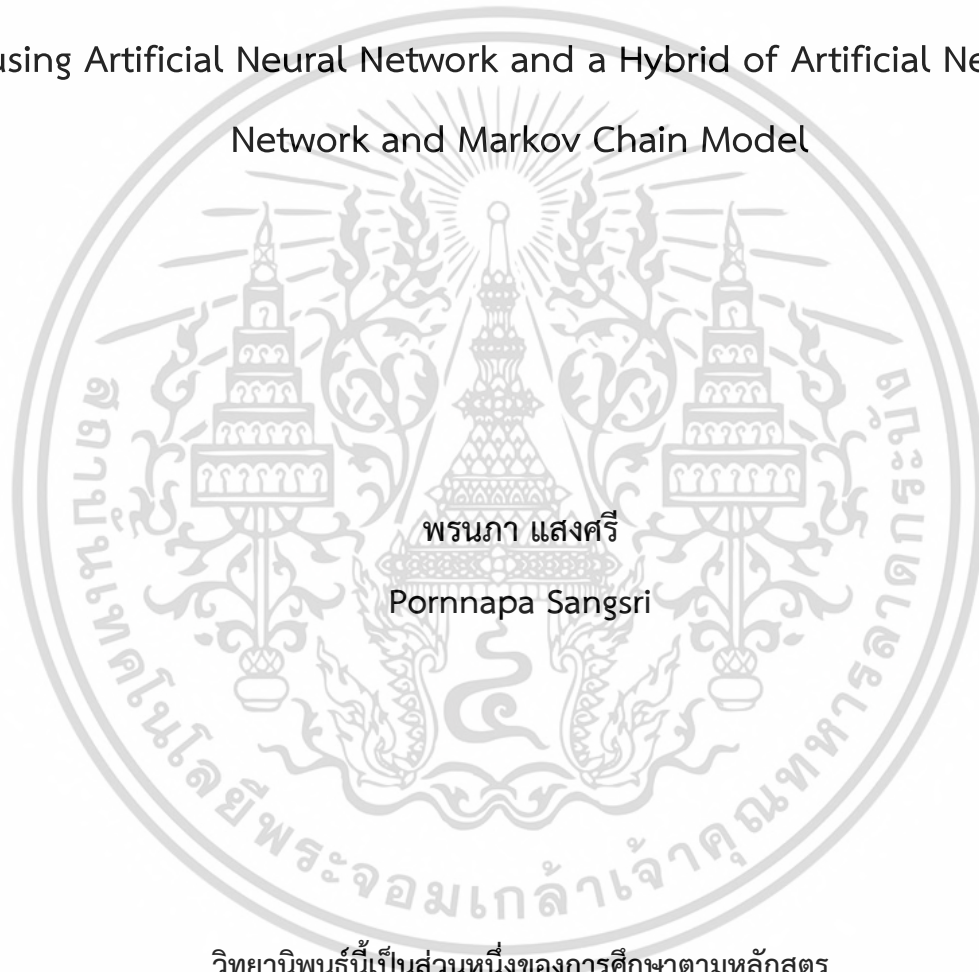


การเปรียบเทียบการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน
ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและ
วิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ

A Comparison of Forecasting Methods for Daily Air Quality Index
using Artificial Neural Network and a Hybrid of Artificial Neural
Network and Markov Chain Model



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2564

KMITL-2021-SC-M-050-027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Comparison of Forecasting Methods for Daily Air Quality Index
using Artificial Neural Network and a Hybrid of Artificial Neural
Network and Markov Chain Model



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN STATISTICS AND BUSINESS ANALYTICS
DEPARTMENT OF STATISTICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

KMITL-2021-SC-M-050-027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพรนภา แสงศรี
รหัสประจำตัว	61605095
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ)
ภาควิชา	สถิติ
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยทำการศึกษาเทคนิควิธีการพยากรณ์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีการผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นข้อมูลทุติยภูมิได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เดือน และปริมาณความเข้มข้นของสารพิษต่างๆ วัดได้ที่สถานีตรวจวัด ณ กรมประชาสัมพันธ์ แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 รวมทั้งสิ้น 700 รายการ ซึ่งแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนตัวแบบพยากรณ์ และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบตัวแบบพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 23.75% ในขณะที่ตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 25.51% ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟมีความแม่นยำในการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศดีกว่าตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้าได้

คำสำคัญ ดัชนีคุณภาพอากาศ วิธีการผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีโซ่มาร์คอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Comparison of Forecasting Methods for Daily Air Quality Index using Artificial Neural Network and a Hybrid of Artificial Neural Network and Markov Chain Model
Student	Pornnapa Sangsri
Student ID.	61605095
Degree	Master of Science (Statistics and Business Analytics)
Department	Statistics
Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Prof. Dr. Pornpimol Chaiwuttisak

Abstract

The objective of this research was to compare a daily air quality index forecasting model considering the mean absolute percentage error. Two forecasting techniques were studied, namely the artificial neural network and the hybrid of artificial neural network and markov chain model. Data used in the research study were secondary data such as wind speed, temperature, relative humidity, month and the air pollutant toxic concentrations measured at the station located at the Public Relations Department, Phaya Thai Subdistrict, Phaya Thai District, Bangkok from January 1, 2019, to November 30, 2020. A total of 700 entries were divided into two sets : training datasets and testing datasets. The results showed that the hybrid of artificial neural network and markov chain model yielded a mean absolute percentage error of 23.75%, while the artificial neural network model yielded a mean absolute percentage error of 25.51%. It can be said that forecasting the daily air quality index using the hybrid of artificial neural network and markov chain forecast model is more accurate than the artificial neural network model. The forecast model can be used to forecast the daily air quality index in advance.

Keywords: Air Quality Index, Artificial Neural Network, Hybrid of Neural Network and Markov Chain, Markov Chain Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ติดตามการดำเนินงานในทุกขั้นตอน ตลอดจนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมชาย ปฐมศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก และ รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัครีรวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อนำมาแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ กองการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้คนรอบข้างที่คอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

นางสาวพรนภา แสงศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 มลพิษทางอากาศ	6
2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศ	8
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม	11
2.4 โซ่มาร์คอฟ	19
2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	27
3.2 ลักษณะข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล	29
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิธีการเก็บรวบรวมและเตรียมข้อมูล	29
3.5 การสร้างตัวแบบพยากรณ์	37
3.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	42
4.1 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	46
4.2 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่ มาร์คอฟ	47
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์	57
4.4 ผลพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย	62
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก การพยากรณ์วิธีผสมโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ	69
ภาคผนวก ข โค้ดการพยากรณ์วิธีโครงข่ายประสาทเทียม	105
ประวัติผู้เขียน	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย	9
2.2	ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	10
2.3	การเปลี่ยนสถานะ	20
2.4	ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ (State Transition Probability)	21
2.5	เกณฑ์การประเมินของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)	23
3.1	ชุดคำสั่งที่ใช้ในงานวิจัย	29
3.2	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง	30
3.3	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง	31
3.4	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง	33
3.5	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง	34
3.6	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง	35
3.7	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 1.00 น.	35
3.8	รายละเอียดของตัวแปรทำนายที่ใช้ในงานวิจัย	36
3.9	รายละเอียดของตัวแปรตามที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.10	กำหนดสถานะสำหรับการแบ่งช่วงของโซ่มาร์คอฟ	39
3.11	การเปลี่ยนสถานะ	40
4.1	การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อเลือกตัวแบบ	46
4.2	อัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ	48
4.3	การเปลี่ยนสถานะ	54
4.4	การหาความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ	55
4.5	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	การหาช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	56
4.7	การปรับค่าพยากรณ์ด้วยโซ่มาร์คอฟ	57
4.8	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของตัวแบบพยากรณ์	59
4.9	ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลล์ประสาท	11
2.2 องค์ประกอบของนิวรอน (Neuron)	12
2.3 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น	13
2.4 ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดซิกมอยด์	14
2.5 ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์	15
2.6 ฟังก์ชันเกาเซียน	15
2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation Neural Networks)	16
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	28
4.1 ดัชนีคุณภาพอากาศ	42
4.2 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	43
4.3 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3)	43
4.4 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	44
4.5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})	44
4.6 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	44
4.7 ความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุด	45
4.8 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด	45
4.9 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุด	45
4.10 โครงสร้างของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม	47
4.11 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ	55
4.12 กราฟเปรียบเทียบดัชนีคุณภาพอากาศด้วยค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ	58
4.13 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อากาศเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการการหายใจของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายไปยังปอดสำหรับแลกเปลี่ยนก๊าซ หากร่างกายเกิดภาวะขาดออกซิเจน หรือได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายจะทำให้เซลล์ตาย ส่งผลให้อวัยวะตายตามไปด้วย ซึ่งอากาศในแต่ละที่จะมีปริมาณออกซิเจนไม่เท่ากัน หากร่างกายขาดออกซิเจนจะเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ โดยปกติระดับออกซิเจนในอากาศอยู่ที่ร้อยละ 20.9 แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงระดับออกซิเจนในอากาศ อาจส่งผลทำให้ร่างกายแสดงปฏิกิริยาต่างๆ เช่น หัวใจเต้นผิดปกติ หายใจลำบาก อาเจียน หน้ามืด ไม่มีเรี่ยวแรง หงุดหงิด และอาจทำให้หัวใจหยุดเต้น นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศแล้ว ยังมีก๊าซอื่นๆ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen) ในอากาศคิดเป็นร้อยละ 78 ไอน้ำในอากาศคิดเป็นร้อยละ 0 - 4 ก๊าซโอโซน (O_3) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) แอมโมเนีย (NH_3) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในอากาศคิดเป็นร้อยละ 1 แต่ในปัจจุบันอัตราส่วนของก๊าซนั้นได้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการดำรงชีวิตของมนุษย์เปลี่ยนไปจากในอดีต ส่งผลให้อัตราส่วนของก๊าซในอากาศเปลี่ยนแปลง ทำให้คุณภาพอากาศมีความแปรปรวน (สินมันคง, 2564)

ระบบการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทยนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบสภาพปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ และเพื่อเฝ้าระวังสภาพปัญหาและศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ โดยระบบเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย ดำเนินการโดยกรมควบคุมมลพิษ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (Ambient Air Monitoring Stations) และระบบจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล สามารถอธิบายได้ว่าในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ประกอบด้วยสถานีตรวจวัดแบบกึ่งถาวร และหน่วยตรวจวัดแบบเคลื่อนที่ (Mobile Unit) โดยติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลไปยังกรมควบคุมมลพิษ ส่วนในระบบจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่เดิมมีซอฟต์แวร์หลัก คือ AIRVIRO โดยเรียกเก็บจากสถานีทั่วประเทศ จำนวน 57 แห่ง เพื่อให้ทราบสถานการณ์คุณภาพอากาศและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะมลพิษทางอากาศในพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง (Real-time Monitoring) และสามารถใช้พยากรณ์สถานการณ์ภาวะมลพิษได้ระดับหนึ่ง โดยข้อมูลการตรวจวัดสภาพอากาศด้านอนุษิมวิทยา ได้แก่ ความเร็วของกระแสลม ทิศทางของกระแสลม อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณการแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์ ความดันของบรรยากาศ และปริมาณน้ำฝน และนอกจากนั้นตรวจวัดสารมลพิษในบรรยากาศที่ทำการตรวจวัดประจำสถานี ประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา (TSP) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบกึ่งอัตโนมัติชนิดไฮโวลุ่ม (High Volume Air Sampler) ฝุ่นละอองขนาดเล็กตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมาโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติชนิดไฮโวลุ่ม เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กตั้งแต่ 10 ไมครอนแบบอัตโนมัติชนิดรังสีเบต้าหรือชนิดที่อ้อม (Tapered Element Oscillating Microbalance: TEOM) ฝุ่นละอองขนาดเล็กตั้งแต่ 2.5 ไมครอนลงมาโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ ก๊าซโอโซนโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบอัตโนมัติ (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ในปี 2562 กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ดำเนินการติดตามตรวจวัดมลพิษทางอากาศโดยสถานีแบบอัตโนมัติใน 34 จังหวัด จำนวน 64 สถานี ทำการตรวจวัดสรุปสถานการณ์มลพิษทางอากาศในภาพรวมของทั้งประเทศดีขึ้นจากปีก่อนหน้าเล็กน้อย สารมลพิษทางอากาศที่พบเกินมาตรฐาน ได้แก่ ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลตรวจวัดได้ลดลงจากปีก่อนหน้าเล็กน้อย ซึ่งสถานการณ์ของสารมลพิษแบ่งได้ดังนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ค่าฝุ่นอยู่ในช่วง 15 - 357 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 50 มคก./ลบ.ม. พบมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ปี 2558 สำหรับในปี 2562 จำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐานและค่าเฉลี่ยทั้งปีลดลงเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าเล็กน้อย ยกเว้นพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่สถานการณ์ดีขึ้นจากปีก่อนหน้า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ค่าฝุ่นอยู่ในช่วง 32 - 394 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่ามาตรฐาน 120 มคก./ลบ.ม. พบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกภาคของประเทศ ก๊าซโอโซน ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง ค่าฝุ่นอยู่ในช่วง 66 - 191 ppb โดยมีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 100 ppb ภาพรวมยังมีค่าเกินมาตรฐานในหลายพื้นที่ โดยค่าเฉลี่ยทั้งประเทศมีปริมาณลดลงจากปีก่อนหน้าเล็กน้อย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ตรวจวัดได้ในช่วง 4 - 91 ppb โดยมีค่ามาตรฐาน 300 ppb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมีแนวโน้มลดลงจากปีก่อนหน้า ไนโตรเจนไดออกไซด์ ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ตรวจวัดได้ในช่วง 20 - 195 *ppb* โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 170 *ppb* พบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่ปี 2560 คาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดแต่ละจุดตรวจวัด อยู่ในช่วง 1.4 - 9.6 *ppm* โดยค่ามาตรฐาน 30 *ppm* พบมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงจากปีก่อนหน้า (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

จากการศึกษาพบว่ามลพิษทางอากาศเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต เกิดขึ้นในระหว่างการใช้มวลชีวภาพ เพื่อการประกอบอาหาร การให้แสงสว่างและการทำความร้อนในครัวเรือน การเผากำจัดขยะทางการเกษตร พลังงาน และการคมนาคมขนส่ง การติดตามคุณภาพอากาศจะบ่งบอกสถานการณ์ความรุนแรงของมลพิษทางอากาศ ดังนั้นระบบการพยากรณ์จึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม เพราะสามารถใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศได้ การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ โดยข้อมูลจากการพยากรณ์นั้นมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนรับมือกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น ปัจจุบันการพยากรณ์ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย และถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ ซึ่งพบว่ามีนักวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Gholamreza 2016 ; Heidar 2019 ; ชยกร, 2553 ; รณชัย, 2560) เนื่องด้วยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาที่ไม่มีรูปแบบหรือมีรูปแบบที่ซับซ้อน โดยระบบจะมีการเรียนรู้ทำให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นในปัจจุบันการพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมใช้ร่วมด้วยกับวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เพื่อปรับปรุงความถูกต้องของการพยากรณ์

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างและเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความเร็วลมต่ำสุด ความเร็วลมสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด เดือน และปริมาณความเข้มข้นของสารพิษต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ ณ สถานีตรวจวัด กรมประชาสัมพันธ์ แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 รวมทั้งสิ้น 700 รายการ และนำตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและสร้างตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย

1.2.3 เพื่อพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลอนุกรมเวลาของดัชนีคุณภาพอากาศที่วัดได้ ณ กรมประชาสัมพันธ์ แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลรายวัน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศให้มีความแม่นยำมากขึ้น

1.4.2 สามารถนำตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ไปเป็นแนวทางหรือข้อมูลเพิ่มเติมในการตัดสินใจ สำหรับวางแผนการจัดการมลพิษทางอากาศได้อย่างเหมาะสม

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลายาวนาน สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อมทั้งมนุษย์ สัตว์ สิ่งของ

สารเจือปน หมายถึง สารมลพิษประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซโอโซน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารตะกั่ว ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ดัชนีคุณภาพทางอากาศ หมายถึง รายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจได้ง่าย โดยแสดงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ ในแต่ละระดับว่ามีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด (Holis Medicare, 2021) ได้แก่

1. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
2. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
3. ก๊าซโอโซน
4. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
5. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
6. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดทฤษฎี วรรณกรรมหรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นแนวทางเข้าสู่กระบวนการวิจัยภายใต้ชื่อหัวข้อ “การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ” โดยจะประกอบด้วยหัวข้อสำคัญดังต่อไปนี้

- 0.1. มลพิษทางอากาศ
- 0.2. ดัชนีคุณภาพอากาศ
- 0.3. โครงข่ายประสาทเทียม
- 0.4. โซ่มาร์คอฟ
- 2.5. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์
- 0.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศเป็นภาวะอากาศที่มีสารพิษเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นระยะเวลานาน พอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่าง อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า ก๊าซธรรมชาติ อากาศเสียที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติเป็นอันตรายต่อมนุษย์น้อยมาก เพราะแหล่งกำเนิดอยู่ไกลและปริมาณที่เข้าสู่สภาพแวดล้อมของมนุษย์และสัตว์มีน้อย กรณีที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากท่อไอเสียของรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม ขบวนการผลิต กิจกรรมด้านการเกษตร การระเหยของก๊าซบางชนิด ขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น โดยระบบภาวะมลพิษอากาศ มีส่วนประกอบที่มีความสัมพันธ์กัน 3 ส่วน ดังนี้ (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แหล่งกำเนิดสารมลพิษ (Emission Sources) เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและระบายออกสู่ชั้นบรรยากาศขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิด ลักษณะการเผาไหม้ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ กิจกรรมและวิธีการควบคุมการระบายสารพิษทางอากาศ

2. อากาศหรือชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) เป็นส่วนของระบบที่รองรับสารมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดต่างๆ และเป็นตัวกลาง (Media) ให้สารมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศ มีการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วและทิศทางลม รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา ต้นไม้ และอาคารบ้านเรือน เป็นตัวกำหนดลักษณะการแพร่กระจายสารมลพิษในอากาศ

3. ผู้รับผลกระทบ (Receptors) เป็นส่วนของระบบที่สัมผัสกับสารมลพิษในอากาศ ทำให้ได้รับความเสียหายหรืออันตราย โดยผู้รับผลกระทบอาจเป็นสิ่งที่มีชีวิต เช่น คน พืช สัตว์ หรือเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น เสื้อผ้า อาคาร บ้านเรือน วัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับแต่ละประเภท หรือความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ และระยะเวลาที่สัมผัสกับมลพิษทางอากาศ

2.1.1 ประเภทของสารมลพิษทางอากาศ

สารมลพิษทางอากาศอาจแบ่งได้ 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด ดังนี้

1. สารมลพิษอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) เป็นสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นและถูกระบายจากแหล่งกำเนิดโดยตรงสู่บรรยากาศ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen Oxide) สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) ฝุ่นละออง ดินทราย แป้ง ละอองเกสร และเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2. สารมลพิษอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) เป็นสารมลพิษทางอากาศที่ไม่ได้เกิดและถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดใดๆ แต่เกิดขึ้นในบรรยากาศจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษทางอากาศปฐมภูมิกับสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น ก๊าซโอโซน ฝุ่นละอองขนาดเล็ก และสารมลพิษทางอากาศที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic) เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และฝุ่นตะกั่ว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ

แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศตามกระบวนการทางธรรมชาติ หรือไม่มีการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟป่าตามธรรมชาติ การปล่อยก๊าซจากการย่อยสลายซากพืช ซากสัตว์ เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Sources) ทำให้มีการระบายสารมลพิษทางอากาศ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท

2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่อยู่กับที่ (Point Sources) ได้แก่ การปลดปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Air Pollution) ไร่ระเหยจากคลังน้ำมันและสถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น

2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่เคลื่อนที่ (Mobile Sources) ได้แก่ การปลดปล่อยมลพิษจากยานพาหนะ (Automobile Air Pollution) ประเภทต่างๆ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เรือ เครื่องบิน เป็นต้น

2.3 มลพิษทางอากาศที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแน่นอน (Non-point Sources) ได้แก่ การเผาในที่โล่ง การลักลอบเผาป่า การเผาตอซังในนาข้าว การเผาขยะ ฝุ่นละอองจากพื้นดินที่ถูกพัดพาโดยลม เป็นต้น






2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลต่อสุขภาพหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศที่ใช้อยู่ในประเทศไทย คำนวณโดยเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซโอโซนเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง โดยเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2.1 ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งเป็น 5 ระดับ (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง มากกว่า 200 ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบกับระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

สัญลักษณ์สีที่ใช้	AQI	ความหมาย	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
สีฟ้า 	0 - 25	คุณภาพดี	ไม่มีผลต่อสุขภาพ
สีเขียว 	26 - 50	คุณภาพปานกลาง	ไม่มีผลต่อสุขภาพ
สีเหลือง 	51 - 100	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคารเป็นเวลานาน
สีส้ม 	101 - 200	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมภายนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุ ควรจำกัดการออกกำลังกายภายนอกอาคาร
สีแดง 	มากกว่า 200	อันตราย	บุคคลทั่วไป ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคาร สำหรับผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรอยู่ในอาคาร

ที่มา: สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554

การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ

การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวันของสารพิษทางอากาศแต่ละประเภท โดยคำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งมีระดับค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2 การคำนวณดัชนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพอากาศภายในช่วงระดับเป็นสมการเส้นตรง ดังสมการที่ 2.1 (กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2564)

$$\text{กำหนดให้} \quad I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i}(X - X_i) + I_i \quad (2.1)$$

เมื่อ I แทน ดัชนีคุณภาพอากาศของสารมลพิษแต่ละประเภท
 X แทน ความเข้มข้นเฉลี่ยแต่ละประเภทสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด
 X_i, X_j แทน ค่าต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยแต่ละประเภทสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด ณ ความเข้มข้นเฉลี่ย X
 I_i, I_j แทน ค่าต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้นเฉลี่ย X

เมื่อคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศแต่ละประเภทแล้ว นำค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่มีค่าสูงสุดในช่วงเวลานั้น เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)

ตารางที่ 2.2 ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

AQI	$PM_{2.5}$ (มคก./ลบ.ม.)	PM_{10} (มคก./ลบ.ม.)	O_3 (ppb)	CO (ppm)	NO_2 (ppb)	SO_2 (ppb)
	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง	
0 - 25	0 - 25	0 - 50	0 - 35	0 - 4.4	0 - 60	0 - 100
26 - 50	26 - 37	51 - 80	36 - 50	4.5 - 6.4	61 - 106	101 - 200
51 - 100	38 - 50	81 - 120	51 - 70	6.5 - 9.0	107 - 170	201 - 300
101 - 200	51 - 90	121 - 180	71 - 120	9.1 - 30.0	171 - 340	301 - 400
มากกว่า 200	90 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	121 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	341 ขึ้นไป	401 ขึ้นไป

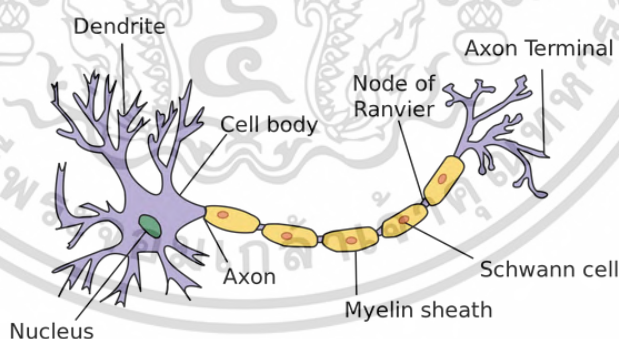
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาเฉลี่ย และหน่วยสารมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ

1. ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม.
2. ค่าฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม.
3. O_3 เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ *ppb* หรือ 1/1,000,000,000
4. CO เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในล้านส่วน หรือ *ppm* หรือ 1/1,000,000
5. NO_2 เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ *ppb* หรือ 1/1,000,000,000
6. SO_2 เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในพันล้านส่วน หรือ *ppb* หรือ 1/1,000,000,000

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ใช้หลักการเบื้องต้นมาจากการทำงานของเซลล์ประสาท (Neuron) ของมนุษย์ ดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละเซลล์ประสาทจะมีหลักการสื่อสารกันผ่านการกระตุ้นด้วยศักย์ไฟฟ้า กล่าวคือ กระแสประสาทเริ่มต้นส่งสัญญาณจากตัวเซลล์ (Cell Body) ผ่านแกนประสาทนำออก (Axon) ไปยังจุดประสานประสาทหรือไซแนปส์ (Synapse) ซึ่งจะสื่อสารเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่นผ่านใยประสาทนำเข้า (Dendrite) ณ จุดที่เซลล์ประสาททำการสื่อสารกัน ดังนั้นสิ่งนี้จึงเป็นหลักฐานสำคัญที่นำไปประยุกต์ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม



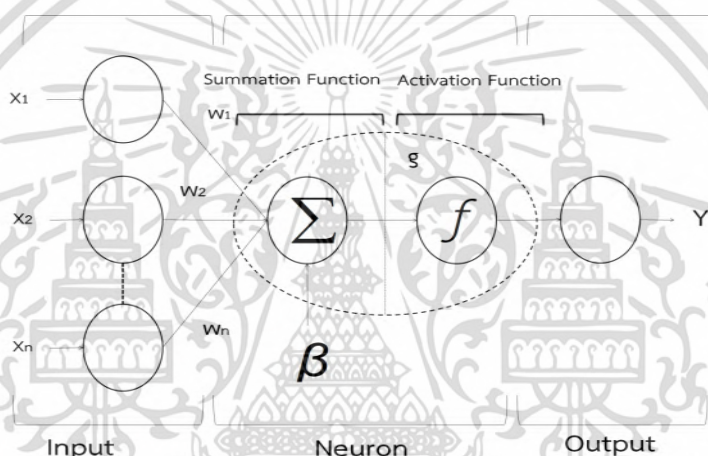
รูปที่ 2.1 เซลล์ประสาท

(ที่มา: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Neuron.svg>)

โครงข่ายประสาทเทียมมีลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณในสมองมนุษย์ คือ มีความสามารถในการเรียนรู้ (Knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) และความรู้เหล่านี้จะเก็บอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายในรูปแบบค่าน้ำหนัก (Weight) สามารถปรับค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ เข้าไป ค่าน้ำหนักทำหน้าที่เปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์ การประมวลผลต่างๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยเรียกว่า โหนด (Node) ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์ การส่งสัญญาณ (Signal) ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน (Connection) จำลองมาจากการเชื่อมต่อเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ ภายในโหนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ (ปริญา, 2562) แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของนิวรอน (Neuron)

โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลอินพุต (Input) คือ ข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้
2. ข้อมูลเอาต์พุต (Output) คือ ผลที่เกิดขึ้นจริง (Actual Output) จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
3. ค่าน้ำหนัก (Weight) คือ สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (Knowledge) ค่านี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) ทำหน้าที่ในการคำนวณผลรวมของข้อมูลที่ได้จากชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ 2.2 (Hagan. *et al.*, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g = \sum_{i=1}^Z X_i W_i + \beta \quad (2.2)$$

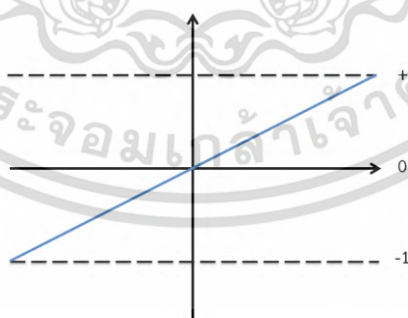
กำหนดให้

- X แทน ค่าข้อมูลนำเข้าตัวที่ i
- W แทน ค่าน้ำหนักของข้อมูลนำเข้าตัวที่ i
- g แทน ผลลัพธ์จากฟังก์ชันผลรวม
- Z แทน จำนวนนิเวรอนของข้อมูลเข้า
- β แทน ค่าความเอนเอียง (Bias)
- i มีค่าตั้งแต่ 1 จนถึง Z

5. ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ทำหน้าที่ปรับค่าของข้อมูลที่ได้จากฟังก์ชันผลรวมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยฟังก์ชันกระตุ้นมีดังนี้

ก. ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดเชิงเส้น (Linear Activation Function) สามารถเรียนรู้เพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุต เป็นฟังก์ชันธรรมดาไม่มีความซับซ้อนจึงไม่เป็นที่นิยม สามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการที่ 2.3 และแสดงรูปดังรูปที่ 2.3

$$f(x) = x \quad (2.3)$$



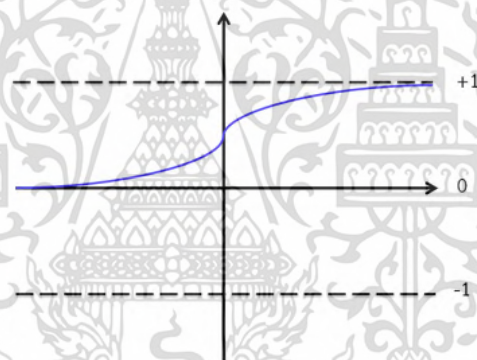
รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเชิงเส้น

ข. ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดซิกมอยด์ (Sigmoid Activation Function) จะบีบช่วงข้อมูลอินพุตที่ไม่จำกัดให้เป็นช่วงของข้อมูลเอาต์พุตที่จำกัดโดยที่ช่วงของข้อมูลเอาต์พุตจะอยู่ในช่วง $[0,1]$ ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิกมอยด์จะแสดงลักษณะของข้อเท็จจริงที่มีความชันเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อข้อมูลอินพุตมีจำนวนมาก มีขั้นตอนวิธีการฝึกฝนแบบแพร่ย้อนกลับ วัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบที่ส่งผลต่อขนาดของอนุพันธ์ไม่ให้มีผลกระทบต่อค่าน้ำหนักปัจจุบัน โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักถูกกำหนดโดยค่าปัจจุบันที่แยกออกมา ค่าปัจจุบันสำหรับค่าน้ำหนักและความเอนเอียงแต่ละค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุพันธ์ของฟังก์ชันสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักที่มีเครื่องหมายเดียวกันสำหรับการกระทำซ้ำรอบสอง และค่าปัจจุบันจะลดลงเมื่ออนุพันธ์กับน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายจากการกระทำซ้ำรอบก่อน ถ้าอนุพันธ์เท่ากับศูนย์ แสดงว่าค่าปัจจุบันยังคงเดิมสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการที่ 2.4 และแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.4)$$

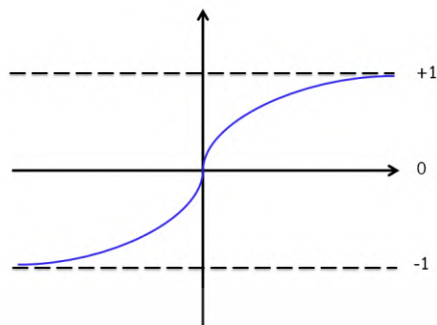


รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดซิกมอยด์

ค. ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดไฮเพอร์โบลิกแทนด์เจนต์ (Hyperbolic Tangent Activation Function) มีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชันการกระตุ้นชนิดซิกมอยด์ แตกต่างกันเพียงช่วงของข้อมูลเอาต์พุต จะอยู่ในช่วง $[-1, 1]$ ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไฮเพอร์โบลิกแทนด์เจนต์ เขียนได้ดังสมการที่ 2.5 และแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^x} \quad (2.5)$$

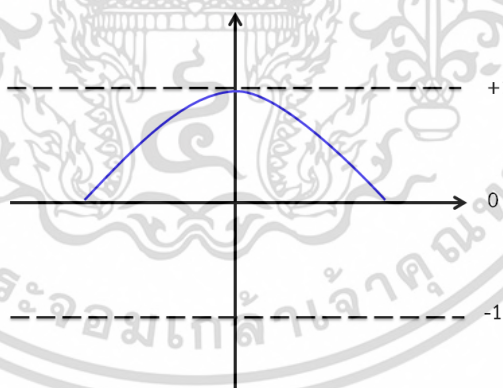
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์

ง. ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Function) ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันจะอยู่ในช่วง $[0,1]$ ในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีการนำฟังก์ชันกระตุ้นแบบฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Function) มาเป็นองค์ประกอบภายในนิวรอน จะเรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบเรเดียลเบซิส (Radial Basis Function) ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 2.6 และแสดงได้ดังรูปที่ 2.6

$$y = e^{-g^2} \quad (2.6)$$

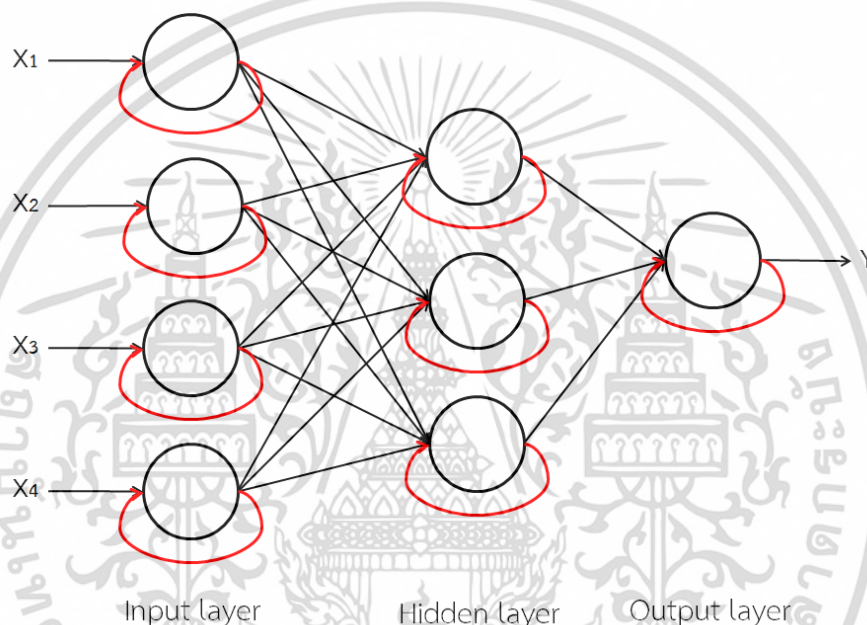


รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันเกาส์เซียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Artificial Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นประกอบด้วยชั้นนำเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นส่งออก (Output Layer) โดยชั้นซ่อนสามารถแทรกจำนวนกี่ชั้นก็ได้ ซึ่งชั้นซ่อนจะทำหน้าที่คล้ายการสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) ขึ้นมาใหม่จากชั้นนำเข้า เพื่อป้อนต่อให้ชั้นซ่อนถัดไปหรือชั้นส่งออก ลักษณะแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation Neural Networks)

2.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation Neural Networks: BPNN)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เป็นตัวแบบโครงข่ายที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาในลักษณะเชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ได้ ซึ่งมีลักษณะสำคัญ ดังนี้

- 1) เป็นโครงข่ายหลายชั้น (Multi-Layer)
- 2) การเชื่อมโยงระหว่างโหนดในแต่ละชั้นเป็นแบบเชื่อมถึงกันหมด
- 3) ทิศทางการไหลของข้อมูลมีการส่งสัญญาณไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ทิศทางการไหลของข้อมูลมีการส่งสัญญาณย้อนกลับ โดยจะมีการส่งผ่านค่าความผิดพลาดจากชั้นส่งออก (Output Layer) กลับมาชั้นก่อนหน้า เพื่อปรับน้ำหนักบนเส้นเชื่อมระหว่างโหนด
- 5) ผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นซ่อนสามารถเป็นข้อมูลนำเข้าของชั้นซ่อนเดียวกันได้
- 6) ฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นซ่อนแต่ชั้นสามารถเลือกฟังก์ชันที่แตกต่างกันได้ แต่ฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นเดียวกันจำเป็นต้องเป็นชนิดเดียวกัน

2.3.3 ขั้นตอนของวิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ

วิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนโหนดในชั้นนำเข้า จำนวนโหนดในชั้นส่งออก จำนวนโหนดในชั้นซ่อน และกำหนดจำนวนข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออก จากนั้นทำการกำหนดจำนวนรอบสูงสุดในการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของอัตราการเรียนรู้ (η) โดยค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

ขั้นตอนที่ 3 การสุ่มน้ำหนักเริ่มต้นให้กับทุกๆ เส้นเชื่อมโยงภายในโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 ชั้น โดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง $[-1, 1]$

ขั้นตอนที่ 4 รับค่าข้อมูลนำเข้าในชุดแรก เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าในชั้นส่งออก

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าผลรวมของโหนดชั้นซ่อน (S_m) ก่อนทำการปรับค่ารวมด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) เช่น ฟังก์ชันซิกมอยด์ ซึ่งจะได้ค่าของโหนดในชั้นซ่อนที่อยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยมีรายละเอียดดังสมการที่ 2.7 – 2.9

ค่าเอาต์พุตของชั้นซ่อนก่อนทำการปรับค่า ดังสมการที่ 2.7

$$S_m = \sum_{n=1}^N X_n W_{nm} \quad (2.7)$$

เมื่อ S_m คือ เอาต์พุตชั้นซ่อน ก่อนทำการปรับค่า (Activation) เป็น y_m

X_n คือ อินพุตโหนดที่ n มีทั้งหมด N โหนด

W_{nm} คือ น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นนำเข้ากับชั้นซ่อน

ค่าเอาต์พุตของชั้นซ่อนหลังทำการปรับค่า ดังสมการที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_m = f(S_m) \quad (2.8)$$

เมื่อ y_m คือ เอาต์พุตของชั้นซ่อน หลังทำการปรับค่าของโหนดที่ m มีทั้งหมด M โหนด ฟังก์ชันที่ใช้ปรับค่า $f(x)$ ดังสมการที่ 2.9

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.9)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าเอาต์พุตของโหนดในชั้นส่งออกด้วยสมการที่ 2.10 จากนั้นทำการปรับค่าผลรวมด้วยฟังก์ชันกระตุ้นได้แก่ฟังก์ชันซิกมอยด์ ดังสมการที่ 2.9 ซึ่งจะได้ค่าของโหนดในชั้นส่งออกที่อยู่ในช่วง $[0, 1]$ สำหรับค่าของผลลัพธ์ในโหนดของชั้นส่งออกนั้น หลังทำการปรับค่าแสดงดังสมการที่ 2.11

$$V_j = \sum_{m=1}^M y_m W_{mj} \quad (2.10)$$

เมื่อ V_j คือ เอาต์พุตของชั้นส่งออกก่อนทำการปรับค่า (Activation) เป็น Z_j
 W_{mj} คือ น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นส่งออก
 y_m คือ เอาต์พุตของชั้นซ่อน หลังทำการปรับค่าของโหนดที่ m มีทั้งหมด M โหนด
 ค่าเอาต์พุตของชั้นส่งออกหลังการปรับค่า ดังสมการที่ 2.11

$$Z_j = f(v_j) \quad (2.11)$$

เมื่อ Z_j คือ ค่าเอาต์พุตที่ได้ทำการปรับค่าแล้วในชั้นเอาต์พุตโหนดที่ j มีทั้งหมด J โหนด

ขั้นตอนที่ 7 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของโหนดในชั้นส่งออกและทำการปรับค่าน้ำหนัก โดยการนำเอาต์พุตที่คำนวณได้จริงเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่กำหนดไว้ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยถ้าค่าผิดพลาดของข้อมูลน้อยกว่าข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้แล้วนั้น โครงข่ายประสาทเทียมก็จะทำการรับข้อมูลชุด

ต่อไปเข้าสู่โครงข่าย โดยถ้าไม่ได้ทำการปรับค่าน้ำหนักแล้วนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการรับข้อมูลแหว
ถัดไป แล้วกลับไปทำในขั้นตอนที่ 5

ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละแหวของข้อมูล ดังสมการที่ 2.12

$$e^{(q)} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (t_j - z_j)^2 \quad (2.12)$$

เมื่อ $e^{(q)}$ คือ ค่าผิดพลาดของข้อมูลตัวอย่าง

t_j คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการที่ชั้นส่งออกโหนดที่ j มีทั้งหมด J โหนด

การปรับน้ำหนักระหว่างโหนดในชั้นซ่อนและชั้นนำออก ดังสมการที่ 2.13

$$W_{mj}^{(r+1)} = W_{mj}^{(r)} + \eta \left\{ (t_j^{(q)} - z_j^{(q)}) [z_j^{(q)} (1 - z_j^{(q)})] y_j^{(q)} \right\} \quad (2.13)$$

เมื่อ η คือ อัตราการเรียนรู้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

r คือ จำนวนรอบที่จะทำการเรียนรู้ มี R เป็นจำนวนรอบที่กำหนด

q คือ จำนวนชุดของข้อมูลตัวอย่าง มี Q เป็นตัวกำหนด

การปรับน้ำหนักระหว่างโหนดในชั้นนำเข้าและชั้นซ่อน ดังสมการที่ 2.14

$$W_{nm}^{(r+1)} = W_{nm}^{(r)} + \eta \left\{ \sum_{j=1}^J (t_j^{(q)} - z_j^{(q)}) [z_j^{(q)} (1 - z_j^{(q)})] W_{mj}^{(r)} \right\} * [y_m^{(q)} (1 - y_m^{(q)})] [X_n^{(q)}] \quad (2.14)$$

2.4 โชมาร์คอฟ

ตัวแบบมาร์คอฟ (Markov Model) คือ การวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในปัจจุบัน
เพื่อพยากรณ์สิ่งที่จะเป็นไปในอนาคต โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่ละช่วงเวลาตามความน่าจะเป็นของการ
เปลี่ยนสถานะ คำนวณค่าความน่าจะเป็นที่เกิดสถานะต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหาผลตอบแทนที่
คาดคะเนในอนาคตได้ ทั้งในระยะสั้น และในระยะยาว นอกจากจะหาค่าความน่าจะเป็นในแต่ละช่วงเวลา
แล้วยังสามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น ณ สถานะคงตัว (วิภาวรรณ, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) เป็นลำดับของการเกิดเหตุการณ์ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์จะขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้า การศึกษาถึงธรรมชาติของโซ่มาร์คอฟมีดังนี้

บทนิยามที่ 1 กำหนดสถานะปัจจุบันของระบบ และสถานะในอนาคตของระบบจะไม่ขึ้นกับสถานะในอดีต แต่จะขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบันเท่านั้น และกำหนดให้ t_0, t_1, \dots, t_n จะได้ว่า

$$P[X_{t+1} = j | X_0 = i_0, \dots, X_{t+1} = i_{t+1}, X_t = i] = P[X_{t+1} = j | X_t = i] \quad (2.15)$$

เมื่อ i_0, i_1, \dots, i_n อยู่ในสถานะ i

2.4.1 กระบวนการสร้างโซ่มาร์คอฟ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสถานะ สำหรับการแบ่งช่วงของโซ่มาร์คอฟ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างการเปลี่ยนสถานะ (State Transition) และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (State Transition Probability)

การเปลี่ยนสถานะจากสถานะ i ไปสู่สถานะ j เมื่อเวลาผ่านไป 1 ช่วงเวลา เรียกว่าเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนสถานะ

	สถานะที่ 1	สถานะที่ 2	...	สถานะที่ j	ผลรวมการเปลี่ยนสถานะ
สถานะที่ 1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1j}	$n_{11} + n_{12} + \dots + n_{1j}$
สถานะที่ 2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2j}	$n_{21} + n_{22} + \dots + n_{2j}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
สถานะที่ i	n_{i1}	n_{i2}	...	n_{ij}	$n_{i1} + n_{i2} + \dots + n_{ij}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n_{ij} คือ จำนวนการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ i ไปสู่สถานะ j โดยที่ $i=j$ และ i, j คือ สถานะของระบบ

หลังจากสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนสถานะ สามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ โดยการนำจำนวนของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ i ไปสู่สถานะ j ทหารด้วยผลรวมของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะปัจจุบันที่ i แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ (State Transition Probability)

	สถานะที่ 1	สถานะที่ 2	...	สถานะที่ j
สถานะที่ 1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1j}
สถานะที่ 2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2j}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
สถานะที่ i	p_{i1}	p_{i2}	...	p_{ij}

หรือเขียนอยู่ในเมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ ดังสมการที่ 2.16

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1j} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \dots & p_{ij} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

เมื่อ $P[X_{t+1} = j | X_t = i] = P_{ij}$ โดยเมทริกซ์ P ไม่สามารถเป็นลบได้ และเมทริกซ์ P สามารถหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ n ครั้ง แสดงดังสมการที่ 2.17

$$P(n) = P^{n-k} \cdot P^k = P^n \quad (2.17)$$

$$\text{เมื่อ } P_{ij}^{(k)} = P[X_{n+k} = j | X_n = i]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการความน่าจะเป็นของการเกิดซ้ำของระบบ

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบคงที่ สำหรับความน่าจะเป็นของโซ่มาร์คอฟ แสดงดังสมการที่ 2.18

$$\Pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} P(X_n = j | X_0 = i) \quad (2.18)$$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นในการค้นหากระบวนการในการเริ่มต้นเป็นระยะที่ยาวนานในกระบวนการ

2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีพยากรณ์ โดยการพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของขนาดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับค่าจริงที่แสดงในรูปของร้อยละ โดยค่า MAPE จะไม่มีหน่วยและมีค่าเป็นบวกเสมอ แสดงได้ดังสมการที่ 2.19 และตารางที่ 2.5 แสดงเกณฑ์การประเมินของค่า MAPE (Lewis, 1982)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (2.19)$$

เมื่อ Y_t คือ ค่าสังเกตที่เวลา t
 \bar{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ที่เวลา t
 n คือ จำนวนของค่าสังเกต
 e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลทีเวลา t ซึ่ง $e_t = Y_t - \bar{Y}_t$

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์การประเมินของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

MAPE	การแปลความหมาย
<10%	การพยากรณ์มีความแม่นยำสูง
10%-20%	การพยากรณ์อยู่ในระดับดี
20%-50%	การพยากรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้
>50%	การพยากรณ์ไม่มีความแม่นยำ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

กาญจนา และคณะ (2561) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้โครงข่ายเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 - 2559 พบว่าการเพิ่มจำนวนโหนดซ่อน (Hidden Node) มีผลทำให้ความถูกต้องของการพยากรณ์สูงขึ้น แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากเช่นกัน และเมื่อเปลี่ยนค่าโมเมนตัม และอัตราการเรียนรู้ เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยค่าน้ำหนักเริ่มต้นจะแตกต่างกัน พบว่าใช้เวลาในการคำนวณเร็วขึ้นตามค่าโมเมนตัม และอัตราการเรียนรู้

วรารักษ์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแคลรีไฟเออร์ (Clarifier) กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน มีวัตถุประสงค์การทำนายค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากแคลรีไฟเออร์ ด้วยข้อมูลการปฏิบัติงานในรูปแบบอนุกรมเวลา โดยนำข้อมูลอินพุตประกอบด้วย ค่าความขุ่นน้ำดิบ ค่าความเป็นด่างของน้ำดิบ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำดิบ ค่าปริมาณความเข้มข้นสารส้มที่จ่าย ค่าปริมาณความเข้มข้นโพสิโอแล็คโทรไลต์ที่จ่าย ค่าอัตราการไหล ค่าความเร็วรอบของใบกวน ค่าอัตราการระบายตะกอน ค่าความเข้มข้นตะกอนและค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากแคลรีไฟเออร์ของสำนักงานประปาบางเขน การประปานครหลวง เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2553 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2553 ซึ่งครอบคลุมถึงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มข้อมูลฝึกสอน กลุ่มข้อมูลตรวจสอบ และกลุ่มข้อมูลทดสอบ สถาปัตยกรรมของแบบจำลองที่ดีที่สุดหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ที่ได้จากผลการทดลองด้วยการเรียนรู้แบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการทดลองกำหนดให้มีชั้นซ่อนไม่เกิน 2 ชั้น และจำนวนนิเวรอนในชั้นซ่อนตั้งแต่ 5 ถึง 100 จากการพิจารณาค่า Autocorrelation Function (ACF) โดยเลือกใช้ช่วงเวลาย้อนหลังไม่เกิน 8 ชั่วโมง พบว่าแบบจำลองที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า โดยแบบจำลองนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.92 และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย เท่ากับ 0.016 ซึ่งการพยากรณ์นี้สามารถยอมรับได้ เนื่องจากให้ค่าผิดพลาดน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีมาร์คอฟ

Zakaria. *et al.* (2019) ได้ศึกษาการทำนายดัชนีคุณภาพอากาศด้วยวิธีโซ่มาร์คอฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพอากาศในระยะยาว โดยใช้ข้อมูล 5 ปีย้อนหลังรายชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงพ.ศ. 2561 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศประเทศมาเลเซีย โดยดัชนีคุณภาพอากาศสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของ SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} โดยแบ่งสถานะดัชนีคุณภาพอากาศออกเป็น 5 ระดับความรุนแรง คือ (1) ดีมากโดยค่าดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ระหว่าง 0 - 50 (2) ปานกลางโดยค่าดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ระหว่าง 51 - 100 (3) ไม่ดีโดยค่าดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ระหว่าง 101 - 200 (4) ไม่ดีมากโดยค่าดัชนีคุณภาพอากาศอยู่ระหว่าง 201 - 300 (5) อันตรายโดยค่าดัชนีคุณภาพอากาศมากกว่า 300 พบความน่าจะเป็นของการเกิดดัชนีคุณภาพอากาศดีมากเท่ากับ 0.9231 ความน่าจะเป็นของการเกิดดัชนีคุณภาพอากาศปานกลางเท่ากับ 0.0722 ความน่าจะเป็นของการเกิดดัชนีคุณภาพอากาศไม่ดีเท่ากับ 0.0037 ความน่าจะเป็นของการเกิดดัชนีคุณภาพอากาศไม่ดีมากเท่ากับ 0.0001 และความน่าจะเป็นของการเกิดดัชนีคุณภาพอากาศอันตรายเท่ากับ 0.0009 โดยผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถช่วยให้รัฐบาลดำเนินการป้องกันการควบคุมคุณภาพอากาศได้

Jasinthan. *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนไหวของราคาผักรายวันในศรีลังกา โดยใช้วิธีโซ่มาร์คอฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อดูราคาขึ้นลงของราคาสินค้าในแต่ละวัน นำข้อมูลราคาผักรายวันมาจากตลาดติรุนเนลเวลลี ประเทศศรีลังกา เป็นเวลา 1,704 วัน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ซึ่งได้ทำการทำนายทั้งสั้น 2 แบบ คือ (1) แบ่งสถานะ 2 สถานะคือกำไรและขาดทุน (2) แบ่งสถานะ 3 สถานะคือ ขาดทุน กำไร และราคาไม่เปลี่ยนแปลง ข้อมูลราคาผักรายวันที่น่ามาวิเคราะห์มี 12 ชนิด พบว่าราคาผักในตลาดทั้ง 2 รูปแบบบ่งบอกว่าการขายผักให้ผลกำไรมากกว่าขาดทุน

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ

ภักพงศ์ (2555) ได้ศึกษาเรื่องมลพิษทางอากาศในระดับภูมิภาคและการแพร่กระจายในระยะไกล: ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมุ่งเน้นไปที่การไหลเข้าและการไหลออกของมลพิษในอากาศของภูมิภาคนี้ พบว่า ลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษจะถูกกำหนดโดยระบบลมมรสุมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากการศึกษา การตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถยืนยันได้ว่าการแพร่กระจาย ในระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากทวีปยุโรปเข้าสู่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปควบคู่กับการการแพร่กระจายใน ระยะทางไกลของมลพิษทางอากาศจากในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังแถบชายฝั่งของทวีปและข้าม มหาสมุทรแปซิฟิกไปจนถึงทวีปอเมริกาเหนือ นอกจากนี้ยังพบว่ามลพิษทางอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง ใต้ได้รับจากอิทธิพลของไฟป่าที่เกิดในเขตตอนบนของทวีปอีกด้วย

เอกณัฐ (2562) ได้ทำการศึกษาตัวแบบการพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพอากาศด้วยการวาดภาพนิทัศน์ จากข้อมูล (Data Visualization) บนมาตรฐานแห่งชาติคุณภาพอากาศในบรรยากาศประเทศไทย โดยกลุ่ม ตัวอย่างการวิจัย ได้แก่ ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 ณ เขตกรุงเทพและปริมณฑล แบ่งระดับความรุนแรงของอากาศเป็น 5 ระดับ พบว่าในช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม และช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม มีค่าปริมาณความเข้มข้น ของปริมาณฝุ่นละอองเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยกำหนดไว้ ซึ่งผล พยากรณ์ที่ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ

ชยกร (2553) ได้ทำการศึกษาตัวแบบผสมสำหรับการพยากรณ์คุณภาพอากาศ กรณีศึกษาข้อมูล คุณภาพอากาศในประเทศไทย โดยใช้วิธีการพยากรณ์ระหว่างบ็อกซ์และเจนกินส์กับโครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่ย้อนกลับ ใช้ข้อมูลรายเดือนประกอบด้วยข้อมูลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนได ออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซโอโซน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2540 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอนามัยมาบตาพุด ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง พบว่า ตัวแบบผสมระหว่างวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์กับโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลพยากรณ์ที่ถูกต้องที่สุดทั้งการ พยากรณ์ระยะสั้นและระยะยาว

Hrust. *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาตัวแบบการพยากรณ์ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ 4 ประเภท ได้แก่ NO_2 , CO , O_3 และ PM_{10} ณ เมืองซาเกร็บ ประเทศโครเอเชีย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาท เทียมแบบหลายชั้น (Perceptron) รวมทั้งสิ้น 4 ตัวแบบ โดยกำหนดตัวแปรทำนายที่ใช้ในการพยากรณ์ความ เข้มข้นมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความกดอากาศ อุณหภูมิ และความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลพิษในแต่ละวัน พบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดคือ ตัวแบบพยากรณ์ของ O_3 และตัวแบบที่ให้ค่า RMSE ที่เหมาะสมถัดมาคือ CO , NO_2 และ PM_{10} ตามลำดับ เนื่องจากตัวแปรทำนายที่ใช้พยากรณ์ส่งผลต่อค่าพยากรณ์ความเข้มข้นมลพิษอากาศแต่ละชนิด โดยในงานวิจัยนี้ได้กล่าวว่ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความรุนแรงของมลพิษคืออุณหภูมิและเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

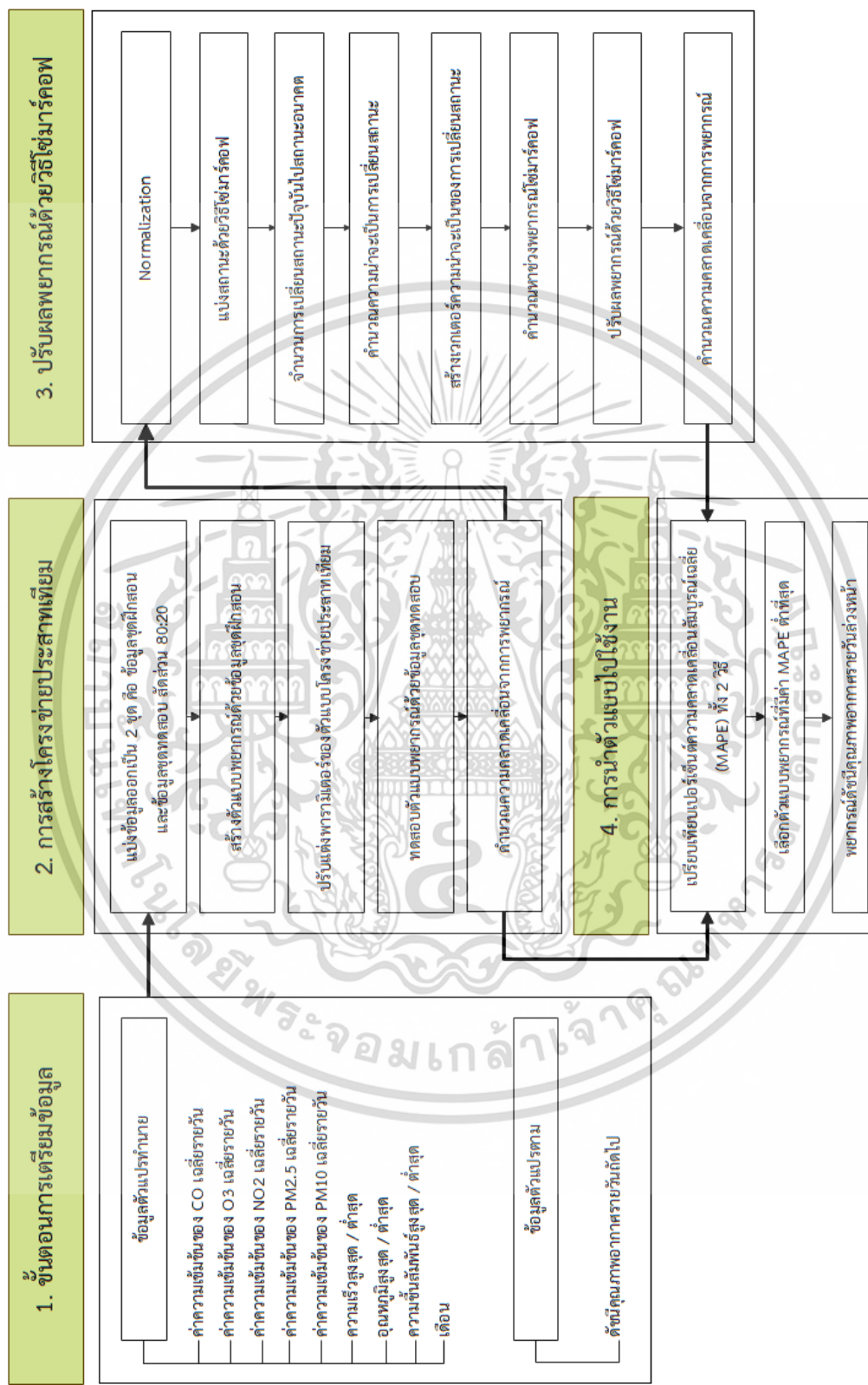
ในบทนี้จะนำเสนอระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ ณ กรมประชาสัมพันธ์ แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวแบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และตัวแบบวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมโชมาร์คอฟ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ (แสดงดังรูปที่ 3.1) ดังนี้ และรายละเอียดอธิบายในหัวข้อ 3.4 – 3.6

- 3.1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน
- 3.1.2 แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือข้อมูลชุดฝึกสอนและข้อมูลชุดทดสอบ ในสัดส่วน 80 : 20
- 3.1.3 สร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดฝึกสอน และปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม
- 3.1.4 ทดสอบตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลชุดทดสอบ
- 3.1.5 คำนวณอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ในข้อมูลชุดทดสอบ พร้อมทั้งปรับค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 (Normalization)
- 3.1.6 นำอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ผ่านการทำ Normalization มาแบ่งช่วงการเปลี่ยนสถานะ
- 3.1.7 คำนวณความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ และเวกเตอร์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ
- 3.1.8 ปรับผลพยากรณ์จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีโชมาร์คอฟ
- 3.1.9 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของทั้งสองวิธี เพื่อเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมซึ่งมีค่า MAPE ต่ำกว่า
- 3.1.10 พยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลคุณภาพอากาศในครั้งนี้นำข้อมูลทุติยภูมิ จากการเก็บรวบรวมจากกองการจัดการคุณภาพอากาศ และเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลคุณภาพอากาศ ณ กรมประชาสัมพันธ์ แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 รวมทั้งสิ้น 700 วัน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ประกอบด้วย 1) Microsoft Excel สำหรับการจัดรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม 2) โปรแกรม Google Colab สำหรับเขียนและประมวลผลคำสั่งด้วยภาษาไพธอน (Python) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งไลบรารีที่ใช้ในภาษาไพธอนสำหรับการพัฒนาโปรแกรม สามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชุดคำสั่งที่ใช้ในงานวิจัย

1. Scikit Learn	เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)
2. Pandas	เป็นไลบรารีที่ใช้สำหรับจัดการข้อมูลที่มีลักษณะที่เป็นตาราง ตัวเลข และอนุกรมเวลา
3. Numpy	เป็นไลบรารีที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ มีความสามารถในการจัดการกับอาร์เรย์หลายมิติ และข้อมูลแบบเมทริกซ์

3.4 วิธีการเก็บรวบรวมและเตรียมข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้รับคำแนะนำจากกองการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากข้อมูลที่ได้รับมาจากกองการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง เป็นข้อมูลมาในรูปแบบความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศรายชั่วโมง ซึ่งทางคณะผู้จัดทำจึงจะต้องคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศเอง การคิดคำนวณสามารถเปรียบเทียบได้จากประกาศราชกิจจานุเบกษา หน้าที่ ๒๓ เล่มที่ ๑๓๕ ตอนพิเศษ ๒๘๓ ง

ตัวอย่างการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ วันที่ 2 มกราคม พ.ศ.2562 ณ เวลา 0.00 - 1.00 น. โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารพิษทางอากาศทั้ง 5 ชนิดมาหาค่าเฉลี่ย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมคอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่องตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมคอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	$PM_{2.5}$ (มคก./ลบ.ม.)
1/1/2561	00:00 - 01:00	17
1/1/2561	01:00 - 02:00	31
1/1/2561	02:00 - 03:00	22
1/1/2561	03:00 - 04:00	16
1/1/2561	04:00 - 05:00	10
1/1/2561	05:00 - 06:00	18
1/1/2561	06:00 - 07:00	21
1/1/2561	07:00 - 08:00	18
1/1/2561	08:00 - 09:00	13
1/1/2561	09:00 - 10:00	11
1/1/2561	10:00 - 11:00	9
1/1/2561	11:00 - 12:00	8
1/1/2561	12:00 - 13:00	24
1/1/2561	13:00 - 14:00	12
1/1/2561	14:00 - 15:00	6
1/1/2561	15:00 - 16:00	12
1/1/2561	16:00 - 17:00	9
1/1/2561	17:00 - 18:00	23
1/1/2561	18:00 - 19:00	31
1/1/2561	19:00 - 20:00	34
1/1/2561	20:00 - 21:00	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	$PM_{2.5}$ (มคก./ลบ.ม.)
1/1/2561	21:00 - 22:00	37
1/1/2561	22:00 - 23:00	39
1/1/2561	23:00 - 24:00	47
ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมคอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ $PM_{2.5}$ ของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น.		20.88

จากตารางที่ 3.2 นำค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.88 ไปพิจารณาว่าตกอยู่ในช่วงใดของดัชนีคุณภาพอากาศตามตารางที่ 2.2 โดยพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ที่ 0 - 25 มคก./ลบ.ม. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ 0 - 25 จากนั้นนำค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศและช่วงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ไปแทนในสมการที่ 2.1 (ในที่นี้ $I_j = 25$, $I_i = 0$, $X_j = 25$, $X_i = 0$, $X = 20.88$) จะได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศของ $PM_{2.5}$ ในวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น. มีค่าเท่ากับ 21 ทั้งนี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ $PM_{2.5}$ จะแสดงผลในรูปของจำนวนเต็ม

2) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมคอน (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมคอน (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	PM_{10} (มคก./ลบ.ม.)
1/1/2561	00:00 - 01:00	35
1/1/2561	01:00 - 02:00	41
1/1/2561	02:00 - 03:00	29
1/1/2561	03:00 - 04:00	25
1/1/2561	04:00 - 05:00	21
1/1/2561	05:00 - 06:00	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	PM_{10} (มคก./ลบ.ม.)
1/1/2561	06:00 - 07:00	34
1/1/2561	07:00 - 08:00	33
1/1/2561	08:00 - 09:00	23
1/1/2561	09:00 - 10:00	19.5
1/1/2561	10:00 - 11:00	16
1/1/2561	11:00 - 12:00	24
1/1/2561	12:00 - 13:00	25
1/1/2561	13:00 - 14:00	25
1/1/2561	14:00 - 15:00	25
1/1/2561	15:00 - 16:00	29
1/1/2561	16:00 - 17:00	29
1/1/2561	17:00 - 18:00	31
1/1/2561	18:00 - 19:00	37
1/1/2561	19:00 - 20:00	41
1/1/2561	20:00 - 21:00	40
1/1/2561	21:00 - 22:00	45
1/1/2561	22:00 - 23:00	47
1/1/2561	23:00 - 24:00	52
ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ PM_{10} ของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น.		31.44

จากตารางที่ 3.3 นำค่าความเข้มข้นของ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.44 ไปพิจารณาว่าตกอยู่ในช่วงใดของดัชนีคุณภาพอากาศตามตารางที่ 2.2 โดยพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ 0 - 50 มคก./ลบ.ม. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ 0 - 25 จากนั้นนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศและช่วงความเข้มข้นของ PM_{10} ไปแทนในสมการที่ 2.1 (ในที่นี่ $I_j = 25$, $I_i = 0$, $X_j = 50$, $X_i = 0$, $X = 31.44$) จะได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศของ PM_{10} ในวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น. มีค่าเท่ากับ 16 ทั้งนี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ PM_{10} จะแสดงผลในรูปแบบของจำนวนเต็ม

3) ก๊าซโอโซน (O_3) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	O_3 (ppb)
1/1/2561	16:00 - 17:00	60
1/1/2561	17:00 - 18:00	54
1/1/2561	18:00 - 19:00	64
1/1/2561	19:00 - 20:00	64
1/1/2561	20:00 - 21:00	50
1/1/2561	21:00 - 22:00	40
1/1/2561	22:00 - 23:00	33
1/1/2561	23:00 - 24:00	26
ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศของก๊าซโอโซน ของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น.		48.88

จากตารางที่ 3.4 นำค่าความเข้มข้นของ O_3 เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 48.88 ไปพิจารณาว่าตกอยู่ในช่วงใดของดัชนีคุณภาพอากาศตามตารางที่ 2.2 โดยพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้นของ O_3 ที่ 36 - 50 ppb ซึ่งสอดคล้องกับช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ 26 - 50 จากนั้นนำค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศและช่วงความเข้มข้นของ O_3 ไปแทนในสมการที่ 2.1 (ในที่นี่ $I_j = 50$, $I_i = 26$,

$x_j = 50$, $x_i = 36$, $X = 48.88$) จะได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศของ o_3 ในวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น. มีค่าเท่ากับ 48 ทั้งนี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ o_3 จะแสดงผลในรูปของจำนวนเต็ม

4) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	CO (ppm)
1/1/2561	16:00 - 17:00	0.6
1/1/2561	17:00 - 18:00	0.6
1/1/2561	18:00 - 19:00	0.7
1/1/2561	19:00 - 20:00	0.7
1/1/2561	20:00 - 21:00	0.7
1/1/2561	21:00 - 22:00	0.8
1/1/2561	22:00 - 23:00	0.8
1/1/2561	23:00 - 24:00	0.8
ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00-01.00 น.		0.71

จากตารางที่ 3.5 นำค่าความเข้มข้นของ CO เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.71 ไปพิจารณาว่าตกอยู่ในช่วงใดของดัชนีคุณภาพอากาศตามตารางที่ 2.2 โดยพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้นของ CO ที่ 0 - 4.4 ppm ซึ่งสอดคล้องกับช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ 0 - 25 จากนั้นนำค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศและช่วงความเข้มข้นของ CO ไปแทนในสมการที่ 2.1 (ในที่นี้ $I_j = 25$, $I_i = 0$, $x_j = 4.4$, $x_i = 0$, $X = 0.71$) จะได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศของ CO ในวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น. มีค่าเท่ากับ 4 ทั้งนี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ CO จะแสดงผลในรูปของจำนวนเต็ม

5) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่องตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง

วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมง	NO_2 (ppb)
1/1/2561	23:00 - 24:00	38
ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น.		38.00

จากตารางที่ 3.6 นำค่าความเข้มข้นของ NO_2 เฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38 ไปพิจารณาว่าตกอยู่ในช่วงใดของดัชนีคุณภาพอากาศตามตารางที่ 2.2 โดยพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้นของ NO_2 ที่ 0 - 60 ppb ซึ่งสอดคล้องกับช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ 0 - 25 จากนั้นนำค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศและช่วงความเข้มข้นของ NO_2 ไปแทนในสมการที่ 2.1 (ในที่นี้ $I_j = 25$, $I_i = 0$, $X_j = 60$, $x_i = 0$, $X = 38$) จะได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศของ NO_2 ในวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 01.00 น. มีค่าเท่ากับ 16 ทั้งนี้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของ NO_2 จะแสดงผลในรูปของจำนวนเต็ม

หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศของสารมลพิษทั้ง 5 ประเภท และเลือกค่าดัชนีคุณภาพอากาศสูงสุดมาเป็นดัชนีคุณภาพอากาศรายชั่วโมง จากตารางที่ 3.7 จะพบว่าดัชนีคุณภาพอากาศรายชั่วโมง ของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 1.00 น. มีค่าเท่ากับ 48

ตารางที่ 3.7 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 1.00 น.

$PM_{2.5}$	PM_{10}	O_3	CO	NO_2	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของวันที่ 2/1/2561 เวลา 0.00 - 1.00 น.
21	16	48	4	16	48

ทำการคำนวณหาดัชนีคุณภาพอากาศรายชั่วโมง จำนวนทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ มีปัจจัยที่ส่งผลที่ทำให้เกิดความรุนแรงของคุณภาพอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Konstantinos. *et al.* 2010 ; Hrust. *et al.* 2009) โดยในการวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้ตัวแปรทำนายเพื่อพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันในวันถัดไป แสดงดังตารางที่ 3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.8 รายละเอียดของตัวแปรทำนายที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปรทำนาย	คำอธิบาย	หน่วยวัดตัวแปร	มาตรวัดของข้อมูล
1. CO	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	ppm	มาตราส่วน
2. O_3	ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	ppb	มาตราส่วน
3. NO_2	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	ppb	มาตราส่วน
4. PM_{10}	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	มคก./ลบ.ม.	มาตราส่วน
5. $PM_{2.5}$	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	มคก./ลบ.ม.	มาตราส่วน
6. WSH	ความเร็วลมสูงสุด	เมตร/วินาที	มาตราส่วน
7. WSL	ความเร็วลมต่ำสุด		
8. TH	อุณหภูมิสูงสุด	องศาเซลเซียส	มาตราช่วง
9. TL	อุณหภูมิต่ำสุด		
10. RelH	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด	เปอร์เซ็นต์	มาตราส่วน
11. RelL	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด		
12. month	เดือน	ไม่มีหน่วย	มาตรานามบัญญัติ

หมายเหตุ ppm : Parts per million หรือ ปริมาณตัวก๊าซที่ถูกละลายในก๊าซหลักที่ 1 ล้านส่วน

ppb : Parts per billion หรือ ปริมาณตัวก๊าซที่ถูกละลายในก๊าซหลักที่ 1 พันล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 รายละเอียดของตัวแปรตามที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปรตาม	คำอธิบาย	หน่วยตัวแปร	มาตรวัดของข้อมูล
1. AQI NEXT DAY	ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันเฉลี่ยในวันถัดไป	ไม่มีหน่วย	มาตราส่วน

3.5 การสร้างตัวแบบพยากรณ์

3.5.1 การสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ในการออกแบบตัวแบบการพยากรณ์ได้ใช้ภาษา Python บน Google Colab ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์โดยใช้คำสั่ง Grid Search ดังนี้

- 1) Hidden_layer_sizes = 10, 50, 100, 300 และ 500
- 2) Activation = identity, logistic, tanh และ relu
- 3) Solver = lbfgs, sgd และ ad
- 4) Alpha = 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1 และ 0.5
- 5) Batch Size = 1, auto

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ข้างต้น จำนวนโหนดชั้นซ่อนยังไม่มีความเหมาะสมที่แน่นอน โดยทั่วไปจำนวนโหนดในชั้นซ่อนจะได้อาจมาจากการทดลอง จากงานวิจัยของ Gnana. *et al.* (2013) ได้พยายามหาวิธีการกำหนดจำนวนโหนดชั้นซ่อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดจำนวนโหนดเป็น 10, 50, 100, 300 และ 500 อัตราการเรียนรู้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั่วไปค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.5 (สายชล, 2560) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดอัตราการเรียนรู้เป็น 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1 และ 0.5 ส่วนฟังก์ชันกระตุ้นนั้นจะใช้คำสั่ง Grid Search เลือกฟังก์ชันที่เหมาะสมในการสร้างตัวแบบ

สำหรับการศึกษาคั้งนี้ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ข้อมูลชุดฝึกสอน (Training Set) คิดเป็นร้อยละ 80 ของข้อมูลทั้งหมด สำหรับใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมสำหรับตัวแบบพยากรณ์ และข้อมูลชุดทดสอบ (Test Set) คิดเป็นร้อยละ 20 ของข้อมูลทั้งหมด สำหรับใช้ในการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ผลการพยากรณ์โดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโช่มาร์คอฟ

การปรับผลพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลชุดทดสอบ สามารถนำมาปรับปรุงโดยวิธีโช่มาร์คอฟ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ 3.20

$$y_i = \frac{x_{ia} - x_{ip}}{x_{ia}} \times 100 \quad (3.20)$$

เมื่อ y_i คือ อัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของวันที่ i

x_{ia} คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของวันที่ i

x_{ip} คือ ค่าพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศของวันที่ i

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากคำนวณอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์แล้ว จะทำการปรับขนาดของช่วงข้อมูลที่แตกต่างกันให้อยู่ในช่วงเดียวกันโดยการทำ Normalization ดังสมการที่ 3.21 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

$$Normalization = \frac{y_i - \min}{\max - \min} \quad (3.21)$$

เมื่อ y_i คือ อัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

\min คือ อัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ต่ำที่สุด

\max คือ อัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่สูงที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ปรับให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 2 มาวิเคราะห์ด้วยวิธีโช่มาร์คอฟ โดยกำหนดสถานะปัจจุบันและสถานะอนาคตของระบบ ทั้งนี้สถานะอนาคตจะไม่ขึ้นกับสถานะอดีต แต่จะขึ้นกับสถานะปัจจุบันเท่านั้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกเป็น 5 สถานะ สามารถคำนวณหาช่วงของแต่ละสถานะได้ดังตารางที่ 3.10 จากการศึกษาวิจัยของ He (2008) ได้กำหนด α_1, α_4 อยู่ในช่วง [1.0 1.5] และ α_2, α_3 อยู่ในช่วง [0.3 0.6] โดยที่ \bar{x} และ s แทนค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ปรับให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และจำนวนการเปลี่ยนสถานะปัจจุบันไปยังสถานะอนาคต แสดงดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.10 กำหนดสถานะสำหรับการแบ่งช่วงของโซมาร์คอฟ

อนาคต ปัจจุบัน	$-\infty, \bar{x} - \alpha_1 s$ (1)	$\bar{x} - \alpha_1 s, \bar{x} - \alpha_2 s$ (2)	$\bar{x} - \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_3 s$ (3)	$\bar{x} + \alpha_3 s, \bar{x} + \alpha_4 s$ (4)	$\bar{x} + \alpha_4 s, +\infty$ (5)
$-\infty, \bar{x} - \alpha_1 s$ (1)					
$\bar{x} - \alpha_1 s, \bar{x} - \alpha_2 s$ (2)					
$\bar{x} - \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_3 s$ (3)					
$\bar{x} + \alpha_3 s, \bar{x} + \alpha_4 s$ (4)					
$\bar{x} + \alpha_4 s, +\infty$ (5)					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 การเปลี่ยนสถานะ

อนาคต ปัจจุบัน	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	รวม
(1)	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}	p_1
(2)	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{24}	n_{25}	p_2
(3)	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{34}	n_{35}	p_3
(4)	n_{41}	n_{42}	n_{43}	n_{44}	n_{45}	p_4
(5)	n_{51}	n_{52}	n_{53}	n_{54}	n_{55}	p_5

ขั้นตอนที่ 4 จากตารางที่ 3.11 คำนวณหาเมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ ดังสมการที่ 3.22

$$P = \begin{bmatrix} n_{11}/p_1 & n_{12}/p_1 & n_{13}/p_1 & n_{14}/p_1 & n_{15}/p_1 \\ n_{21}/p_2 & n_{22}/p_2 & n_{23}/p_2 & n_{24}/p_2 & n_{25}/p_2 \\ n_{31}/p_3 & n_{32}/p_3 & n_{33}/p_3 & n_{34}/p_3 & n_{35}/p_3 \\ n_{41}/p_4 & n_{42}/p_4 & n_{43}/p_4 & n_{44}/p_4 & n_{45}/p_4 \\ n_{51}/p_5 & n_{52}/p_5 & n_{53}/p_5 & n_{54}/p_5 & n_{55}/p_5 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

ขั้นตอนที่ 5 หาเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์ในช่วงเวลาที่ n โดยคำนวณจากเมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ ดังสมการที่ 3.23

$$P(n) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] P^n \quad (3.23)$$

เมื่อกำหนดให้ $[1 \ 0 \ 0 \ 0]$ เป็นเมทริกซ์ความน่าจะเป็นที่ระบบเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะที่ n (He, 2008)

ขั้นตอนที่ 6 นำอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ (ที่ไม่ได้ปรับให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1) มาทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 เพื่อคำนวณหาช่วงสถานะของการพยากรณ์ในเวลาที n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ โดยอาศัยช่วงสถานะของการพยากรณ์ในเวลาที่ n ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 6 และพิจารณาค่าสูงสุดในเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์ในช่วงเวลาที่ n เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยของช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟที่สอดคล้องกัน

3.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE น้อยที่สุดจะนำไปใช้เป็นตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า



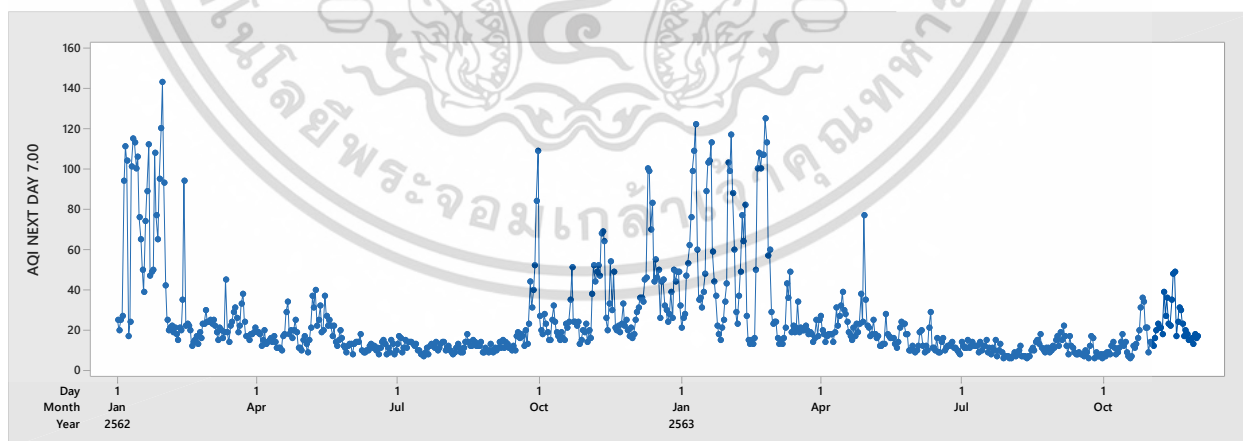
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้ได้เสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลของการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อสำคัญดังต่อไปนี้

- 4.1 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม
- 4.2 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ
- 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์
- 4.4 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศล่วงหน้า

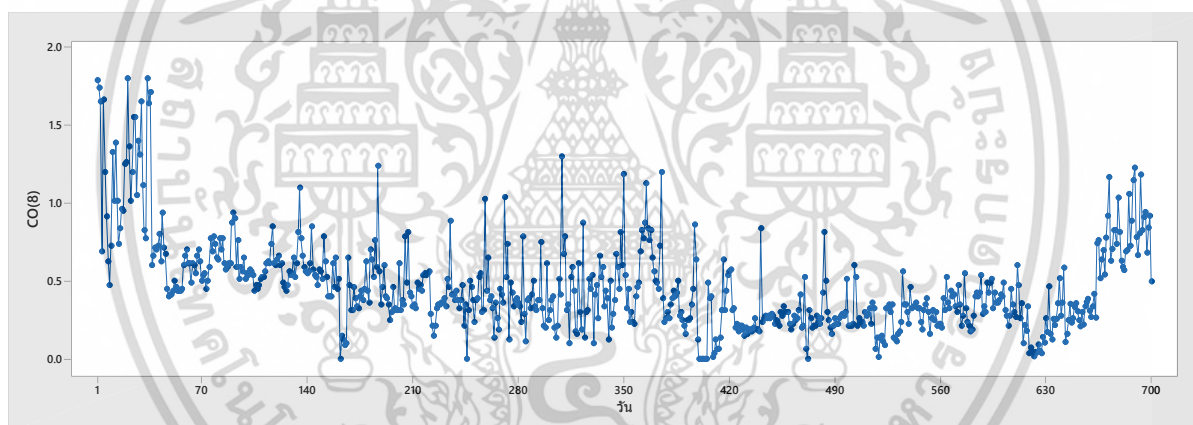
จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้แบ่งข้อมูลในการวิเคราะห์เป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลชุดฝึกสอน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2562 ถึง วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ.2563 เป็นจำนวน 560 รายการ และข้อมูลชุดทดสอบ ตั้งแต่วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ.2563 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 เป็นจำนวน 140 รายการ โดยข้อมูลตัวแปรตามแสดงดังรูปที่ 4.1 และข้อมูลตัวแปรทำนายแสดงดังรูปที่ 4.2-4.9



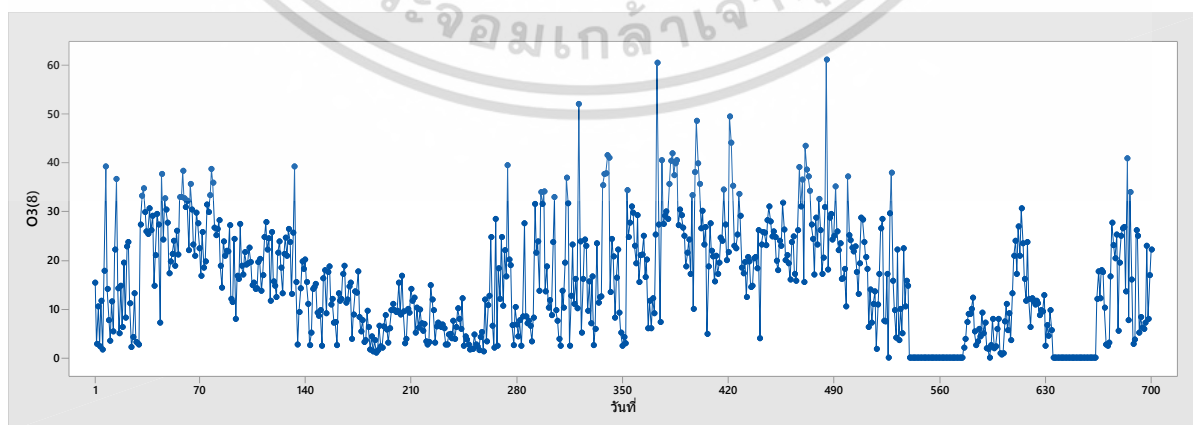
รูปที่ 4.1 ดัชนีคุณภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพอากาศมีความรุนแรงในช่วงเปลี่ยนฤดูกาล จากฤดูหนาวสู่ฤดูร้อน ในช่วงปลายฤดูหนาวของทุกปี บริเวณความกดอากาศสูง หรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนจะแผ่ลงมาปกคลุมเป็นระลอกๆ ทำให้มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนมีกำลังแรงขึ้น ประเทศไทยมีอุณหภูมิลดลง แต่บางช่วงความกดอากาศสูงที่แผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยมีกำลังอ่อนลง จึงส่งผลให้มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังอ่อนลง ประกอบกับการผกผันกลับของอุณหภูมิต่ำในระดัปล่าง ส่งผลให้ระดับเพดานการลอยตัว และการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในระดับต่ำ การไหลเวียนและการถ่ายเทของอากาศไม่ดี จึงทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง หมอก และควัน (กลุ่มเฝ้าระวังฝุ่น จุฬาฯ, 2560 ; เอกณัฐ, 2562) ดังนั้นจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าดัชนีคุณภาพอากาศในช่วงฤดูหนาวช่วงตั้งแต่ 1/1/2562 ถึง 13/2/2562 ช่วง 1/10/2562 ถึง 10/3/2563 และช่วง 16 /10/2563 ถึง 30/11/2563 ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาลส่งผลให้เวลาดังกล่าวดัชนีคุณภาพอากาศมีความรุนแรงสูงสุด

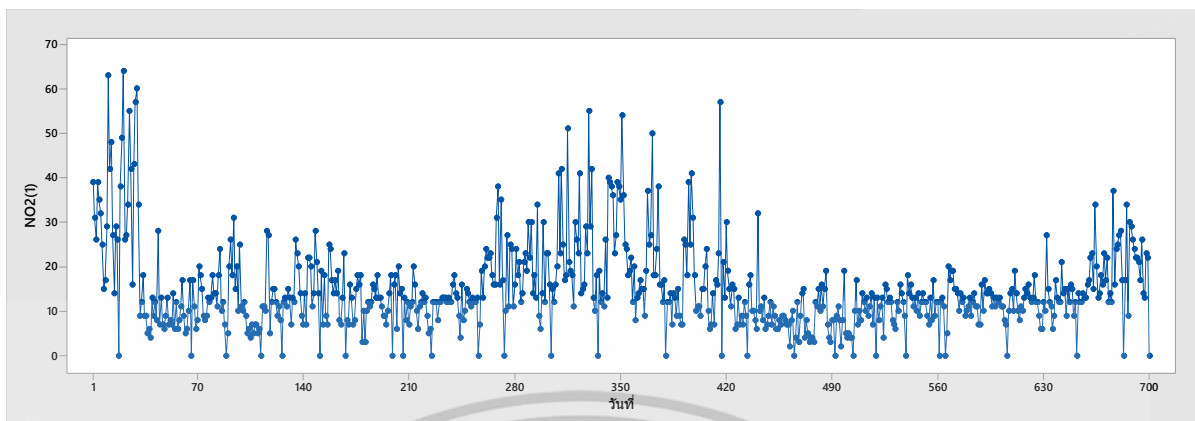


รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

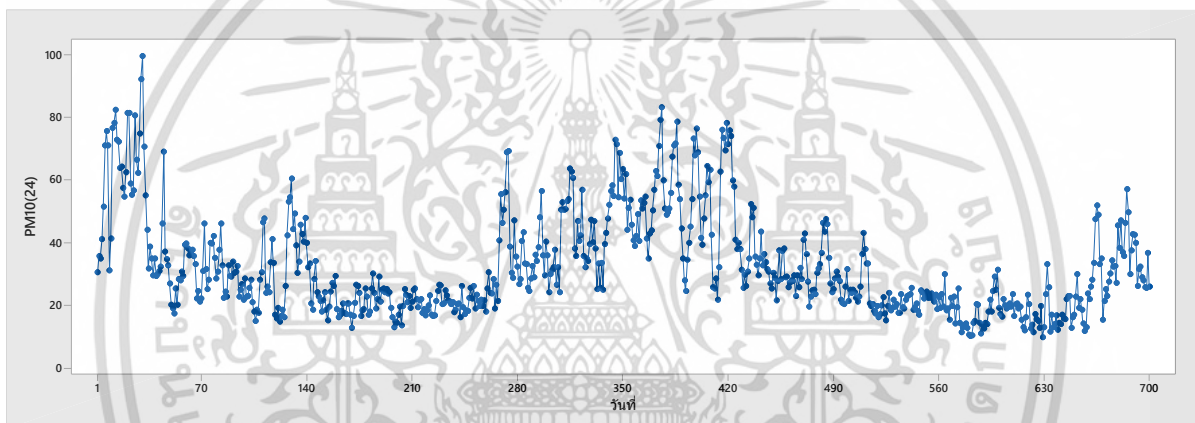


รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3)

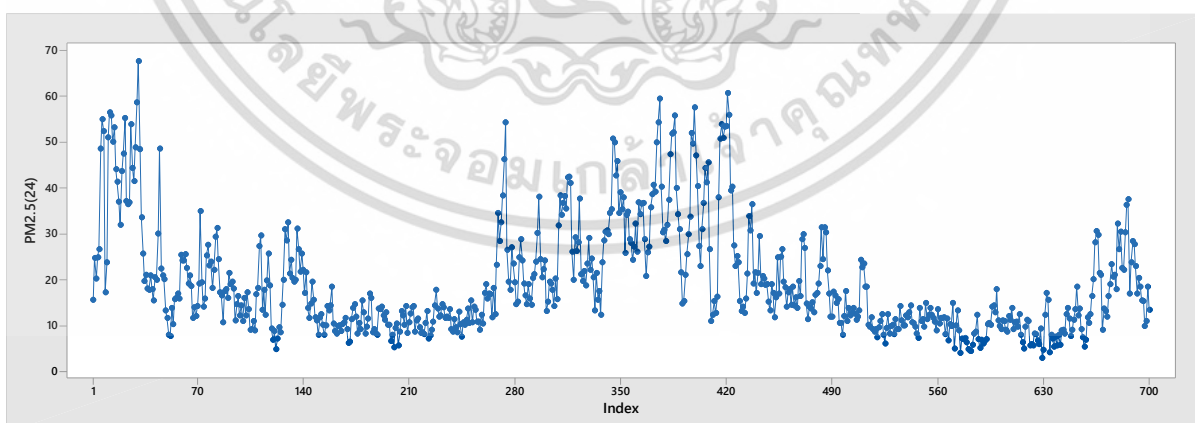
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

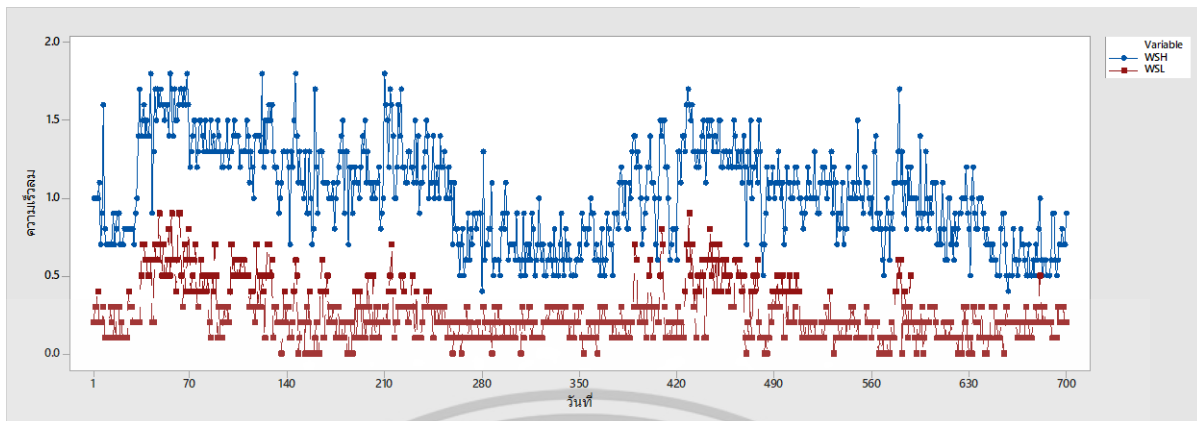


รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})

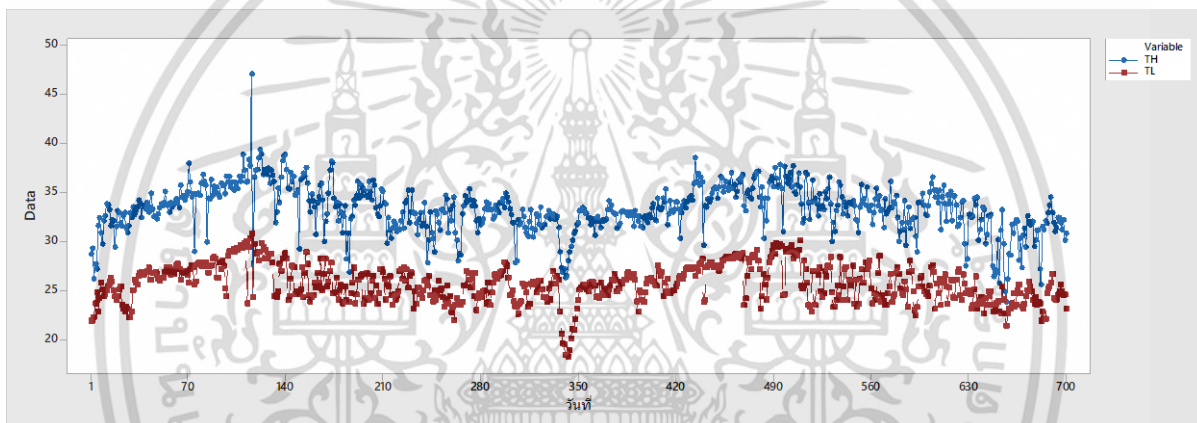


รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

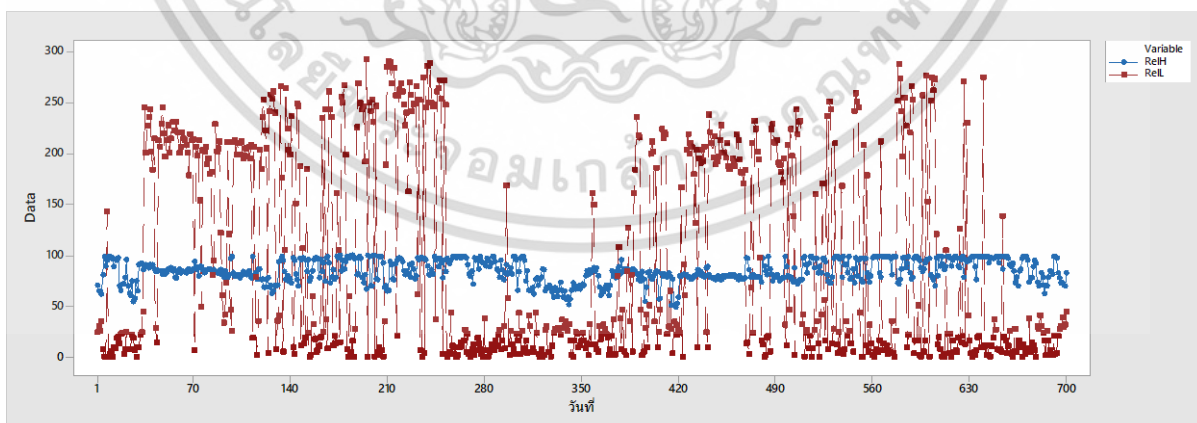
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุด



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด



รูปที่ 4.9 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุด

หมายเหตุ รูปที่ 4.7-4.9
— จุดสูงสุดของข้อมูล
— จุดต่ำสุดของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของตัวแปรทำนายที่แสดงในรูปที่ 4.2-4.6 ความเข้มข้นของสารพิษในอากาศ พบว่าความรุนแรงของความเข้มข้นของสารพิษจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเกิดความรุนแรงของดัชนีคุณภาพอากาศ และนอกจากนั้นสภาพภูมิอากาศส่งผลให้เกิดความรุนแรงของดัชนีคุณภาพอากาศ แสดงดังรูปที่ 4.7-4.9

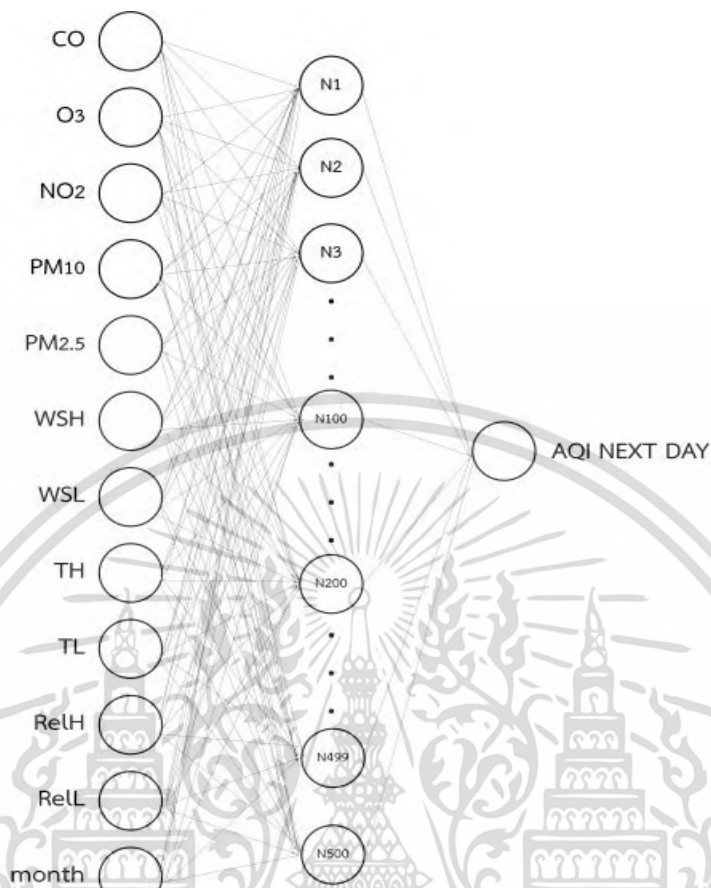
4.1 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

การใช้ Grid Search ในหัวข้อ 3.5.1 เพื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม พบว่าตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 4.1 และแสดงโครงสร้างตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อเลือกตัวแบบ

การกำหนดตัวแบบ	กำหนดพารามิเตอร์
1. จำนวนโหนดในชั้นอินพุต	12
2. จำนวนชั้นซ่อน	1
3. จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	500
4. จำนวนโหนดในชั้นเอาต์พุต	1
5. ฟังก์ชันกระตุ้น	Hyperbolic Tangent Activation Function (tanh)
6. อัตราการเรียนรู้	0.001
7. โมเมนตัม	0.9
8. Optimizer	adam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการศึกษาคัดสอบตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลชุดทดสอบ พบว่าค่าพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 25.51% และจากเกณฑ์การประเมินของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของ Lewis (1982) สามารถสรุปได้ว่าผลการพยากรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

4.2 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโช่มาร์คอฟ

การปรับค่าพยากรณ์ที่ได้จากหัวข้อ 4.1 โดยอาศัยวิธีโช่มาร์คอฟ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ปรับอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยการทำ Normalization ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
1	9	10.272	-14.139	0.761
2	14	15.9795	-14.139	0.761
3	10	11.2024	-12.024	0.769
4	14	13.407	4.236	0.827
5	64	96.2284	-50.357	0.630
6	20	22.9301	-14.650	0.759
7	16	17.367	-8.544	0.781
8	13	15.542	-19.554	0.741
9	14	11.9044	14.969	0.866
10	22	46.6346	-111.976	0.408
11	19	21.3407	-12.320	0.768
12	112	109.711	2.044	0.819
13	11	10.3914	5.533	0.832
14	23	27.2576	-18.511	0.745
15	14	11.7327	16.195	0.870
16	11	9.84675	10.484	0.850
17	9	11.7577	-30.642	0.701
18	33	32.1533	2.566	0.821
19	7	11.1071	-58.673	0.600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
20	30	47.6867	-58.956	0.599
21	9	8.52542	5.273	0.831
22	23	11.8338	48.549	0.987
23	17	17.8472	-4.983	0.794
24	25	27.5806	-10.322	0.775
25	36	31.4137	12.740	0.858
26	11	10.0103	8.998	0.844
27	25	17.3929	30.428	0.922
28	9	13.6958	-52.176	0.624
29	13	13.1423	-1.095	0.808
30	22	21.9478	0.237	0.813
31	100	102.925	-2.925	0.801
32	21	16.9721	19.181	0.881
33	8	10.9751	-37.189	0.678
34	7	10.8481	-54.972	0.614
35	115	105.148	8.567	0.843
36	40	42.659	-6.648	0.788
37	13	17.4455	-34.196	0.689
38	14	15.442	-10.300	0.775
39	18	17.7283	1.510	0.817
40	7	12.9595	-85.135	0.505
41	11	11.7914	-7.195	0.786
42	13	11.7291	9.776	0.847

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
43	9	10.9046	-21.162	0.736
44	12	15.1387	-26.156	0.718
45	21	14.9901	28.619	0.915
46	29	26.4248	8.880	0.844
47	26	26.3757	-1.445	0.807
48	12	15.9518	-32.932	0.693
49	12	11.0147	8.211	0.842
50	18	11.9444	33.642	0.933
51	12	10.9877	8.436	0.842
52	7	7.35413	-5.059	0.794
53	39	35.7335	8.376	0.842
54	11	9.03007	17.908	0.877
55	18	19.3818	-7.677	0.784
56	11	12.2564	-11.422	0.771
57	53	83.3588	-57.281	0.605
58	49	35.0038	28.564	0.915
59	13	16.7157	-28.582	0.709
60	19	15.135	20.342	0.885
61	14	11.801	15.707	0.869
62	7	10.5031	-50.045	0.631
63	55	49.4084	10.167	0.849
64	9	10.8796	-20.885	0.737
65	18	20.4805	-13.780	0.762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
66	7	9.52756	-36.108	0.682
67	107	105.33	1.561	0.818
68	16	17.051	-6.569	0.788
69	12	13.3424	-11.187	0.772
70	15	11.8419	21.054	0.888
71	7	8.81049	-25.864	0.719
72	14	15.5029	-10.735	0.773
73	24	30.224	-25.933	0.718
74	89	73.3507	17.583	0.875
75	15	14.3374	4.417	0.828
76	37	26.0173	29.683	0.919
77	49	89.9131	-83.496	0.511
78	17	9.33178	45.107	0.975
79	32	25.0805	21.623	0.890
80	28	26.6052	4.981	0.830
81	28	45.4064	-62.166	0.588
82	77	106.805	-38.707	0.672
83	8	11.2122	-40.152	0.667
84	19	24.8047	-30.551	0.702
85	65	67.5541	-3.929	0.798
86	22	19.6735	10.575	0.850
87	22	21.174	3.754	0.826
88	8	9.32606	-16.576	0.752

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
89	29	16.1282	44.386	0.972
90	65	101.901	-56.770	0.607
91	6	10.6742	-77.904	0.531
92	94	44.9948	52.133	1.000
93	28	15.531	44.532	0.973
94	10	14.3565	-43.565	0.655
95	13	12.8106	1.457	0.817
96	12	12.1685	-1.404	0.807
97	25	20.5426	17.830	0.876
98	37	31.4511	14.997	0.866
99	19	27.454	-44.494	0.651
100	11	10.3928	5.520	0.832
101	20	24.7928	-23.964	0.726
102	9	7.98025	11.331	0.853
103	16	16.2904	-1.815	0.805
104	9	10.8071	-20.079	0.740
105	9	11.6698	-29.664	0.705
106	20	10.7437	46.282	0.979
107	13	13.6315	-4.858	0.794
108	26	39.5855	-52.252	0.623
109	10	12.486	-24.860	0.722
110	68	53.4643	21.376	0.889
111	16	14.9461	6.587	0.836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
112	54	42.0923	22.051	0.891
113	17	55.2686	-225.109	0.000
114	34	48.0962	-41.459	0.662
115	14	22.1354	-58.110	0.602
116	18	17.3718	3.490	0.825
117	23	18.1953	20.890	0.887
118	13	16.4414	-26.473	0.716
119	10	11.6475	-16.475	0.753
120	9	9.83318	-9.258	0.779
121	15	11.1833	25.445	0.904
122	88	92.9304	-5.603	0.792
123	14	10.2159	27.029	0.909
124	18	20.4934	-13.852	0.762
125	13	13.2267	-1.743	0.806
126	32	20.4776	36.008	0.942
127	28	17.0051	39.267	0.954
128	11	11.0098	-0.089	0.812
129	28	16.3435	41.630	0.962
130	13	12.5844	3.197	0.823
131	25	14.8003	40.799	0.959
132	15	23.4803	-56.535	0.608
133	23	26.625	-15.761	0.755
134	10	10.6371	-6.371	0.789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม	อัตราความคลาด เคลื่อนจากการ พยากรณ์	Normalization
135	22	55.5102	-152.319	0.263
136	20	20.421	-2.105	0.804
137	11	11.582	-5.291	0.793
138	14	21.2183	-51.559	0.626
139	14	11.6991	16.435	0.871
140	21	22.661	-7.909	0.783

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดช่วงของสถานะโดยพิจารณาอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ปรับให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งสามารถแบ่งช่วงของสถานะได้จาก $(-\infty, \bar{x} - 1.5s)$, $(\bar{x} - 1.5s, \bar{x} - 0.6s)$, $(\bar{x} - 0.6s, \bar{x} + 0.3s)$, $(\bar{x} + 0.3s, \bar{x} + s)$ และ $(\bar{x} + s, +\infty)$ โดยสามารถแบ่งช่วงสถานะดังนี้ $[0, 0.58]$, $[0.58, 0.70]$, $[0.70, 0.82]$, $[0.82, 0.91]$ และ $[0.91, 1]$ จากนั้นทำการหาจำนวนการเปลี่ยนสถานะ ผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนสถานะ

สถานะ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	รวม
(1)	0	1	3	0	2	6
(2)	1	5	6	9	1	22
(3)	1	6	21	19	5	52
(4)	3	6	18	12	5	44
(5)	1	4	4	4	2	15

ขั้นตอนที่ 4 จากตารางที่ 4.3 สามารถนำมาเขียนในรูปแบบเมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ โดยหารจำนวนการเปลี่ยนสถานะปัจจุบันไปสถานะอนาคต ด้วยผลรวมของจำนวนการเปลี่ยนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะปัจจุบัน (แถวบน) ซึ่งผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.4 และสามารถเขียนอยู่ในเมทริกซ์ความน่าจะเป็น การเปลี่ยนสถานะ ดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.4 การหาความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ

สถานะ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1)	0/6=0	1/6=0.167	3/6=0.5	0/6=0	2/6=0.33
(2)	1/22=0.045	5/22=0.227	6/22=0.273	9/22=0.409	1/22=0.045
(3)	1/52=0.019	6/52=0.115	21/52=0.404	19/52=0.365	5/52=0.096
(4)	3/44=0.068	6/44=0.136	18/44=0.409	12/44=0.273	5/44=0.114
(5)	1/15=0.067	4/15=0.267	4/15=0.267	4/15=0.267	2/15=0.133

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0.167 & 0.5 & 0 & 0.333 \\ 0.045 & 0.227 & 0.273 & 0.409 & 0.045 \\ 0.019 & 0.115 & 0.404 & 0.365 & 0.096 \\ 0.068 & 0.136 & 0.409 & 0.273 & 0.114 \\ 0.067 & 0.267 & 0.267 & 0.267 & 0.133 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 4.11 เมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ

ขั้นตอนที่ 5 หาเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์จากเมทริกซ์ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์

วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 10
0	0.039	0.045	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
0.167	0.184	0.16	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
0.5	0.336	0.372	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374
0	0.34	0.318	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316
0.333	0.1	0.106	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 11	วันที่ 12	วันที่ 13	วันที่ 14	วันที่ ...	วันที่ 90	วันที่ ...	วันที่ 138	วันที่ 139	วันที่ 140
0.043	0.043	0.043	0.043	...	0.043	...	0.043	0.043	0.043
0.158	0.158	0.158	0.158	...	0.158	...	0.158	0.158	0.158
0.374	0.374	0.374	0.374	...	0.374	...	0.374	0.374	0.374
0.316	0.316	0.316	0.316	...	0.316	...	0.316	0.316	0.316
0.108	0.108	0.108	0.108	...	0.108	...	0.108	0.108	0.108

ขั้นตอนที่ 6 นำอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ Normalization (ดูได้จากตารางที่ 4.2) มากำหนดช่วงของสถานะจาก $(-\infty, \bar{x} - 1.5s)$, $(\bar{x} - 1.5s, \bar{x} - 0.6s)$, $(\bar{x} - 0.6s, \bar{x} + 0.3s)$, $(\bar{x} + 0.3s, \bar{x} + s)$ และ $(\bar{x} + s, +\infty)$ โดยสามารถแบ่งช่วงสถานะดังนี้ $[-111.976, -54.388]$, $[-54.388, -27.263]$, $[-27.263, -1.337]$, $[-1.337, 19.294]$ และ $[19.294, 48.549]$

ตารางที่ 4.6 การหาช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ

การหาช่วงพยากรณ์	
$[Y_n = \frac{X_n \times (-111.976)}{100} + X_n$	$Y_n = \frac{X_n \times (-54.388)}{100} + X_n]$
$[Y_n = \frac{X_n \times (-54.388)}{100} + X_n$	$Y_n = \frac{X_n \times (-27.263)}{100} + X_n]$
$[Y_n = \frac{X_n \times (-27.263)}{100} + X_n$	$Y_n = \frac{X_n \times (-1.337)}{100} + X_n]$
$Y_n = \frac{X_n \times (-1.337)}{100} + X_n$	$Y_n = \frac{X_n \times (19.294)}{100} + X_n]$
$[Y_n = \frac{X_n \times (19.294)}{100} + X_n$	$Y_n = \frac{X_n \times (48.549)}{100} + X_n]$

เมื่อ Y_n แทน ช่วงค่าการพยากรณ์ ณ เวลาที่ n โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ปรับด้วยโซ่มาร์คอฟ

X_n แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ n โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ ดังตารางที่ 4.6 โดยอาศัยช่วงสถานะของอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ได้ในขั้นตอนที่ 6 จากนั้นพิจารณาช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟที่มีค่าเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์สูงสุด เพื่อมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะได้ค่าพยากรณ์ที่ปรับด้วยวิธีโซมาร์คอฟของวันที่ n โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

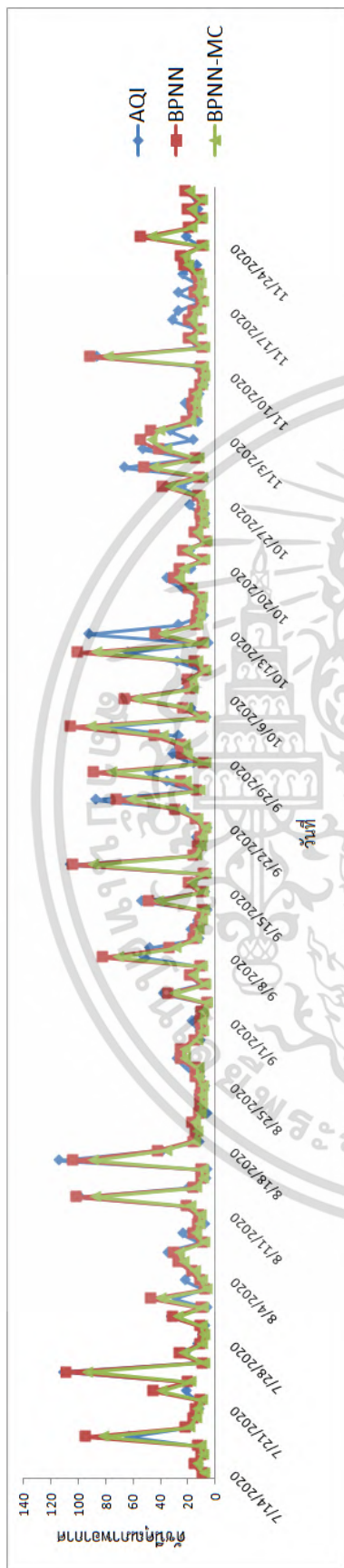
ตารางที่ 4.7 การปรับค่าพยากรณ์ด้วยโซมาร์คอฟ

วันที่	ค่าพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซมาร์คอฟ		เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์	ค่าพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและโซมาร์คอฟ
1	10.272	-1.230	4.685	0.000	$(7.410 + 10.135) / 2 = 8.773$
		4.685	7.410	0.167	
		7.410	10.135	0.5	
		12.254	12.254	0.00	
		15.260	15.260	0.333	

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศที่ปรับปรุงด้วยโซมาร์คอฟได้ใกล้เคียงกับค่าจริงซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 23.75% และจากเกณฑ์การประเมินของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของ Lewis (1982) สามารถสรุปได้ว่าผลการพยากรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์

จากการทดสอบตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีผสมโครงข่ายประสาทเทียมและโซมาร์คอฟนั้น ผลพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศจะแสดงดังรูปที่ 4.12 และแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบดัชนีคุณภาพอากาศด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโชมาร์คอฟ

หมายเหตุ

ดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน (ค่าจริง)

ค่าพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ค่าพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันด้วยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโชมาร์คอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของตัวแบบพยากรณ์

ตัวแบบ	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย
โครงข่ายประสาทเทียม	25.51%
ผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ	23.75%

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ของตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 2 วิธีพบว่าตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันโดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 23.75% ซึ่งน้อยกว่าตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 25.51%

4.4 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า

จากหัวข้อ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ ได้เลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม กล่าวคือ ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟถูกนำมาใช้พยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ 7 วันล่วงหน้า ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ

ตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4.24

$$Y_n = \frac{\left(\frac{X_n \times (-27.86)}{100} + X_n\right) + \left(\frac{X_n \times (-1.34)}{100} + X_n\right)}{2} \quad (4.24)$$

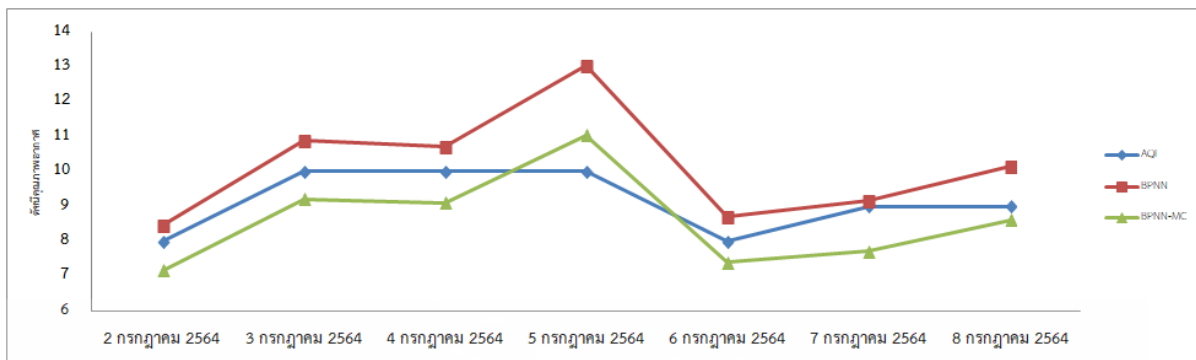
เมื่อ Y_n แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ n โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมปรับปรุงด้วยโซ่มาร์คอฟ

X_n แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ n โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 4.9 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า

วันที่	ดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าพยากรณ์ด้วย โครงข่ายประสาทเทียม	ค่าพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาท เทียมปรับปรุงด้วยโซ่มาร์คอฟ
2/7/2564	8	8.47	7.17
3/7/2564	10	10.9	9.21
4/7/2564	10	10.73	9.09
5/7/2564	10	13.04	11.04
6/7/2564	8	8.73	7.39
7/7/2564	9	9.16	7.71
8/7/2564	9	10.16	8.61
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เฉลี่ย		10.92%	9.15%

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ 7 วันล่วงหน้า ระหว่างวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 และวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 รวมจำนวนทั้งสิ้น 7 วัน เมื่อพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ รายวันแล้ว สามารถนำไปเทียบกับดัชนีคุณภาพอากาศที่ทางกรมควบคุมมลพิษได้ประกาศไว้ทาง เว็บไซต์ <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/region.php?region=0> พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เฉลี่ยของวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟต่ำกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ 1.77% แสดง ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า

หมายเหตุ



ดัชนีคุณภาพอากาศรายวัน (ค่าจริง)



ค่าพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม



ค่าพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันด้วยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ และเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ทั้งสองโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่มีค่าต่ำที่สุด และเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 2 วิธีสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

การวิเคราะห์รูปแบบการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ได้นำตัวแปรทำนาย ซึ่งประกอบด้วย ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ความเข้มข้นของฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความเร็วลมสูงสุด ความเร็วลมต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และเดือน รวมทั้งสิ้น 12 ตัวแปร เพื่อพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศในวันถัดไปหรือตัวแปรตาม สำหรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ในส่วนของชั้นซ่อนได้กำหนดโหนดเท่ากับ 500 โหนด สามารถเขียนโครงข่ายประสาทเทียมได้เป็น 12-500-1 จากการทดสอบตัวแบบพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของข้อมูลชุดทดสอบเท่ากับ 25.51%

2. ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ

จากผลการพยากรณ์ด้วยข้อมูลชุดทดสอบโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จะถูกนำมาปรับค่าพยากรณ์โดยวิธีโซ่มาร์คอฟ ด้วยการนำอัตราความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมาแบ่งช่วงสถานะ โดยแบ่งสถานะออกเป็น 5 ช่วงสถานะ เพื่อหาเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยากรณ์ และคำนวณค่าเฉลี่ยของช่วงสถานะโซ่มาร์คอฟที่มีเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการพยากรณ์สูงสุด จะได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของข้อมูลชุดทดสอบเท่ากับ 23.75%

เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ทั้งสองโดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย พบว่าตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ ให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำกว่าตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จึงได้นำตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟไปพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันล่วงหน้า พบว่าค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟเมื่อนำไปเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพที่เกิดขึ้นจริง ให้ค่าพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศรายวันโดยวิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dai (2014) กล่าวคือ วิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่า โดยในงานวิจัยของ Dai (2014) ได้ทำการพยากรณ์ราคาหุ้น ซึ่งในการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศก็สามารถให้ผลพยากรณ์ที่ดีเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีผสมโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟสามารถปรับให้ค่าพยากรณ์ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อจำกัด

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ในครั้งนี้นี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับช่วงเวลาในการพยากรณ์ นั่นคือสามารถพยากรณ์ระยะสั้น (Short-range Forecasting) กล่าวคือ สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้เพียง 1 วัน โดยอาศัยข้อมูลของวันที่ปัจจุบันเพื่อพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศในวันถัดไป ดังนั้นจึงไม่สามารถพยากรณ์ระยะเวลายาว (Long-range Forecasting) ได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะ

1. ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เนื่องจากยังมีตัวแปรทำนายอื่นนอกจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ความเข้มข้นของฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน ความเร็วลมสูงสุด ความเร็วลมต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และเดือน อาจต้องเพิ่มเติมตัวแปรทำนาย เช่น ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม ความกดอากาศ ปริมาณการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น ตัวแปรทำนายเหล่านี้อาจทำให้ตัวแบบพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ดียิ่งขึ้น

2. จากการศึกษาวิจัยของ He (2008) ได้กล่าวว่าการแบ่งช่วงสถานะวิธีโซมาร์คอฟ เป็น 5 สถานะจะต้องกำหนดค่า α ดังนี้ α_1, α_4 อยู่ในช่วง $[1, 1.5]$ และ α_2, α_3 อยู่ในช่วง $[0.3, 0.6]$ แต่เมื่อได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่าการเลือก α นอกเหนือจากช่วงที่กล่าวในข้างต้น จะทำให้ช่วงสถานะวิธีโซมาร์คอฟแตกต่างกันออกไป และส่งผลต่อผลการพยากรณ์ที่ได้จากการปรับค่าพยากรณ์จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมด้วยโซมาร์คอฟ ดังนั้นอาจทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดค่า α ต่อไป

3. นอกเหนือจากการใช้วิธีโซมาร์คอฟมาปรับค่าพยากรณ์จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในอนาคตอาจใช้วิธีโซมาร์คอฟปรับปรุงผลพยากรณ์จากเทคนิควิธีการพยากรณ์อื่นๆ อาทิเช่น วิธี Support Vector Machine, SARIMAX, Radial Basis Functions Neural Networks หรือ Deep Learning เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2563. **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2562**. กรุงเทพฯ : อีซี.

กลุ่มเฝ้าระวังฝุ่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2560. **เรียนรู้ อยู่กับฝุ่น PM 2.5**. [Online]. Available : <https://www.chula.ac.th/wp-content/uploads/2019/10/Chula-PM25.pdf>.

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 2564. **ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ**. [Online]. Available : http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php.

กาญจนา ทองบุญนาค, ศิริกรณ ก้นซี้ดี, ศศิณิสฎา พัชรธนโรจน์ และวินัย ก้นซี้ดี. 2561. **การพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณ PM10 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น**. [Online]. Available : <http://cmruir.cmru.ac.th/handle/123456789/1432>.

ชยกร สมศิลา, สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา และ คำรณ สุนด์ิ. 2553. “ตัวแบบผสมสำหรับการพยากรณ์คุณภาพอากาศ กรณีศึกษา ข้อมูลคุณภาพอากาศในประเทศไทย.” หน้า 247-258. ใน **การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11**. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปริญญา สงวนสัตย์. 2562. **Artificial Intelligence with Machine Learning, AI สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิ่ง**. นนทบุรี : ไอดีซี พรีเมียร์.

ภัคพงษ์ พจนารถ. 2555. “มลพิษทางอากาศในระดับภูมิภาคและการแพร่กระจายในระยะทางไกล: (1) ภูมิภาคเอเชียตะวันตก.” **การจัดการสิ่งแวดล้อม**. 8(1) : 57-77.

รณชัย ชื่นธวัช. 2560. “การพยากรณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมร่วมกับรูปแบบออโตรีเกรสซีฟ.” **วิทยาศาสตร์บูรพา**. 22(3) : 519-537.

วรารณ ม้วนทอง, วรณศักดิ์ เลี่ยมแหลม และเสฏฐา ศาสนนันทน์. 2558. “แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ Clarifier กรณีศึกษา : โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน.” **วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**. 10(1) : 32-44.

วิภาวรรณ สิงห์พริ้ง. 2549. **การวิจัยการดำเนินงาน**. เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายชล สีนสมบูรณ์ทอง. 2560. **การทำเหมืองข้อมูล เล่ม 1 การค้นหาความรู้จากข้อมูล**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จามจุรีโปรดักส์.

สินมั่นคง. 2564. **ประกันสุขภาพ: ระดับออกซิเจนในอากาศมีผลต่อร่างกายอย่างไร**. [Online]. Available : <https://www.smk.co.th/newsdetail/254>.

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **รู้รอบทิศมลพิษทางอากาศ บทเรียนแนวคิด และการจัดการ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กชกร พับลิชชิ่ง.

เอกณัฐ เพียงทำดี และสุขสวัสดิ์ ญัฎฐวุฒิสิริทธิ์. 2562. “ตัวแบบการพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพอากาศด้วยดาต้าวิซวลไลเซชันบนมาตรฐานแห่งชาติคุณภาพอากาศในบรรยากาศประเทศไทย.” ใน **การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ครั้งที่ 4**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

ภาษาอังกฤษ

Dai, Y. Han, D. and Dai, W. 2014. “Modeling and Computing of Stock Index Forecasting Gased on Neural Network and Markov Chain.” *The Scientific World Journal*. 2014 : (124523-1)-(124523-9).

Gholamreza, A. Hossein, Z. and Shiva H. A. 2016. “Predicting PM2.5 Concentrations Using Artificial Neural Networks and Markov Chain, a Case Study Karaj City.” *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 10(2) : 67-79.

Gnana, K. S. and Deepa, S. N. 2013. “Review on Methods to Fix Number of Hidden Neurons in Neural Networks.” *Mathematical Problems in Engineering*. 2013 : (425740-1)-(425740-11).

Hagan, M., Demuth, H., and Beale, M. 1996. **Neural Network Design**. University of Colorado Bookstore: United States of America.

Heidar, M. and Armim, S. 2019. “Air pollution prediction by using an artificial neural network model.” *Clean Technologies and Environmental Policy*. 21(6) : 1341-1352.

He, M.M. 2008. **The Application on Some Economic Prediction with Markov Chain Model**. Harbin : Harbin Institute of Technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Holis Medicare. 2021. **ดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ Air Quality Index (AQI)**. [Online]. Available : holismedicare.com/content/5301/air-quality-index.
- Hrust, L. Klaic, Z. B. Krizan, J. Antonic, O. Hercog, P. 2009. “Neural network forecasting of air pollutants hourly concentrations using optimized temporal averages of meteorological variables and pollutant concentrations.” *Atmospheric Environment*. 43(2009) : 5588-5596.
- Jasinthan, P. and Laheetharan, A. 2015. “A Markov Chain Model for Vegetable Price Movement in Jaffna.” *Sri Lankan Journal of Applied Statistics*. 16(2) : 93-105.
- Khamis, A. B. and Guan, L. C. 2020. “Stock Price Forecasting based on Back Propagation Neural Network and Markov Chain.” *Scientific Research Journal*. 8(7) : 57-61.
- Konstantinos, P. Moustris Ioannis, C. Ziomas Athanasios, G. and Paliatsos. 2010. “3-Day-Ahead Forecasting of Regional Pollution Index for the Pollutants NO_2 , CO , SO_2 and O_3 Using Artificial Neural Networks in Athens, Greece.” *Water Air Soil Pollut.* 209 : 29-43.
- Lewis, C. D.1982. **Industrial and business forecasting methods**. London(U. A.) : Butterworth Scientific.
- Zakaria, N. N. Othman, M. Sokkalingam, R. Daud, H. Abdullah, L. and Kadir, E. A. 2019. “Markov Chain Model Development for Forecasting Air Pollution Index of Miri, Sarawak.” *Sustainability*. 11 : (5190-1)-(5190-11).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก การพยากรณ์วิธีผสมโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
1	10.27248	-1.230 - 4.685	0.000	8.773	2.525
		4.685 - 7.410	0.167		
		7.410 - 10.135	0.500		
		10.135 - 12.254	0.000		
		12.254 - 15.260	0.333		
2	15.97948	-1.914 - 7.288	0.039	13.647	2.525
		7.288 - 11.527	0.184		
		11.527 - 15.766	0.336		
		15.766 - 19.063	0.340		
		19.063 - 23.737	0.100		
3	11.20239	-1.342 - 5.110	0.045	9.567	4.331
		5.110 - 8.081	0.160		
		8.081 - 11.053	0.372		
		11.053 - 13.364	0.318		
		13.364 - 16.641	0.106		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
4	13.40696	-1.606 - 6.115	0.043	11.450	18.217
		6.115 - 9.671	0.158		
		9.671 - 13.228	0.374		
		13.228 - 15.994	0.316		
		15.994 - 19.916	0.108		
5	96.22836	-11.524 - 43.891	0.043	82.179	28.405
		43.891 - 69.417	0.158		
		69.417 - 94.942	0.374		
		94.942 - 114.795	0.317		
		114.795 - 142.946	0.108		
6	22.9301	-2.746 - 10.459	0.043	19.582	2.088
		10.459 - 16.541	0.158		
		16.541 - 22.624	0.374		
		22.624 - 27.354	0.317		
		27.354 - 34.062	0.108		
7	17.36703	-2.080 - 7.921	0.043	14.831	7.303
		7.921 - 12.528	0.158		
		12.528 - 17.135	0.374		
		17.135 - 20.718	0.317		
		20.718 - 25.798	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
8	15.54205	-1.861 - 7.089	0.043	13.273	2.100
		7.089 - 11.212	0.158		
		11.212 - 15.334	0.374		
		15.334 - 18.541	0.317		
		18.541 - 23.087	0.108		
9	11.90441	-1.426 - 5.430	0.043	10.166	27.383
		5.430 - 8.588	0.158		
		8.588 - 11.745	0.374		
		11.745 - 14.201	0.317		
		14.201 - 17.684	0.108		
10	46.63463	-5.585 - 21.271	0.043	39.826	81.028
		21.271 - 33.641	0.158		
		33.641 - 46.011	0.374		
		46.011 - 55.632	0.317		
		55.632 - 69.275	0.108		
11	21.34074	-2.556 - 9.734	0.043	18.225	4.079
		9.734 - 15.395	0.158		
		15.395 - 21.055	0.374		
		21.055 - 25.458	0.317		
		25.458 - 31.701	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
12	109.7107	-13.139 - 50.041	0.043	93.693	16.345
		50.041 - 79.142	0.158		
		79.142 - 108.244	0.374		
		108.244 - 130.878	0.317		
		130.878 - 162.974	0.108		
13	10.39136	-1.244 - 4.740	0.043	8.874	19.325
		4.740 - 7.496	0.158		
		7.496 - 10.252	0.374		
		10.252 - 12.396	0.317		
		12.396 - 15.436	0.108		
14	27.2576	-3.264 - 12.433	0.043	23.278	1.209
		12.433 - 19.663	0.158		
		19.663 - 26.893	0.374		
		26.893 - 32.517	0.317		
		32.517 - 40.491	0.108		
15	11.7327	-1.405 - 5.351	0.043	10.020	28.430
		5.351 - 8.464	0.158		
		8.464 - 11.576	0.374		
		11.576 - 13.996	0.317		
		13.996 - 17.429	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
16	9.846751	-1.179 - 4.491	0.043	8.409	23.553
		4.491 - 7.103	0.158		
		7.103 - 9.715	0.374		
		9.715 - 11.747	0.317		
		11.747 - 14.627	0.108		
17	11.75775	-1.408 - 5.363	0.043	10.041	11.568
		5.363 - 8.482	0.158		
		8.482 - 11.601	0.374		
		11.601 - 14.026	0.317		
		14.026 - 17.466	0.108		
18	32.1533	-3.851 - 14.666	0.043	27.459	16.791
		14.666 - 23.195	0.158		
		23.195 - 31.723	0.374		
		31.723 - 38.357	0.317		
		38.357 - 47.763	0.108		
19	11.10709	-1.330 - 5.066	0.043	9.485	35.507
		5.066 - 8.012	0.158		
		8.012 - 10.959	0.374		
		10.959 - 13.250	0.317		
		13.250 - 16.499	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
20	47.68671	-5.711 - 21.751	0.043	40.725	35.748
		21.751 - 34.400	0.158		
		34.400 - 47.049	0.374		
		47.049 - 56.887	0.317		
		56.887 - 70.838	0.108		
21	8.525423	-1.021 - 3.889	0.043	7.281	19.103
		3.889 - 6.150	0.158		
		6.150 - 8.411	0.374		
		8.411 - 10.170	0.317		
		10.170 - 12.664	0.108		
22	11.83383	-1.417 - 5.398	0.043	10.106	56.060
		5.398 - 8.537	0.158		
		8.537 - 11.676	0.374		
		11.676 - 14.117	0.317		
		14.117 - 17.579	0.108		
23	17.84718	-2.137 - 8.140	0.043	15.242	10.344
		8.140 - 12.874	0.158		
		12.874 - 17.609	0.374		
		17.609 - 21.291	0.317		
		21.291 - 26.512	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
24	27.58059	-3.303 - 12.580	0.043	23.554	5.785
		12.580 - 19.896	0.158		
		19.896 - 27.212	0.374		
		27.212 - 32.902	0.317		
		32.902 - 40.971	0.108		
25	31.41372	-3.762 - 14.328	0.043	26.827	25.480
		14.328 - 22.661	0.158		
		22.661 - 30.994	0.374		
		30.994 - 37.475	0.317		
		37.475 - 46.665	0.108		
26	10.01027	-1.199 - 4.566	0.043	8.549	22.284
		4.566 - 7.221	0.158		
		7.221 - 9.876	0.374		
		9.876 - 11.942	0.317		
		11.942 - 14.870	0.108		
27	17.39291	-2.083 - 7.933	0.043	14.854	40.586
		7.933 - 12.547	0.158		
		12.547 - 17.160	0.374		
		17.160 - 20.749	0.317		
		20.749 - 25.837	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
28	13.69582	-1.640 - 6.247	0.043	11.696	29.958
		6.247 - 9.880	0.158		
		9.880 - 13.513	0.374		
		13.513 - 16.338	0.317		
		16.338 - 20.345	0.108		
29	13.14235	-1.574 - 5.994	0.043	11.224	13.665
		5.994 - 9.481	0.158		
		9.481 - 12.967	0.374		
		12.967 - 15.678	0.317		
		15.678 - 19.523	0.108		
30	21.94778	-2.628 - 10.011	0.043	18.743	14.803
		10.011 - 15.833	0.158		
		15.833 - 21.654	0.374		
		21.654 - 26.182	0.317		
		26.182 - 32.603	0.108		
31	102.9246	-12.326 - 46.946	0.043	87.898	12.102
		46.946 - 74.247	0.158		
		74.247 - 101.549	0.374		
		101.549 - 122.783	0.317		
		122.783 - 152.893	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
32	16.97208	-2.033 - 7.741	0.043	14.494	30.980
		7.741 - 12.243	0.158		
		12.243 - 16.745	0.374		
		16.745 - 20.247	0.317		
		20.247 - 25.212	0.108		
33	10.9751	-1.314 - 5.006	0.043	9.373	17.159
		5.006 - 7.917	0.158		
		7.917 - 10.828	0.374		
		10.828 - 13.093	0.317		
		13.093 - 16.303	0.108		
34	10.84807	-1.299 - 4.948	0.043	9.264	32.347
		4.948 - 7.826	0.158		
		7.826 - 10.703	0.374		
		10.703 - 12.941	0.317		
		12.941 - 16.115	0.108		
35	105.1478	-12.592 - 47.960	0.043	89.796	21.916
		47.960 - 75.851	0.158		
		75.851 - 103.742	0.374		
		103.742 - 125.435	0.317		
		125.435 - 156.196	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
36	42.65905	-5.109 - 19.457	0.043	36.431	8.923
		19.457 - 30.773	0.158		
		30.773 - 42.089	0.374		
		42.089 - 50.890	0.317		
		50.890 - 63.369	0.108		
37	17.44552	-2.089 - 7.957	0.043	14.899	14.604
		7.957 - 12.585	0.158		
		12.585 - 17.212	0.374		
		17.212 - 20.811	0.317		
		20.811 - 25.915	0.108		
38	15.44196	-1.849 - 7.043	0.043	13.187	5.804
		7.043 - 11.139	0.158		
		11.139 - 15.236	0.374		
		15.236 - 18.421	0.317		
		18.421 - 22.939	0.108		
39	17.72828	-2.123 - 8.086	0.043	15.140	15.889
		8.086 - 12.789	0.158		
		12.789 - 17.491	0.374		
		17.491 - 21.149	0.317		
		21.149 - 26.335	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
40	12.95948	-1.552 - 5.911	0.043	11.067	58.106
		5.911 - 9.349	0.158		
		9.349 - 12.786	0.374		
		12.786 - 15.460	0.317		
		15.460 - 19.251	0.108		
41	11.79142	-1.412 - 5.378	0.043	10.070	8.456
		5.378 - 8.506	0.158		
		8.506 - 11.634	0.374		
		11.634 - 14.066	0.317		
		14.066 - 17.516	0.108		
42	11.72911	-1.405 - 5.350	0.043	10.017	22.949
		5.350 - 8.461	0.158		
		8.461 - 11.572	0.374		
		11.572 - 13.992	0.317		
		13.992 - 17.423	0.108		
43	10.90456	-1.306 - 4.974	0.043	9.313	3.472
		4.974 - 7.866	0.158		
		7.866 - 10.759	0.374		
		10.759 - 13.009	0.317		
		13.009 - 16.199	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
44	15.13867	-1.813 - 6.905	0.043	12.928	7.737
		6.905 - 10.921	0.158		
		10.921 - 14.936	0.374		
		14.936 - 18.060	0.317		
		18.060 - 22.488	0.108		
45	14.99011	-1.795 - 6.837	0.043	12.802	39.040
		6.837 - 10.813	0.158		
		10.813 - 14.790	0.374		
		14.790 - 17.882	0.317		
		17.882 - 22.268	0.108		
46	26.42477	-3.165 - 12.053	0.043	22.567	22.183
		12.053 - 19.062	0.158		
		19.062 - 26.071	0.374		
		26.071 - 31.523	0.317		
		31.523 - 39.254	0.108		
47	26.37573	-3.159 - 12.030	0.043	22.525	13.366
		12.030 - 19.027	0.158		
		19.027 - 26.023	0.374		
		26.023 - 31.465	0.317		
		31.465 - 39.181	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
48	15.95179	-1.910 - 7.276	0.043	13.623	13.524
		7.276 - 11.507	0.158		
		11.507 - 15.739	0.374		
		15.739 - 19.030	0.317		
		19.030 - 23.696	0.108		
49	11.01466	-1.319 - 5.024	0.043	9.407	21.612
		5.024 - 7.946	0.158		
		7.946 - 10.867	0.374		
		10.867 - 13.140	0.317		
		13.140 - 16.362	0.108		
50	11.94441	-1.430 - 5.448	0.043	10.201	43.330
		5.448 - 8.616	0.158		
		8.616 - 11.785	0.374		
		11.785 - 14.249	0.317		
		14.249 - 17.743	0.108		
51	10.98769	-1.316 - 5.012	0.043	9.384	21.804
		5.012 - 7.926	0.158		
		7.926 - 10.841	0.374		
		10.841 - 13.108	0.317		
		13.108 - 16.322	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
52	7.354133	-0.881 - 3.354	0.043	6.280	10.279
		3.354 - 5.305	0.158		
		5.305 - 7.256	0.374		
		7.256 - 8.773	0.317		
		8.773 - 10.924	0.108		
53	35.73352	-4.279 - 16.299	0.043	30.516	21.753
		16.299 - 25.777	0.158		
		25.777 - 35.256	0.374		
		35.256 - 42.628	0.317		
		42.628 - 53.082	0.108		
54	9.030069	-1.081 - 4.119	0.043	7.712	29.894
		4.119 - 6.514	0.158		
		6.514 - 8.909	0.374		
		8.909 - 10.772	0.317		
		10.772 - 13.414	0.108		
55	19.38181	-2.321 - 8.840	0.043	16.552	8.044
		8.840 - 13.982	0.158		
		13.982 - 19.123	0.374		
		19.123 - 23.121	0.317		
		23.121 - 28.791	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
56	12.25645	-1.468 - 5.590	0.043	10.467	4.845
		5.590 - 8.841	0.158		
		8.841 - 12.093	0.374		
		12.093 - 14.621	0.317		
		14.621 - 18.207	0.108		
57	83.35884	-9.983 - 38.021	0.043	71.189	34.318
		38.021 - 60.133	0.158		
		60.133 - 82.244	0.374		
		82.244 - 99.442	0.317		
		99.442 - 123.828	0.108		
58	35.00381	-4.192 - 15.966	0.043	29.893	38.993
		15.966 - 25.251	0.158		
		25.251 - 34.536	0.374		
		34.536 - 41.758	0.317		
		41.758 - 51.998	0.108		
59	16.71567	-2.002 - 7.624	0.043	14.275	9.809
		7.624 - 12.058	0.158		
		12.058 - 16.492	0.374		
		16.492 - 19.941	0.317		
		19.941 - 24.831	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
60	15.13504	-1.813 - 6.903	0.043	12.925	31.972
		6.903 - 10.918	0.158		
		10.918 - 14.933	0.374		
		14.933 - 18.055	0.317		
		18.055 - 22.483	0.108		
61	11.80098	-1.413 - 5.383	0.043	10.078	28.014
		5.383 - 8.513	0.158		
		8.513 - 11.643	0.374		
		11.643 - 14.078	0.317		
		14.078 - 17.530	0.108		
62	10.50314	-1.258 - 4.791	0.043	8.970	28.139
		4.791 - 7.577	0.158		
		7.577 - 10.363	0.374		
		10.363 - 12.530	0.317		
		12.530 - 15.602	0.108		
63	49.40836	-5.917 - 22.536	0.043	42.195	23.282
		22.536 - 35.642	0.158		
		35.642 - 48.748	0.374		
		48.748 - 58.941	0.317		
		58.941 - 73.395	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
64	10.87962	-1.303 - 4.962	0.043	9.291	3.236
		4.962 - 7.848	0.158		
		7.848 - 10.734	0.374		
		10.734 - 12.979	0.317		
		12.979 - 16.162	0.108		
65	20.48047	-2.453 - 9.341	0.043	17.490	2.831
		9.341 - 14.774	0.158		
		14.774 - 20.207	0.374		
		20.207 - 24.432	0.317		
		24.432 - 30.423	0.108		
66	9.527556	-1.141 - 4.346	0.043	8.137	16.236
		4.346 - 6.873	0.158		
		6.873 - 9.400	0.374		
		9.400 - 11.366	0.317		
		11.366 - 14.153	0.108		
67	105.3297	-12.614 - 48.043	0.043	89.952	15.933
		48.043 - 75.982	0.158		
		75.982 - 103.922	0.374		
		103.922 - 125.652	0.317		
		125.652 - 156.466	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
68	17.05104	-2.042 - 7.777	0.043	14.562	8.990
		7.777 - 12.300	0.158		
		12.300 - 16.823	0.374		
		16.823 - 20.341	0.317		
		20.341 - 25.329	0.108		
69	13.34239	-1.598 - 6.086	0.043	11.394	5.046
		6.086 - 9.625	0.158		
		9.625 - 13.164	0.374		
		13.164 - 15.917	0.317		
		15.917 - 19.820	0.108		
70	11.8419	-1.418 - 5.401	0.043	10.113	32.580
		5.401 - 8.542	0.158		
		8.542 - 11.684	0.374		
		11.684 - 14.127	0.317		
		14.127 - 17.591	0.108		
71	8.81049	-1.055 - 4.019	0.043	7.524	7.488
		4.019 - 6.356	0.158		
		6.356 - 8.693	0.374		
		8.693 - 10.510	0.317		
		10.510 - 13.088	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
72	15.50295	-1.857 - 7.071	0.043	13.240	5.432
		7.071 - 11.183	0.158		
		11.183 - 15.296	0.374		
		15.296 - 18.494	0.317		
		18.494 - 23.029	0.108		
73	30.22401	-3.620 - 13.786	0.043	25.811	7.547
		13.786 - 21.803	0.158		
		21.803 - 29.820	0.374		
		29.820 - 36.055	0.317		
		36.055 - 44.897	0.108		
74	73.35075	-8.784 - 33.456	0.043	62.642	29.616
		33.456 - 52.913	0.158		
		52.913 - 72.370	0.374		
		72.370 - 87.503	0.317		
		87.503 - 108.961	0.108		
75	14.33743	-1.717 - 6.540	0.043	12.244	18.372
		6.540 - 10.343	0.158		
		10.343 - 14.146	0.374		
		14.146 - 17.104	0.317		
		17.104 - 21.298	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
76	26.01733	-3.116 - 11.867	0.043	22.219	39.949
		11.867 - 18.768	0.158		
		18.768 - 25.669	0.374		
		25.669 - 31.037	0.317		
		31.037 - 38.648	0.108		
77	89.9131	-10.768 - 41.011	0.043	76.786	56.706
		41.011 - 64.861	0.158		
		64.861 - 88.711	0.374		
		88.711 - 107.261	0.317		
		107.261 - 133.565	0.108		
78	9.331782	-1.118 - 4.256	0.043	7.969	53.121
		4.256 - 6.732	0.158		
		6.732 - 9.207	0.374		
		9.207 - 11.132	0.317		
		11.132 - 13.862	0.108		
79	25.08052	-3.004 - 11.440	0.043	21.419	33.066
		11.440 - 18.092	0.158		
		18.092 - 24.745	0.374		
		24.745 - 29.920	0.317		
		29.920 - 37.257	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
80	26.60519	-3.186 - 12.135	0.043	22.721	18.854
		12.135 - 19.192	0.158		
		19.192 - 26.249	0.374		
		26.249 - 31.738	0.317		
		31.738 - 39.522	0.108		
81	45.40637	-5.438 - 20.711	0.043	38.777	38.490
		20.711 - 32.755	0.158		
		32.755 - 44.799	0.374		
		44.799 - 54.167	0.317		
		54.167 - 67.451	0.108		
82	106.8047	-12.791 - 48.715	0.043	91.211	18.456
		48.715 - 77.046	0.158		
		77.046 - 105.377	0.374		
		105.377 - 127.412	0.317		
		127.412 - 158.657	0.108		
83	11.21218	-1.343 - 5.114	0.043	9.575	19.690
		5.114 - 8.088	0.158		
		8.088 - 11.062	0.374		
		11.062 - 13.375	0.317		
		13.375 - 16.656	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
84	24.80469	-2.971 - 11.314	0.043	21.183	11.491
		11.314 - 17.893	0.158		
		17.893 - 24.473	0.374		
		24.473 - 29.591	0.317		
		29.591 - 36.847	0.108		
85	67.55408	-8.090 - 30.813	0.043	57.691	11.244
		30.813 - 48.732	0.158		
		48.732 - 66.651	0.374		
		66.651 - 80.588	0.317		
		80.588 - 100.351	0.108		
86	19.67349	-2.356 - 8.973	0.043	16.801	23.631
		8.973 - 14.192	0.158		
		14.192 - 19.410	0.374		
		19.410 - 23.469	0.317		
		23.469 - 29.225	0.108		
87	21.17401	-2.536 - 9.658	0.043	18.083	17.806
		9.658 - 15.274	0.158		
		15.274 - 20.891	0.374		
		20.891 - 25.259	0.317		
		25.259 - 31.454	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
88	9.326062	-1.117 - 4.254	0.043	7.964	0.444
		4.254 - 6.728	0.158		
		6.728 - 9.201	0.374		
		9.201 - 11.125	0.317		
		11.125 - 13.854	0.108		
89	16.12818	-1.931 - 7.356	0.043	13.773	52.505
		7.356 - 11.634	0.158		
		11.634 - 15.913	0.374		
		15.913 - 19.240	0.317		
		19.240 - 23.958	0.108		
90	101.9006	-12.203 - 46.479	0.043	87.023	33.882
		46.479 - 73.508	0.158		
		73.508 - 100.538	0.374		
		100.538 - 121.562	0.317		
		121.562 - 151.372	0.108		
91	10.67422	-1.278 - 4.869	0.043	9.116	51.930
		4.869 - 7.700	0.158		
		7.700 - 10.532	0.374		
		10.532 - 12.734	0.317		
		12.734 - 15.856	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
92	44.99479	-5.388 - 20.523	0.043	38.426	59.122
		20.523 - 32.458	0.158		
		32.458 - 44.393	0.374		
		44.393 - 53.676	0.317		
		53.676 - 66.839	0.108		
93	15.53103	-1.860 - 7.084	0.043	13.264	52.630
		7.084 - 11.204	0.158		
		11.204 - 15.323	0.374		
		15.323 - 18.528	0.317		
		18.528 - 23.071	0.108		
94	14.35648	-1.719 - 6.548	0.043	12.260	22.605
		6.548 - 10.356	0.158		
		10.356 - 14.165	0.374		
		14.165 - 17.126	0.317		
		17.126 - 21.326	0.108		
95	12.81061	-1.534 - 5.843	0.043	10.940	15.844
		5.843 - 9.241	0.158		
		9.241 - 12.639	0.374		
		12.639 - 15.282	0.317		
		15.282 - 19.030	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
96	12.1685	-1.457 - 5.550	0.043	10.392	13.401
		5.550 - 8.778	0.158		
		8.778 - 12.006	0.374		
		12.006 - 14.516	0.317		
		14.516 - 18.076	0.108		
97	20.54257	-2.460 - 9.370	0.043	17.543	29.826
		9.370 - 14.819	0.158		
		14.819 - 20.268	0.374		
		20.268 - 24.506	0.317		
		24.506 - 30.516	0.108		
98	31.45107	-3.766 - 14.345	0.043	26.859	27.407
		14.345 - 22.688	0.158		
		22.688 - 31.031	0.374		
		31.031 - 37.519	0.317		
		37.519 - 46.720	0.108		
99	27.45395	-3.288 - 12.522	0.043	23.446	23.399
		12.522 - 19.805	0.158		
		19.805 - 27.087	0.374		
		27.087 - 32.751	0.317		
		32.751 - 40.782	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
100	10.39279	-1.245 - 4.740	0.043	8.875	19.314
		4.740 - 7.497	0.158		
		7.497 - 10.254	0.374		
		10.254 - 12.398	0.317		
		12.398 - 15.438	0.108		
101	24.79276	-2.969 - 11.308	0.043	21.173	5.865
		11.308 - 17.885	0.158		
		17.885 - 24.461	0.374		
		24.461 - 29.576	0.317		
		29.576 - 36.829	0.108		
102	7.980249	-0.956 - 3.640	0.043	6.815	24.276
		3.640 - 5.757	0.158		
		5.757 - 7.874	0.374		
		7.874 - 9.520	0.317		
		9.520 - 11.855	0.108		
103	16.29038	-1.951 - 7.430	0.043	13.912	13.050
		7.430 - 11.751	0.158		
		11.751 - 16.073	0.374		
		16.073 - 19.433	0.317		
		19.433 - 24.199	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
104	10.80713	-1.294 - 4.929	0.043	9.229	2.548
		4.929 - 7.796	0.158		
		7.796 - 10.663	0.374		
		10.663 - 12.892	0.317		
		12.892 - 16.054	0.108		
105	11.66976	-1.398 - 5.323	0.043	9.966	10.733
		5.323 - 8.418	0.158		
		8.418 - 11.514	0.374		
		11.514 - 13.921	0.317		
		13.921 - 17.335	0.108		
106	10.74365	-1.287 - 4.900	0.043	9.175	54.125
		4.900 - 7.750	0.158		
		7.750 - 10.600	0.374		
		10.600 - 12.817	0.317		
		12.817 - 15.960	0.108		
107	13.63153	-1.632 - 6.218	0.043	11.641	10.451
		6.218 - 9.833	0.158		
		9.833 - 13.449	0.374		
		13.449 - 16.262	0.317		
		16.262 - 20.249	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
108	39.58554	-4.741 - 18.056	0.043	33.806	30.024
		18.056 - 28.556	0.158		
		28.556 - 39.056	0.374		
		39.056 - 47.223	0.317		
		47.223 - 58.804	0.108		
109	12.48601	-1.495 - 5.695	0.043	10.663	6.631
		5.695 - 9.007	0.158		
		9.007 - 12.319	0.374		
		12.319 - 14.895	0.317		
		14.895 - 18.548	0.108		
110	53.46434	-6.403 - 24.386	0.043	45.659	32.855
		24.386 - 38.568	0.158		
		38.568 - 52.750	0.374		
		52.750 - 63.780	0.317		
		63.780 - 79.421	0.108		
111	14.94612	-1.790 - 6.817	0.043	12.764	20.225
		6.817 - 10.782	0.158		
		10.782 - 14.746	0.374		
		14.746 - 17.830	0.317		
		17.830 - 22.202	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
112	42.09227	-5.041 - 19.199	0.043	35.947	33.432
		19.199 - 30.364	0.158		
		30.364 - 41.530	0.374		
		41.530 - 50.214	0.317		
		50.214 - 62.527	0.108		
113	55.26857	-6.619 - 25.209	0.043	47.199	177.644
		25.209 - 39.869	0.158		
		39.869 - 54.530	0.374		
		54.530 - 65.932	0.317		
		65.932 - 82.101	0.108		
114	48.09619	-5.760 - 21.937	0.043	41.074	20.807
		21.937 - 34.695	0.158		
		34.695 - 47.453	0.374		
		47.453 - 57.376	0.317		
		57.376 - 71.446	0.108		
115	22.13543	-2.651 - 10.096	0.043	18.904	35.026
		10.096 - 15.968	0.158		
		15.968 - 21.839	0.374		
		21.839 - 26.406	0.317		
		26.406 - 32.882	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
116	17.37182	-2.080 - 7.924	0.043	14.836	17.580
		7.924 - 12.532	0.158		
		12.532 - 17.140	0.374		
		17.140 - 20.724	0.317		
		20.724 - 25.806	0.108		
117	18.19528	-2.179 - 8.299	0.043	15.539	32.440
		8.299 - 13.126	0.158		
		13.126 - 17.952	0.374		
		17.952 - 21.706	0.317		
		21.706 - 27.029	0.108		
118	16.44143	-1.969 - 7.499	0.043	14.041	8.008
		7.499 - 11.860	0.158		
		11.860 - 16.222	0.374		
		16.222 - 19.614	0.317		
		19.614 - 24.424	0.108		
119	11.64751	-1.395 - 5.313	0.043	9.947	0.530
		5.313 - 8.402	0.158		
		8.402 - 11.492	0.374		
		11.492 - 13.895	0.317		
		13.895 - 17.302	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
120	9.833179	-1.178 - 4.485	0.043	8.398	6.694
		4.485 - 7.093	0.158		
		7.093 - 9.702	0.374		
		9.702 - 11.730	0.317		
		11.730 - 14.607	0.108		
121	11.18329	-1.339 - 5.101	0.043	9.551	36.330
		5.101 - 8.067	0.158		
		8.067 - 11.034	0.374		
		11.034 - 13.341	0.317		
		13.341 - 16.613	0.108		
122	92.93044	-11.129 - 42.387	0.043	79.363	9.815
		42.387 - 67.038	0.158		
		67.038 - 91.688	0.374		
		91.688 - 110.861	0.317		
		110.861 - 138.047	0.108		
123	10.21588	-1.223 - 4.660	0.043	8.724	37.683
		4.660 - 7.369	0.158		
		7.369 - 10.079	0.374		
		10.079 - 12.187	0.317		
		12.187 - 15.176	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
124	20.49337	-2.454 - 9.347	0.043	17.501	2.770
		9.347 - 14.783	0.158		
		14.783 - 20.219	0.374		
		20.219 - 24.447	0.317		
		24.447 - 30.443	0.108		
125	13.22665	-1.584 - 6.033	0.043	11.296	13.111
		6.033 - 9.541	0.158		
		9.541 - 13.050	0.374		
		13.050 - 15.779	0.317		
		15.779 - 19.648	0.108		
126	20.47758	-2.452 - 9.340	0.043	17.488	45.350
		9.340 - 14.772	0.158		
		14.772 - 20.204	0.374		
		20.204 - 24.429	0.317		
		24.429 - 30.419	0.108		
127	17.00511	-2.036 - 7.756	0.043	14.522	48.134
		7.756 - 12.267	0.158		
		12.267 - 16.778	0.374		
		16.778 - 20.286	0.317		
		20.286 - 25.261	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
128	11.00982	-1.318 - 5.022	0.043	9.402	14.524
		5.022 - 7.942	0.158		
		7.942 - 10.863	0.374		
		10.863 - 13.134	0.317		
		13.134 - 16.355	0.108		
129	16.3435	-1.957 - 7.455	0.043	13.957	50.152
		7.455 - 11.790	0.158		
		11.790 - 16.125	0.374		
		16.125 - 19.497	0.317		
		19.497 - 24.278	0.108		
130	12.58442	-1.507 - 5.740	0.043	10.747	17.330
		5.740 - 9.078	0.158		
		9.078 - 12.416	0.374		
		12.416 - 15.012	0.317		
		15.012 - 18.694	0.108		
131	14.80031	-1.772 - 6.751	0.043	12.639	49.442
		6.751 - 10.677	0.158		
		10.677 - 14.602	0.374		
		14.602 - 17.656	0.317		
		17.656 - 21.986	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
132	23.48029	-2.812 - 10.710	0.043	20.052	33.681
		10.710 - 16.938	0.158		
		16.938 - 23.166	0.374		
		23.166 - 28.011	0.317		
		28.011 - 34.880	0.108		
133	26.62504	-3.189 - 12.144	0.043	22.738	1.140
		12.144 - 19.207	0.158		
		19.207 - 26.269	0.374		
		26.269 - 31.762	0.317		
		31.762 - 39.551	0.108		
134	10.63714	-1.274 - 4.852	0.043	9.084	9.159
		4.852 - 7.673	0.158		
		7.673 - 10.495	0.374		
		10.495 - 12.689	0.317		
		12.689 - 15.801	0.108		
135	55.51018	-6.648 - 25.319	0.043	47.406	115.481
		25.319 - 40.044	0.158		
		40.044 - 54.768	0.374		
		54.768 - 66.220	0.317		
		66.220 - 82.460	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็น ของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
136	20.42096	-2.446 - 9.314	0.043	17.440	12.802
		9.314 - 14.731	0.158		
		14.731 - 20.148	0.374		
		20.148 - 24.361	0.317		
		24.361 - 30.335	0.108		
137	11.58198	-1.387 - 5.283	0.043	9.891	10.082
		5.283 - 8.355	0.158		
		8.355 - 11.427	0.374		
		11.427 - 13.817	0.317		
		13.817 - 17.205	0.108		
138	21.2183	-2.541 - 9.678	0.043	18.120	29.432
		9.678 - 15.306	0.158		
		15.306 - 20.935	0.374		
		20.935 - 25.312	0.317		
		25.312 - 31.519	0.108		
139	11.6991	-1.401 - 5.336	0.043	9.991	28.635
		5.336 - 8.439	0.158		
		8.439 - 11.543	0.374		
		11.543 - 13.956	0.317		
		13.956 - 17.379	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ค่าพยากรณ์ โดยวิธี โครงข่าย ประสาทเทียม	ช่วงพยากรณ์โซ่มาร์คอฟ	เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของการ พยากรณ์	ค่าพยากรณ์ โดยวิธีโครงข่าย ประสาทเทียม และโซ่มาร์คอฟ	อัตราความคลาด เคลื่อนการพยากรณ์ วิธีโครงข่ายประสาท เทียมและโซ่มาร์คอฟ
140	22.66096	-2.714 - 10.336	0.043	19.352	7.845
		10.336 - 16.347	0.158		
		16.347 - 22.358	0.374		
		22.358 - 27.033	0.317		
		27.033 - 33.663	0.108		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข โค้ดการพยากรณ์วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

#เรียก Package

```
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.neural_network import MLPClassifier, MLPRegressor
from sklearn.metrics import mean_absolute_error
```

#แบ่งข้อมูล train/test

```
df_st_origin = pd.read_excel("/content/DAY.xlsx")
df_st_origin = df_st_origin.sample(random_state=1, frac=1).reset_index(drop=True)
df_st_origin.head()
df = df_st_origin.copy().drop(columns="DAY")
X = df.drop(columns="AQI NEXT DAY 7.00")
y = df["AQI NEXT DAY 7.00"]
X_train, X_test=X[0:560],X[560:len(X)]
y_train, y_test=y[0:560],y[560:len(X)]
```

#สร้างตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม

```
clf = MLPRegressor()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

activation="tanh",
alpha=0.01,
batch_size=1,
hidden_layer_sizes=(500),
learning_rate="constant",
solver="adam",
random_state=0
)
clf.fit(X_train, y_train)
clf.score(X_test, y_test)
y_predict = clf.predict(X_test)
y_predict[:]
print("RMSE: ",np.sqrt(mean_squared_error(y_test, y_predict)))
print("MAPE: ",np.mean(np.abs((y_test-y_predict)/y_test))*100)

#การพยากรณ์ล่วงหน้า
a_st_origin = pd.read_excel("/content/Predict.xlsx")
a_st_origin = a_st_origin.sample(random_state=1, frac=1).reset_index(drop=True)
a_st_origin.head()
a = a_st_origin.copy().drop(columns="ปี/เดือน/วัน")
s = a.drop(columns="AQI NEXT DAY 7.00")
d = df["AQI NEXT DAY 7.00"]
q=clf.predict(s)
print(q)
print(a)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพรนภา แสงศรี
วัน เดือน ปี	19 มิถุนายน 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	4 หมู่ 4 ตำบลคลองลู อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง 92110
ประวัติการศึกษา	(2561) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.70 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) (2563) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ เกรดเฉลี่ย 3.12 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
ผลงานทางวิชาการ	1. บทความวิจัยเรื่อง “วิธีผสมของโครงข่ายประสาทเทียมและโซ่มาร์คอฟ สำหรับพยากรณ์ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เดือนกันยายน – ตุลาคม 2564). ปีที่ 29 ฉบับที่ 5. 2. การประชุมวิชาการเรื่อง “การพยากรณ์ปริมาณคุณภาพอากาศรายชั่วโมง โดยตัวแบบโซ่มาร์คอฟ”, การประชุมวิชาการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2564. วันที่ 13-14 พฤษภาคม 2564. หน้า 4-10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้