจัดทำเว็บแอปพลิเคชัน หลังจากโหลด URL แล้ว

หมายเลข 2 Model เป็นส่วนหน้าจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงเนื้อหาเป็นข้อมูลเกี่ยวกับ regression model

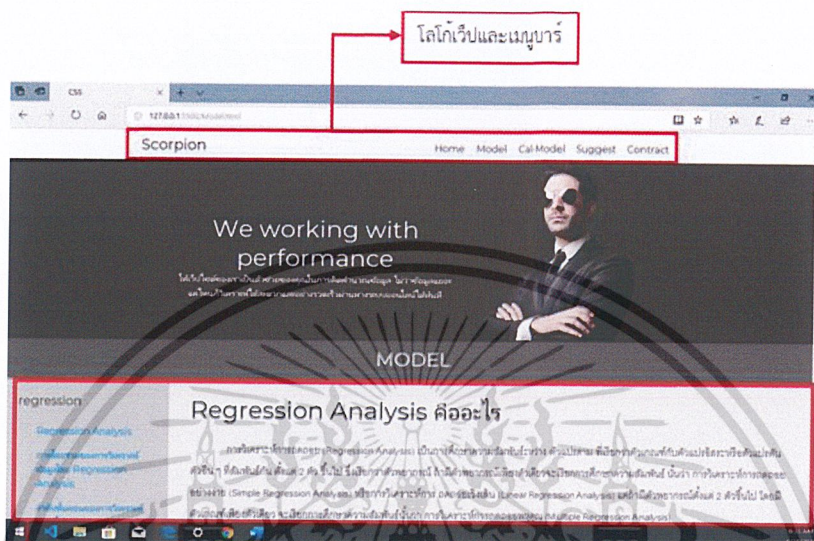
หมายเลข 3 Cal-Model เป็นส่วนหน้าจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงเนื้อหาการคำนวณ regression model รูปแบบต่าง ๆ เช่น linear regression , logarithmic regression , power regression เป็นต้น

หมายเลข 4 Suggest เป็นหน้าจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ regression mode

หมายเลข 5 Contact เป็นส่วนหน้าจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงข้อมูลหรือช่องทางการติดต่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

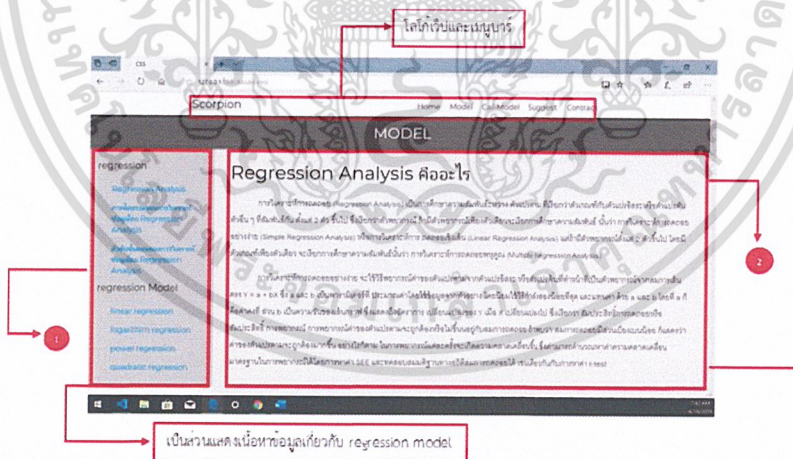
4.3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับ regression model

แสดงความหมายของแบบจำลอง และมีรายละเอียดของแบบจำลองที่น่าสนใจทางด้านซ้าย นั้นคือ linear regression, logarithm regression, power regression, quadratic regression



เป็นส่วนแสดงเนื้อหาข้อมูลเกี่ยวกับ regression model

รูปที่ 4.5 รายละเอียดเนื้อหา regression model



เป็นส่วนแสดงเนื้อหาข้อมูลเกี่ยวกับ regression model

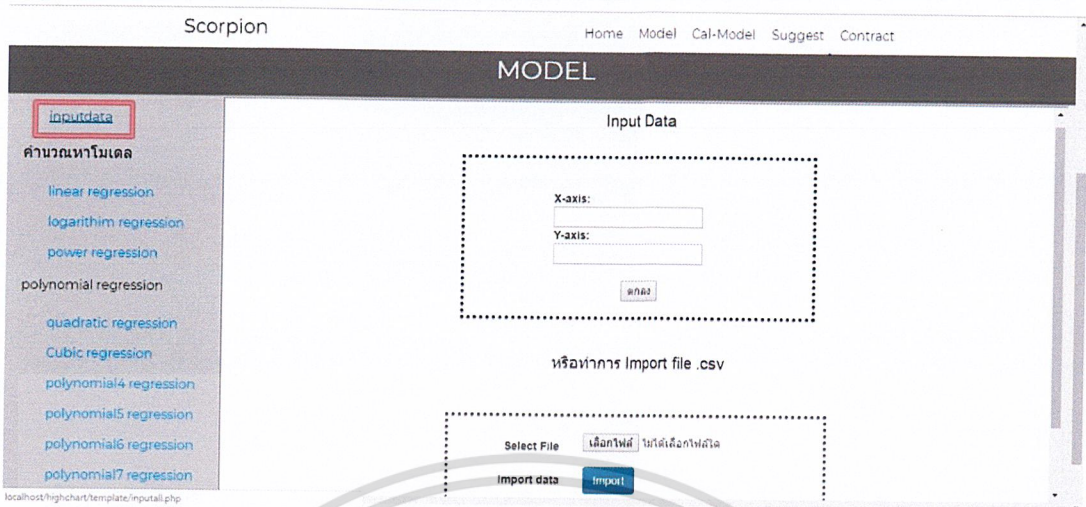
เป็นส่วนแสดงเนื้อหาข้อมูลเกี่ยวกับ regression model ที่ทำการจากส่วนที่ 1

รูปที่ 4.6 แสดงหน้า Model

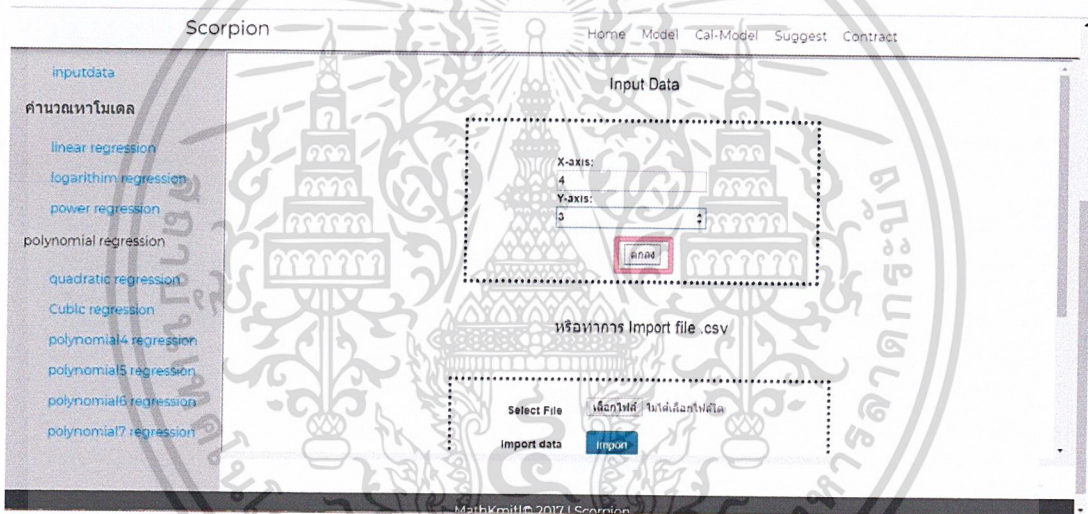
หมายเลข 1 ซึ่งจะประกอบด้วยเมนูให้เลือกเพื่อจะแสดงข้อมูลในส่วนหมายเลข 2

หมายเลข 2 เป็นส่วนหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงเนื้อหาเป็นข้อมูลเกี่ยวกับ regression

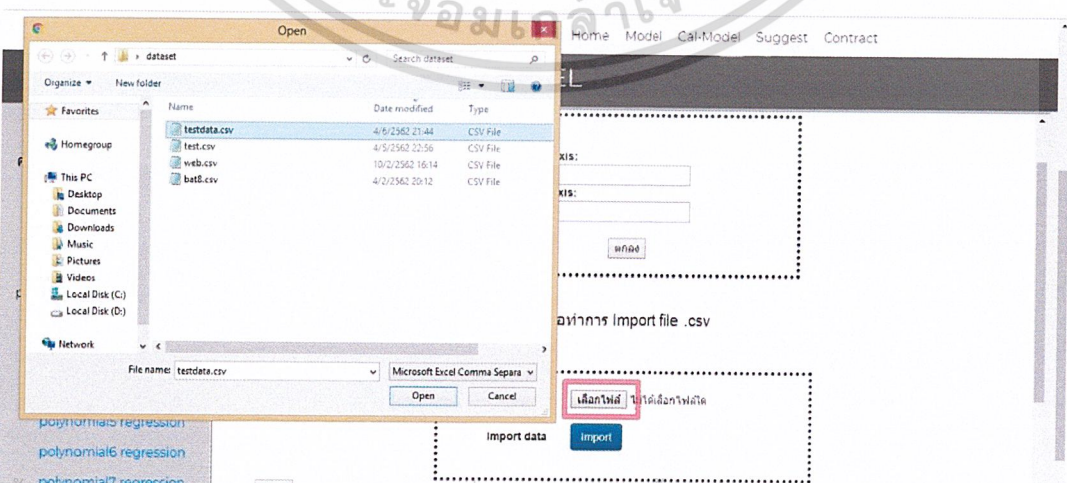
เอกสาร model เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



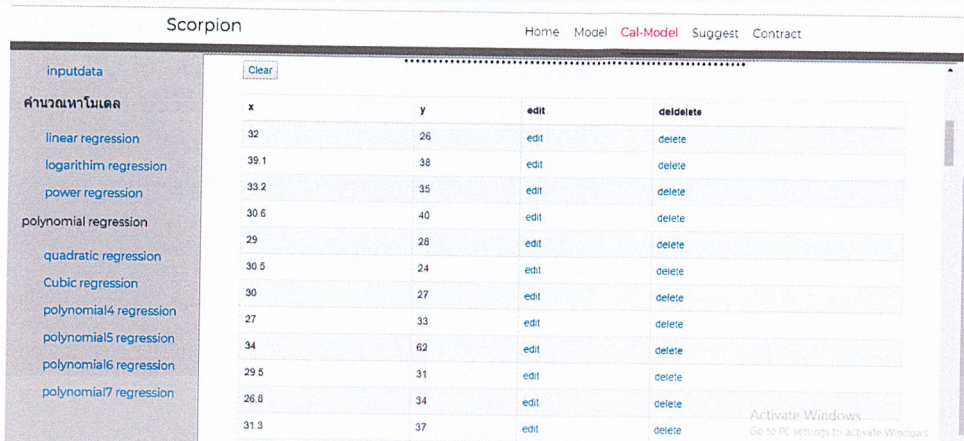
รูปที่ 4.8 ภาพแสดงหน้าเว็บไซต์เมื่อกด Inputdata



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงตัวอย่างการใส่ข้อมูลตัวแปร x และ y

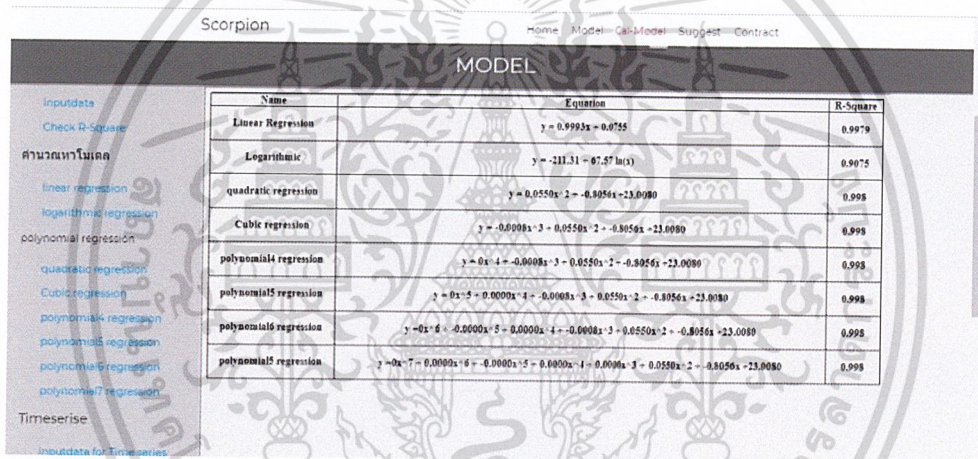


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงการ Import file
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

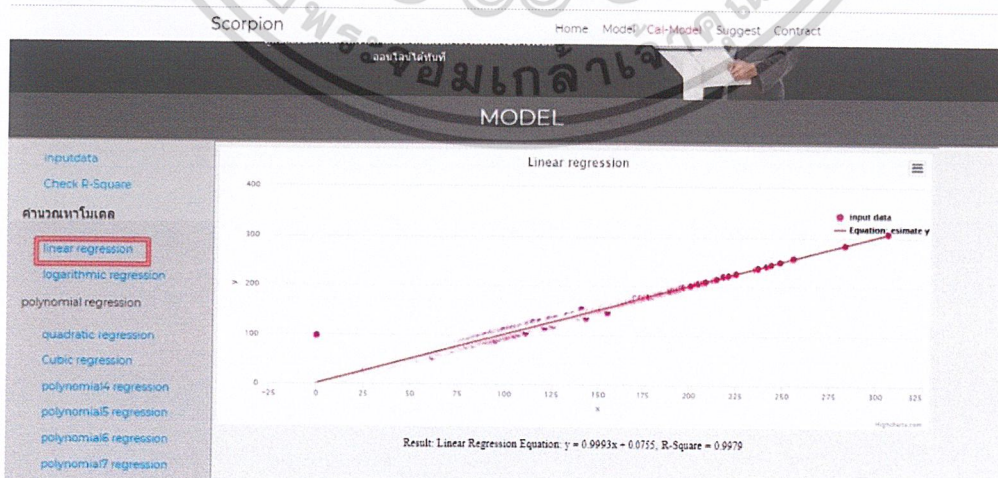


รูปที่ 4.11 ภาพแสดงตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลของไฟล์ที่ถูก Import โดยผู้ใช้สามารถแก้ไขและลบได้

2 การคำนวณ

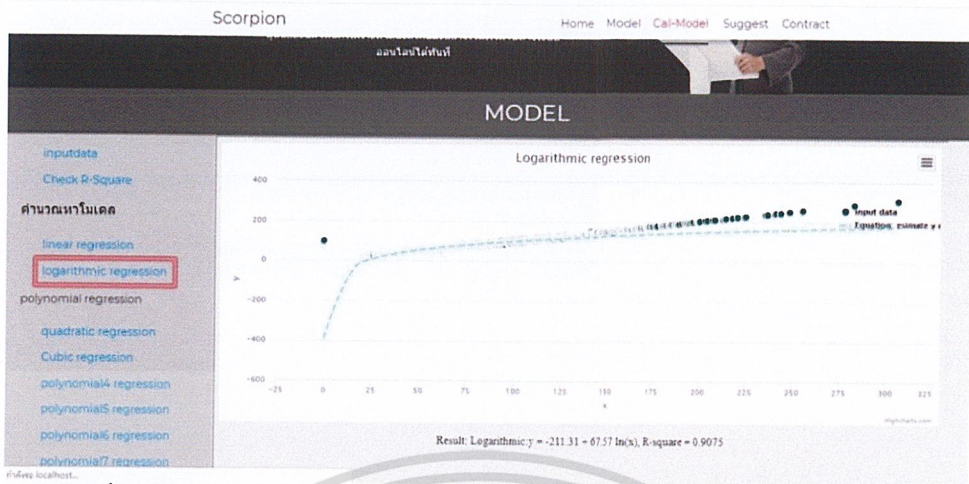


รูปที่ 4.12 ภาพแสดงตัวอย่างการแสดงผลสมการและ R-Square

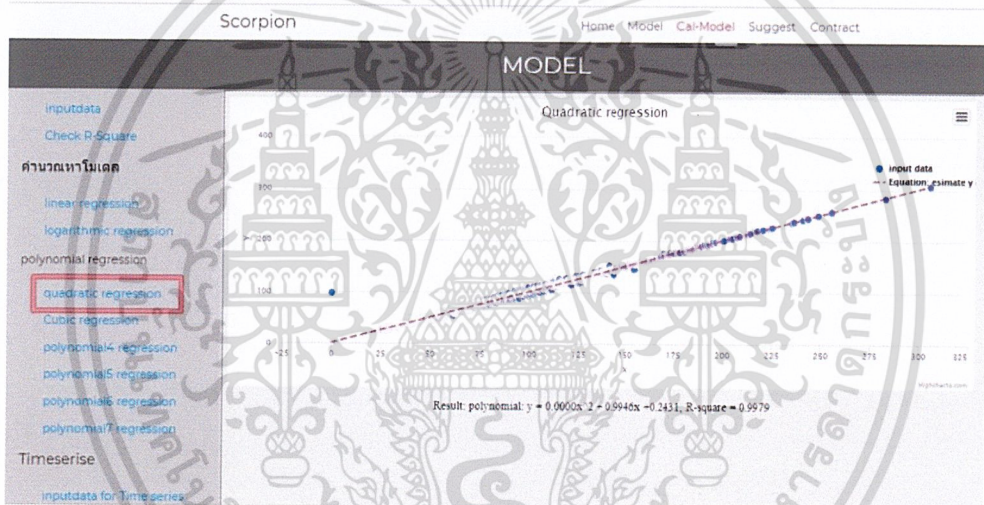


รูปที่ 4.13 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี linear regression

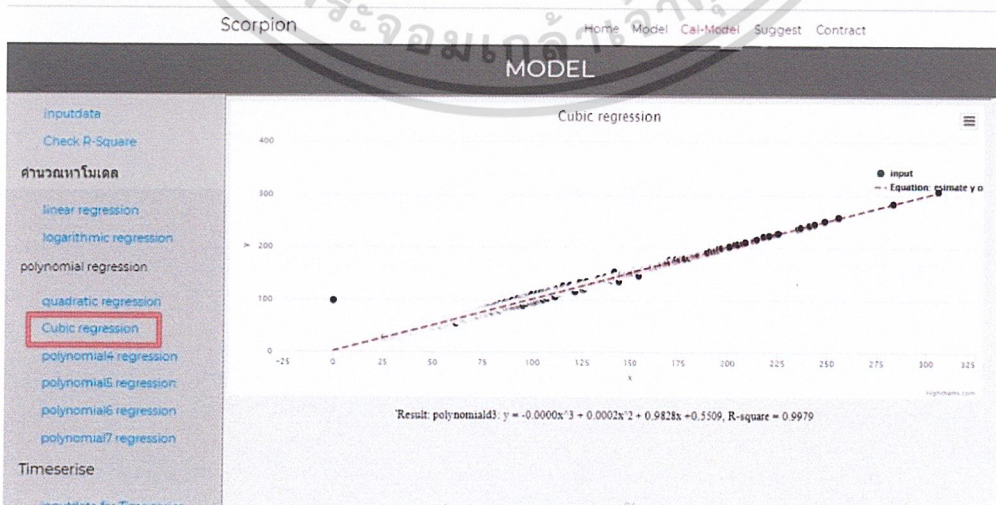
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี logarithmic regression

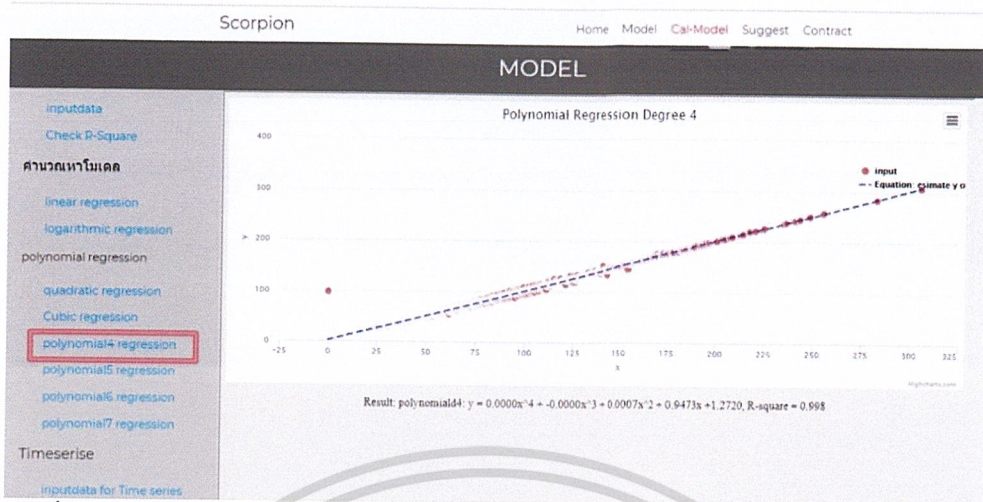


รูปที่ 4.15 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี quadratic regression

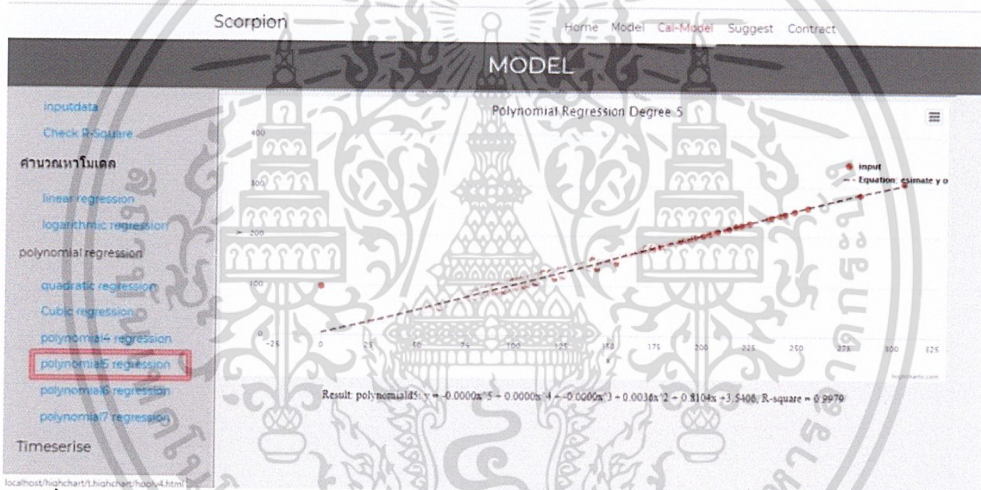


รูปที่ 4.16 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี cubic regression

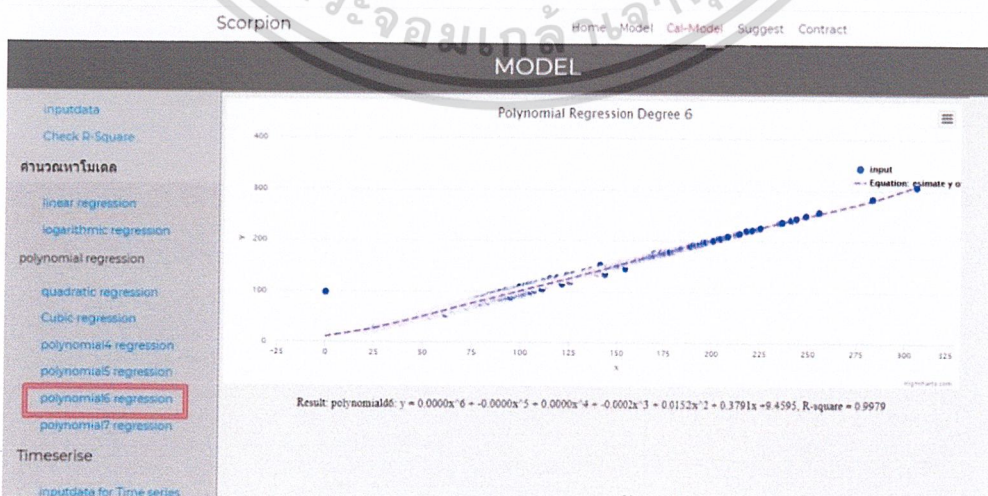
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



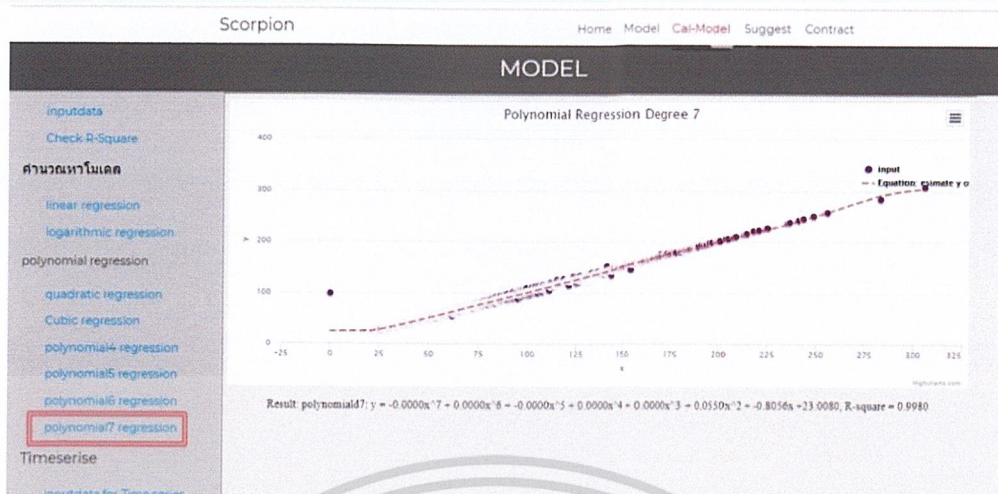
รูปที่ 4.17 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 4



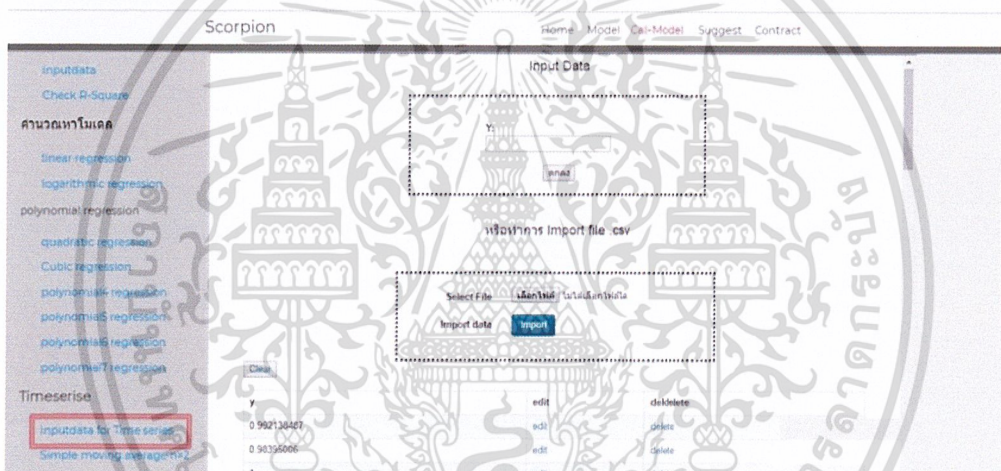
รูปที่ 4.18 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 5



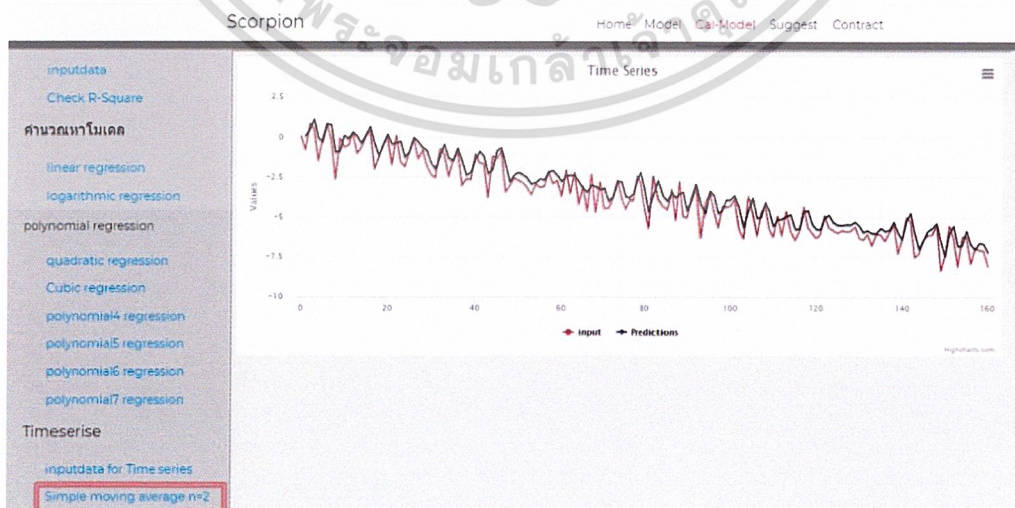
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.19 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 6
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณข้อมูลด้วยวิธี polynomial regression degree 7



รูปที่ 4.21 ภาพแสดงตัวอย่างการ Input ข้อมูลสำหรับคำนวณ Time Series

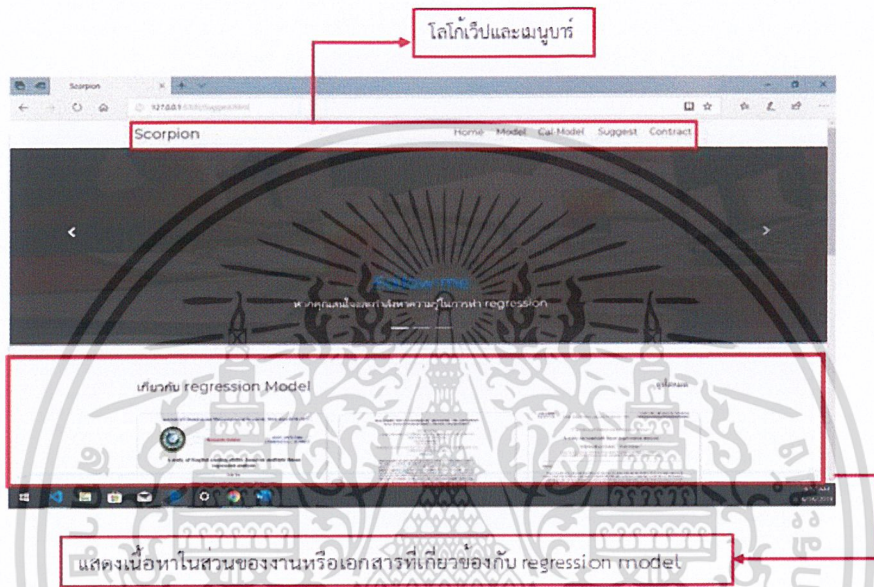


เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งผู้ใช้งานที่เห็นข้างต้นได้ขออนุญาตเผยแพร่เอกสารนี้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้

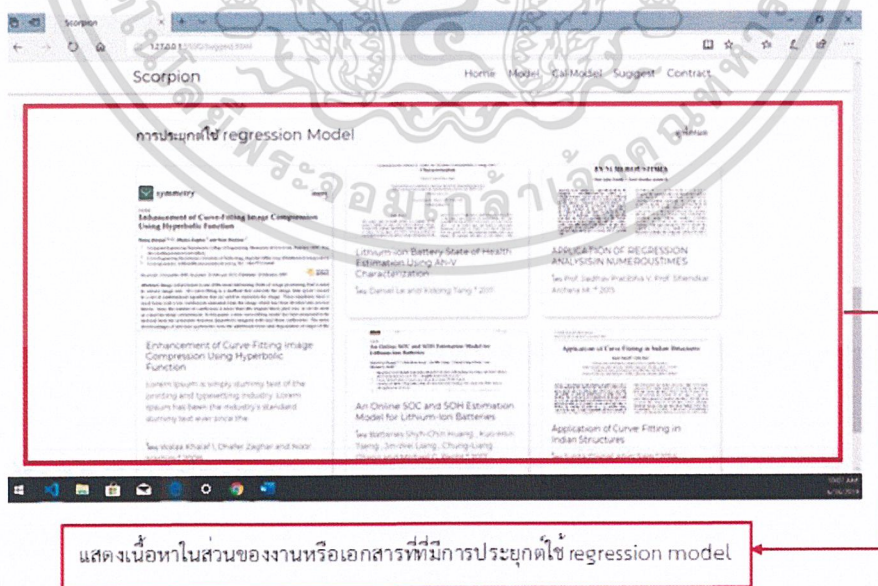
4.3.4 หน้าจัดทำเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ regression model

1 เมนู Suggest

หลังจากทำการเลื่อนลงมาด้านล่างจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เกี่ยวกับ regression model และการประยุกต์ใช้ regression model ซึ่งสามารถกดที่เรื่องที่สนใจเพื่อเข้าชมจากเว็บที่มาได้



รูปที่ 4.23 ภาพแสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ regression model

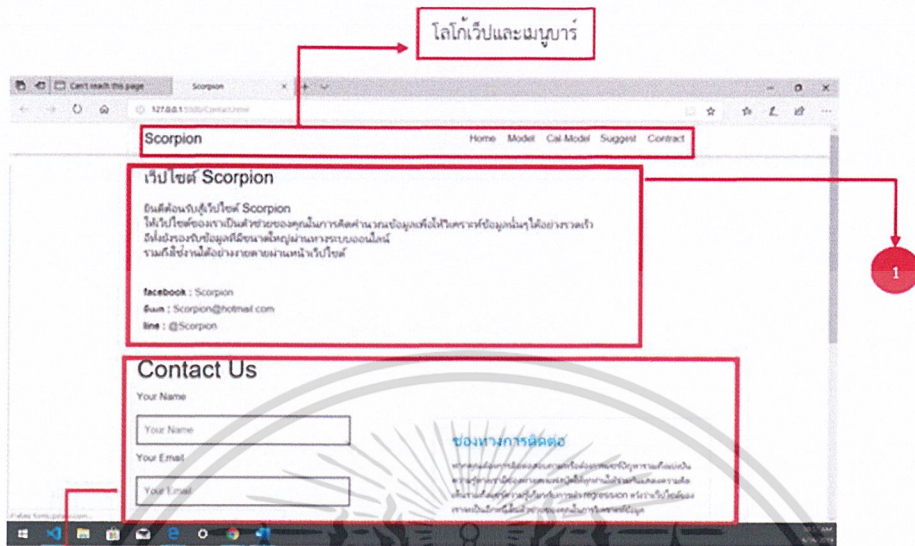


รูปที่ 4.24 ภาพแสดงเนื้อหาในส่วนของงานหรือเอกสารที่มีการประยุกต์ใช้ regression model

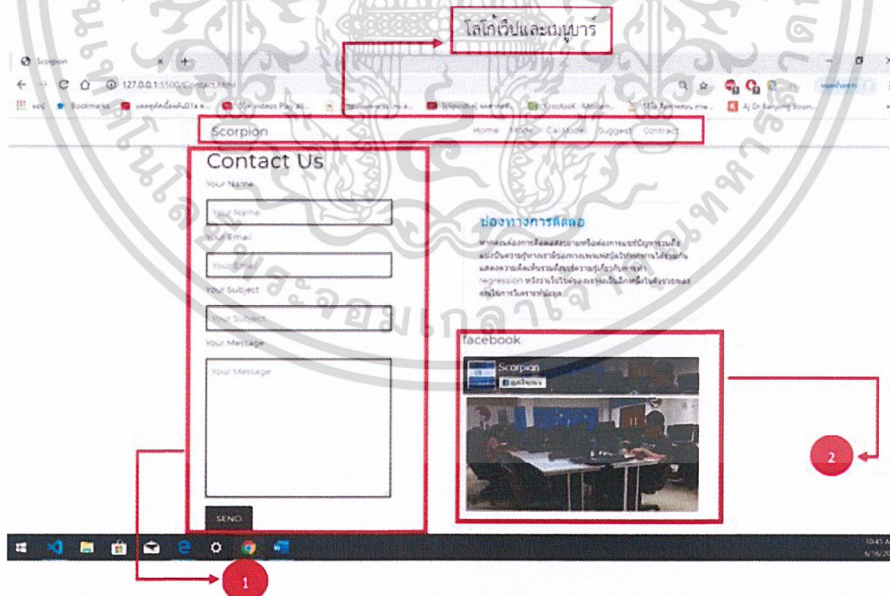
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 แสดงข้อมูลหรือช่องทางการติดต่อ

1 เมนู Contact



หมายเลข 1 ในส่วนนี้เป็นการแสดงข้อความเกี่ยวกับจัดทำเว็บแอปพลิเคชันรวมถึงช่องทางการติดต่อ
หมายเลข 2 เป็นส่วนของ Contact Us ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้



หมายเลข 1 หากผู้ใช้ระบบที่ใช้งานต้องการแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับจัดทำเว็บแอปพลิเคชัน
หมายเลข 2 เป็นการนำ facebook มาแสดงหากผู้ใช้ระบบต้องการโพสต์หรือร่วมออกความคิดเห็น
ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัญหาหาพิเศษฉบับนี้ศึกษาถึงการวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์คือข้อมูลแบตเตอรี่ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 สรุปผล

วิจัยเล่มนี้สร้างแบบจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ จากบทความที่เผยแพร่ในเว็บไซต์ของ Battery University และบริษัทแอปเปิล (apple) ได้กล่าวถึงคุณภาพแบตเตอรี่ไว้ความว่า แบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงคือแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพ 99% ขึ้นไป และเมื่อมีการชาร์จแบตเตอรี่ไปเรื่อย ๆ จะทำให้แบตเตอรี่ค่อยๆ เสื่อมประสิทธิภาพลงโดยที่ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในช่วง 80-99% เป็นช่วงที่แบตเตอรี่ยังมีประสิทธิภาพดีอยู่ แต่ถ้าประสิทธิภาพแบตเตอรี่ต่ำกว่า 80% นั้นหมายความว่าประสิทธิภาพแบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพแล้ว

จากการทำวิจัยสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพนี้ จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากแบตเตอรี่ทั้ง 8 ก้อน คือแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความชันของสมการที่ได้ เนื่องจากยิ่งความชันของกราฟมาก จะหมายถึงมีอัตราการคายประจุมาก ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพแบตเตอรี่

นอกจากนี้วิธีการของ Time Series ทำให้สามารถทำนายประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในรอบถัดไปได้โดยวิธีที่เหมาะสมที่สุดในวิจัยเล่มนี้คือวิธี Brown's one-parameter linear exponential smoothing เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี

5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาการหาความชันของสมการถดถอยในรูปแบบอื่นๆ ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากขึ้น เพื่อให้ได้อัตราการคายพลังงานที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากยิ่งขึ้น

ในส่วนของอนุกรมเวลาอาจมีการทำ grid search ด้วยช่วงค่าที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ค่าการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ และแบบจำลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Daniel Le and Xidong Tang. Lithium-ion Battery State of Health Estimation Using Ah-V Characterization (2011). Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society. USA
- [2] highcharts.graph demo : <https://highcharts.com/demo> (last visited in June 2019)
- [3] highcharts.indicator : <https://rawgithub.com/laff/technicalindicators/master/technical-indicators.src.js> (last visited in June 2019)
- [4] Hinkle, D.E, William ,W. and Stephen G. J. Applied Statistics for the Behavior Sciences. 4th ed. New York : Houghton Mifflin, 1998
- [5] John Wesley Cain[2]. Mathematics of Fitting Scientific Data(2014). Molecular Life Sciences. Springer Science+Business Media New York : USA
- [6] Sunita Daniel and Abin Sam. Application of Curve Fitting in Indian Structures (2014). Journal of Civil Engineering and Environmental Technology. India
- [7] นิคม ถนอมเสียง.การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple Regression Analysis).ขอนแก่น : สาขาวิชาวิทยาการระบาดและชีวสถิติ คณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [8] รูปภาพลักษณะรูปแบบของข้อมูล : <http://libdoc.dpu.ac.th/thesis/150591.pdf?fbclid=IwAR0v31SW3HIMTGwbcJXEHzt0EvMLkRj1UyJvSNzvf3IIGbtb1NYhGfdefo> (last visited in June 2019)
- [9] วิชิต หล่อจีระชญ์กุล,สมบูรณ์วงษ์ สัตยาลักษณ์วิทย์,จิราวัลย์ จิตรณวช และอัจฉราวรรณ ปิ่นสุวรรณ (2539).เทคนิคการพยากรณ์.พิมพ์ครั้งที่1.กรุงเทพฯ:โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาคอมพิวเตอร์ของโปรแกรม R

```
# Import ข้อมูล Excel ลงในโปรแกรม R
library(XLConnect)
library(readxl)
Batt <- read.delim("D:/R/EfficiencyB1.txt")
```

```
# ค่าสหสัมพันธ์
library(corpcor)
cor(Batt[,1:7])
```

```
# กำหนดตัวแปร
```

```
Batt$J <- 1 #insert colum j = 1
```

```
y <- Batt[, 5]
```

```
c <- Batt[, 6]
```

```
x <- Batt[, 1]
```

```
# แบบจำลองในรูป Linear
```

```
X <- matrix(c(c,x), nrow= , ncol=2)
```

```
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
```

```
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
```

```
R1 <- ((norm(X)%*%B1,type = c("F"))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
```

```
Y2 <- B1[1,1]+B1[2,1]*x
```

```
# แบบจำลองในรูป Parabola
```

```
X <- matrix(c(c,x,x^2), nrow= , ncol=3)
```

```
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
```

```
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
```

```
R2 <- ((norm(X)%*%B1,type = c("F"))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
```

```
Y2 <- B1[1,1]+B1[2,1]*x+B1[3,1]*(x^2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบสงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองในรูป Polynomial Degree 3

```
X <- matrix(c(c,x,x^2,x^3), nrow= , ncol=4)
```

```
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
```

```
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
```

```
R3 <- ((norm(X%*%B1,type = c("F")))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
```

```
Y3 <- B1[1,1]+B1[2,1]*x+B1[3,1]*(x^2)+B1[4,1]*(x^3)
```

แบบจำลองในรูป Polynomial Degree 4

```
X <- matrix(c(c,x,x^2,x^3,x^4), nrow= , ncol=5)
```

```
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
```

```
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
```

```
R4 <- ((norm(X%*%B1,type = c("F")))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
```

```
Y4 <- B1[1,1]+B1[2,1]*x+B1[3,1]*(x^2)+B1[4,1]*(x^3)+B1[5,1]*(x^4)
```

แบบจำลองในรูป Polynomial Degree 5

```
X <- matrix(c(c,x,x^2,x^3,x^4,x^5), nrow= , ncol=6)
```

```
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
```

```
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
```

```
R5 <- ((norm(X%*%B1,type = c("F")))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
```

```
Y5 <- B1[1,1]+B1[2,1]*x+B1[3,1]*(x^2)+B1[4,1]*(x^3)+B1[5,1]*(x^4)+B1[6,1]*(x^5)
```

แบบจำลองในรูป Polynomial Degree 6

```
X <- matrix(c(c,x,x^2,x^3,x^4,x^5,x^6), nrow= , ncol=7)
```

```
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
```

```
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
```

```
R6 <- ((norm(X%*%B1,type = c("F")))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
```

```
Y6 <-
```

```
B1[1,1]+B1[2,1]*x+B1[3,1]*(x^2)+B1[4,1]*(x^3)+B1[5,1]*(x^4)+B1[6,1]*(x^5)+B1[7,1]*(x^6
```

```
)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#แบบจำลองในรูป Polynomial Degree 7
X <- matrix(c(c(x,x^2,x^3,x^4,x^5,x^6,x^7), nrow= , ncol=8)
j <- matrix(y, nrow= , ncol=1)
B1 <- pseudoinverse(X)%*%j
R7 <- ((norm(X%*%B1,type = c("F")))^2)/((norm(j,type = c("F")))^2)
Y7 <-
B1[1,1]+B1[2,1]*x+B1[3,1]*(x^2)+B1[4,1]*(x^3)+B1[5,1]*(x^4)+B1[6,1]*(x^5)+B1[7,1]*(x^6
)+B1[8,1]*(x^7)

#แสดงกราฟเปรียบเทียบ
library(ggplot2)
plot.ts(Y7, main=expression("Battery 2"), ylab = expression("Efficiency"), xlab =
expression("Cycle"), col="red")
lines(Y6, col="#CCFF00") lines(Y5, col="#33FFFF") lines(Y4, col="#FF3399")
lines(Y3, col="#FFCC00") lines(Y2, col="#FF00FF") lines(Y1, col="#66FF33")
lines(y, col="blue")
legend("bottomright", box.lty=0, inset=.02, c("RealData","Linear","Parabola","Polynomial
Degree 3","Polynomial Degree 4", "Polynomial Degree 5", "Polynomial Degree
6","Polynomial Degree 7"),
fill=c("blue","#66FF33","#FF00FF","#FFCC00","#FF3399","#33FFFF","#CCFF00","red"))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้