



การประมาณค่า pm2.5 ในประเทศไทยจากความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2

ภาควิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การประมาณค่า pm2.5 ในประเทศไทยจากความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม

MODIS



โดย
นายคณธพจน์ ศักดิ์ศรีสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2

ภาควิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

PREDICTING PM2.5 IN THAILAND USING MODIS AOD



By

MR. Khanthaphot SAKSRISAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science PHYSICS

Department of PHYSICS

Academic Year 2024

Copyright of Silpakorn University

630720013 : ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง, PM2.5, MODIS

นาย คันธพจน์ ศักดิ์ศรีสกุล: การประมาณค่า pm2.5 ในประเทศไทยจากความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศระ มะศิริ

ปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยฝุ่น PM2.5 สามารถทำให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจและหลอดเลือดหัวใจได้ ดังนั้นการตรวจวัดหาค่าฝุ่น PM2.5 จึงเป็นแนวทางการวางแผนในการป้องกันปัญหาอันเนื่องมาจากฝุ่น PM2.5 สำหรับประเทศไทยมีสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินติดตั้งอยู่หลายแห่งแต่ยังครอบคลุมไม่ทั่วถึงทุกพื้นที่ การใช้ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความครอบคลุมมากกว่าจึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่น PM2.5 และค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่มีความสอดคล้องกัน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เพื่อคำนวณค่าฝุ่น PM2.5 จากข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่วัดได้จากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) จึงเป็นส่วนช่วยในการประมาณค่า PM2.5 ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดได้ โดยผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลของค่าฝุ่น PM2.5 จากกรมควบคุมมลพิษและข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่วัดได้จากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ในระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567 และได้ทำการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรม Weka3.8 โดยโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า (input) 2 โหนด ชั้นซ่อน (hidden Layer) 1 ชั้น ประกอบด้วย โหนด 6 โหนด และข้อมูลผลลัพธ์ (output) 1 โหนด และเมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 พบว่าการประมาณค่า PM2.5 ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องอยู่ในระดับดีโดยมีผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) เท่ากับ 0.70 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error) เท่ากับ 15.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (mean bias error) เท่ากับ 6.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

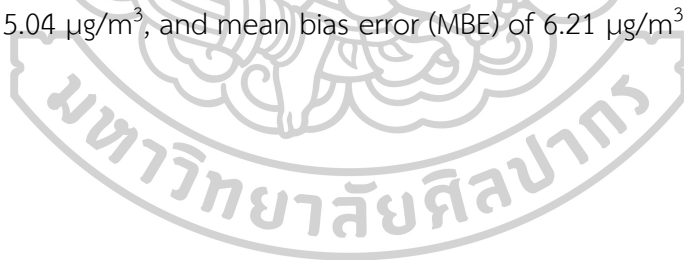
630720013 : Major PHYSICS

Keyword : Artificial Neural Network, Aerosol optical depth, PM2.5, MODIS

MR. Khanthaphot SAKSRISAKUL : Predicting pm2.5 in Thailand using MODIS

AOD Thesis advisor : Assistant Professor Itsara Masiri

PM2.5 is a significant problem affecting public health. Measuring PM2.5 concentration provides a guideline for preventing health issues from PM2.5. However, in Thailand, PM2.5 monitoring stations are limited. Using an artificial neural network (ANN) to estimate PM2.5 concentration from aerosol optical depth (AOD) data measured by the MODIS TERRA and AQUA satellites can help estimate PM2.5 concentration in areas without monitoring stations. The researcher collected PM2.5 data from the pollution control department and AOD data from MODIS TERRA and AQUA satellites between 2011 and 2024 and processed the data using an ANN through Weka3.8 software with an ANN structure consisting of 2 input nodes, 1 hidden layer with 6 nodes, and 1 output node. The PM2.5 concentration estimated by the ANN compared with ground-based measurements from all monitoring stations in Thailand between 2023 and 2024 found that the PM2.5 estimation method has a good accuracy with the correlation coefficient (r) of 0.70, root mean square error (RMSE) of $15.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and mean bias error (MBE) of $6.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศระ มะศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย ที่คอยให้คำแนะนำ และแนะแนวทางให้แก่ผู้วิจัย รวมทั้งคณะอาจารย์และพนักงานจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ช่วยเอื้ออำนวยและสนับสนุนในการทำงานวิจัยนี้และขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล PM2.5 ในประเทศไทยในงานวิจัยนี้

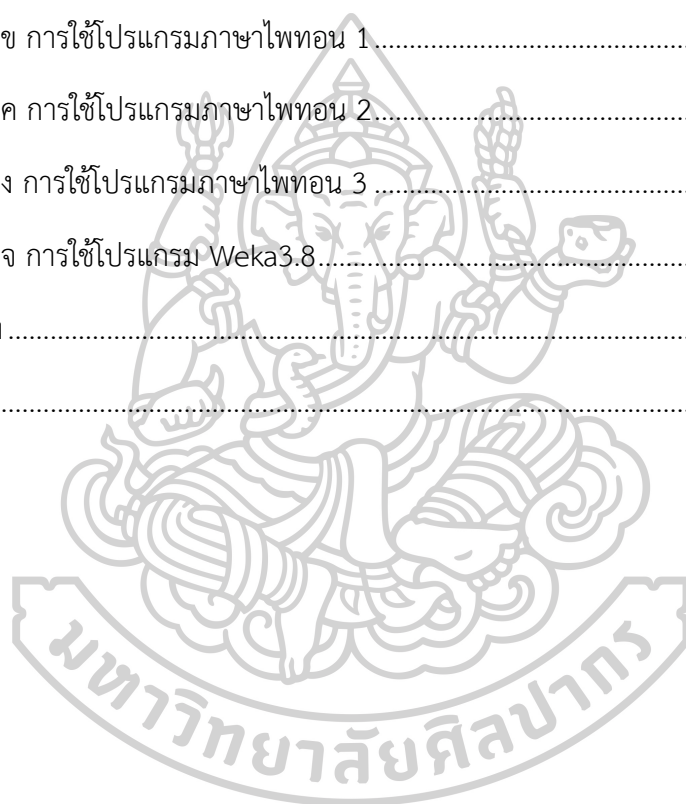


คันธพจน์ ศักดิ์ศรีสกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ผู้่นละออง	4
2.2 ความถี่เชิงแสงของผู้่นละออง	12
2.3 การสำรวจระยะทางไกล.....	13
2.4 โครงข่ายประสาทเทียม	15
2.5 ตัวแปรทางสถิติ.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 การรวบรวมข้อมูล.....	24

3.2 การประมวลผลและจัดเรียงข้อมูล	30
3.3 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณค่า PM2.5	47
บทที่ 4 การอภิปรายผล.....	54
บทที่ 5 สรุปผล.....	82
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรม IDL	84
ภาคผนวก ข การใช้โปรแกรมภาษาไพทอน 1.....	91
ภาคผนวก ค การใช้โปรแกรมภาษาไพทอน 2.....	96
ภาคผนวก ง การใช้โปรแกรมภาษาไพทอน 3	99
ภาคผนวก จ การใช้โปรแกรม Weka3.8.....	103
รายการอ้างอิง	106
ประวัติผู้เขียน	109



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตำแหน่งพิกัดของสถานีตรวจวัด PM2.5 ในประเทศไทย	2
รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง (Quilliec et al., 2023).....	4
รูปที่ 2.2 ฝุ่นละอองปฐมภูมิและทุติยภูมิ.....	5
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละออง.....	6
รูปที่ 2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในระยะสั้นและระยะยาวของฝุ่น PM2.5 (Basith et al., 2022).....	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเครื่องวัดวิธีเบต้าเรดิเอชันแอทเทนนูเอชัน.....	8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเครื่องวัดวิธีเทปเปอร์อิลลิเมนต์ออสซิลเลตติ้งไมโครบาลานซ์ (Shukla & Aggarwal, 2022)	9
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมัส	10
รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของวิธีการกระเจิงของแสง (Nguyen et al., 2021)	11
รูปที่ 2.9 การลดทอนการแผ่รังสีโดยตรงผ่านชั้นบรรยากาศที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Whitby & Cantrell, 1976).....	13
รูปที่ 2.10 ความแตกต่างระหว่างการสำรวจระยะไกลแบบแอคทีฟและ การสำรวจระยะไกลแบบพาสซีฟ.....	14
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของระบบประสาท (Fu et al., 2024).....	15
รูปที่ 2.12 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่ายประสาทเทียม (Fu et al., 2024).....	16
รูปที่ 2.13 โครงข่ายประสาทเทียม (Fu et al., 2024)	16
รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณของโครงข่ายประสาทเทียม (ซ้าย) กับวิธีการถดถอยเชิงเส้น (ขวา) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (Yao et al., 2012).....	19
รูปที่ 2.15 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 ถึงปี พ.ศ. 2556 (Lyu et al., 2018).....	20

รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อใช้ข้อมูลทั้งหมดในการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม (ซ้าย) กับเมื่อใช้วิธี 10-fold cross validation (ขวา) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2559.....	21
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม TERRA วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554.....	24
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งพิกัดของสถานีตรวจวัด PM2.5 ในประเทศไทยจำนวน 96 สถานี.....	25
รูปที่ 3.3 แผนภาพการประมวลผลและจัดเรียงข้อมูล	30
รูปที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 02T 03T 05T 08T 10T และ 11T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	31
รูปที่ 3.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 12T 13T 14T 16T 17T และ 18T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	32
รูปที่ 3.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 19T 20T 21T 22T 24T และ 25T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	33
รูปที่ 3.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 26T 27T 28T 29T 30T และ 31T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	34
รูปที่ 3.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 32T 33T 34T 35T 36T และ 37T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	35
รูปที่ 3.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 38T 39T 40T 41T 42T และ 43T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	36

รูปที่ 3.10 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 44T 46T 47T 50T 52T และ 53T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 37

รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 54T 57T 58T 59T 60T และ 61T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 38

รูปที่ 3.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 62T 63T 67T 68T 69T และ 70T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 39

รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 71T 72T 73T 74T 75T และ 76T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 40

รูปที่ 3.14 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 77T 78T 79T 80T 81T และ 82T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 41

รูปที่ 3.15 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 83T 84T 85T 86T 87T และ 88T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 42

รูปที่ 3.16 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 89T 90T 91T 92T 93T และ 94T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 43

รูปที่ 3.17 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 95T 96T 97T 98T 99T และ 100T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 44

รูปที่ 3.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 101T 102T 103T 104T 105T และ 106T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 45

รูปที่ 3.19 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 107T 108T 109T 110T 111T และ 112T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567..... 46

รูปที่ 3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 1 48

รูปที่ 3.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 2 48

รูปที่ 3.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 3 49

รูปที่ 3.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 4 49

รูปที่ 3.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 5 50

รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 6 50

รูปที่ 3.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 7 51

รูปที่ 3.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 8 51

รูปที่ 3.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก
 สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers
 เท่ากับ 9 52

รูปที่ 3.29 แผนภาพของโครงข่ายประสาทเทียม 53

รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 02T 03T 05T และ 08T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567
 54

รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 10T 11T 12T 13T 14T และ 16T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 55

รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 17T 18T 19T 20T 21T และ 22T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 56

รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 24T 25T 26T 27T 28T และ 29T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 57

รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 30T 31T 32T 33T 34T และ 35T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 58

รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 36T 37T 38T 39T 40T และ 41T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 59

รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 42T 43T 44T 46T 47T และ 50T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 60

รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด
 ภาคพื้นดินของสถานี 52T 53T 54T 57T 58T และ 59T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี
 พ.ศ. 2567 61

รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 60T 61T 62T 63T 67T และ 68T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	62
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 69T 70T 71T 72T 73T และ 74T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	63
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 75T 76T 77T 78T 79T และ 80T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	64
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 81T 82T 83T 84T 85T และ 86T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	65
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 87T 88T 89T 90T 91T และ 92T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	66
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 93T 94T 95T 96T 97T และ 98T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	67
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 99T 100T 101T 102T 103T และ 104T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	68
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 105T 106T 107T 108T 109T และ 110T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	69
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัด ภาคพื้นดินของสถานี 111T และ 112T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	70
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จาก สถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567	71

รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยบางพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดภาคพื้นดิน ในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2565.....	72
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567.....	73
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567.....	74
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567.....	75
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567.....	76
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567.....	77
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและ ค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทย ในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567.....	78
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและ ค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทย ในช่วงพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567.....	79
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและ ค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทย ในช่วงมิถุนายนถึงตุลาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567	80
รูปที่ 4.28 แผนภาพแสดงลักษณะอุณหภูมิในฤดูหนาวและฤดูร้อน ระดับความลึกของชั้นขอบเขตและพลวัตของชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนล่าง (Liu et al., 2020).....	81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลลัพธ์ทางสถิติของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมมีโหนดตั้งแต่ 6 ถึง 13 โหนด (Lyu et al., 2018).....	19
ตารางที่ 2.2 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในกลุ่มข้อมูลนำเข้าต่อ PM2.5 (Lyu et al., 2018).....	20
ตารางที่ 2.3 ผลของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Amnuaylojaroen, 2022)	22
ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และตัวแปรต่างๆ (Amnuaylojaroen, 2022)	22
ตารางที่ 2.5 ผลของแบบจำลองการประมาณค่า PM2.5 (Buya et al., 2023).....	23
ตารางที่ 3.1 รายชื่อและตำแหน่งพิกัดของสถานีตรวจวัด PM2.5 ในประเทศไทยจำนวน 96 สถานี	26
ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรสำหรับการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม	47
ตารางที่ 3.3 ผลของการประมาณค่า PM2.5 ด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝน.....	52



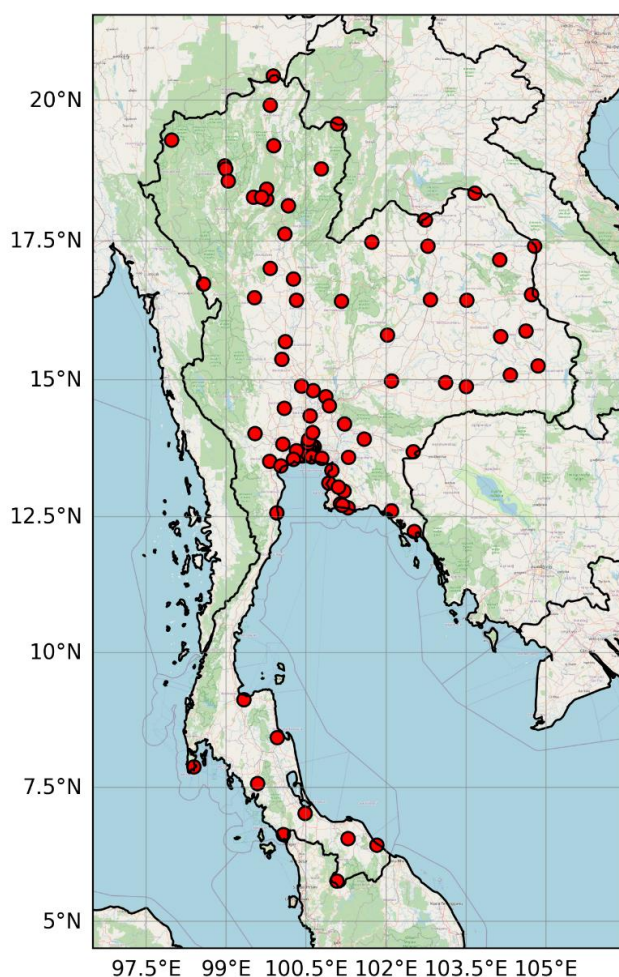
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ฝุ่น PM2.5 (ฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน) เป็นมลพิษทางอากาศที่สามารถแพร่กระจายได้ไกลและคงอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานทำให้ยากต่อการสลายตัวและยังมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรง นอกจากบดบังทัศนวิสัยและยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (Li et al., 2025; Sukcharoen et al., 2020) โดยฝุ่น PM2.5 สามารถเข้าสู่ปอด ทำให้เกิดการระคายเคืองและสร้างความเสียหายต่อการทำงานของปอด (Xing et al., 2016) ทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อและการตายของเซลล์ปอด รวมถึงทำให้เกิดความผิดปกติอื่น ๆ ของระบบทางเดินหายใจและหลอดเลือดหัวใจ (Sukcharoen et al., 2020) ส่งผลให้ประชาชนในพื้นที่ที่มีค่า PM2.5 สูงเกินระดับมาตรฐานมีอัตราการเสียชีวิตเพิ่มมากขึ้น (Farrow et al., 2020)

องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดให้ฝุ่น PM2.5 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งเรื้อรัง (ศรแก้วดารา, 2019) โดยในประเทศไทยได้มีการวัดคุณภาพอากาศและฝุ่น PM2.5 กระจายตามพื้นที่และจังหวัดต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.1 แต่อย่างไรก็ตามแผนที่ข้อมูลของค่า PM2.5 ดังกล่าวไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดอย่างแท้จริง ซึ่งยากต่อการนำไปใช้งาน (Hua et al., 2019) สำหรับในประเทศไทย ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากสถานีวัดต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ตามพื้นที่ที่ประชากรหนาแน่นของจังหวัดเหล่านั้น ทำให้การใช้ค่าเฉลี่ยของ PM2.5 จากแต่ละสถานีตรวจวัดที่อยู่ในจังหวัดเดียวกันมาคำนวณค่าเฉลี่ยของ PM2.5 ต่อปีของจังหวัดนั้นๆ โดยไม่คำนึงถึงการกระจายตัวของสถานีตรวจวัดต่างๆ ในจังหวัดมาประเมินจะทำให้เกิดการประเมินที่สูงหรือต่ำเกินจากความเป็นจริง ดังนั้นการหาค่า PM2.5 ในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดจึงเป็นปัญหาใหญ่ที่ผู้วิจัยมีความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการแก้ปัญหา



รูปที่ 1.1 ตำแหน่งพิกัดของสถานีตรวจวัด PM_{2.5} ในประเทศไทย

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM_{2.5} และความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างเป็นเชิงเส้น (Xiong et al., 2021) ทำให้มีงานวิจัยที่ใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการแก้ปัญหาความไม่ครอบคลุมของแผนที่ข้อมูลของค่า PM_{2.5} เกิดขึ้นหลายงานด้วยกัน เช่น การใช้ดาวเทียมสำรวจระยะทางไกลโดยอาศัยข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) และแบบจำลองทางสถิติต่างๆ เพื่อประมาณค่า PM_{2.5} (Hua et al., 2019; Wang et al., 2020; Xiong et al., 2021) รวมถึงการใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณค่า PM_{2.5} (Yao et al., 2012) โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย PM_{2.5} โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นจะทำการตรวจสอบความถูกต้องด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (mean bias error)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหาค่า PM2.5 จากความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทย

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ย PM2.5 ได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ของผลิตภัณฑ์ MOD03_D3 และ MYD03_D3 โดยข้อมูลมีความละเอียด 1 องศา (<https://ladweb.nascom.nasa.gov/search/>) ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567 และข้อมูลฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจากกรมควบคุมมลพิษ (<http://air4thai.pcd.go.th/>) ทั้ง 96 สถานีทั่วประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถใช้ผลลัพธ์จากโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณปริมาณ PM2.5 จากข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS ได้ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

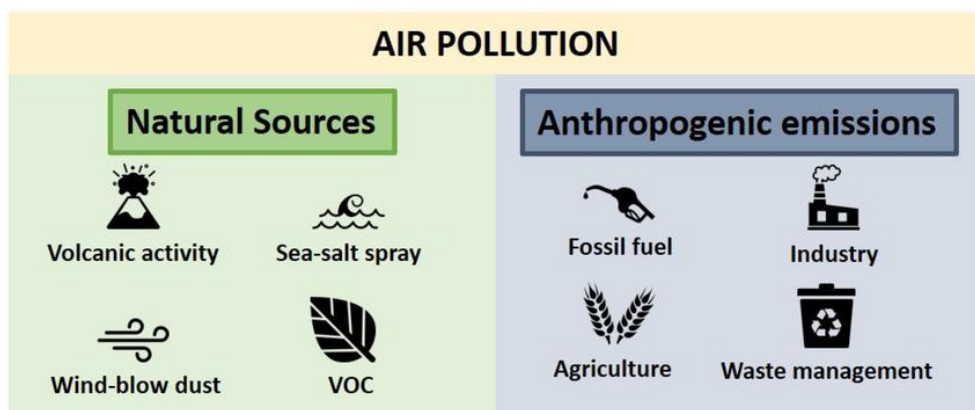
โดยทั่วไปฝุ่นละอองหรือฝุ่นที่เรียกว่าฝุ่น PM2.5 คือฝุ่นที่มีขนาดเล็กซึ่งมีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การตรวจวัดค่า PM2.5 จึงเป็นแนวทางการวางแผนในการป้องกันปัญหาอันเนื่องมาจากฝุ่น PM2.5 สำหรับประเทศไทยมีสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินติดตั้งอยู่หลายแห่งแต่ยังครอบคลุมไม่ทั่วถึงทุกพื้นที่ ทำให้การหาค่า PM2.5 ในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดนั้นจึงสำคัญอย่างยิ่งต่อการป้องกันปัญหาของฝุ่น PM2.5

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย ฝุ่นละออง การสำรวจระยะทางไกล ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองและโครงข่ายประสาทเทียม

2.1 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองหมายถึงอนุภาคที่มีสถานะของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.01 จนถึง 100 ไมครอนโดยมีรูปร่างและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันขึ้นกับที่มาและแหล่งกำเนิด โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

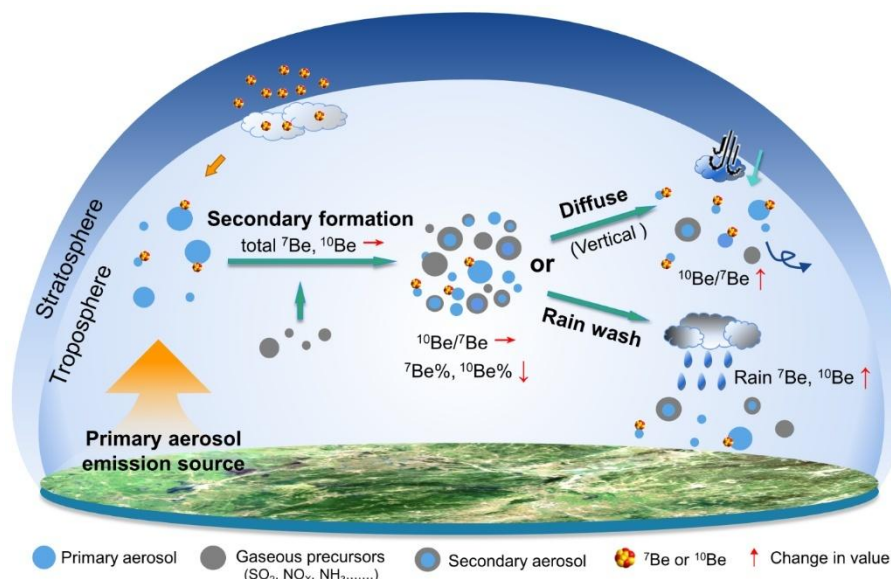
- ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (natural particle) เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นทราย ละอองน้ำ ไอทะเลและไฟป่า เป็นต้น
- ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic particle) เช่น การเกษตร การคมนาคม การก่อสร้างและ อุตสาหกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง (Quilliec et al., 2023)

สามารถแบ่งชนิดของฝุ่นละอองตามการกำเนิดได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

- ปฐมภูมิ (primary particles) เป็นฝุ่นละอองที่เกิดและแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดโดยตรง
- ทุติภูมิ (secondary particles) เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของแก๊สในชั้นบรรยากาศ

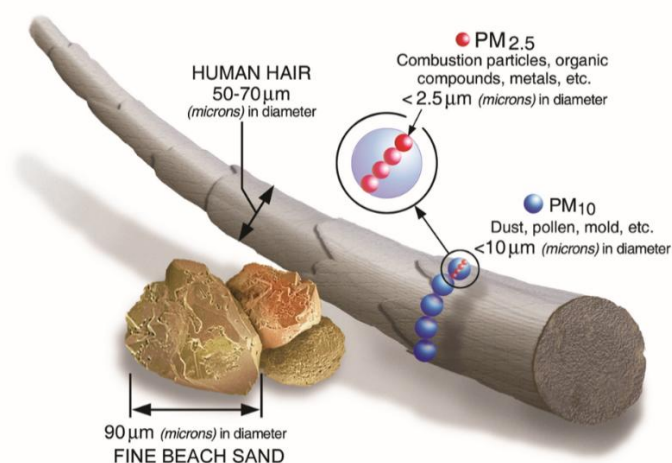


รูปที่ 2.2 ฝุ่นละอองปฐมภูมิและทุติภูมิ

ที่มา : (1 March 2025). Unraveling Secondary Formation and Removal Process of Aerosols Based on Cosmogenic Beryllium-7 and Beryllium-10. Available: https://english.cas.cn/newsroom/research_news/earth/202202/t20220209_300626.shtml

และสามารถแบ่งตามขนาดของฝุ่นละอองได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

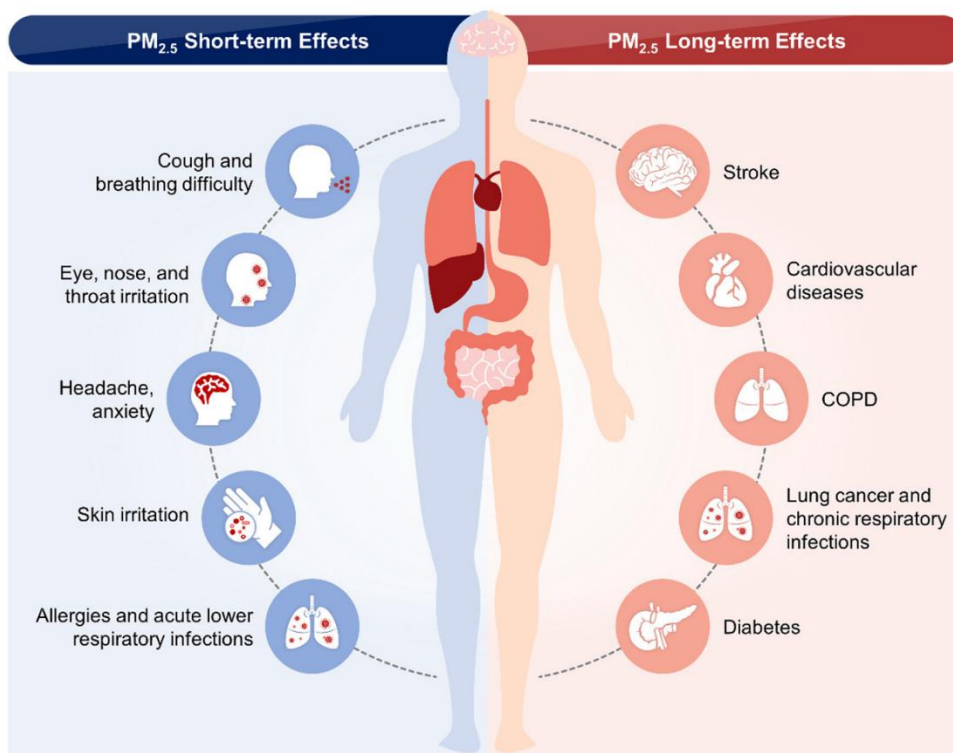
- ฝุ่นหยาบ (coarse particle) เป็นฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.5 ไมครอน
- ฝุ่นละเอียด (fine particle) เป็นฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เช่น ฝุ่น PM2.5 เป็นต้น



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละออง

ที่มา : (1 March 2025). Particulate Matter. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

ฝุ่น PM2.5 ส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยเมื่อมีการสัมผัสกับฝุ่น PM2.5 ในช่วงระยะเวลาหนึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้นได้แก่ การระคายเคืองตา จมูก ผิวหนัง และลำคอ ไปจนถึงอาการหายใจติดขัด ไอ แขนงหน้าอก อาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และคลื่นไส้ และเมื่อมีการสัมผัสกับฝุ่น PM2.5 เป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวได้แก่ โรคหอบหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease) ปัญหาเกี่ยวกับหัวใจและปอดเช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะหัวใจล้มเหลว ปอดบวม เป็นต้น รวมถึงโรคทางเดินหายใจอื่น ๆ (Manisalidis et al., 2020) ดังรูปที่ 2.4 โดยผลกระทบต่อสุขภาพของฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพในระยะยาวอาจเพิ่มอัตราการเกิดโรคมะเร็งและเสียชีวิตได้ (Nakano & Otsuki, 2013)

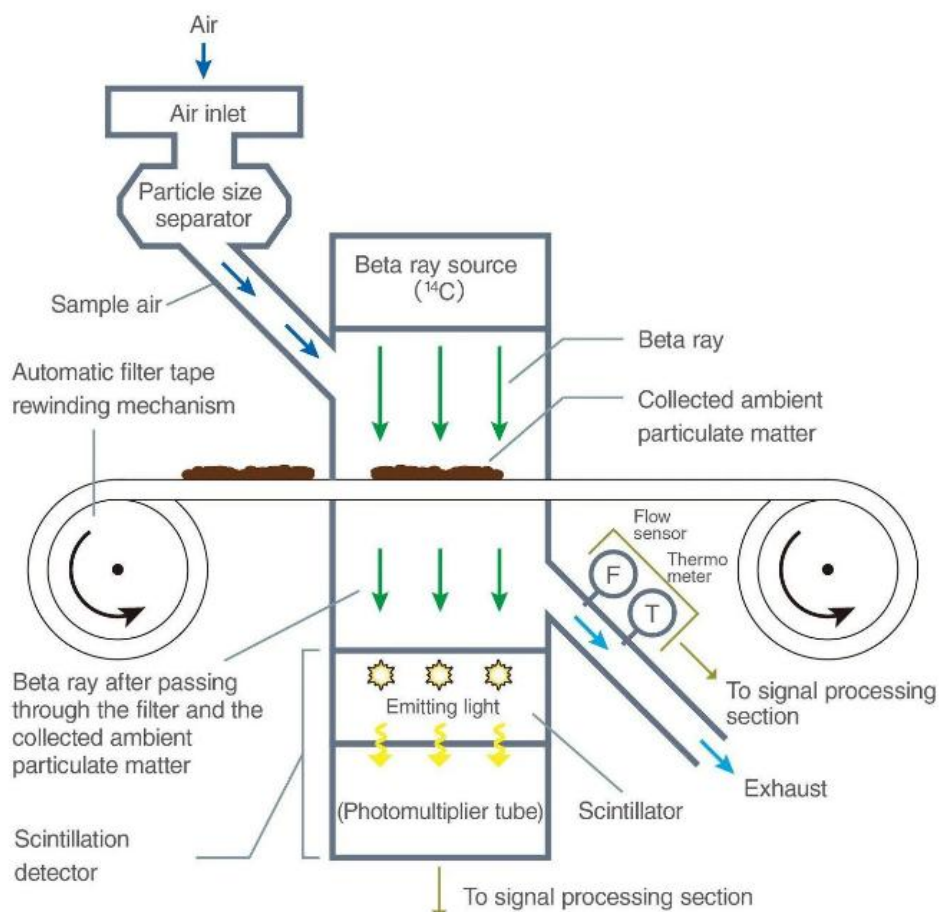


รูปที่ 2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในระยะสั้นและระยะยาวของฝุ่น PM_{2.5}
(Basith et al., 2022)

ในประเทศไทยทางกรมควบคุมมลพิษมีมาตรฐานการวัดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ตามองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาที่กำหนดไว้ได้แก่

- วิธีเบต้า เรดิเอชัน แอทเทนนูเอชัน (beta radiation attenuation)
- วิธีเทปเปอร์ อิลิเมนต์ ออสซิลเลติง ไมโครบาลานซ์ (tapered element oscillating microbalance)
- วิธีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมัส (dichotomous air sampler) และวิเคราะห์ด้วยวิธีกราวิเมตริก (gravimetric)
- วิธีการกระเจิงของแสง (light scattering)

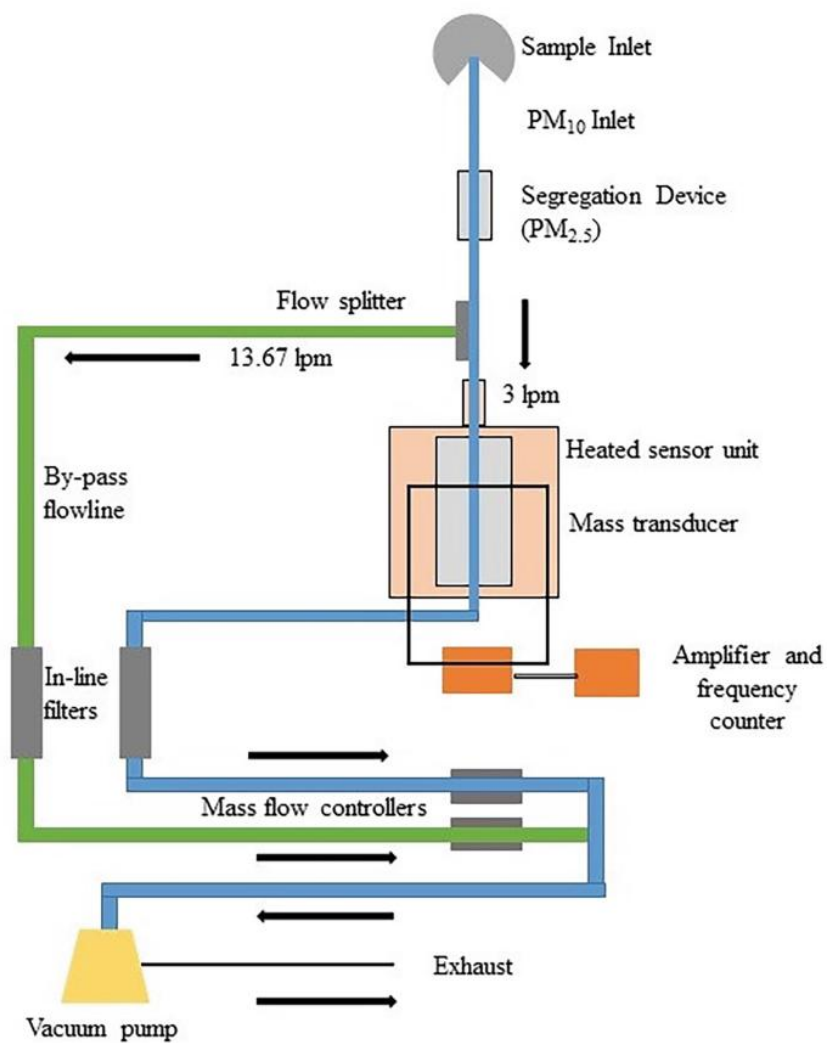
วิธีเบต้าเรดิเอชันแอทเทนนูเอชัน เป็นการวัดปริมาณฝุ่นจากเปรียบเทียบปริมาณรังสีเบตาก่อนและหลังผ่านกระดาศกรองที่ลดทอนไปตามตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเครื่องวัดวิธีเบต้าเรดิเอชันแอทเทนนูเอชัน

ที่มา : (1 March 2025). Structure and Operating Principle of Beta Ambient Particulate Monitor. Available: <https://www.horiba.com/int/process-and-environmental/measuring-principles/beta-ray-absorption-method/>

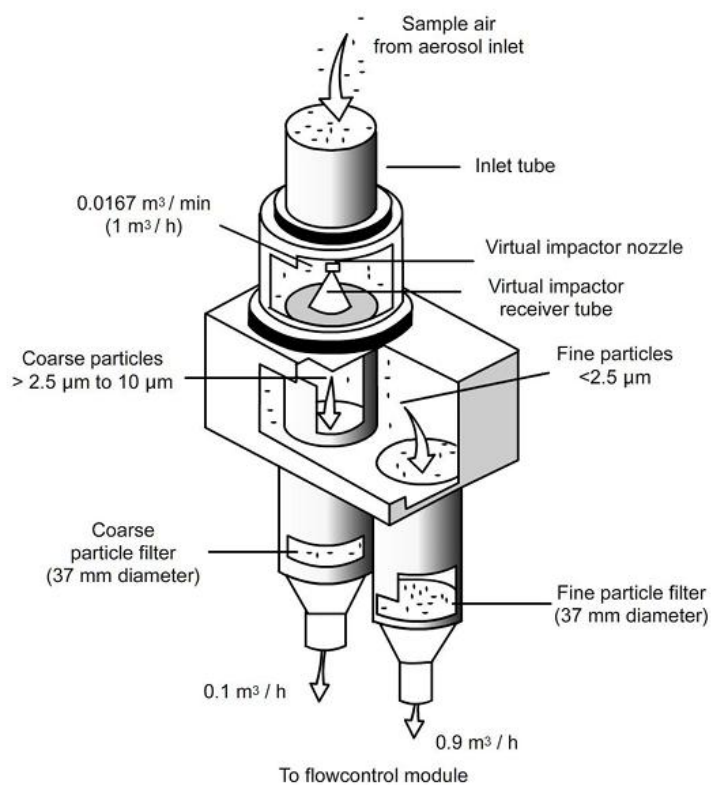
วิธีเทปเปอร์ อิลิเมนต์ ออสซิลเลติง ไมโครบาลานซ์ เป็นการวัดปริมาณฝุ่นจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเทปเปอร์อิลิเมนต์ (tapered element) ที่ดักจับฝุ่นละออง



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเครื่องวัดวิธีเทปเปอร์อิลิเมนต์ออสซิลเลติงไมโครบาลานซ์

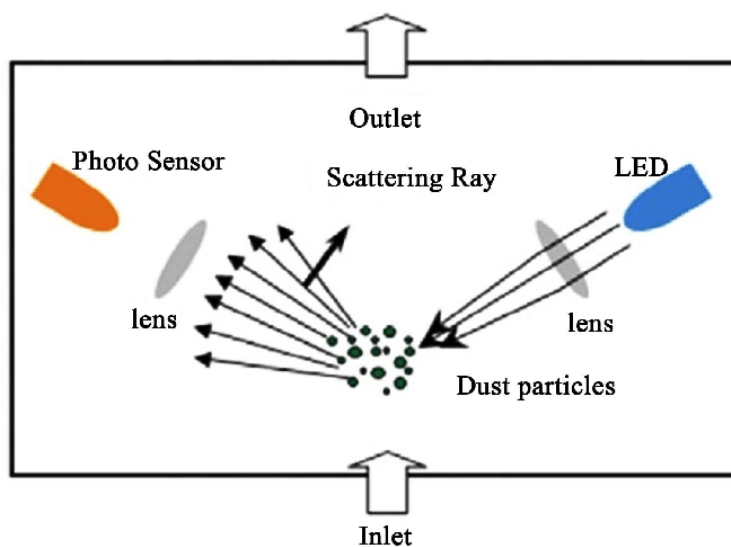
(Shukla & Aggarwal, 2022)

วิธีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมัสและวิเคราะห์ด้วยวิธีกราวิเมตริก
เป็นการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยแผ่นกรองแล้วนำแผ่นกรองไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณฝุ่นละออง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมัส
ที่มา : (26 Jun 2025). Particulate Matter Sampling. Available:
<https://aqicn.org/air/view/products/specs/Particulate-Matter-Sampling.pdf>

วิธีการกระเจิงของแสง เป็นการวัดฝุ่นละอองโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของแสงโดยเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ผ่านลำแสงจะเกิดการเลี้ยวเบนของแสงขึ้นในมุมต่างๆ ตามขนาดของอนุภาคที่ลำแสงตกกระทบ ซึ่งความเข้มของแสงจะถูกวัดและคำนวณเป็นปริมาณของฝุ่นละออง



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของวิธีวิธีการกระเจิงของแสง (Nguyen et al., 2021)

ปริมาณฝุ่นละอองสามารถตรวจวัดได้หลากหลายกระบวนการและวิธีการไม่ว่าจะเป็นวิธีเบต้าเรดิเอชันแอทเทนนูเอชัน วิธีเทปเปอร์อิลลิเมนต์ออสซิลเลตติ้งไมโครบาลานซ์ วิธีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบไดโคโตมิสและวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเมตริก วิธีการกระเจิงของแสง แต่วิธีการข้างต้นไม่สามารถใช้หาปริมาณฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศระดับสูงได้ ในทางฟิสิกส์บรรยากาศปริมาณฝุ่นละอองและคุณสมบัติของฝุ่นละอองที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงแสงมีดังนี้

- ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth) แทนด้วยสัญลักษณ์ τ_{aero} เป็นตัวแปรที่บอกความสามารถในการลดทอนรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ

- อัตราส่วนสะท้อน (single scattering albedo) เป็นตัวแปรที่บอกความสามารถในการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละออง สามารถหาได้จากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกกระเจิงไปต่อรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกกลดทอนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศได้ดังสมการ

$$\omega_0 = \frac{\alpha_{scatter}}{(\alpha_{scatter} + \alpha_{absorb})} \quad (2.1)$$

โดยที่	ω_0	คืออัตราส่วนสะท้อน (-)
	$\alpha_{scatter}$	คือค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิง (m^{-1})
	α_{absorb}	คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (m^{-1})

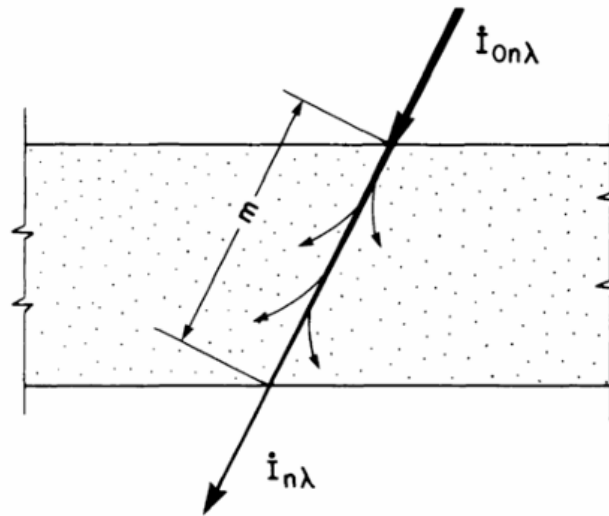
2.2 ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง

ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองคือการวัดการลดทอนของรังสีดวงอาทิตย์โดยฝุ่นละออง โดยอนุภาคในชั้นบรรยากาศนี้สามารถดูดซับหรือกระจายรังสีดวงอาทิตย์ได้ตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต

$$I_{n\lambda} = I_{0n\lambda} \exp(-k_\lambda m_a) \quad (2.2)$$

โดยที่	$I_{0n\lambda}$	คือความเข้มของรังสีที่ชั้นบรรยากาศด้านบนที่ความยาวคลื่น λ ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$)
	$I_{n\lambda}$	คือความเข้มของรังสีที่พื้นดินที่ความยาวคลื่น λ ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$)
	k_λ	คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่ความยาวคลื่น λ (-)
	m_a	คือมวลอากาศ (-)

ดังนั้นความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจึงสามารถเขียนในรูปของ $\tau_{aero,\lambda} = k_\lambda m_a$



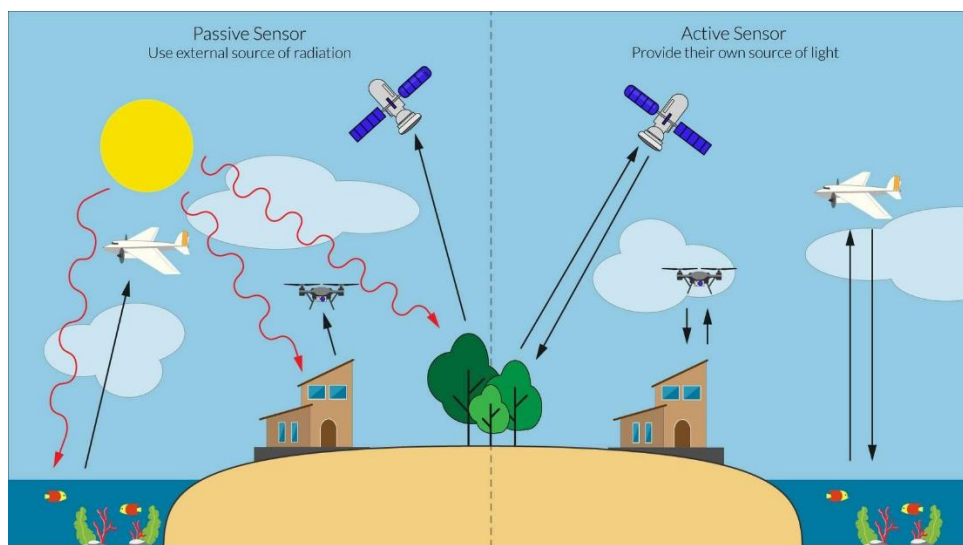
รูปที่ 2.9 การลดทอนการแผ่รังสีโดยตรงผ่านชั้นบรรยากาศที่เป็นเนื้อเดียวกัน
(Whitby & Cantrell, 1976)

2.3 การสำรวจระยะทางไกล

การสำรวจระยะไกลคือกระบวนการตรวจวัดและติดตามลักษณะทางกายภาพของวัตถุหรือพื้นที่โดยการวัดรังสีที่สะท้อนและแผ่ออกมา โดยมีองค์ประกอบหลักดังนี้

- แหล่งกำเนิดของพลังงาน
- วัตถุหรือพื้นที่ที่สนใจ
- อุปกรณ์ในการรับข้อมูล

การสำรวจระยะไกลสามารถแบ่งตามระบบการรับข้อมูลได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ การสำรวจระยะไกลแบบแอคทีฟ (active remote sensing) และการสำรวจระยะไกลแบบพาสซีฟ (passive Remote Sensing) โดยการสำรวจระยะไกลแบบแอคทีฟรับข้อมูลจากแหล่งกำเนิดพลังงานของอุปกรณ์ของระบบวัดที่สะท้อนกลับและการสำรวจระยะไกลแบบพาสซีฟรับข้อมูลจากแหล่งกำเนิดพลังงานอื่นที่สะท้อนหรือแผ่ออกมาจากเป้าหมาย



รูปที่ 2.10 ความแตกต่างระหว่างการสำรวจระยะไกลแบบแอคทีฟและ
การสำรวจระยะไกลแบบพาสซีฟ

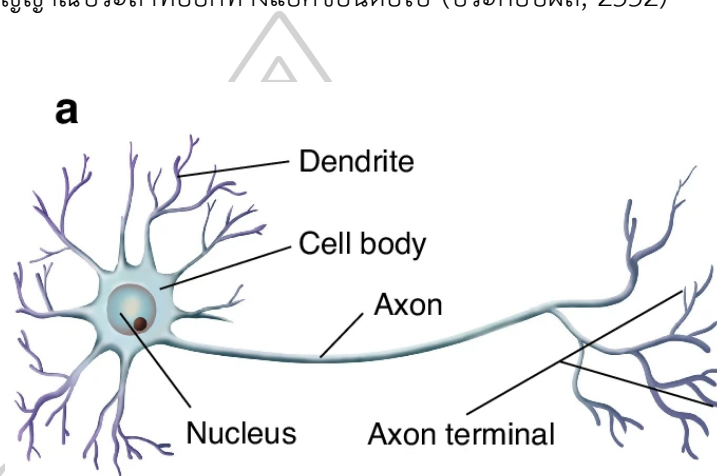
ที่มา : (1 March 2025). What is Remote Sensing?. Available:
<https://reefresilience.org/what-is-remote-sensing/>

เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจระยะไกลมีหลากหลายประเภทซึ่งดาวเทียมจัดเป็นหนึ่งในเครื่องมือชนิดหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพในการสำรวจระยะไกลโดยดาวเทียมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของการโคจรได้ดังนี้

- ดาวเทียมวงโคจรระนาบศูนย์สูตร (equatorial orbit satellite) หรือดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (geosynchronous satellite) เป็นดาวเทียมที่โคจรในแนวระนาบกับเส้นศูนย์สูตรที่ระดับความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก ซึ่งมีคาบการโคจร 24 ชั่วโมงต่อรอบ
- ดาวเทียมวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (sun-synchronous satellite) เป็นดาวเทียมที่อาศัยตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นจุดอ้างอิงในการโคจรซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ วงโคจรเอียง (inclined orbit) เป็นวงโคจรที่ทำมุมกับระนาบของเส้นศูนย์สูตรเป็นวงกลมหรือวงรีโดยโคจรที่ความสูงประมาณ 5,000 ถึง 13,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก และวงโคจรผ่านขั้วโลก (polar orbit) เป็นวงโคจรที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวขั้วโลกเป็นวงกลมโดยโคจรที่ความสูงประมาณ 500 ถึง 1,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม

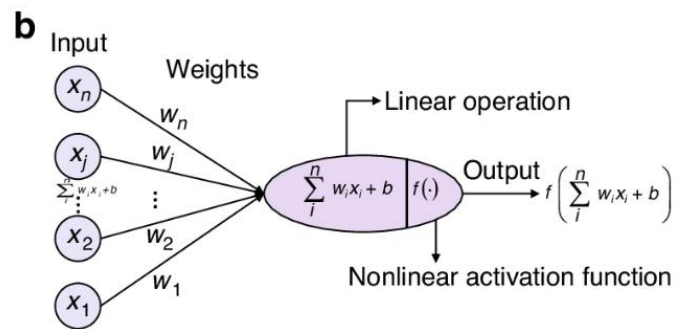
โครงข่ายประสาทเทียมคือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทของสัตว์ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาทและจุดประสานประสาทหรือไซแนปส์ (synapses) ในแต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยแขนงรับสัญญาณประสาทเรียกว่าเดนไดรต์ (dendrite) เป็นส่วนของข้อมูลป้อนเข้า (input) และส่วนปลายของเซลล์ประสาทที่ส่งสัญญาณประสาทเรียกว่าแอกซอน (axon) เป็นส่วนของข้อมูลส่งออก (output) โดยเซลล์เหล่านี้ทำงานเมื่อมีการกระตุ้นโดยสัญญาณประสาทจะผ่านเดนไดรต์เข้าสู่เซลล์ประสาทและหากมีแรงกระตุ้นเพียงพอ เซลล์ประสาทจะส่งสัญญาณประสาทออกทางแอกซอนต่อไป (ประกอบผล, 2552)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของระบบประสาท (Fu et al., 2024)

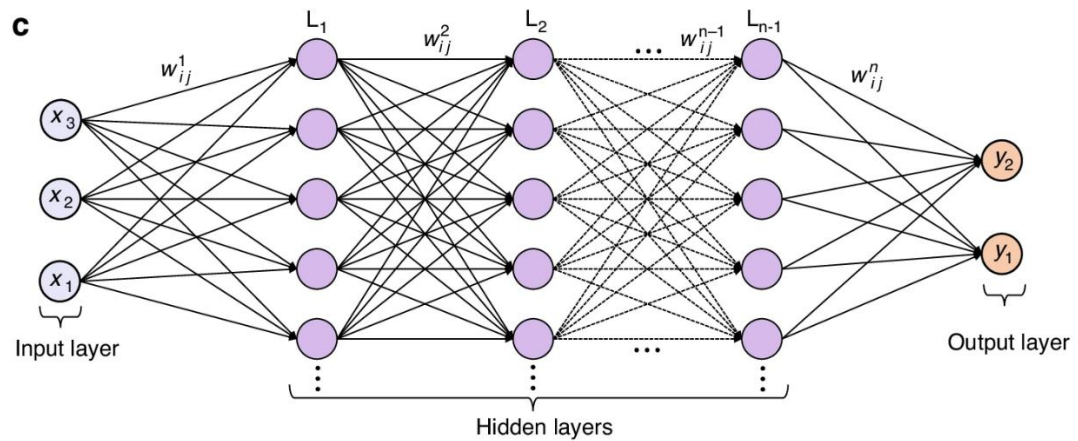
ในการดำเนินการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมต้องมี 5 องค์ประกอบดังนี้

- ชั้นข้อมูลนำเข้า (input layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลตัวเลขเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม
- ชั้นข้อมูลส่งออก (output layer) ทำหน้าที่ส่งออกข้อมูลผลลัพธ์จากโครงข่ายประสาทเทียม
- ค่าน้ำหนัก (weight) คือค่าที่กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโหนดแต่ละชั้น
- โหนด (node) ทำหน้าที่รับข้อมูลและประมวลผลเพื่อส่งออกข้อมูลสู่ชั้นถัดไป
- ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) เป็นฟังก์ชันที่ใช้เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำงานได้ เช่น ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function)



รูปที่ 2.12 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่ายประสาทเทียม (Fu et al., 2024)

ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงข่ายประสาทเทียม (Fu et al., 2024)

2.5 ตัวแปรทางสถิติ

ในการประมาณค่าปริมาณฝุ่น PM2.5 อาศัยค่าที่ได้จากการจำลองแบบและจากการวัด ซึ่งเมื่อนำทั้งสองค่ามาเปรียบเทียบกันเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองจำเป็นต้องอาศัยตัวแปรทางสถิติในการยืนยันความถูกต้อง โดยตัวแปรทางสถิติที่นิยมนำมาใช้งานได้แก่

- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r) คือ เครื่องมือการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร โดยเมื่อ $1 > r > 0$ แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงบวกต่อกันของตัวแปร $-1 < r < 0$ แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงลบต่อกันของตัวแปรและ $r = 0$ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ไม่เป็นเชิงเส้นต่อกัน

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (2.3)$$

โดยที่ r แทน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 x_i แทน ค่าจริงที่ i
 y_i แทน ค่าที่ได้จากการคาดการณ์ที่ i
 n แทน จำนวนค่าทั้งหมด

- ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (mean bias error : MBE) คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่คาดการณ์ไว้

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{n} \quad (2.4)$$

โดยที่ MBE แทน ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน
 x_i แทน ค่าจริงที่ i
 y_i แทน ค่าที่ได้จากการคาดการณ์ที่ i
 n แทน จำนวนค่าทั้งหมด

- ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error : RMSE) คือ ค่าที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการคาดการณ์จากค่าจริง

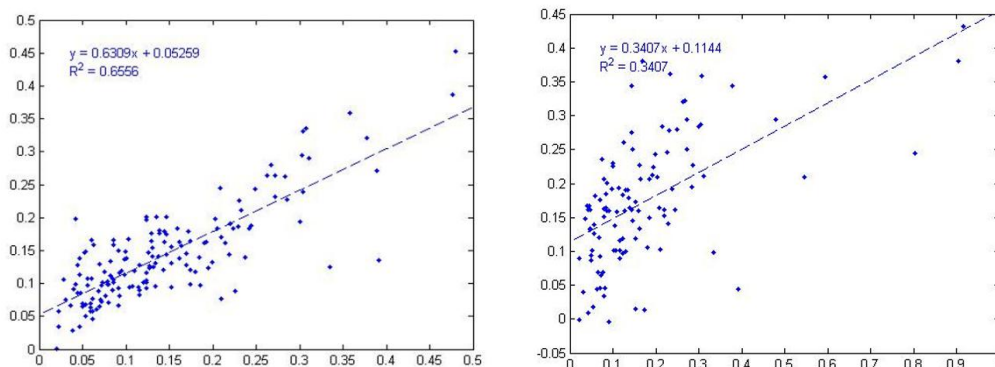
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (2.5)$$

โดยที่	$RMSE$	แทน ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง
	x_i	แทน ค่าจริงที่ i
	y_i	แทน ค่าที่ได้จากการคาดการณ์ที่ i
	n	แทน จำนวนค่าทั้งหมด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เป็นการประมาณค่า PM2.5 จากความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละออง PM2.5 ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง และโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

Yao et al. (2012) ได้พัฒนาและประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่า PM2.5 โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS MOD04_L2 และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก ECMWF เพื่อลดความไม่แน่นอนในการประมาณค่า PM2.5 จากการสำรวจระยะไกลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการถดถอยเชิงเส้น โดย Yao และคณะศึกษาในเขตภาคเหนือของประเทศไทยตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2551 โดยที่โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 8 โหนด นั่นคือละติจูด ลองจิจูด ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ค่าอัตราส่วนสะท้อน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความสูงของชั้นขอบเขต (boundary layer height) และอุณหภูมิ ชั้นช่อน 1 ชั้นประกอบด้วยโหนด 8 โหนด และข้อมูลผลลัพธ์ 1 โหนดนั่นคือค่า PM2.5 รายวัน และสมการการถดถอยเชิงเส้น $PM2.5 = C1 + C2 \times SKT + C3 \times U10 + C4 \times SSA + C5 \times AE + C6 \times MRef$ โดยที่ $C1$ คือจุดตัดแกน $C2$ จนถึง $C6$ คือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของอุณหภูมิ ความเร็วลม ณ ความสูง 10 เมตร (10 meter U-velocity) ค่าอัตราส่วนสะท้อน อังสตรอมเอ็กซ์โพเนนต์ (angstrom exponent) และค่าเฉลี่ยการสะท้อน (mean reflectance land) ตามลำดับ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละแบบจำลองคือ 0.80 และ 0.58 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.14



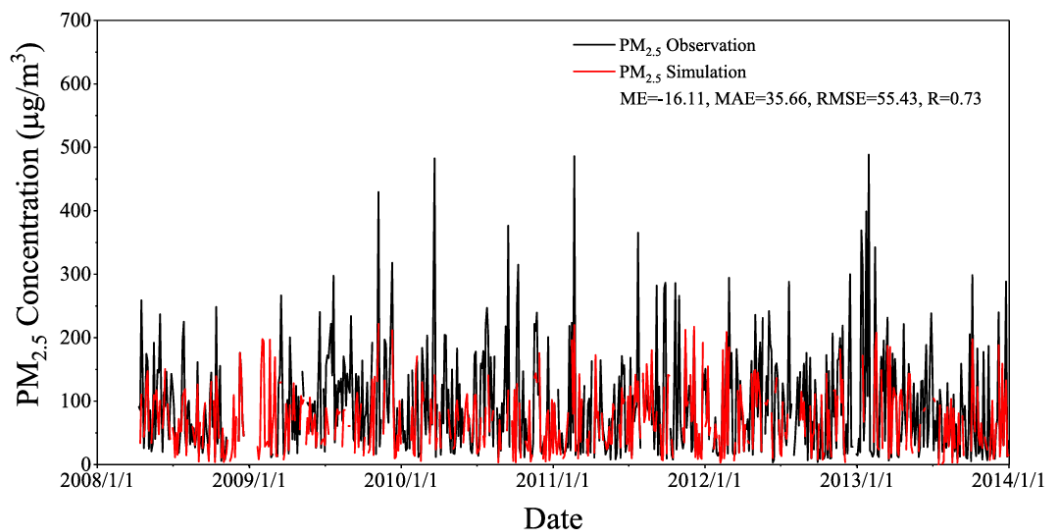
รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณของโครงข่ายประสาทเทียม (ซ้าย) กับวิธีการถดถอยเชิงเส้น (ขวา) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (Yao et al., 2012)

Lyu et al. (2018) พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในกรุงปักกิ่งของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากฐานข้อมูล NCEP-FNL ได้แก่ ความสูงของชั้นขอบเขต อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และทิศทางลม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2559 โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2559 เป็นข้อมูลฝึกฝนแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 8 โหนดนั่นคือความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ความสูงของชั้นขอบเขต อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และทิศทางลม ชั้นซ่อน 1 ชั้น ประกอบด้วยโหนด 6 ถึง 13 โหนด และข้อมูลผลลัพธ์ 1 โหนดนั่นคือ PM2.5 ได้ผลของการฝึกฝนเมื่อชั้นซ่อนมีโหนดตั้งแต่ 6 ถึง 13 โหนด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลลัพธ์ทางสถิติของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมมีโหนดตั้งแต่ 6 ถึง 13 โหนด (Lyu et al., 2018)

Number of Units	6	7	8	9	10	11	12	13
ME	-3.43	-3.33	-3.95	-3.51	-3.56	-3.63	-3.40	-3.74
MAE	30.68	30.22	30.36	30.54	30.48	30.73	30.76	30.67
RMSE	46.47	46.31	46.46	46.49	46.56	46.77	46.69	46.83
R	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77

ใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2556 เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบได้ผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.15 โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -16.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute error) เท่ากับ 35.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 55.43 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.73



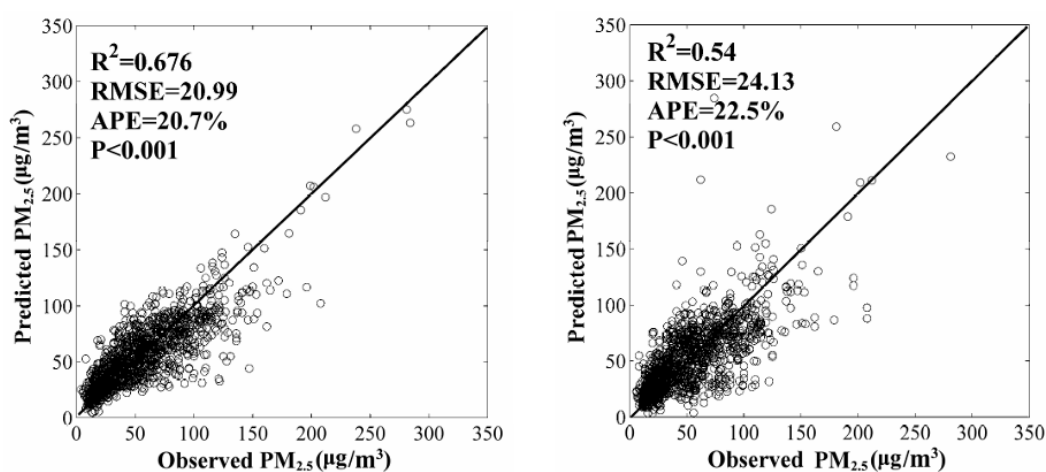
รูปที่ 2.15 กราฟเปรียบเทียบค่า PM_{2.5} ที่ได้จากการประมาณและค่า PM_{2.5} ที่ได้จากสถานีตรวจวัด ภาคพื้นดินตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 ถึงปี พ.ศ. 2556 (Lyu et al., 2018)

เมื่อเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{2.5} ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองและตัวแปรทาง อุตุณิยวิทยาจะได้อهميةสัมพัทธ์ (relative importance) ของตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในกลุ่มข้อมูลนำเข้าต่อ PM_{2.5} (Lyu et al., 2018)

Factor	AOD	PBLH	RH	T ₂	WS	WD
Importance	0.37	0.24	0.11	0.11	0.10	0.07

Ni et al. (2018) พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ประมาณค่าฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่กรุงปักกิ่ง เทียนจิน และมณฑลเหอเป่ย์ของประเทศจีน โดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 กิโลเมตรและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความกดอากาศ ทิศนวิสัย และปริมาณน้ำฝน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2559 โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ 90 เปอร์เซ็นต์สำหรับฝึกฝน และ 10 เปอร์เซ็นต์สำหรับทดสอบ ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 7 โหนดนั่นคือความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความกดอากาศ ทิศนวิสัย และปริมาณน้ำฝน ชั้นซ่อน 1 ชั้นประกอบด้วยโหนด 7 โหนด และข้อมูลผลลัพธ์ 1 โหนด นั่นคือ PM_{2.5} ได้ผลดังรูปที่ 2.16 โดยแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลทั้งหมดมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลอง 10-fold cross validation โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination) เท่ากับ 0.68 และ 0.54 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 20.99 และ 24.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error) เท่ากับ 20.70 และ 22.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM_{2.5} ที่ได้จากการประมาณของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อใช้ข้อมูลทั้งหมดในการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม (ซ้าย) กับเมื่อใช้วิธี 10-fold cross validation (ขวา) และค่า PM_{2.5} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2559

Teerachai Amnuaylojaroen (2022) สร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression) มาใช้เพื่อคาดการณ์ปริมาณ PM2.5 ในพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2563 โดยใช้ข้อมูลจากสามจังหวัดในภาคเหนือได้แก่ เชียงใหม่ ลำปาง และน่าน โดยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมี 2 แบบจำลองคือแบบจำลองแรกที่ใช้ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม แบบจำลองที่สองใช้ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน และคาร์บอนโมนอกไซด์ ได้ผลดังตารางที่ 2.3 โดยแบบจำลองที่สองมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลองแรกโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดสำหรับเชียงใหม่เท่ากับ 0.52 และลำปางเท่ากับ 0.60

ตารางที่ 2.3 ผลของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Amnuaylojaroen, 2022)

	R ²		Annual RMSE		SE		Mean	
	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
Chiang Mai	0.28	0.52	31.1	61.91	27.33	22.36	19.07	82.38
Lampang	0.02	0.60	35.11	66.48	30.27	19.37	12.69	84.48
Nan	0.36	0.39	25.22	40.23	21.72	21.05	17.36	51.89
Mean	0.22	0.50	30.48	56.21	26.44	20.93	16.37	72.92
<i>Wet Season</i>								
Chiang Mai	0.09	0.18	11.43	42.1	6.93	6.56	10.42	51.99
Lampang	0.02	0.18	11.2	47.37	7.39	6.77	12.78	51.34
Nan	0.22	0.26	10.46	31.47	7.27	7.08	8.49	35.28
Mean	0.11	0.21	11.03	40.31	7.20	6.80	10.56	46.20
<i>Dry Season</i>								
Chiang Mai	0.17	0.4	42.58	76.91	39.19	34.07	35.94	135.62
Lampang	0.03	0.32	57.67	90.44	30.85	25.81	14.93	140.15
Nan	0.06	0.13	38.82	55.06	27.9	26.96	36.74	88.95
Mean	0.09	0.28	46.36	74.14	32.65	28.95	29.20	121.58

เมื่อเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และตัวแปรต่างๆ (Amnuaylojaroen, 2022)

Variables	Chiang Mai	Lampang	Nan
Temp	0.06	-0.17	0.18
RH	-0.46	-0.25	-0.57
AOD	0.48	0.47	0.53
WSPD	0.02	-0.17	-0.06
NO ₂	0.48	0.56	0.44
SO ₂	0.35	0.39	0.01
O ₃	0.30	0.27	0.32
CO	0.58	0.76	0.34

Buya et al. (2023) พัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่า PM2.5 ในประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียด 1 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2563 โดยข้อมูลประกอบไปด้วยความลึกเชิงแสงของผืนละออง อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีพืชพรรณ ระดับความสูง สัปดาห์ของปี และปี ซึ่งปราศจากข้อมูลจากสถานีวัดภาคพื้นดิน เปรียบเทียบแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ทั้งสามแบบได้แก่ random forest (RF) extreme gradient boosting (XGBoost) และ support vector machines (SVM) โดยผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง RF มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดสำหรับชุดฝึกฝน ชุดตรวจสอบ และชุดทดสอบเท่ากับ 0.95, 0.78 และ 0.71 ตามลำดับ และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 5.58, 11.18 และ 8.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ แบบจำลอง XGBoost และ SVM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ในขณะที่ MLR มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลของแบบจำลองการประมาณค่า PM2.5 (Buya et al., 2023)

Models	R ² (RMSE (µg/m ³))		
	Training	Validation	Testing
MLR			
AOD	0.18 (21.48)	0.19 (21.26)	0.04 (16.79)
AOD + LST	0.21 (21.25)	0.22 (21.04)	0.01 (17.15)
AOD + LST + NDVI	0.22 (21.26)	0.22 (21.19)	0.01 (17.27)
AOD + LST + NDVI + EV	0.25 (20.49)	0.25 (20.38)	0.01 (17.35)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY	0.51 (18.42)	0.51 (17.94)	0.35 (14.07)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY + Year	0.51 (18.28)	0.52 (17.83)	0.35 (13.78)
RF			
AOD	0.79 (11.39)	0.16 (23.08)	0.02 (20.52)
AOD + LST	0.86 (10.12)	0.25 (20.88)	0.04 (18.59)
AOD + LST + NDVI	0.90 (8.82)	0.44 (17.87)	0.10 (16.03)
AOD + LST + NDVI + EV	0.89 (8.82)	0.60 (15.17)	0.15 (15.05)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY	0.92 (7.23)	0.74 (12.35)	0.60 (10.47)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY + Year	0.95 (5.58)	0.78 (11.18)	0.71 (8.79)
XGBoost			
AOD	0.31 (19.77)	0.27 (20.27)	0.04 (17.45)
AOD + LST	0.34 (19.34)	0.30 (19.85)	0.05 (17.63)
AOD + LST + NDVI	0.40 (18.39)	0.38 (18.71)	0.08 (15.90)
AOD + LST + NDVI + EV	0.49 (16.94)	0.47 (17.34)	0.12 (15.23)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY	0.61 (14.93)	0.60 (15.14)	0.43 (12.40)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY + Year	0.62 (14.74)	0.60 (15.00)	0.45 (12.12)
SVM			
AOD	0.28 (20.59)	0.28 (20.66)	0.04 (17.15)
AOD + LST	0.31 (20.08)	0.31 (20.16)	0.05 (16.91)
AOD + LST + NDVI	0.39 (18.83)	0.38 (18.93)	0.09 (15.68)
AOD + LST + NDVI + EV	0.47 (17.60)	0.46 (17.79)	0.14 (15.65)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY	0.59 (15.64)	0.60 (15.44)	0.51 (11.51)
AOD + LST + NDVI + EV + WOY + Year	0.61 (15.32)	0.62 (15.17)	0.52 (11.63)

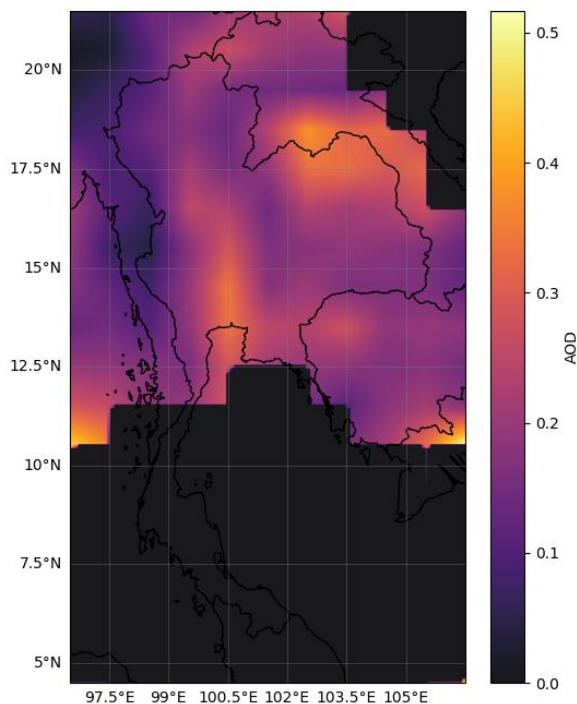
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยคำนวณค่า PM_{2.5} ในประเทศไทยจากค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมดังนี้ การรวบรวมข้อมูล การประมวลผลและจัดเรียงข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้มาฝึกสอนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่า PM_{2.5}

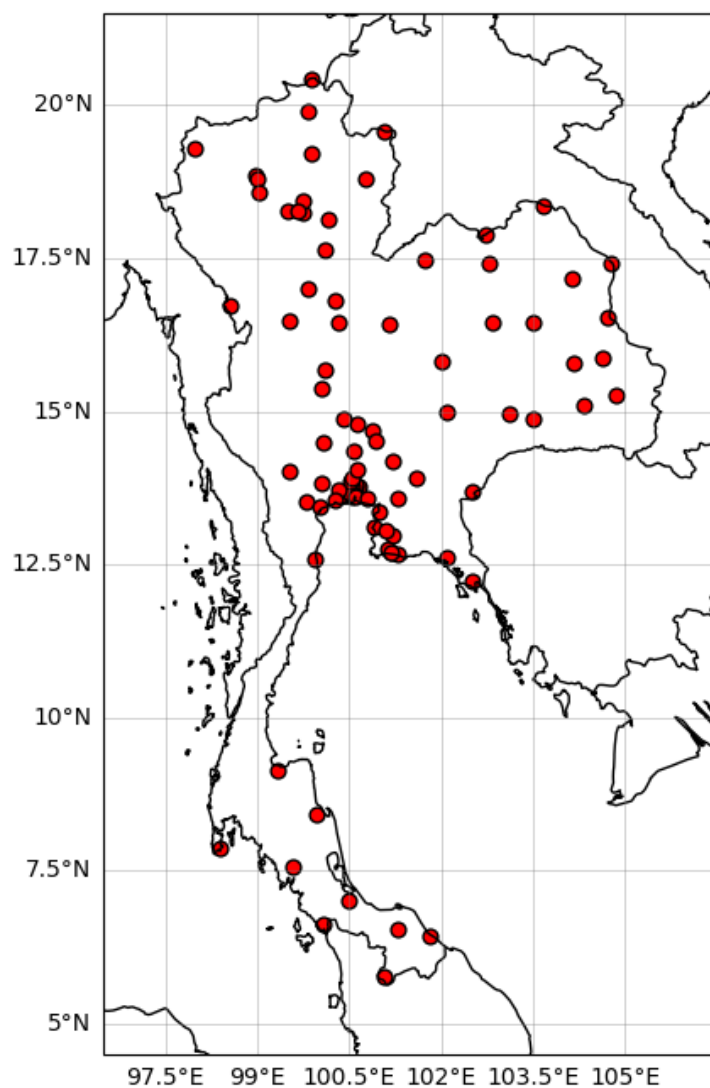
3.1 การรวบรวมข้อมูล

การดึงข้อมูลความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากไฟล์ HDF4 จากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567 ของผลิตภัณฑ์ MOD03_D3 และ MYD03_D3 โดยข้อมูลมีความละเอียด 1 องศา (<https://ladweb.nascom.nasa.gov/search/>) โดยโปรแกรม IDL ตั้งภาคผนวก ก ซึ่งดึงข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมขอบเขตตั้งแต่ค่าละติจูด 4.5 จนถึงค่าละติจูด 21.5 และค่าลองจิจูด 96.5 จนถึงค่าลองจิจูด 106.5 และประมาณค่าในช่วงแบบทวิเชิงเส้น (bilinear interpolation) ได้ข้อมูลความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม TERRA
วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554

จากนั้นคัดแยกและจัดเรียงข้อมูลโดยใช้ข้อมูลฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจาก กรมควบคุมมลพิษ (<http://air4thai.pcd.go.th/>) ทั้ง 96 สถานีทั่วประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567 ตามตำแหน่งพิกัดทั้ง 96 สถานี ดังตารางที่ 3.1 โดยเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน (Python) ดังภาคผนวก ข



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งพิกัดของสถานีตรวจวัด PM2.5 ในประเทศไทยจำนวน 96 สถานี

ตารางที่ 3.1 รายชื่อและตำแหน่งพิกัดของสถานีตรวจวัด PM2.5 ในประเทศไทยจำนวน 96 สถานี

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
1	02T	แขวงหิรัญบุรี เขตธนบุรี กทม.	13.73	100.49
2	05T	แขวงบางนา เขตบางนา กทม.	13.67	100.61
3	10T	แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.	13.78	100.65
4	11T	แขวงดินแดง เขตดินแดง กทม.	13.78	100.57
5	12T	แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กทม.	13.71	100.55
6	59T	แขวงพญาไท เขตพญาไท กทม.	13.78	100.54
7	61T	แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กทม.	13.77	100.61
8	03T	ริมถนนกาญจนาภิเษก แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กทม.	13.64	100.41
9	50T	ริมถนนพระรามสี่ แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กทม.	13.73	100.54
10	52T	ริมถนนอินทรพิทักษ์ แขวงบางยี่เรือ เขตธนบุรี กทม.	13.73	100.49
11	53T	ริมถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กทม.	13.8	100.59
12	54T	ริมถนนดินแดง แขวงดินแดง เขตดินแดง กทม.	13.76	100.55
13	08T	ต.ทรงคนอง อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ	13.66	100.54
14	16T	ต.บางโปรง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	13.62	100.56
15	17T	ต.ตลาด อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ	13.65	100.53
16	18T	ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	13.6	100.6
17	19T	ต.บางเสาธง อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ	13.57	100.79
18	13T	ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี	13.85	100.53
19	22T	ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	13.91	100.54
20	14T	ต.อ้อมน้อย อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร	13.71	100.32
21	27T	ต.มหาชัย อ.เมือง จ.สมุทรสาคร	13.55	100.26
22	20T	ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี	14.04	100.62
23	81T	ต.นครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม	13.83	100.06
24	21T	ต.ประตูชัย อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา	14.35	100.57
25	24T	ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี	14.69	100.87

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
26	25T	ต.ปากเพรียว อ.เมือง จ.สระบุรี	14.53	100.93
27	26T	ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ราชบุรี	13.52	99.81
28	79T	ต.บ้านเหนือ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	14.02	99.54
29	84T	ต.ลาดใหญ่ อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม	13.43	100.02
30	85T	ต.ดอนก่ายาน อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี	14.48	100.09
31	99T	ต.ทะเลชุบศร อ.เมืองลพบุรี จ.ลพบุรี	14.8	100.63
32	103T	ต.หัวหิน อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	12.58	99.95
33	104T	ต.บางมัญ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี	14.89	100.41
34	46T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น	16.45	102.83
35	47T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา	14.98	102.1
36	72T	ต.กุดป่อง อ.เมือง จ.เลย	17.48	101.73
37	82T	ต.มีชัย อ.เมือง จ.หนองคาย	17.88	102.73
38	83T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.อุบลราชธานี	15.25	104.85
39	88T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครพนม	17.41	104.78
40	90T	ต.ธาตุนาเวง อ.เมือง จ.สกลนคร	17.16	104.13
41	91T	ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี	17.41	102.78
42	101T	ต.เสม็ด อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	14.95	103.11
43	102T	ต.มุกดาหาร อ.เมืองมุกดาหาร จ.มุกดาหาร	16.54	104.72
44	106T	ต.บึงกาฬ อ.เมือง จ.บึงกาฬ	18.36	103.66
45	107T	ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	16.44	103.51
46	108T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ชัยภูมิ	15.81	102.02
47	109T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ยโสธร	15.78	104.15
48	110T	ต.บุง อ.เมือง จ.อำนาจเจริญ	15.88	104.62
49	111T	ต.นอกเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์	14.88	103.5
50	112T	ต.หนองครก อ.เมือง จ.ศรีสะเกษ	15.09	104.33
51	28T	ต.ปลวกแดง อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	12.97	101.21
52	29T	ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	12.71	101.17

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

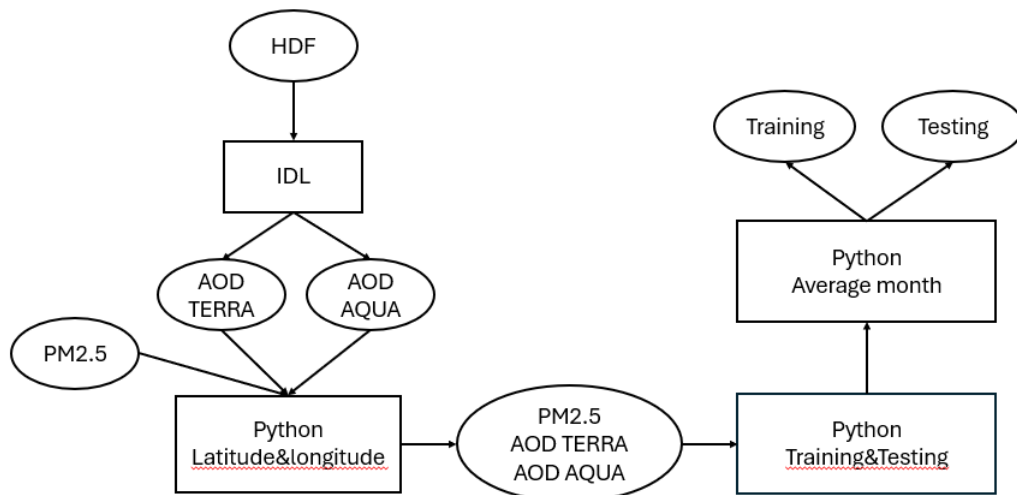
ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
53	30T	ต.ท่าประดู่ อ.เมือง จ.ระยอง	12.67	101.28
54	31T	ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง	12.74	101.14
55	74T	ต.เนินพระ อ.เมือง จ.ระยอง	12.71	101.18
56	32T	ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	13.12	100.92
57	33T	ต.บ่อวิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	13.05	101.1
58	34T	ต.บ้านสวน อ.เมือง จ.ชลบุรี	13.35	100.98
59	60T	ต.วังเย็น อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	13.59	101.29
60	71T	ต.อรัญประเทศ อ.อรัญประเทศ จ.สระแก้ว	13.69	102.51
61	77T	ต.ท่าตุม อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี	13.92	101.59
62	87T	ต.บางพระ อ.เมือง จ.ตราด	12.23	102.52
63	100T	ต.วัดใหม่ อ.เมืองจันทบุรี จ.จันทบุรี	12.61	102.1
64	105T	ต.บ้านใหญ่ อ.เมือง จ.นครนายก	14.2	101.22
65	35T	ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่	18.84	98.97
66	36T	ต.ศรีภูมิ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	18.79	98.99
67	37T	ต.พระบาท อ.เมือง จ.ลำปาง	18.28	99.51
68	38T	ต.สบป่าด อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	18.25	99.76
69	39T	ต.บ้านดง อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	18.43	99.76
70	40T	ต.แม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	18.28	99.66
71	41T	ต.ปากน้ำโพ อ.เมือง จ.นครสวรรค์	15.69	100.11
72	57T	ต.เวียง อ.เมือง จ.เชียงราย	19.91	99.82
73	73T	ต.เวียงพางคำ อ.แม่สาย จ.เชียงราย	20.43	99.88
74	58T	ต.จองคำ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	19.3	97.97
75	67T	ต.โนนเวียง อ.เมือง จ.น่าน	18.79	100.78
76	75T	ต.ห้วยโก๋น อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน	19.58	101.08
77	68T	ต.บ้านกลาง อ.เมือง จ.ลำพูน	18.57	99.04
78	69T	ต.นาจักร อ.เมือง จ.แพร่	18.13	100.16
79	70T	ต.บ้านต๋อม อ.เมืองพะเยา จ.พะเยา	19.2	99.89

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
80	76T	ต.แม่ปะ อ.แม่สอด จ.ตาก	16.73	98.57
81	86T	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก	16.82	100.26
82	92T	ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	17.63	100.1
83	94T	ต.ในเมือง อ.เมืองกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร	16.48	99.53
84	95T	ต.ในเมือง อ.เมืองพิจิตร จ.พิจิตร	16.44	100.32
85	96T	ต.ธานี อ.เมือง จ.สุโขทัย	17.01	99.82
86	97T	ต.ในเมือง อ.เมืองเพชรบูรณ์ จ.เพชรบูรณ์	16.42	101.16
87	98T	ต.อุทัยใหม่ อ.เมืองอุทัยธานี จ.อุทัยธานี	15.37	100.04
88	42T	ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี	9.13	99.33
89	43T	ต.ตลาดใหญ่ อ.เมือง จ.ภูเก็ต	7.88	98.39
90	44T	ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	7.02	100.48
91	62T	ต.บางนาค อ.เมือง จ.นราธิวาส	6.43	101.82
92	63T	ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา	6.55	101.28
93	78T	ต.เบตง อ.เบตง จ.ยะลา	5.76	101.07
94	80T	ต.พิมาน อ.เมือง จ.สตูล	6.62	100.07
95	89T	ต.คลัง อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช	8.43	99.96
96	93T	ต.นาตาล่วง อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	7.57	99.59

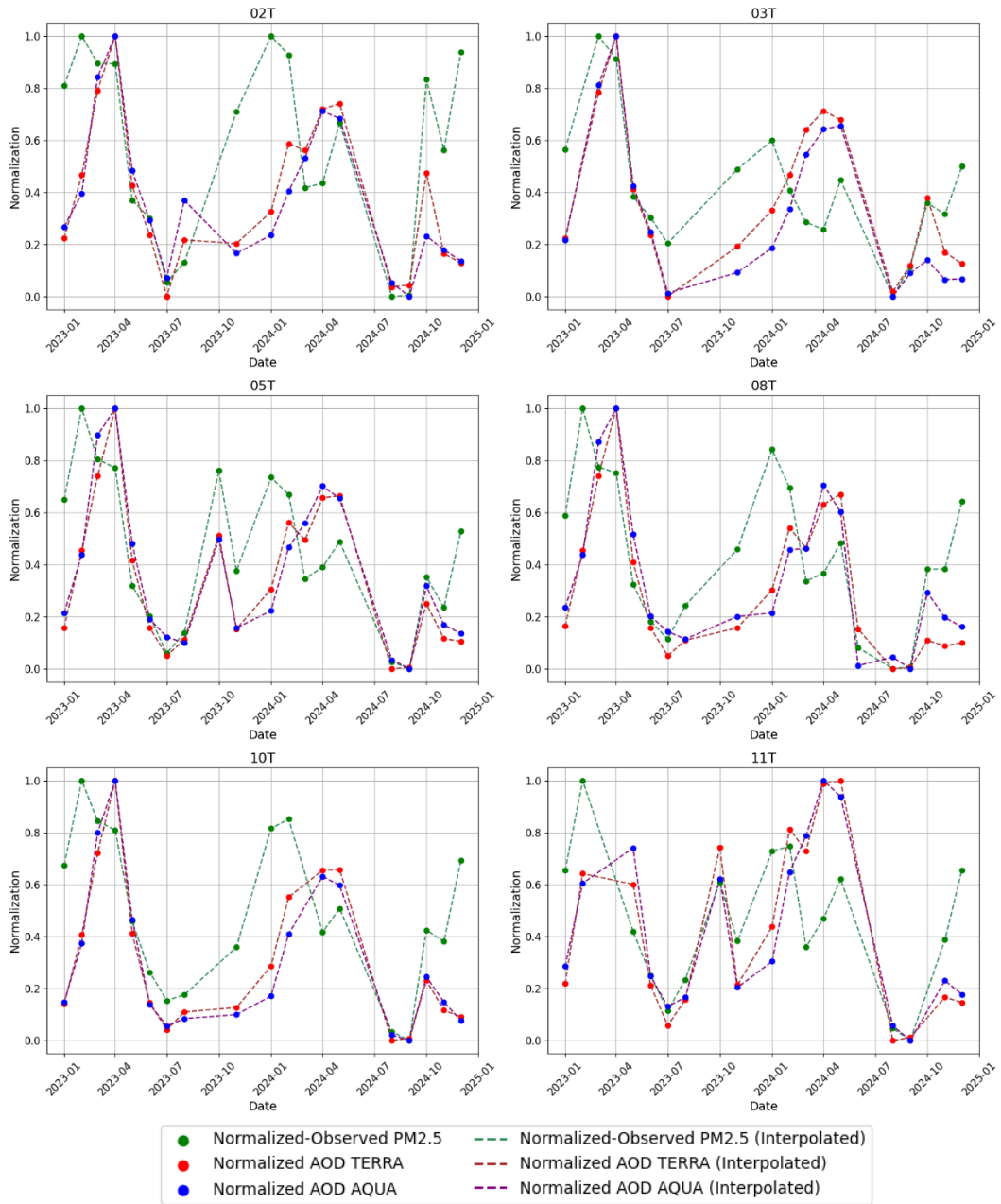
3.2 การประมวลผลและจัดเรียงข้อมูล

ในการประมวลผลและจัดเรียงข้อมูลมีหลักเกณฑ์ในการคัดกรองดังนี้ ค่าการวัด PM_{2.5} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินและค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม MODIS TERRA กับ MODIS AQUA ต้องมีอยู่ทั้งสามค่า จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดคือชุดสำหรับการฝึกฝนและชุดสำหรับการทดสอบ โดยชุดสำหรับการฝึกฝนใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2565 และชุดสำหรับการทดสอบใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 โดยผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมภาษาไพทอนเพื่อคัดกรองและแบ่งข้อมูลดังกล่าวมาในข้างต้น (โปรแกรมแสดงในภาคผนวก ค) หลังจากนั้นผู้วิจัยทำการเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลเป็นแบบรายเดือน (โปรแกรมแสดงในภาคผนวก ง) สามารถเขียนกระบวนการประมวลผลและจัดเรียงข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

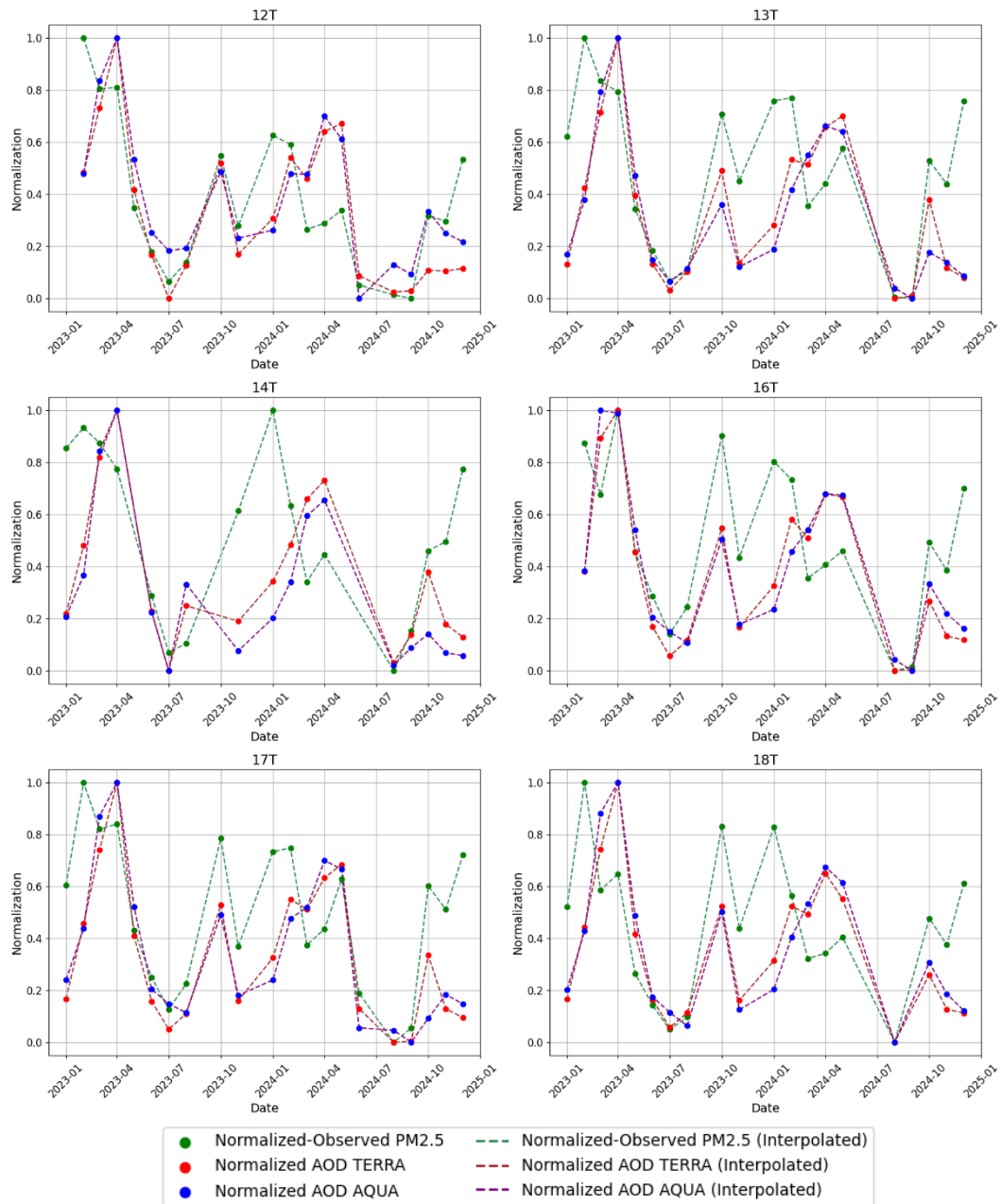


รูปที่ 3.3 แผนภาพการประมวลผลและจัดเรียงข้อมูล

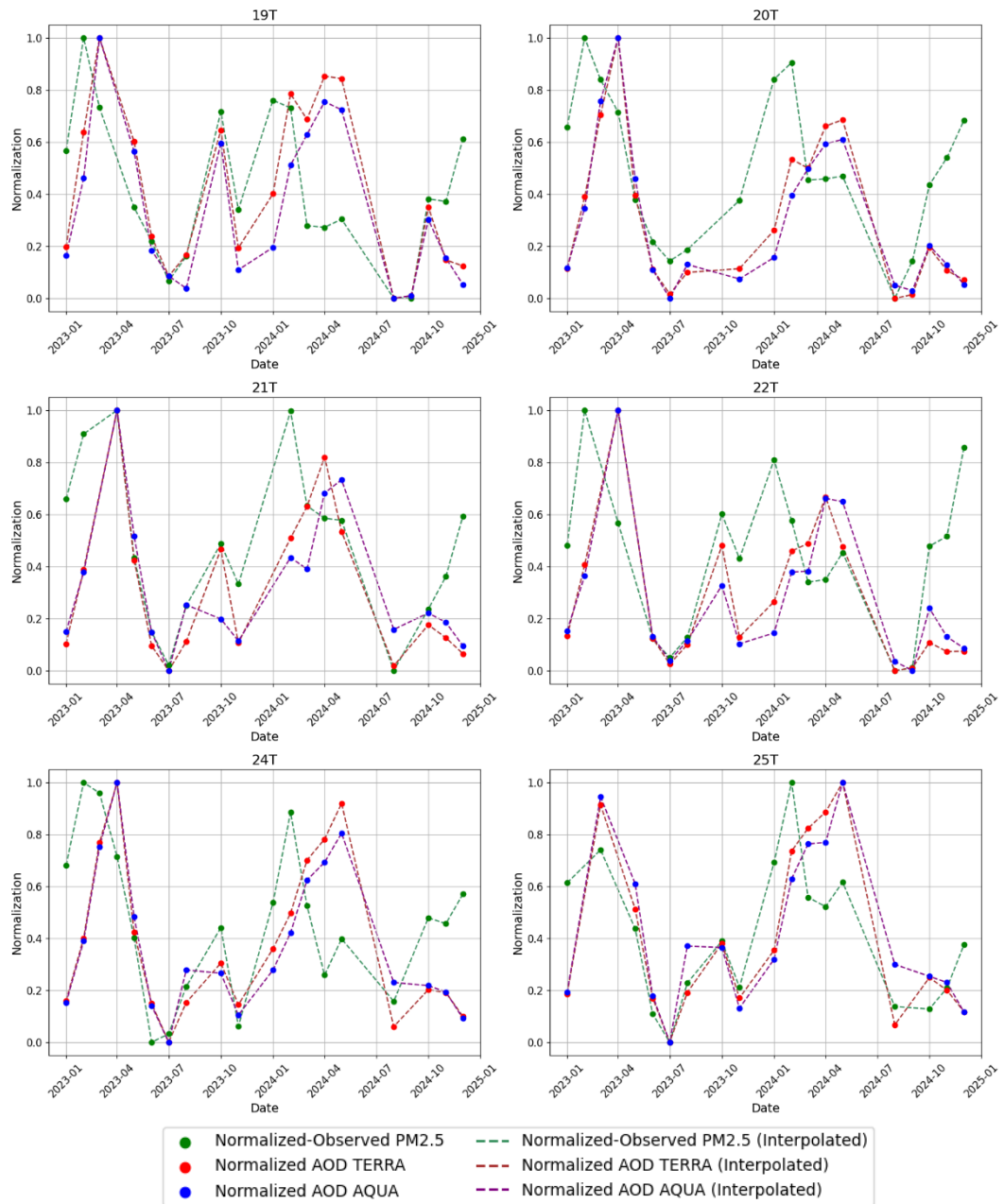
เนื่องจากข้อมูล PM_{2.5} จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินและค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม MODIS TERRA กับ MODIS AQUA มีช่วงของข้อมูลในระดับต่างกัน ผู้วิจัยต้องทำการปรับขนาดข้อมูลโดยการ normalized เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่า PM_{2.5} จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินและค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม MODIS TERRA กับ MODIS AQUA ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ถึงรูปที่ 3.19



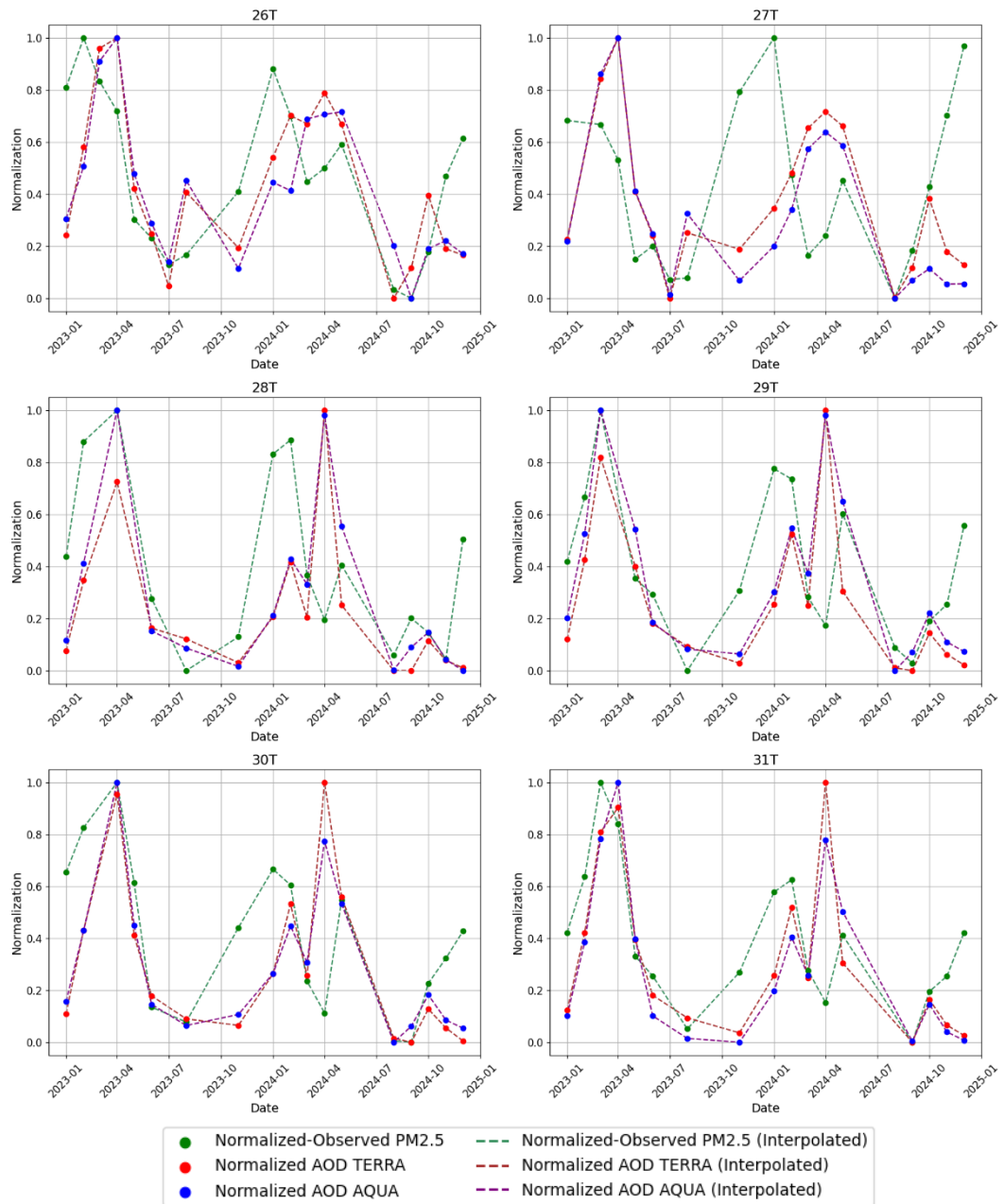
รูปที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 02T 03T 05T 08T 10T และ 11T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



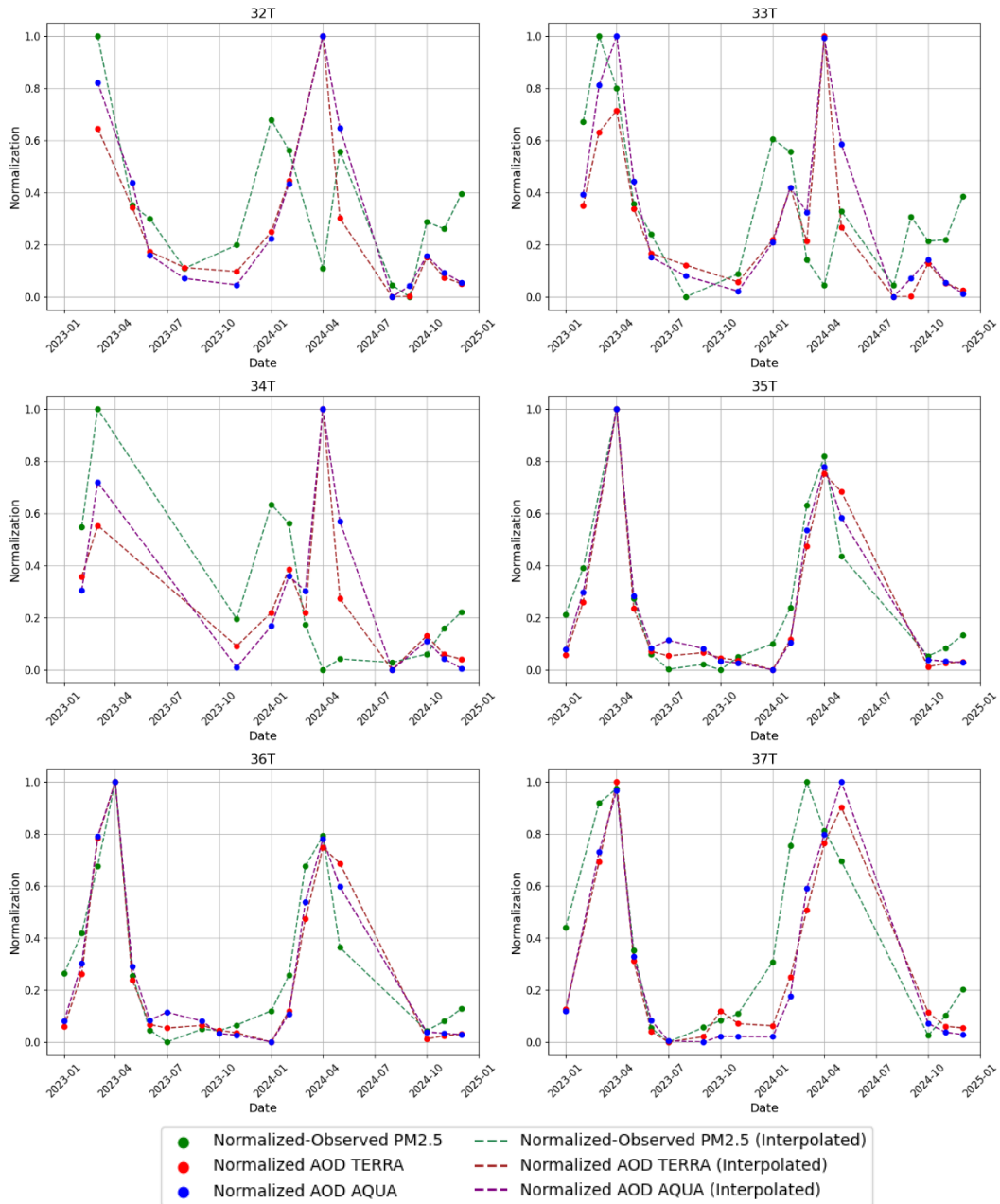
รูปที่ 3.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 12T 13T 14T 16T 17T และ 18T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



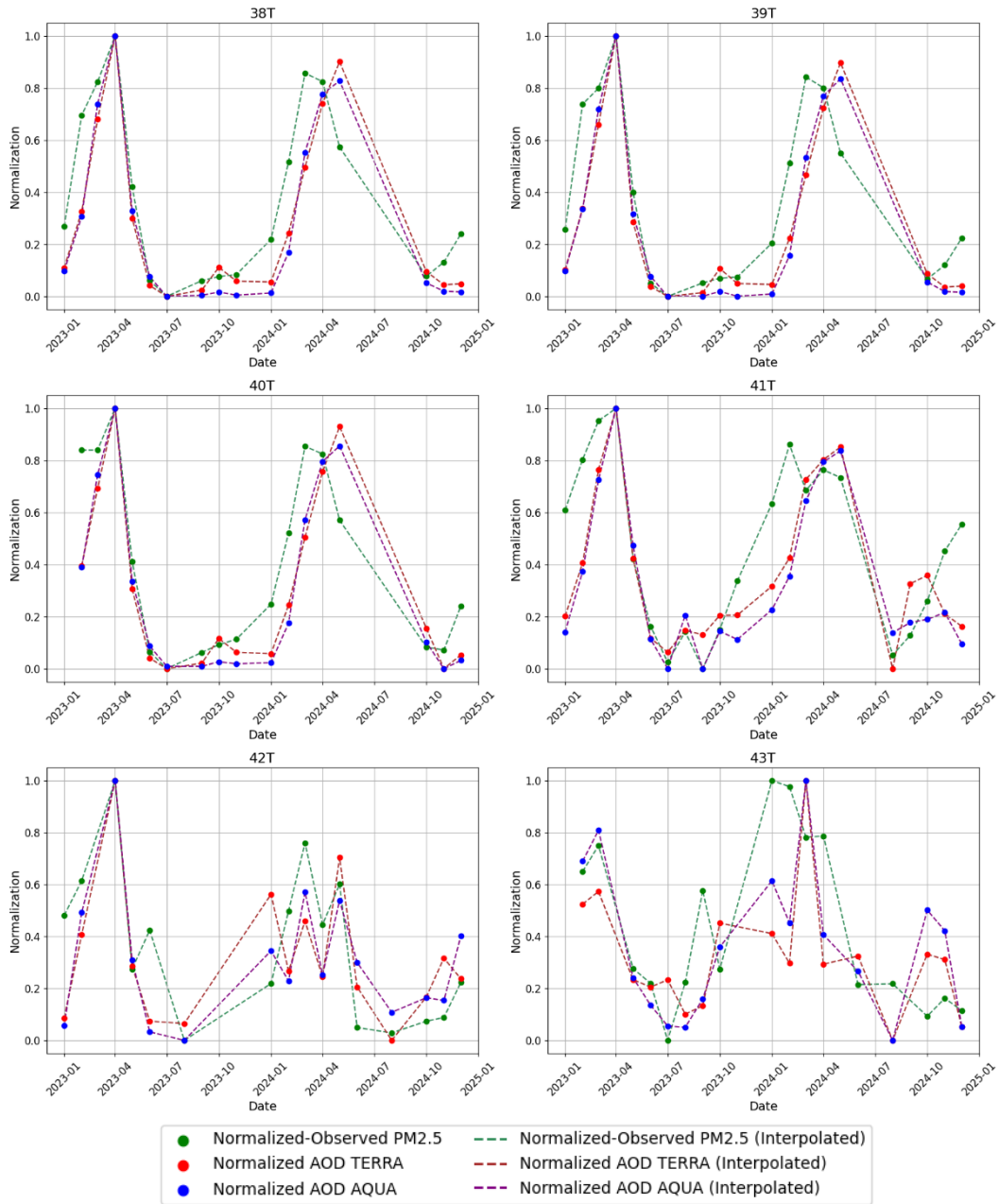
รูปที่ 3.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 19T 20T 21T 22T 24T และ 25T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



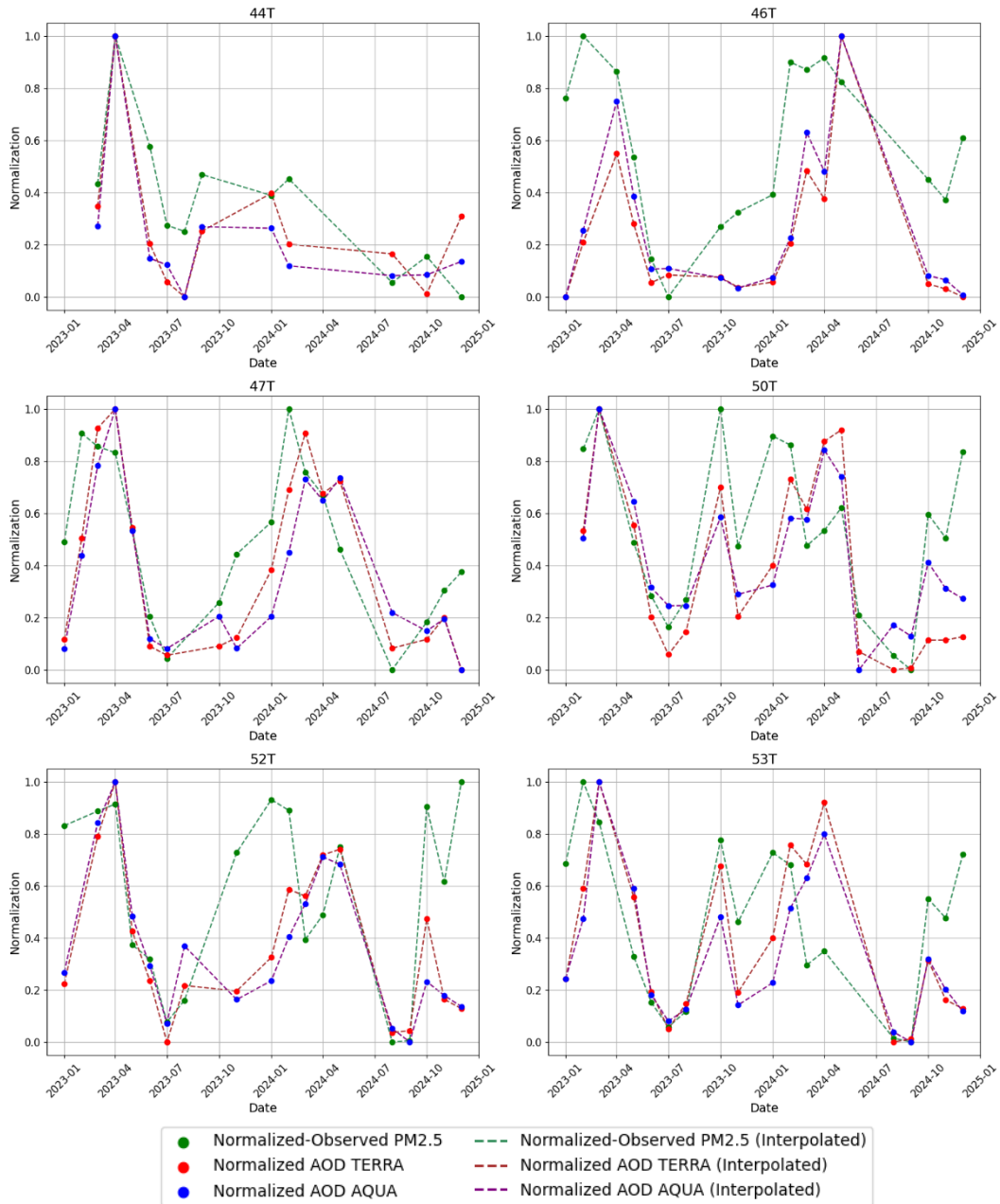
รูปที่ 3.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 26T 27T 28T 29T 30T และ 31T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



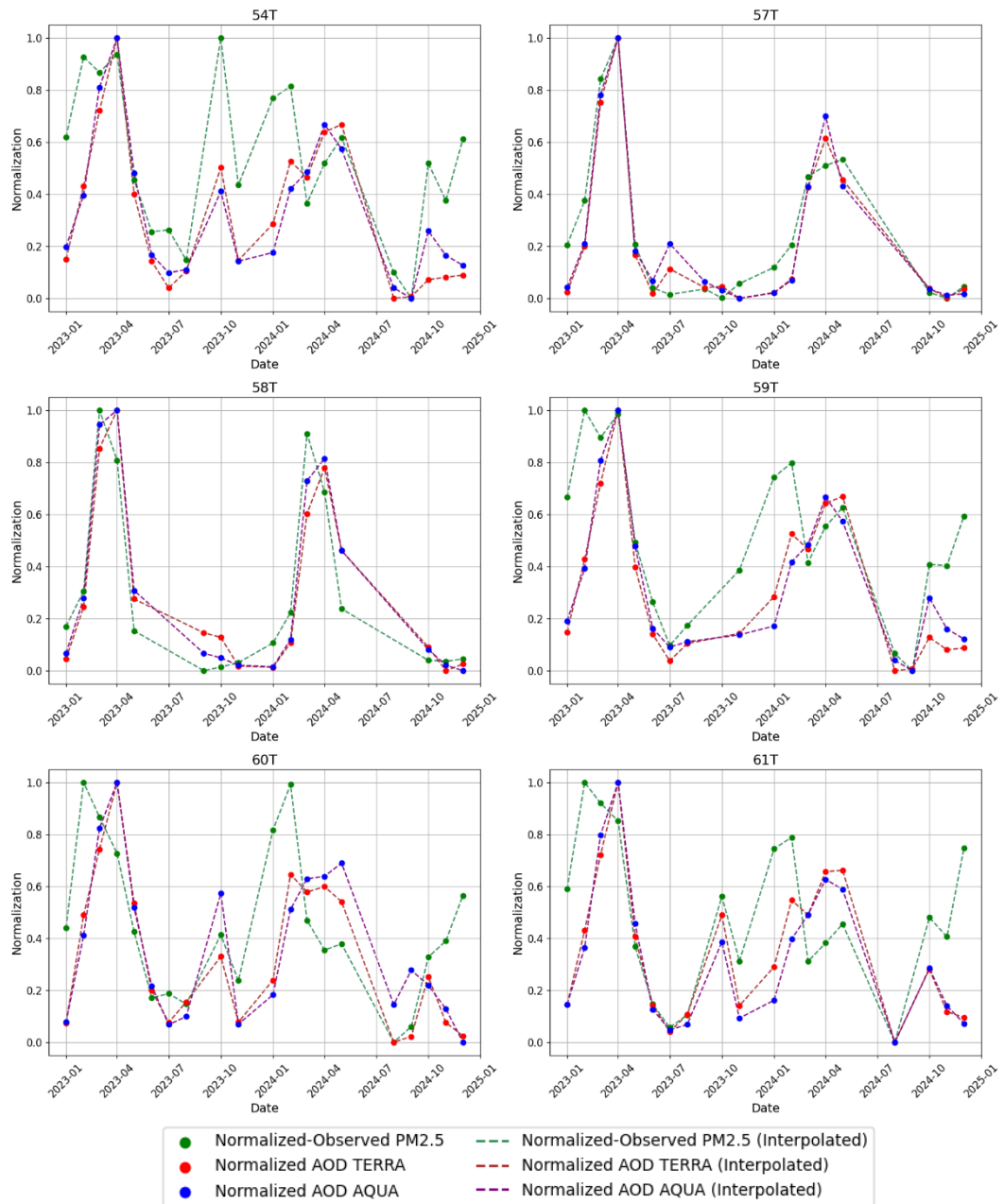
รูปที่ 3.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 32T 33T 34T 35T 36T และ 37T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



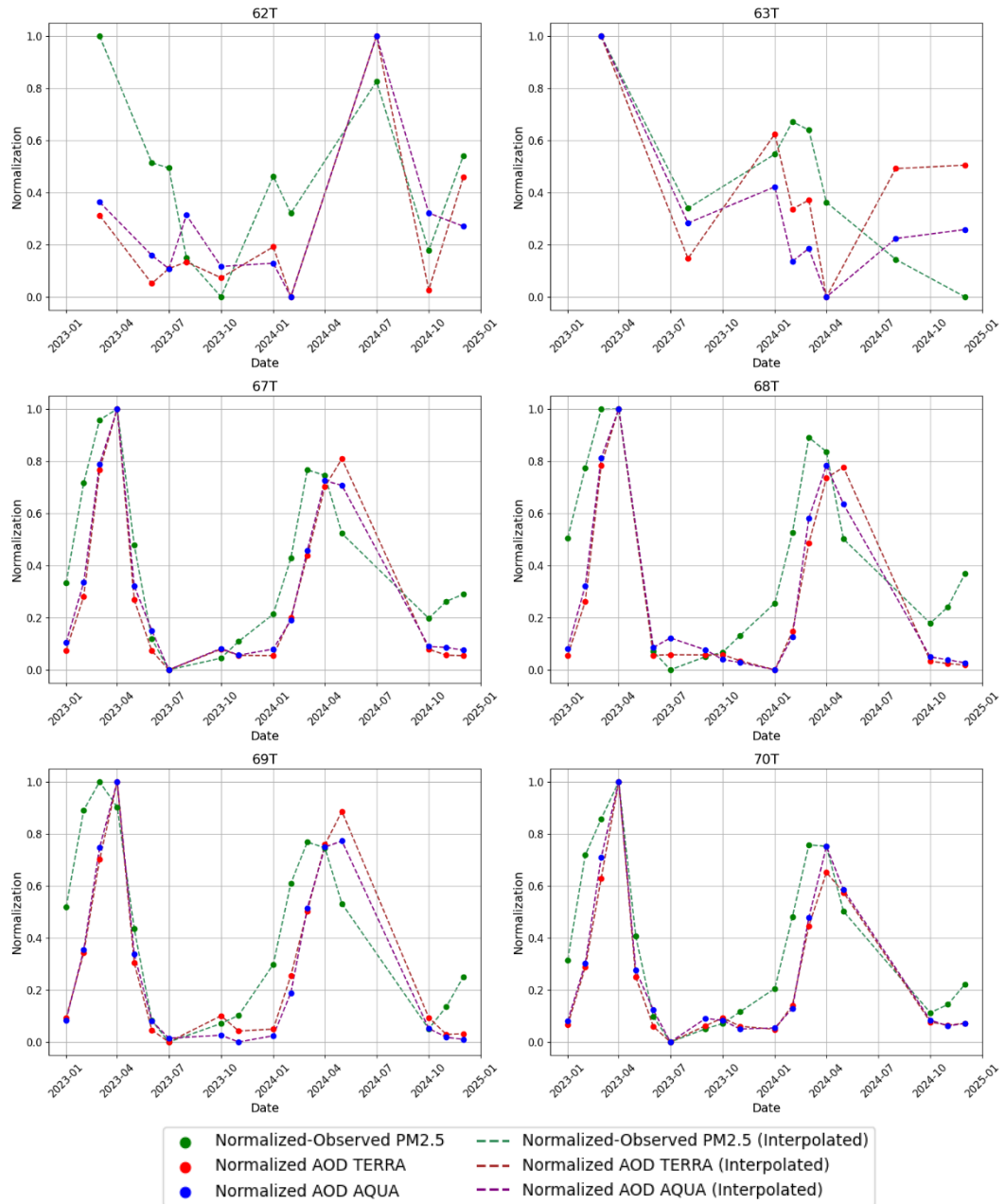
รูปที่ 3.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 38T 39T 40T 41T 42T และ 43T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



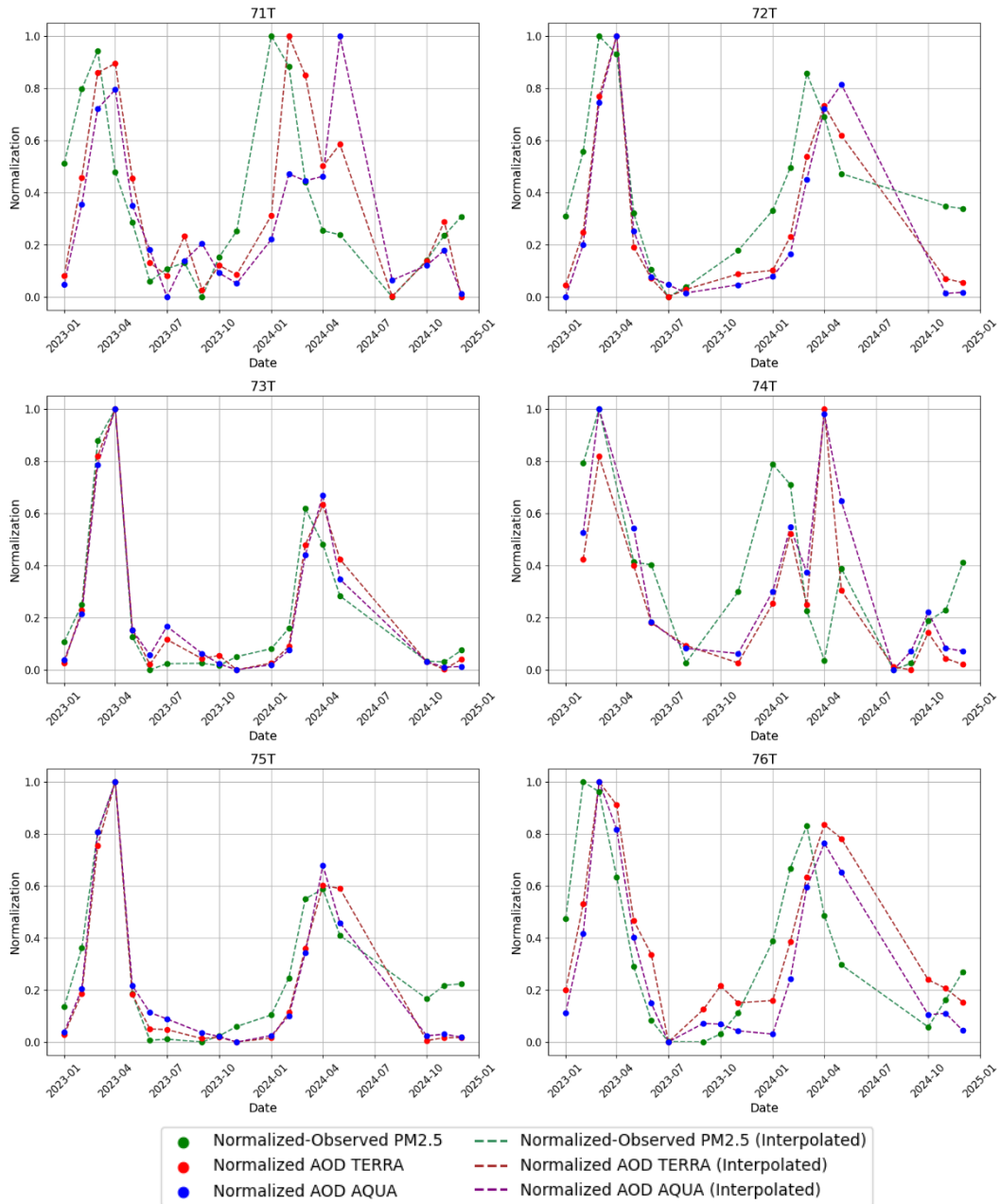
รูปที่ 3.10 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 44T 46T 47T 50T 52T และ 53T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



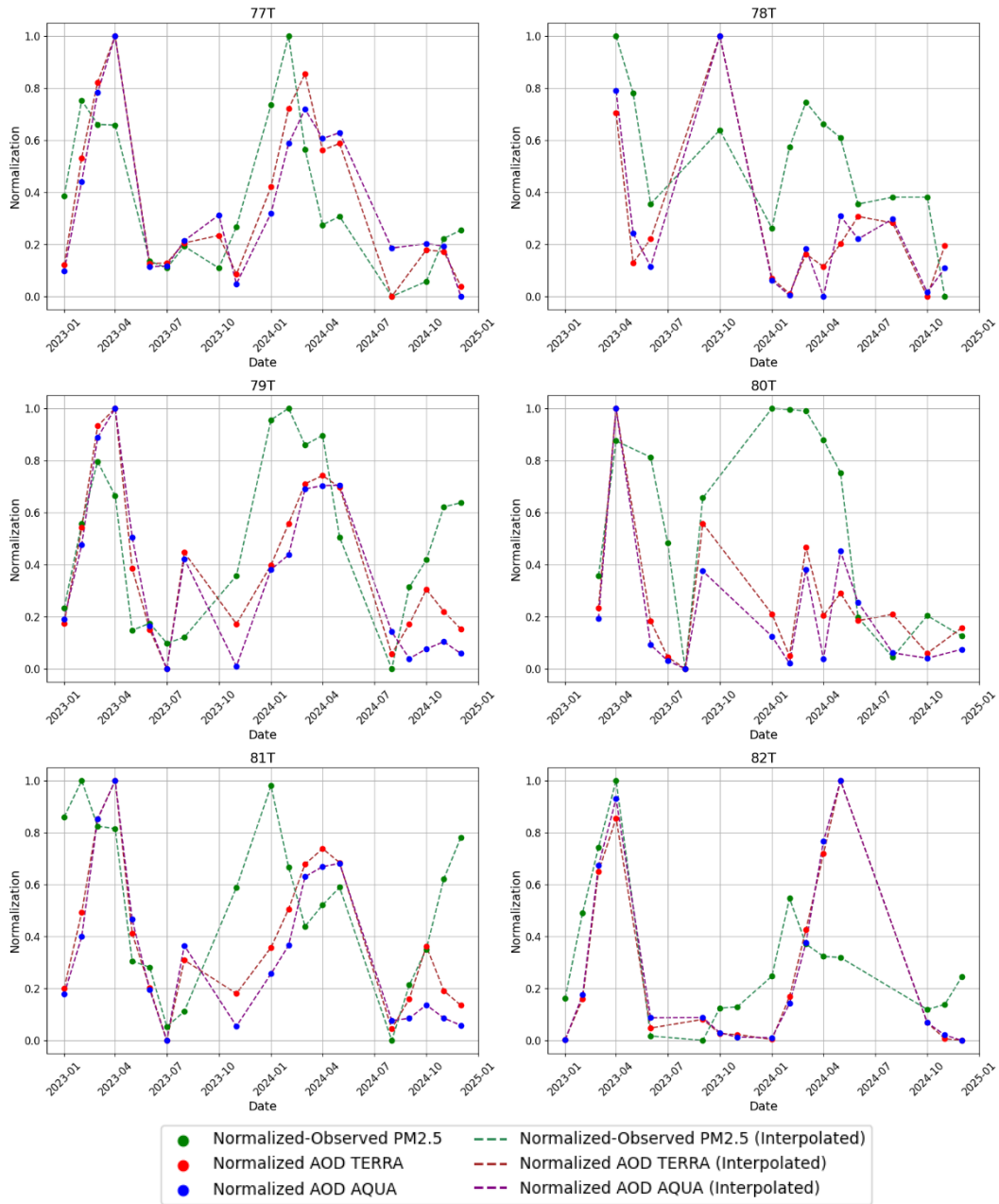
รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 54T 57T 58T 59T 60T และ 61T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



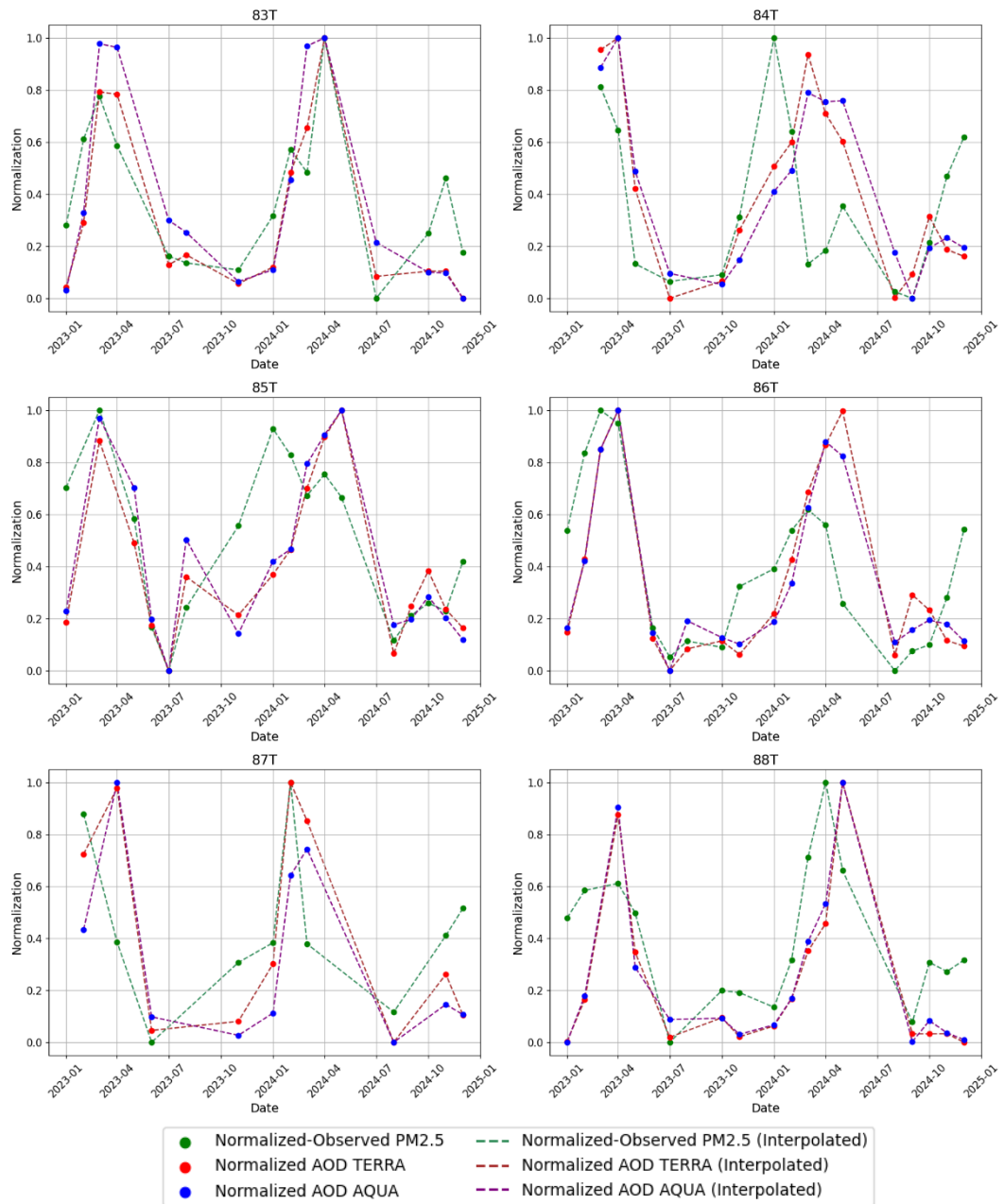
รูปที่ 3.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 62T 63T 67T 68T 69T และ 70T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



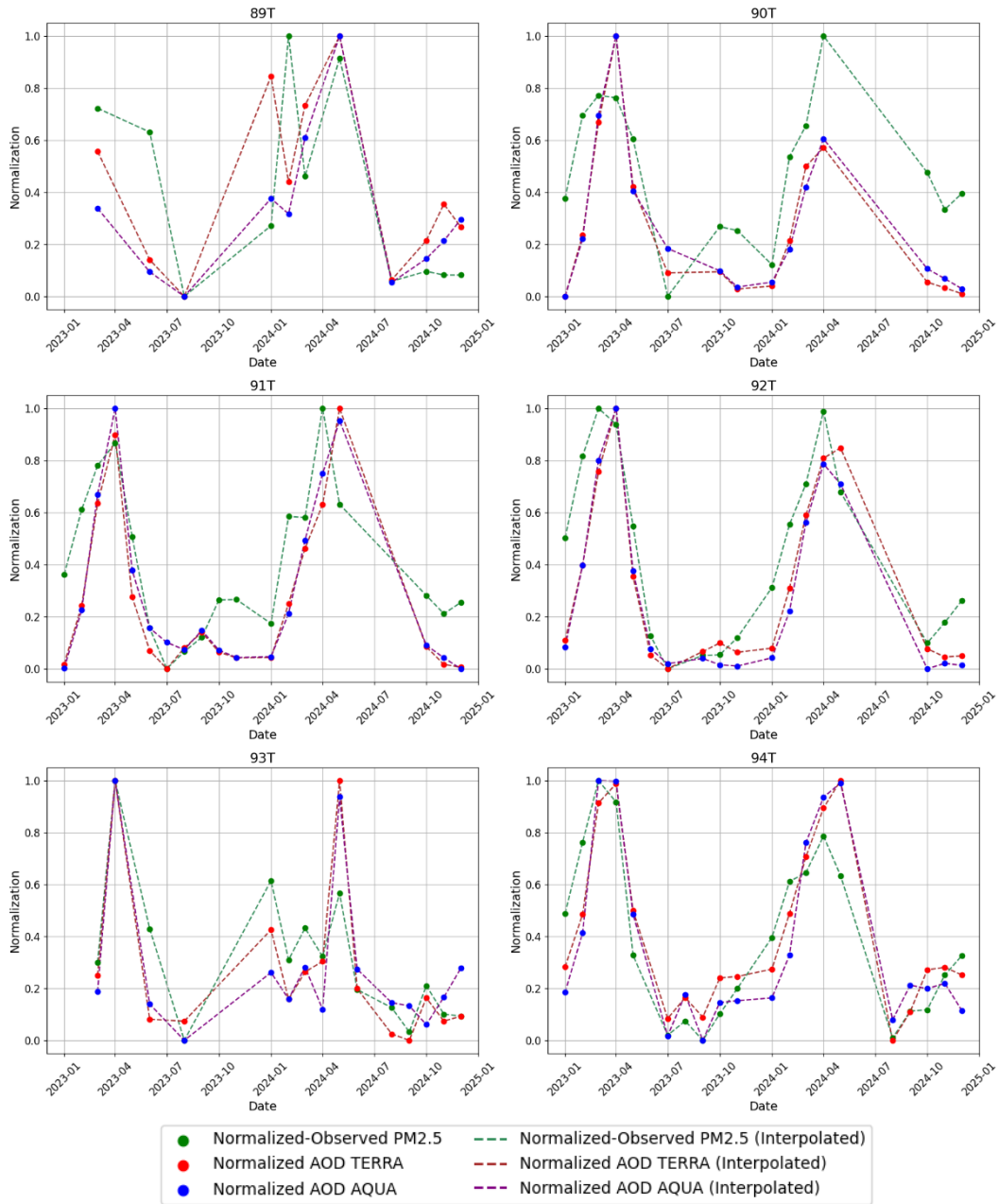
รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 71T 72T 73T 74T 75T และ 76T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



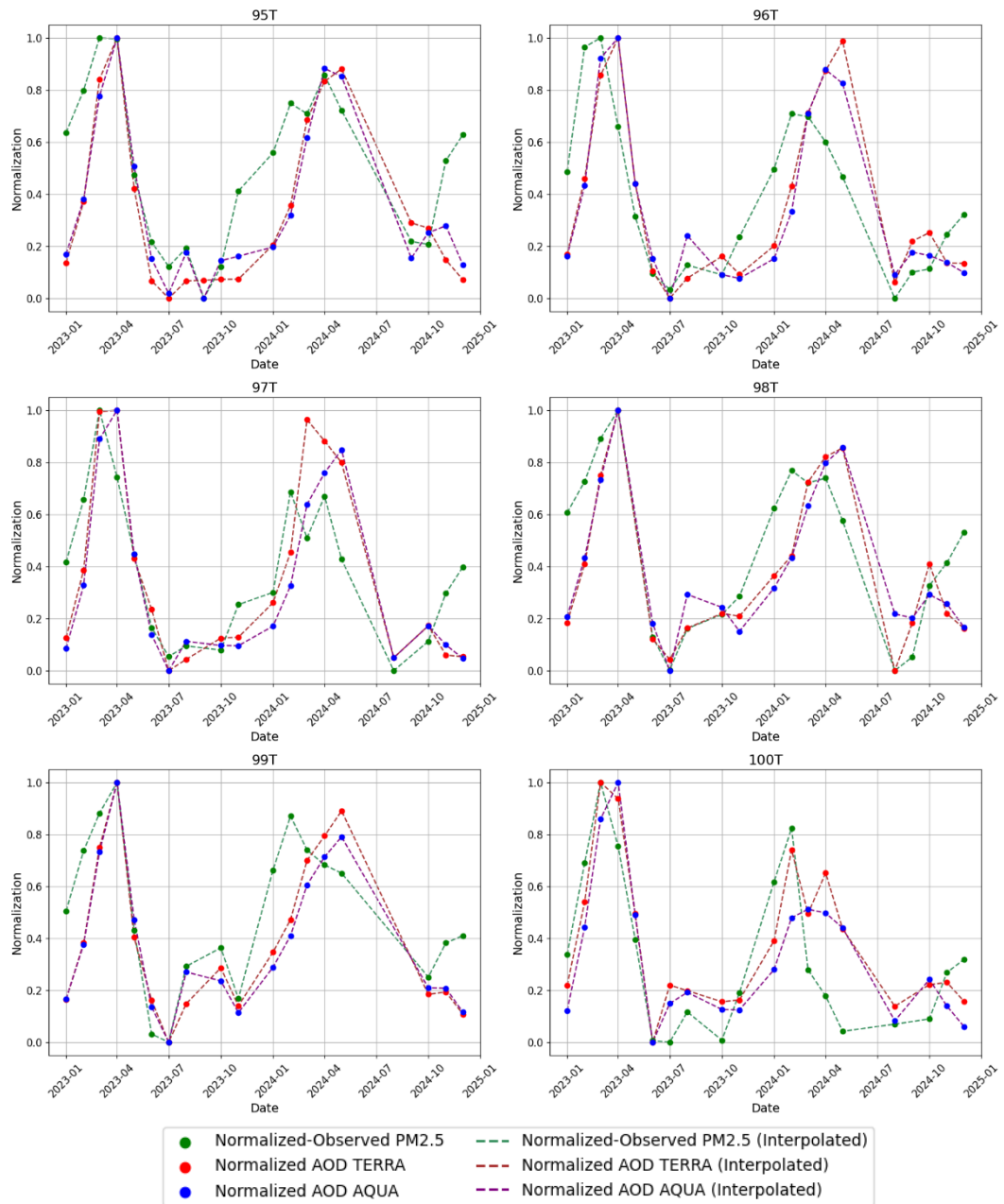
รูปที่ 3.14 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 77T 78T 79T 80T 81T และ 82T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



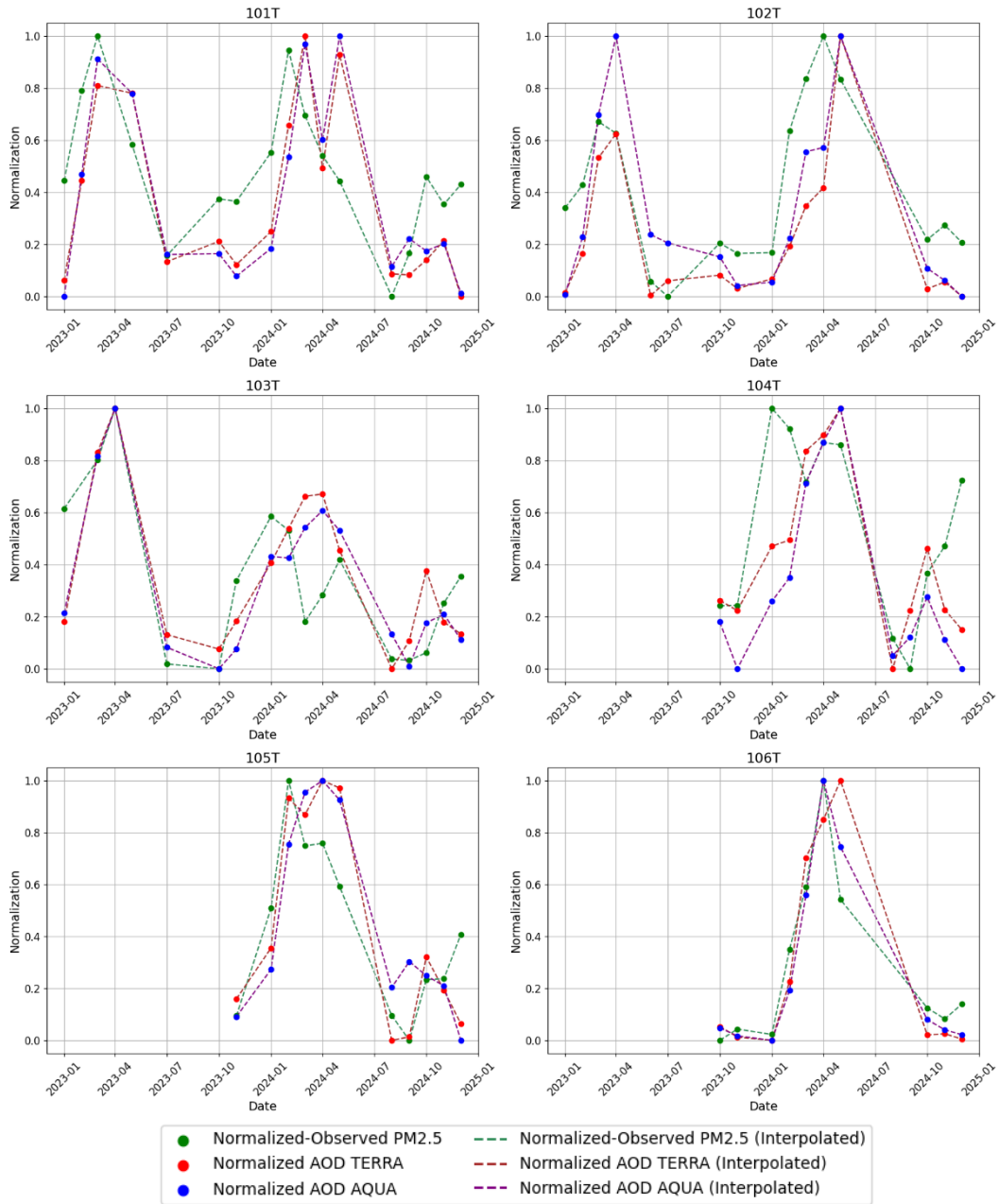
รูปที่ 3.15 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM_{2.5} ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 83T 84T 85T 86T 87T และ 88T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



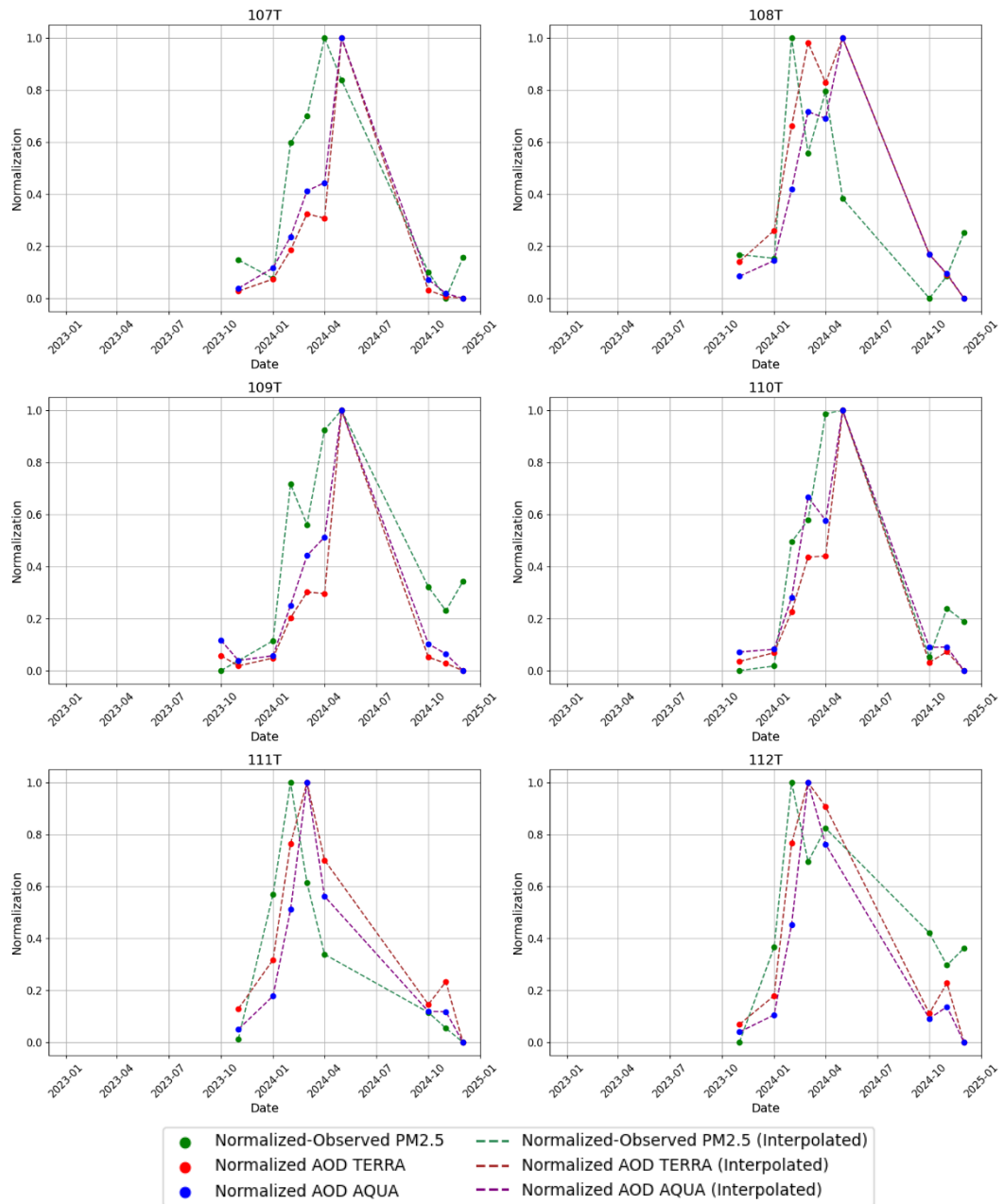
รูปที่ 3.16 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 89T 90T 91T 92T 93T และ 94T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



รูปที่ 3.17 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 95T 96T 97T 98T 99T และ 100T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



รูปที่ 3.18 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 101T 102T 103T 104T 105T และ 106T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



รูปที่ 3.19 กราฟเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) และค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินตามตำแหน่งพิกัดของสถานี 107T 108T 109T 110T 111T และ 112T ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

จากรูปที่ 3.4 ถึงรูปที่ 3.19 พบว่าเมื่อค่า PM2.5 ที่ได้จากการวัดลดลง ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้จากดาวเทียม MODIS ก็มีค่าลดลงเช่นเดียวกันและเมื่อค่า PM2.5 ที่ได้จากการวัดเพิ่มขึ้น ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้จากดาวเทียม MODIS ก็มีค่าเพิ่มเช่นเดียวกันโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกัน กล่าวคือค่า PM2.5 ที่ได้จากการวัดและค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS TERRA กับ MODIS AQUA มีการแปรค่าไปในทิศทางเดียวกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความต้องการใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเพื่อประมาณค่า PM2.5 จากค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

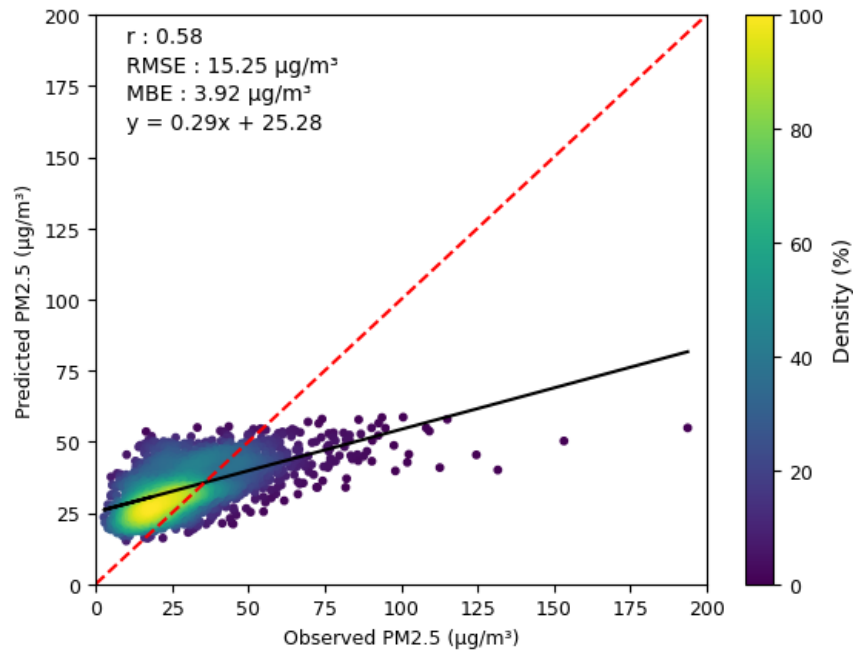
3.3 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณค่า PM2.5

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณค่า PM2.5 จากค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ด้วยโปรแกรม Weka3.8 ด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนจากหัวข้อ 3.2 โดยผู้วิจัยกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมดังตารางที่ 3.2

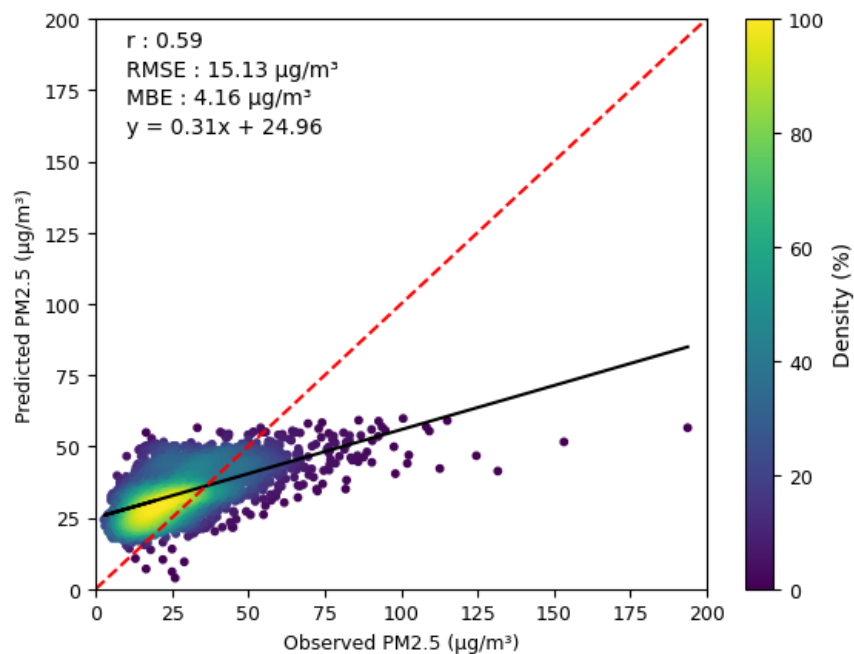
ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรสำหรับการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
learningRate	0.5
momentum	0.1
numDecimalPlaces	6
trainingTime	100,000

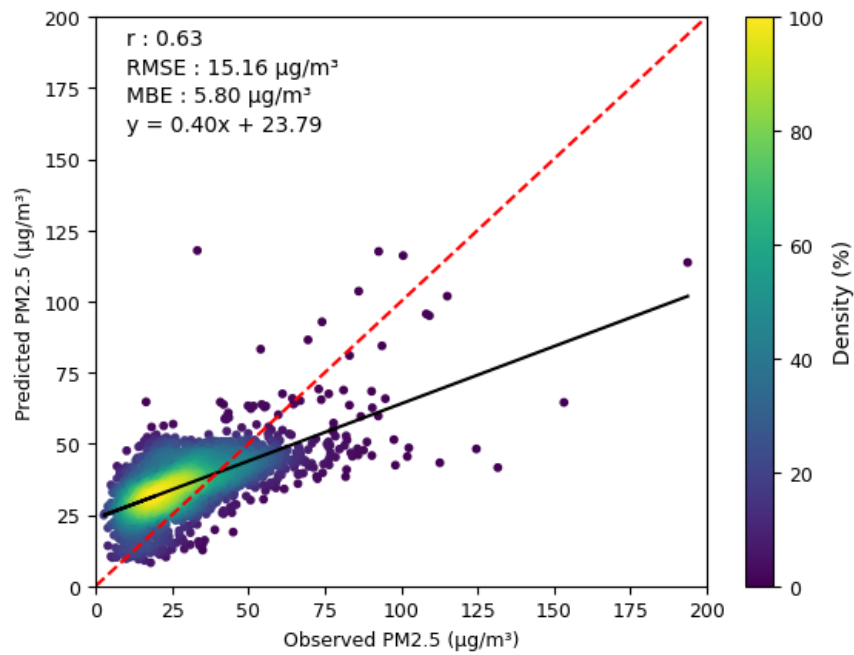
ผู้วิจัยได้ทำการแปรค่า hiddenLayers จาก 1 จนถึง 9 เพื่อสังเกตประสิทธิภาพการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.20 ถึงรูปที่ 3.28



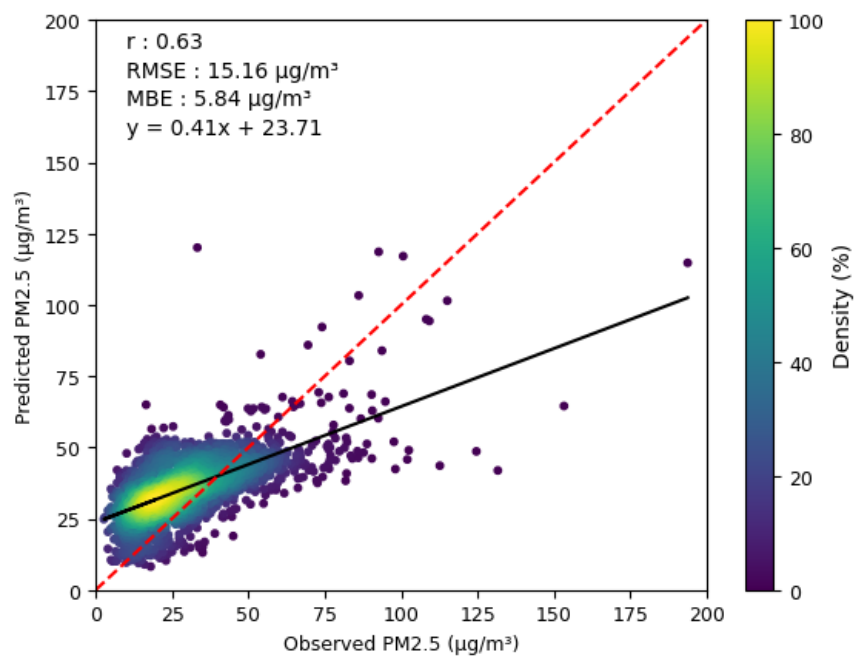
รูปที่ 3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 1



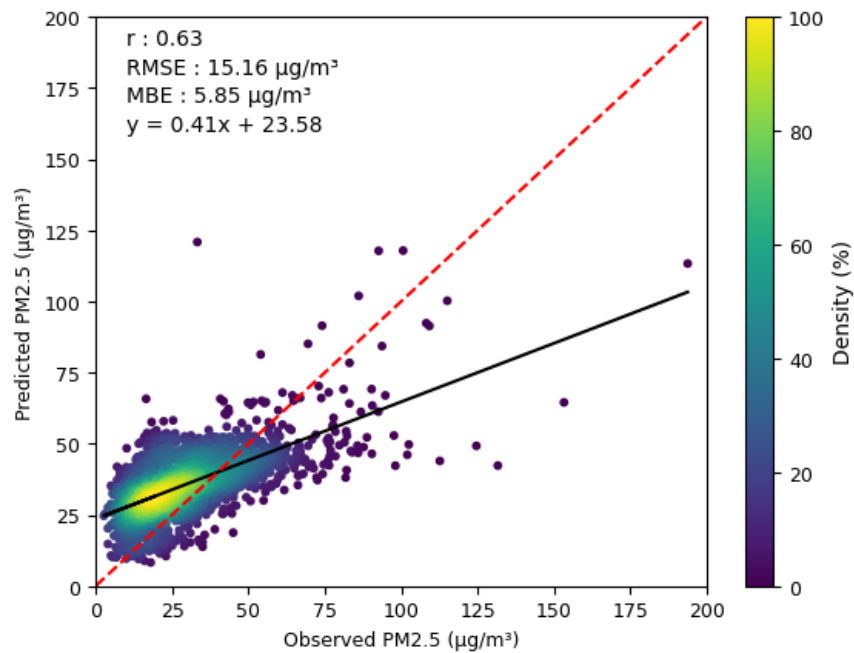
รูปที่ 3.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 2



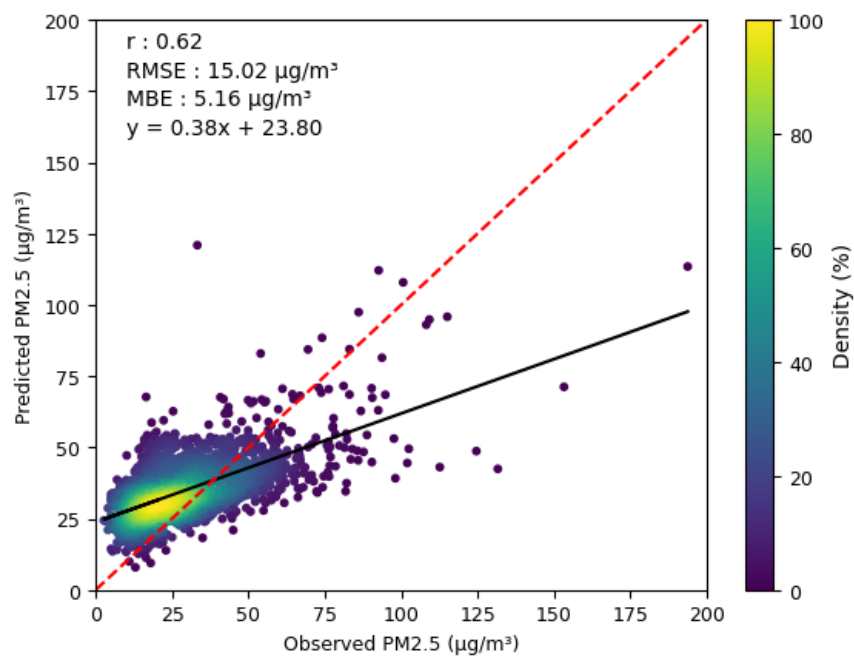
รูปที่ 3.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 3



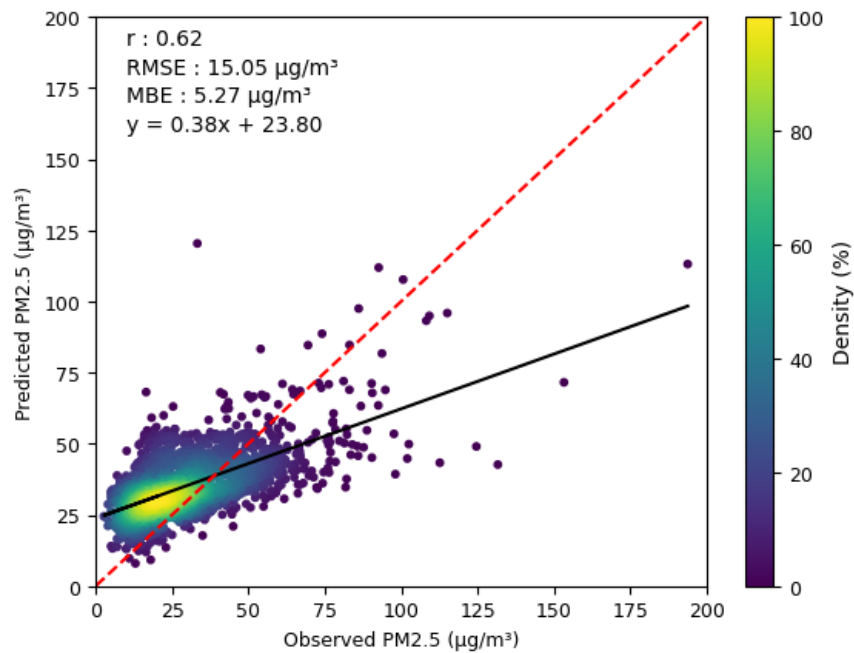
รูปที่ 3.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 4



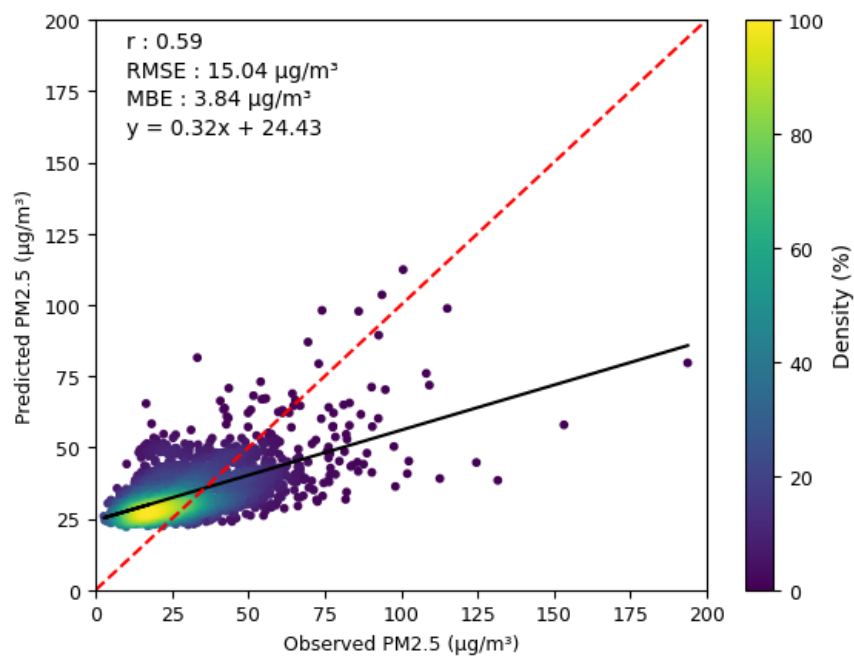
รูปที่ 3.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 5



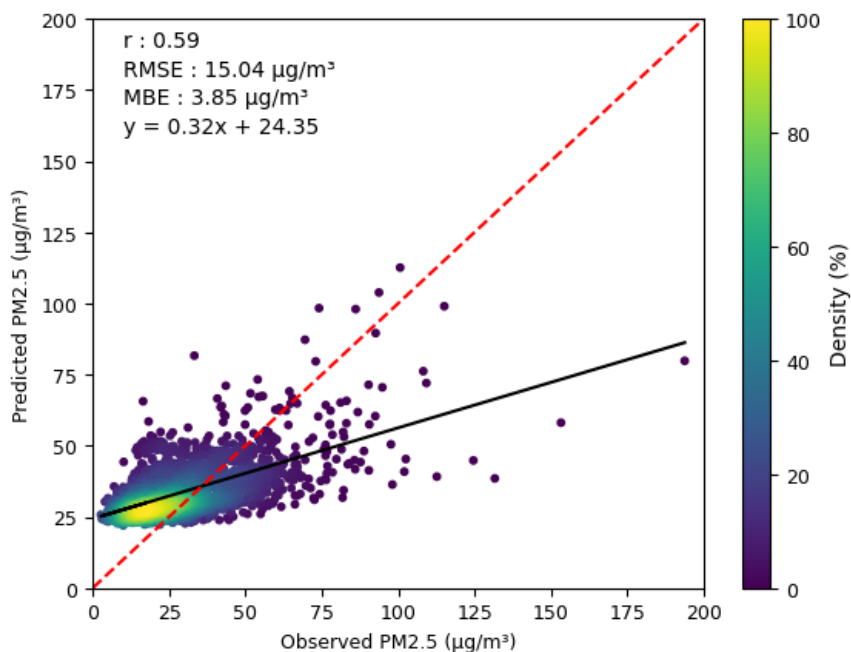
รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 6



รูปที่ 3.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 7



รูปที่ 3.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 8



รูปที่ 3.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 9

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2566 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 1 จนถึง 9 สามารถสรุปตัวแปรทางสถิติแสดงดังตารางที่ 3.3

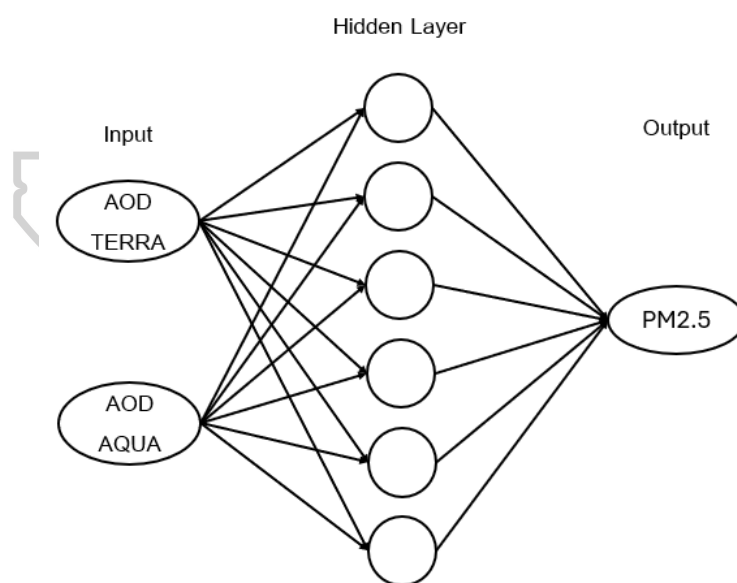
ตารางที่ 3.3 ผลของการประมาณค่า PM2.5 ด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝน

hiddenLayers	ตัวแปรทางสถิติ				
	r	RMSE (µg/m ³)	RMSE (%)	MBE (µg/m ³)	MBE (%)
1	0.58	15.25	50.63	3.92	13.02
2	0.59	15.13	50.23	4.16	13.82
3	0.63	15.16	50.33	5.80	19.27
4	0.63	15.16	50.34	5.84	19.38
5	0.63	15.16	50.34	5.85	19.44
6	0.62	15.02	49.87	5.16	17.14

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

hiddenLayers	ตัวแปรทางสถิติ				
	r	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RMSE (%)	MBE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MBE (%)
7	0.62	15.05	49.97	5.27	17.50
8	0.59	15.04	49.94	3.84	12.75
9	0.59	15.04	49.93	3.85	12.80

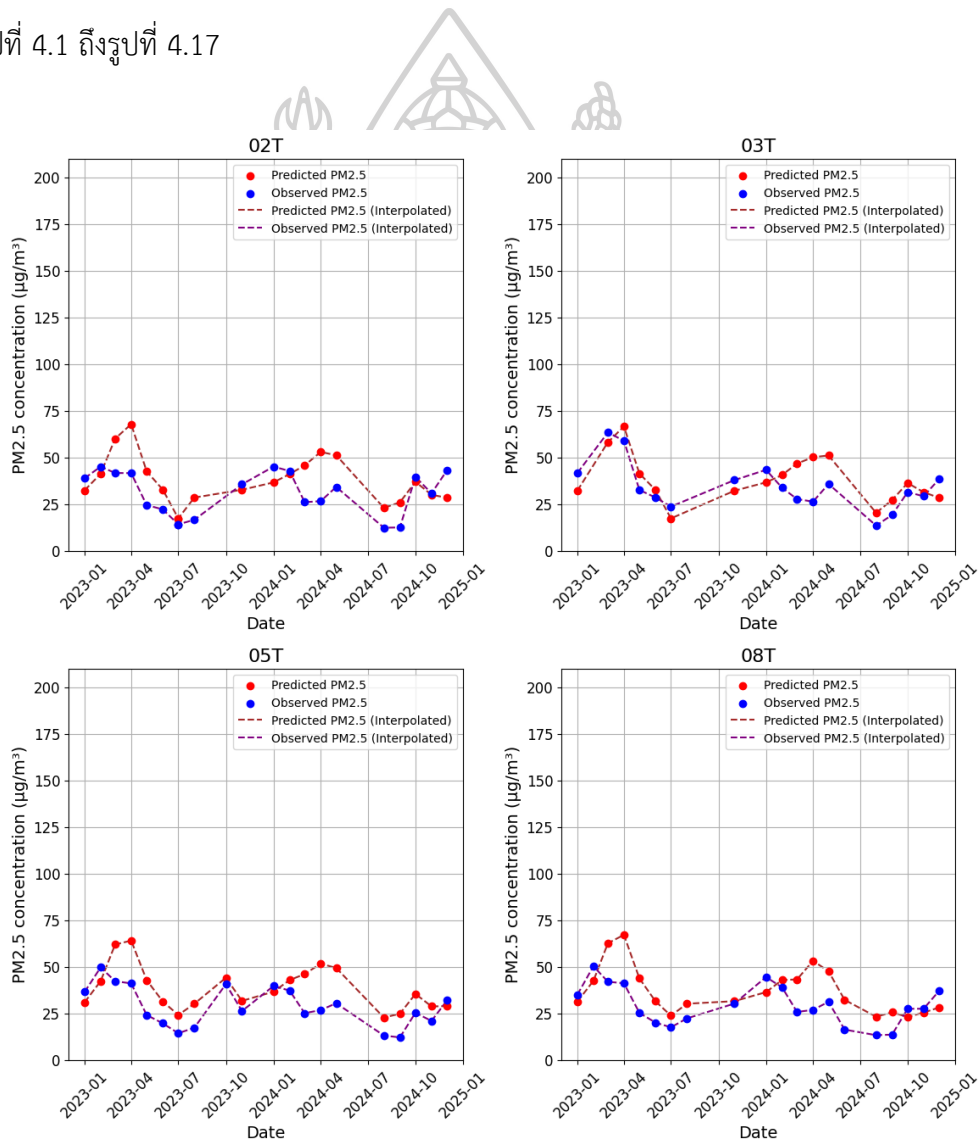
จากรูปข้างต้นและตารางที่ 3.3 เมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 6 มีความแม่นยำของชุดข้อมูลสูงสุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.62 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 15.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ผลของการฝึกสอนนี้สำหรับการทำนายค่า PM2.5 จากความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS โดยสามารถเขียนแผนภาพของโครงข่ายประสาทเทียมของการฝึกฝนเมื่อ hiddenLayers เท่ากับ 6 ได้ดังรูปที่ 3.29



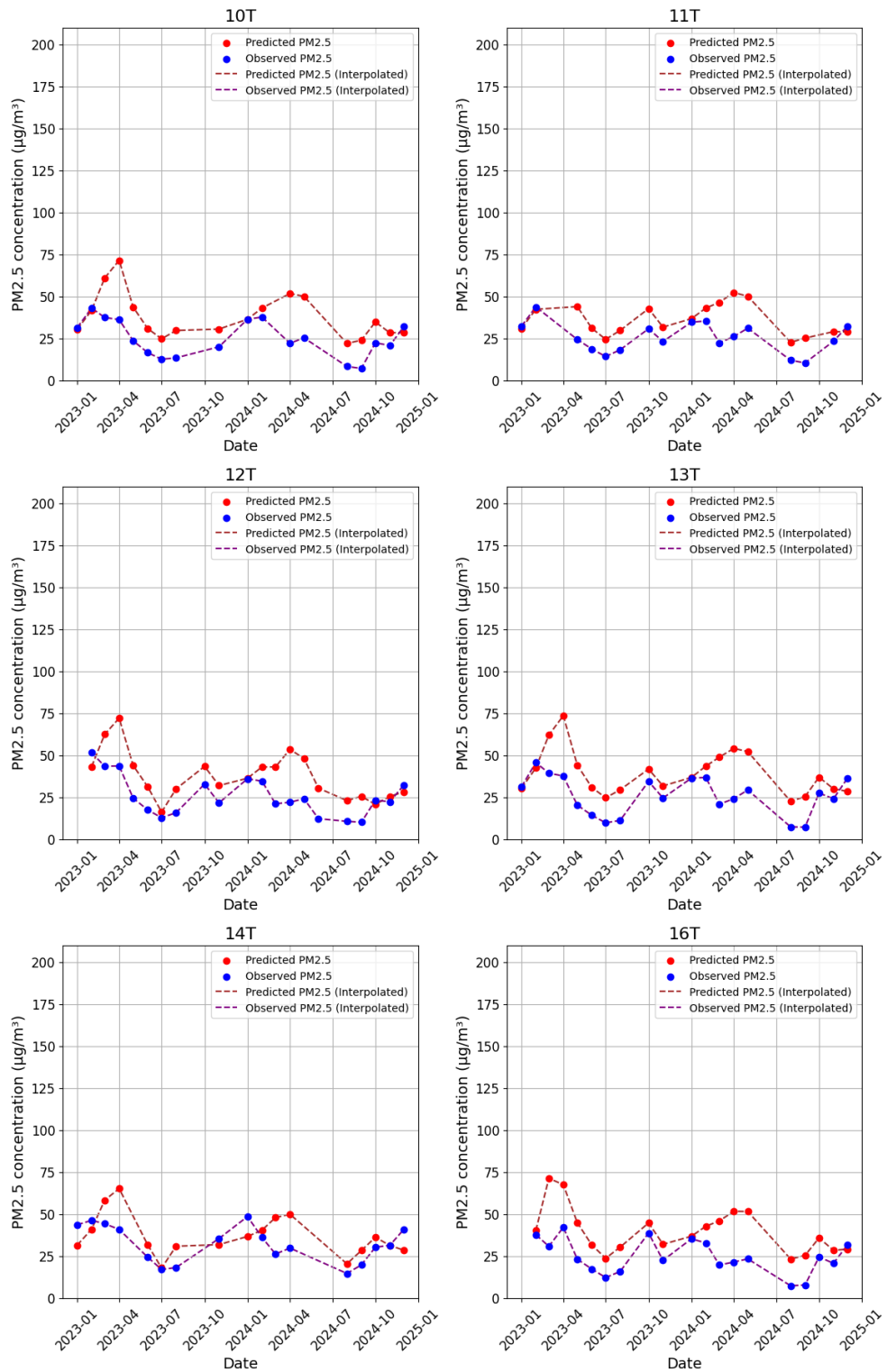
รูปที่ 3.29 แผนภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

บทที่ 4 การอภิปรายผล

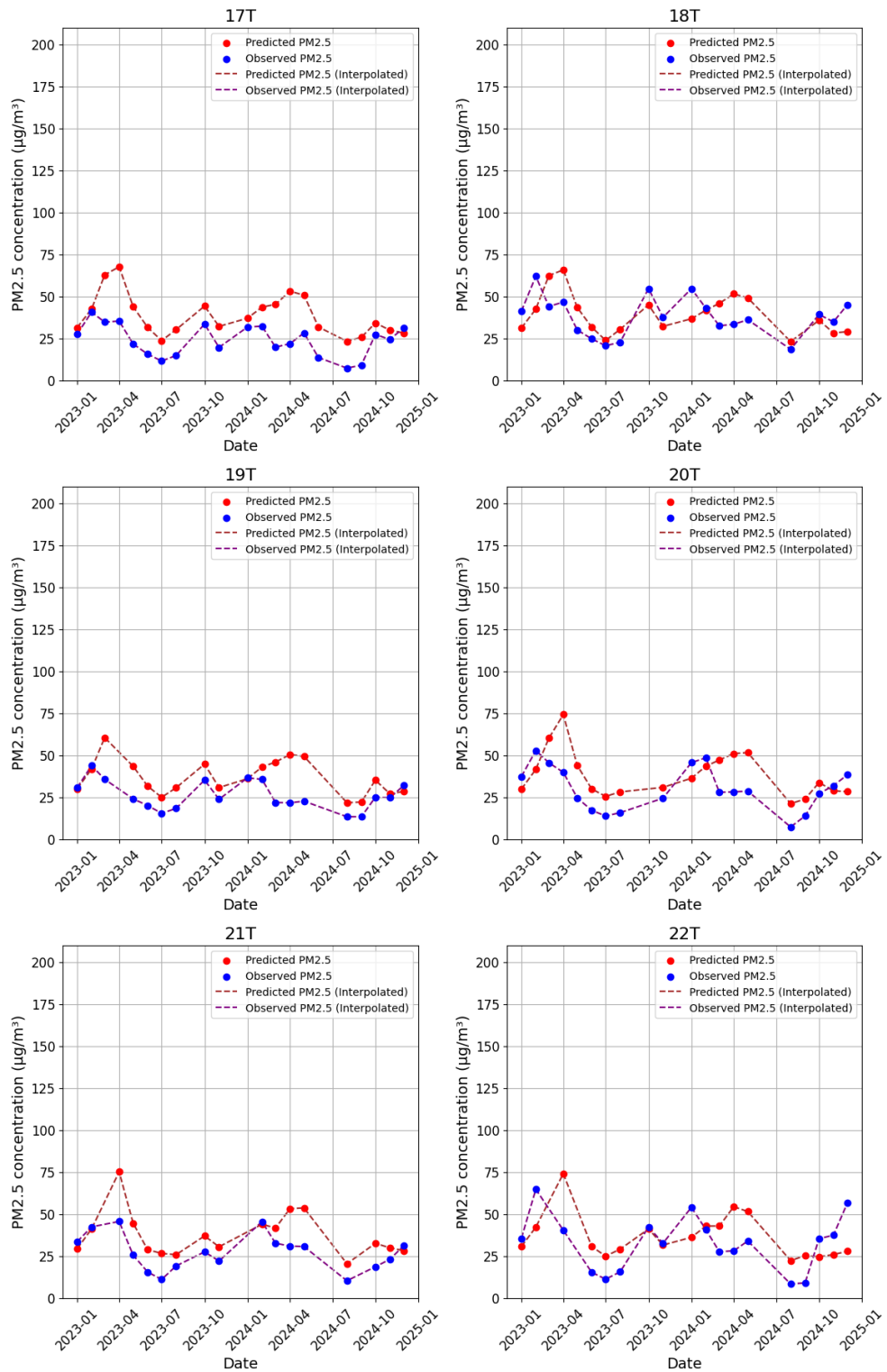
ผู้วิจัยใช้ผลของการฝึกสอนที่ได้จากหัวข้อ 3.3 เพื่อทำการประมาณค่า PM2.5 จากความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS ที่ตำแหน่งต่างๆ ของสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทย จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของแต่ละสถานีในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.17



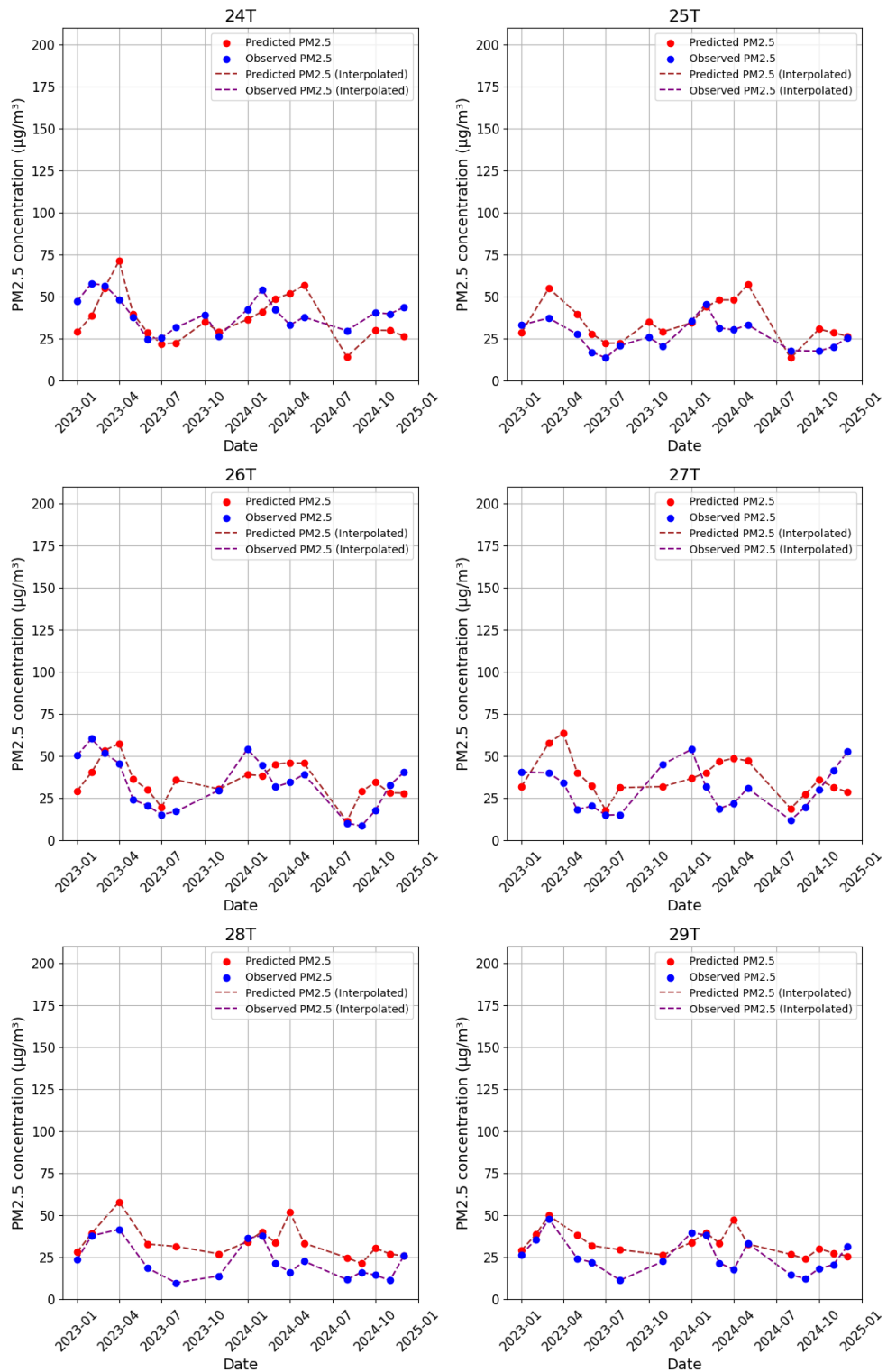
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี O2T O3T O5T และ O8T
ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



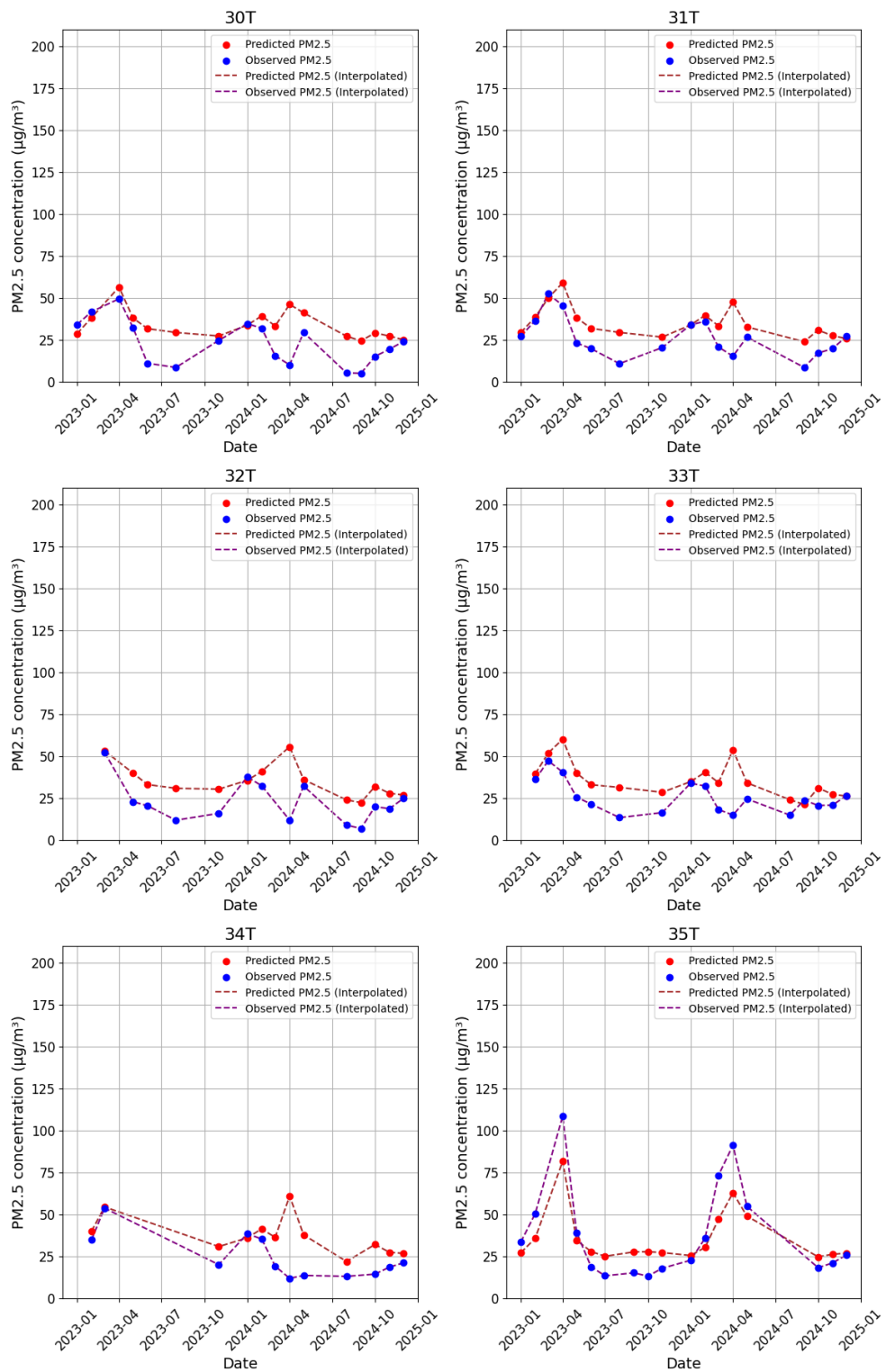
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 10T 11T 12T 13T 14T และ 16T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



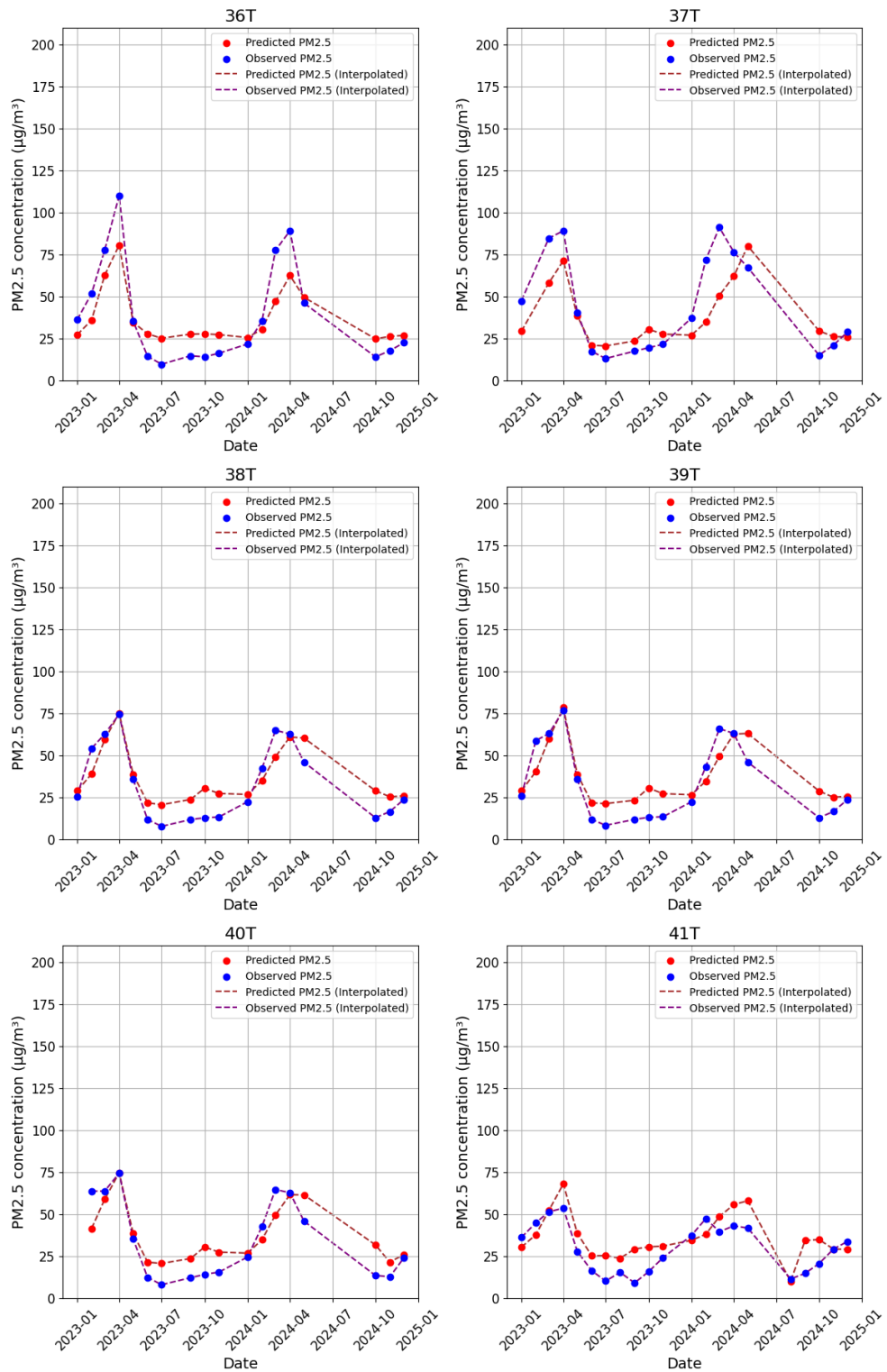
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 17T 18T 19T 20T 21T และ 22T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



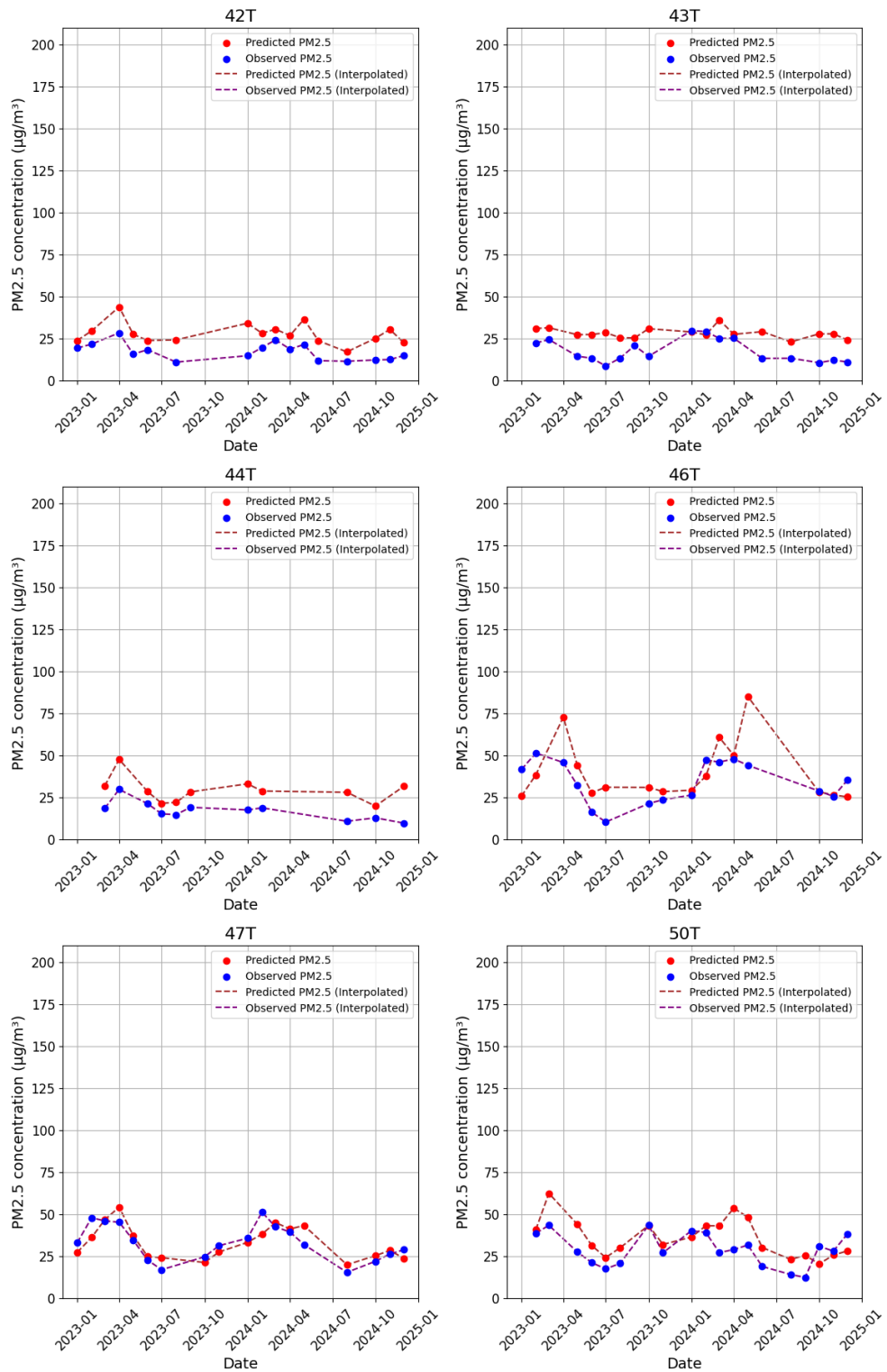
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 24T 25T 26T 27T 28T และ 29T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



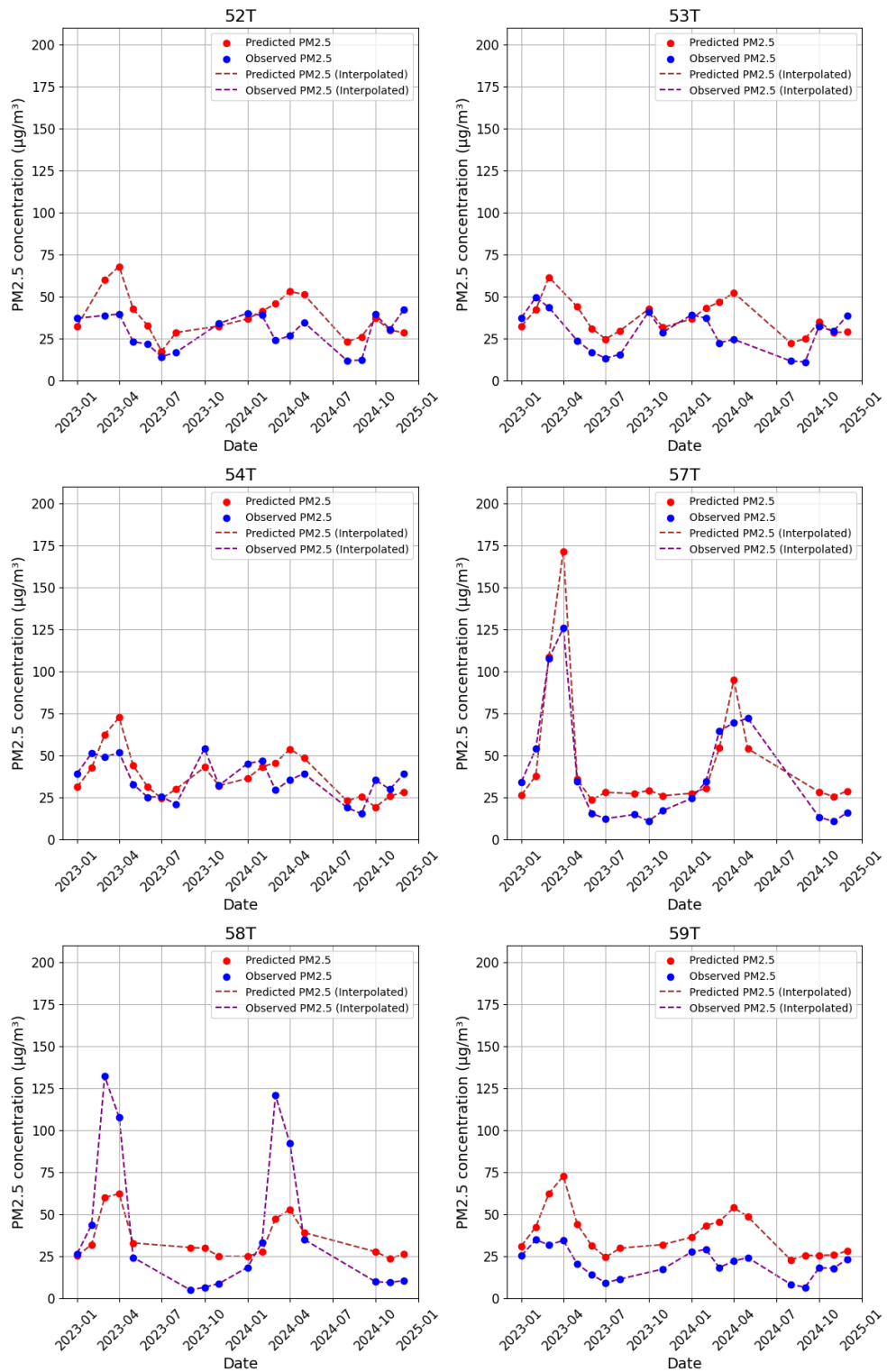
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 30T 31T 32T 33T 34T และ 35T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



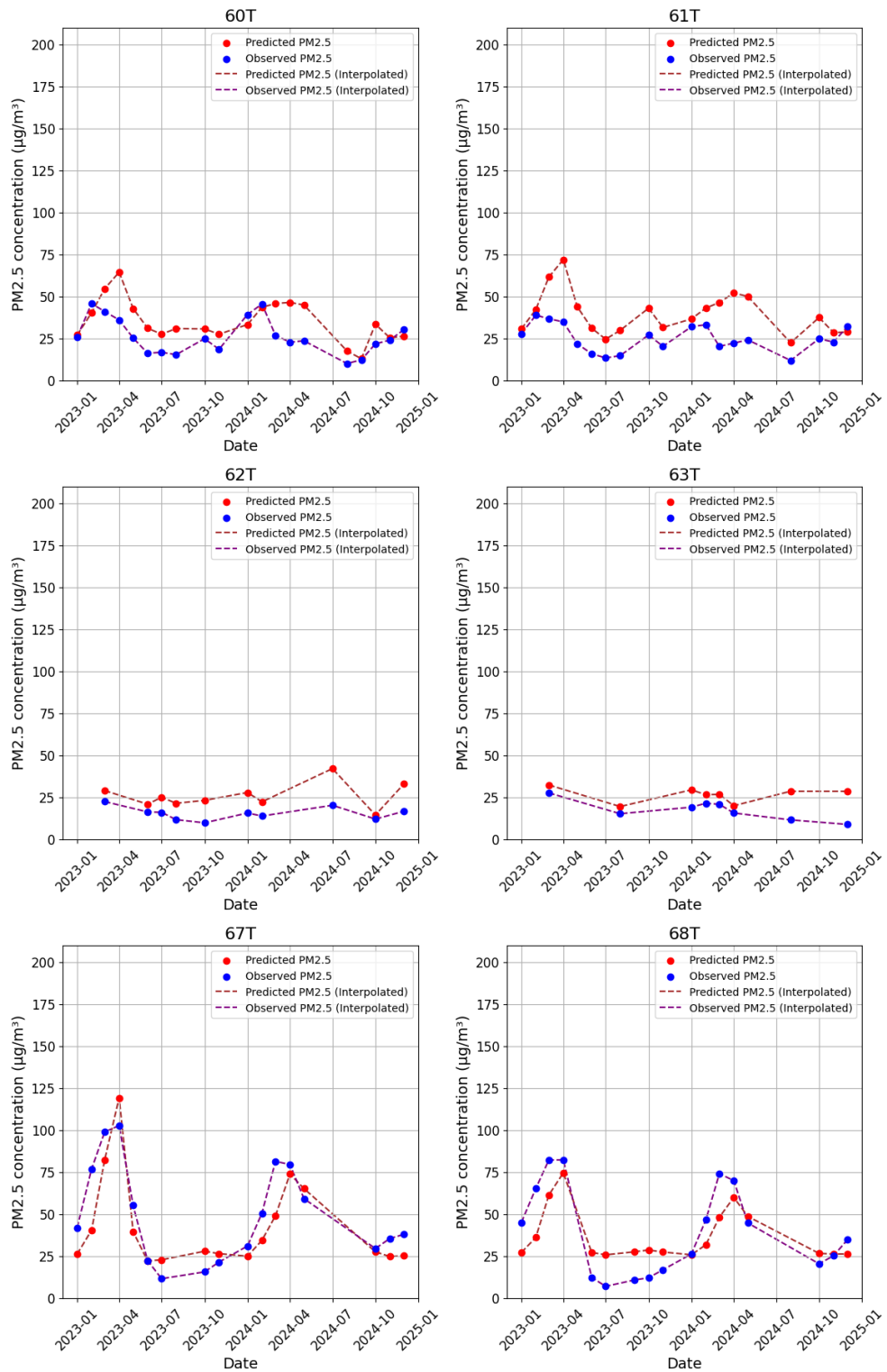
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 36T 37T 38T 39T 40T และ 41T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



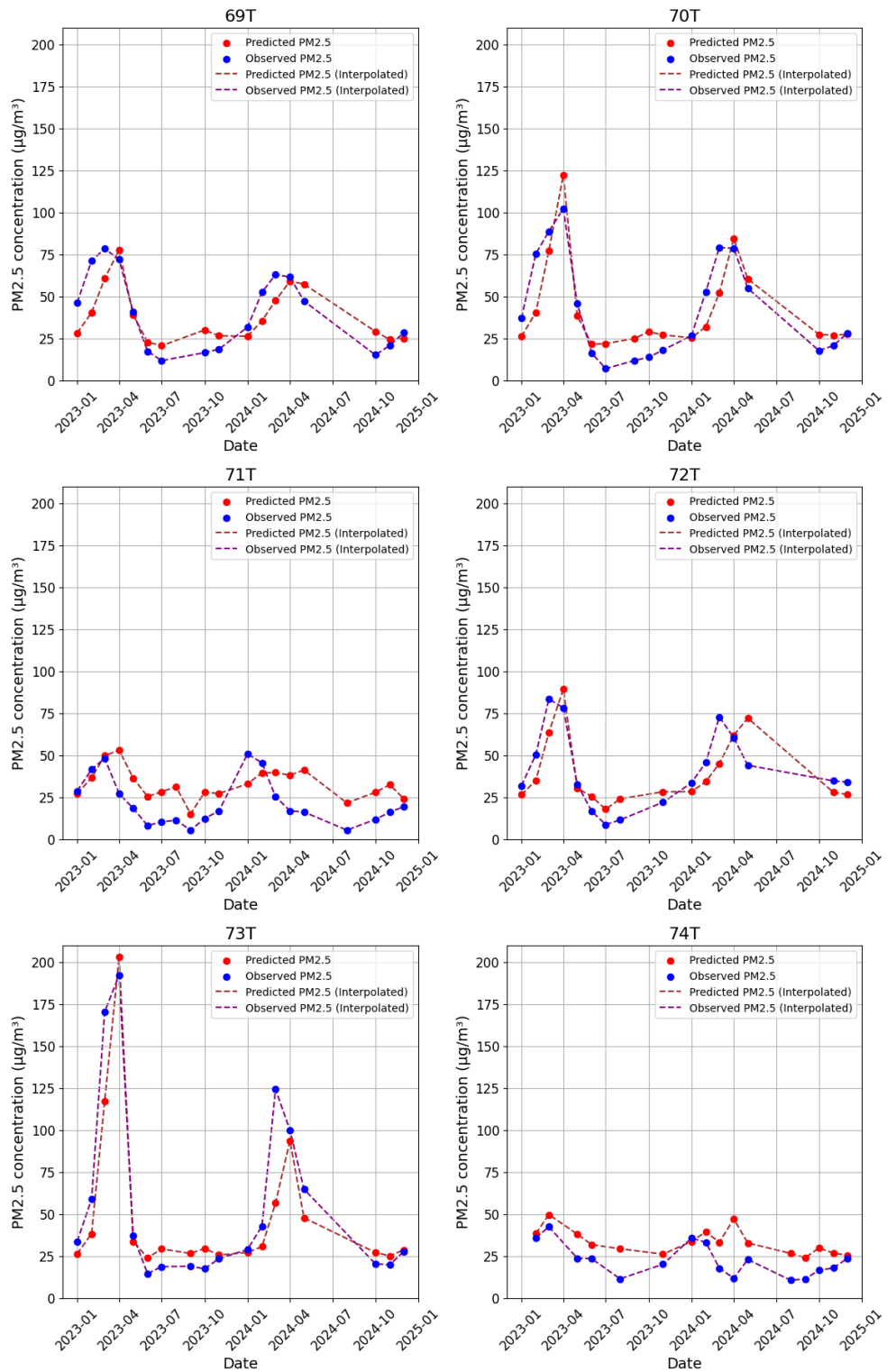
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 42T 43T 44T 46T 47T และ 50T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



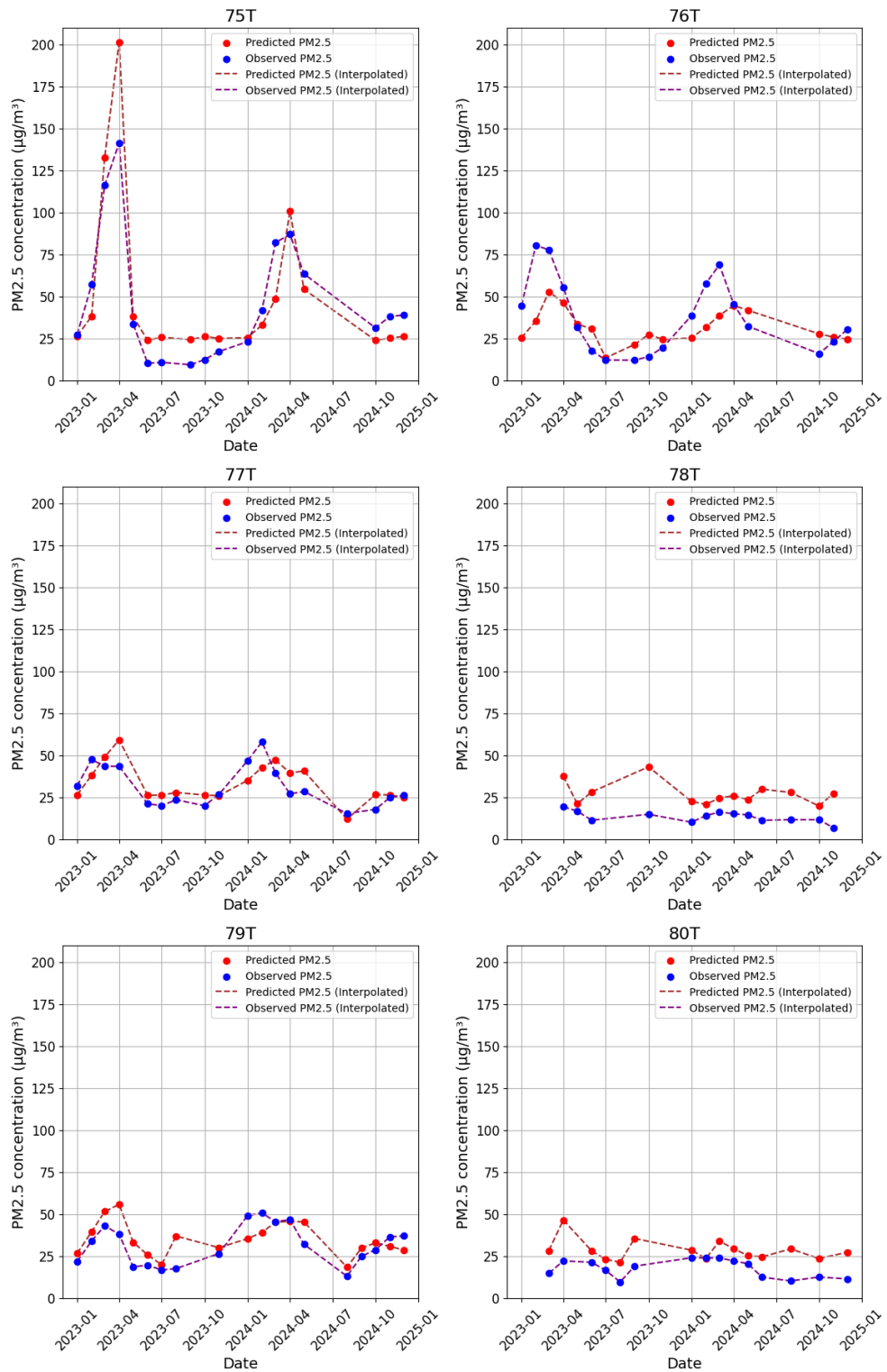
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 52T 53T 54T 57T 58T และ 59T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



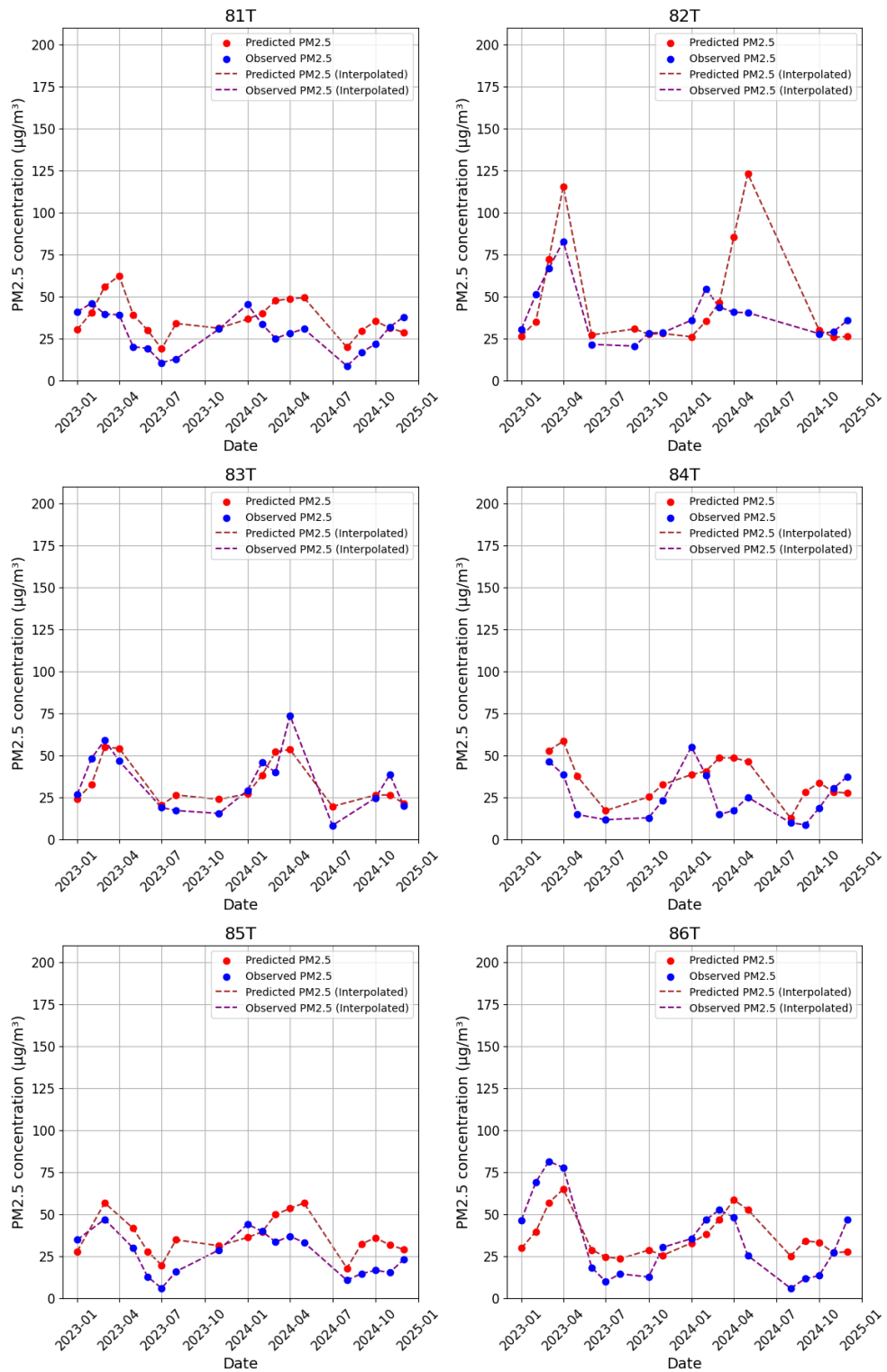
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 60T 61T 62T 63T 67T และ 68T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



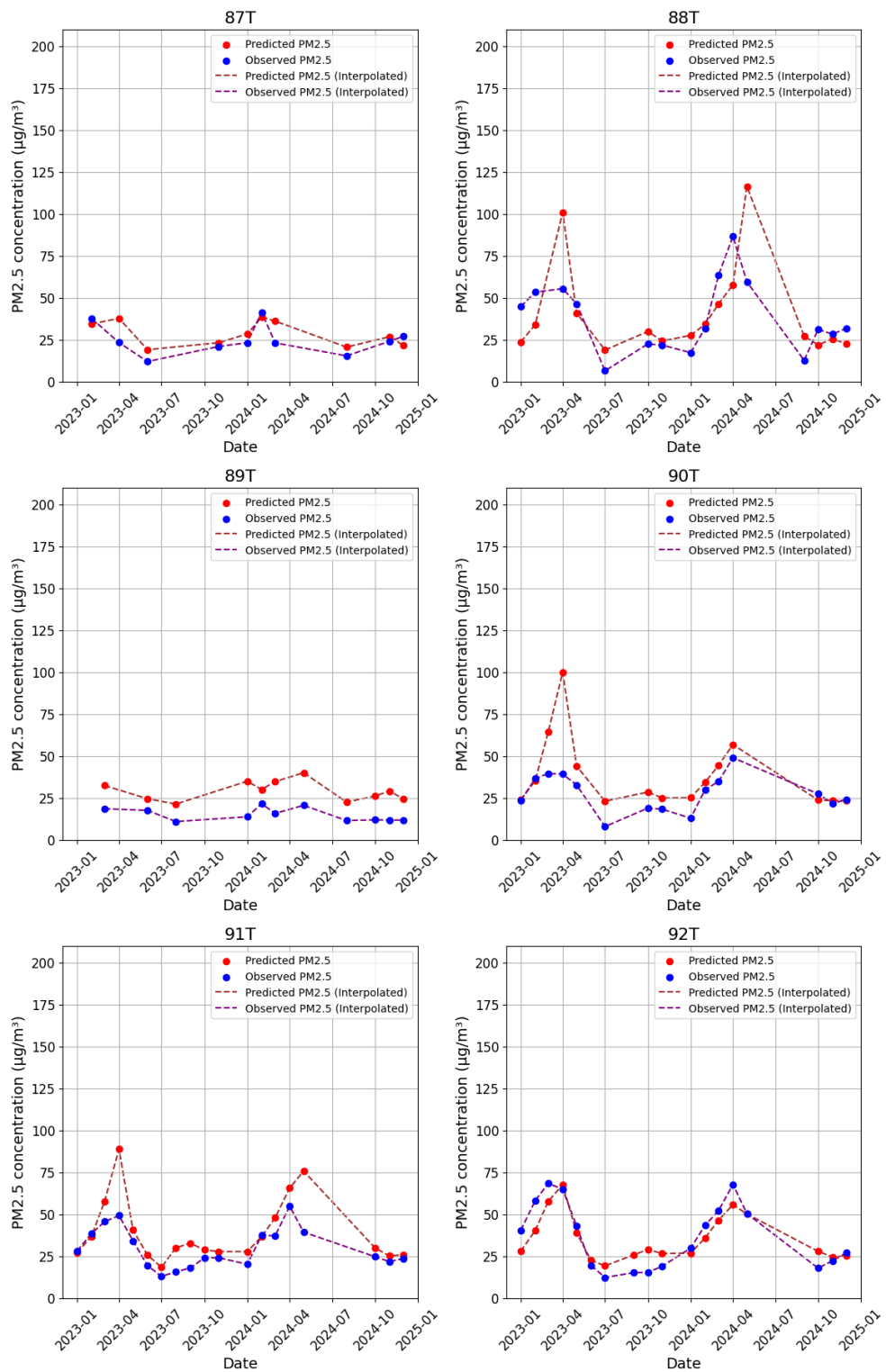
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 69T 70T 71T 72T 73T และ 74T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



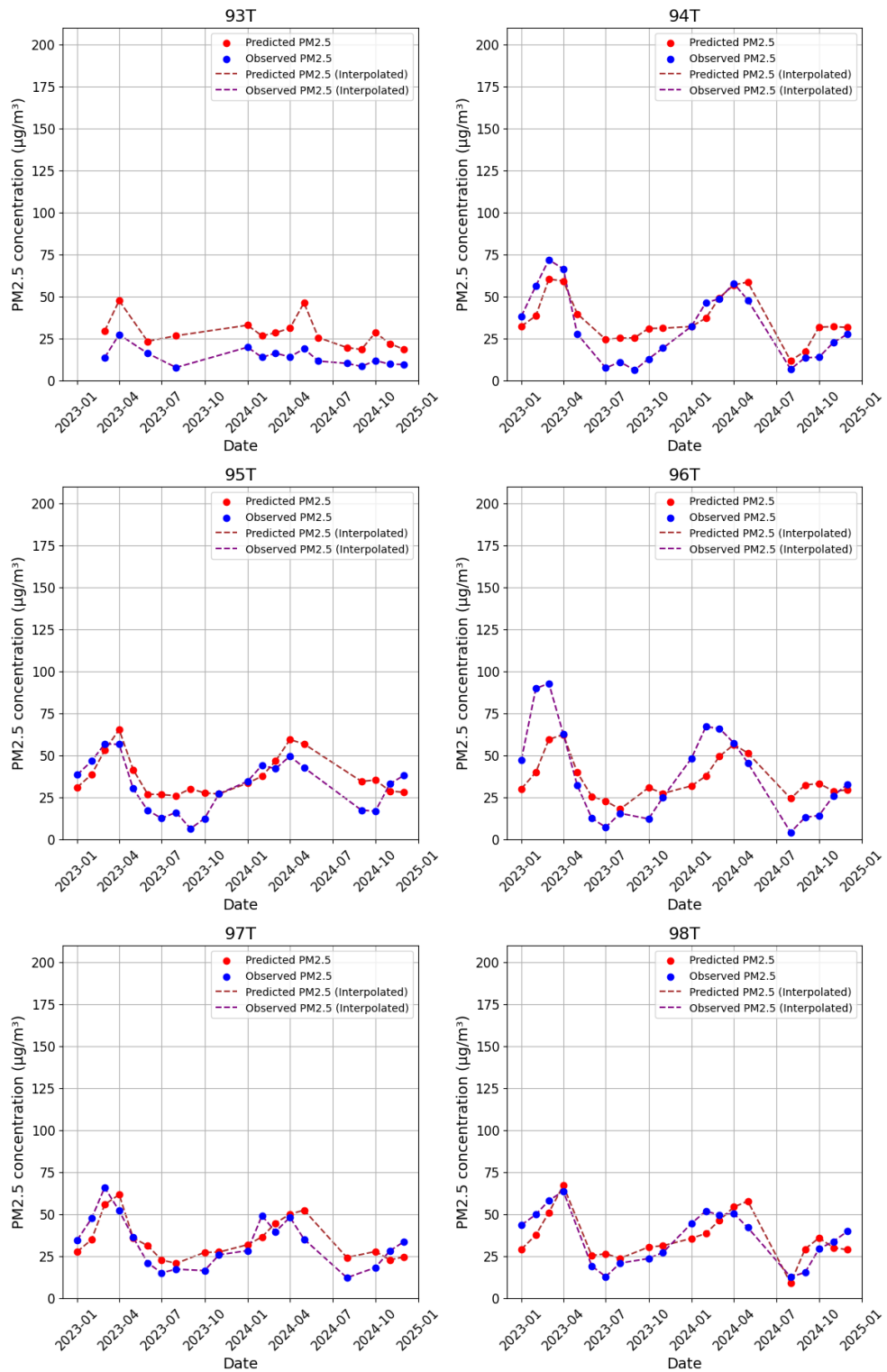
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 75T 76T 77T 78T 79T และ 80T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



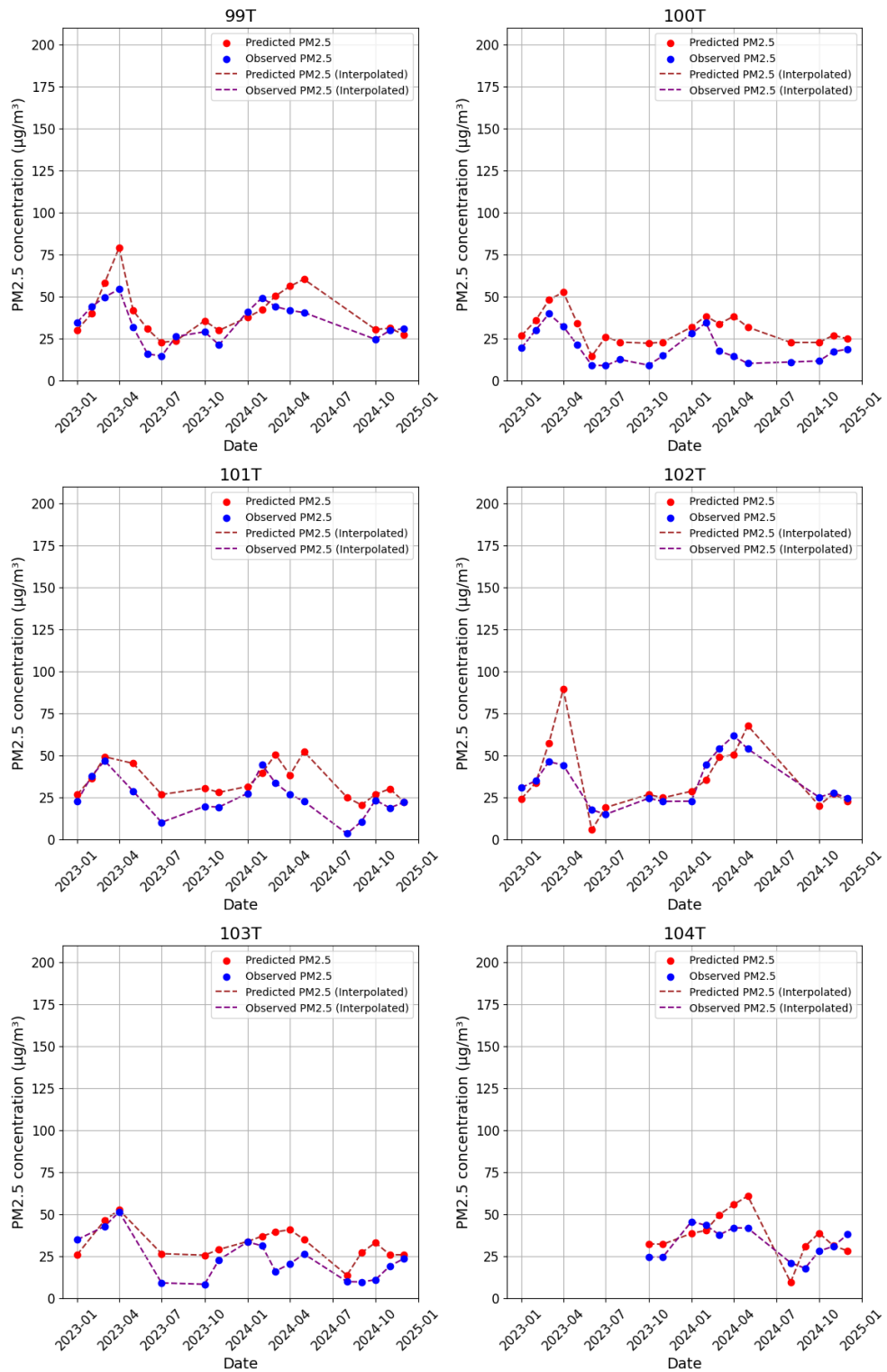
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 81T 82T 83T 84T 85T และ 86T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



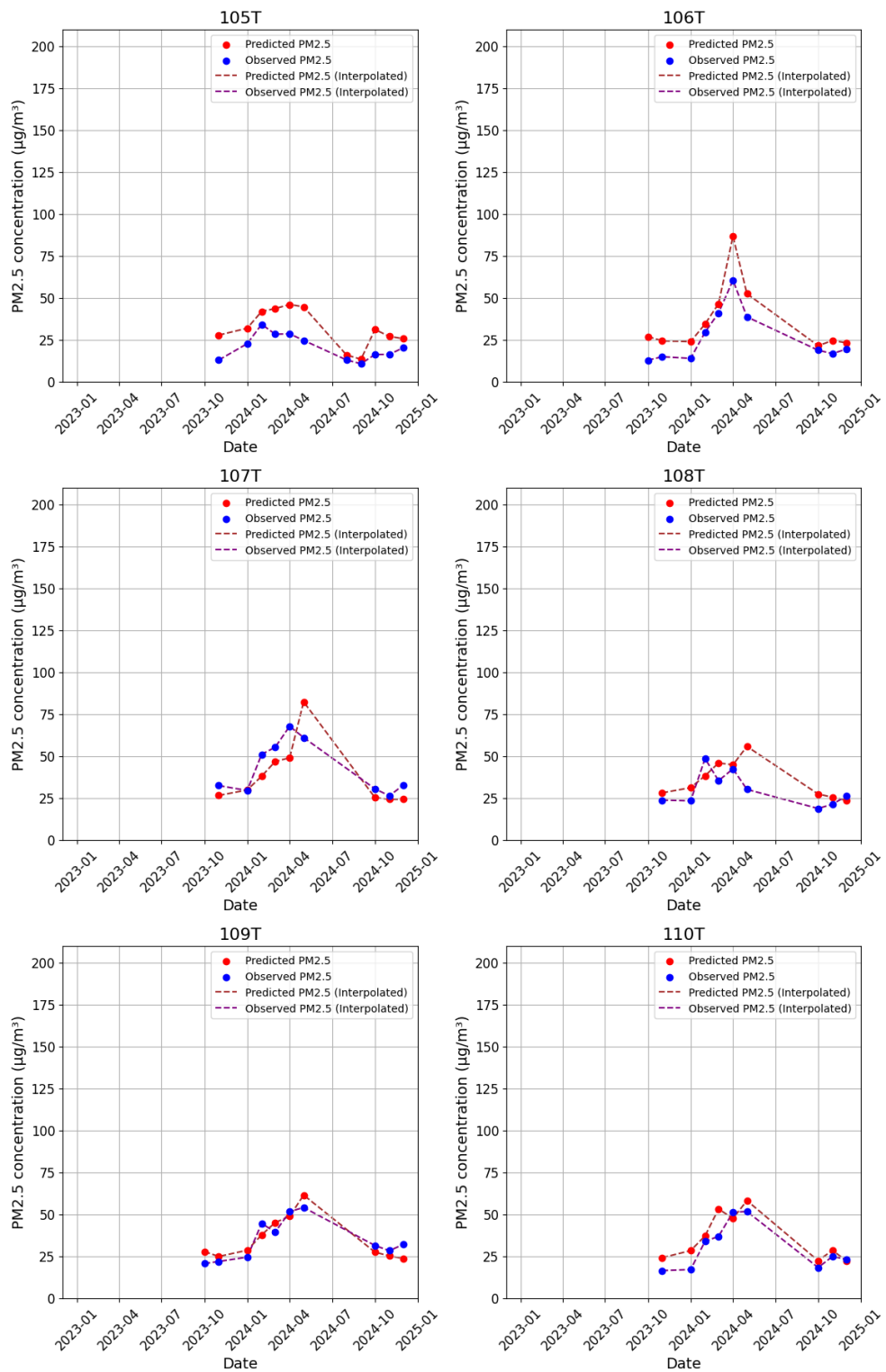
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 87T 88T 89T 90T 91T และ 92T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



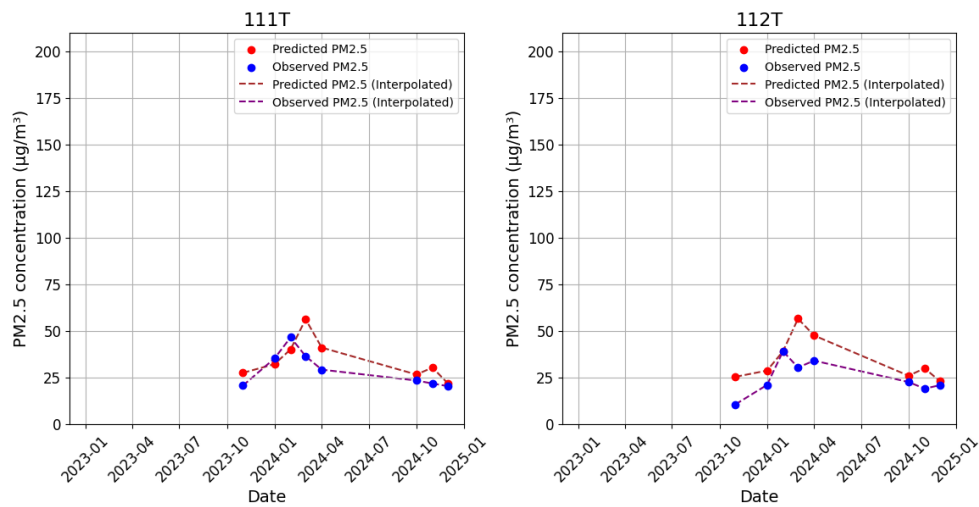
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5
 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 93T 94T 95T 96T 97T และ 98T
 ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 99T 100T 101T 102T 103T และ 104T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

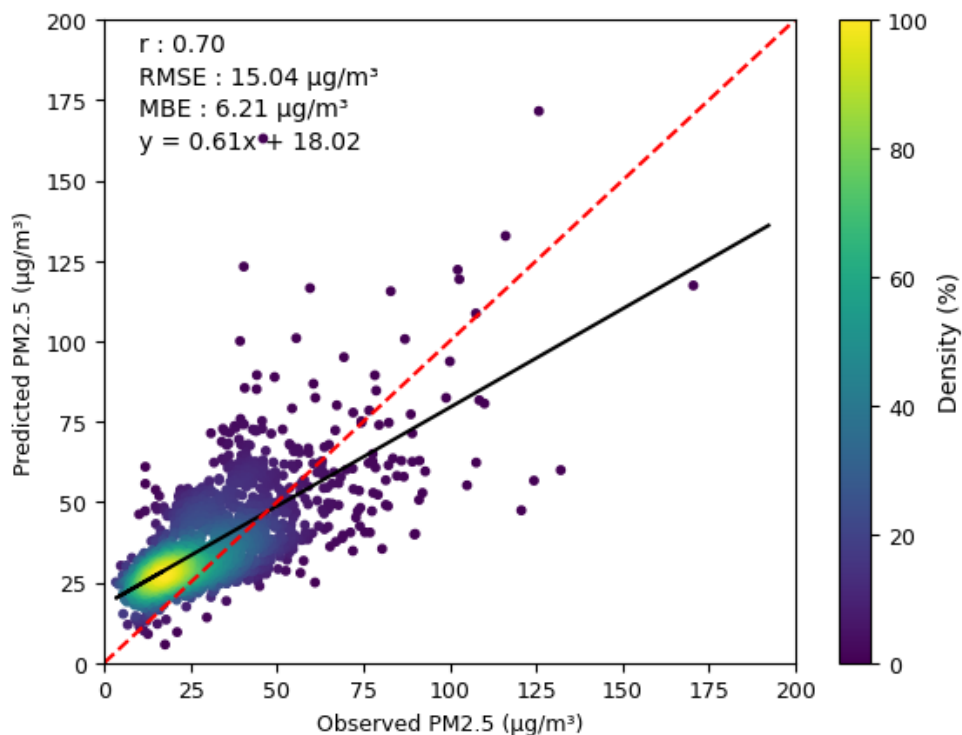


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 105T 106T 107T 108T 109T และ 110T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567



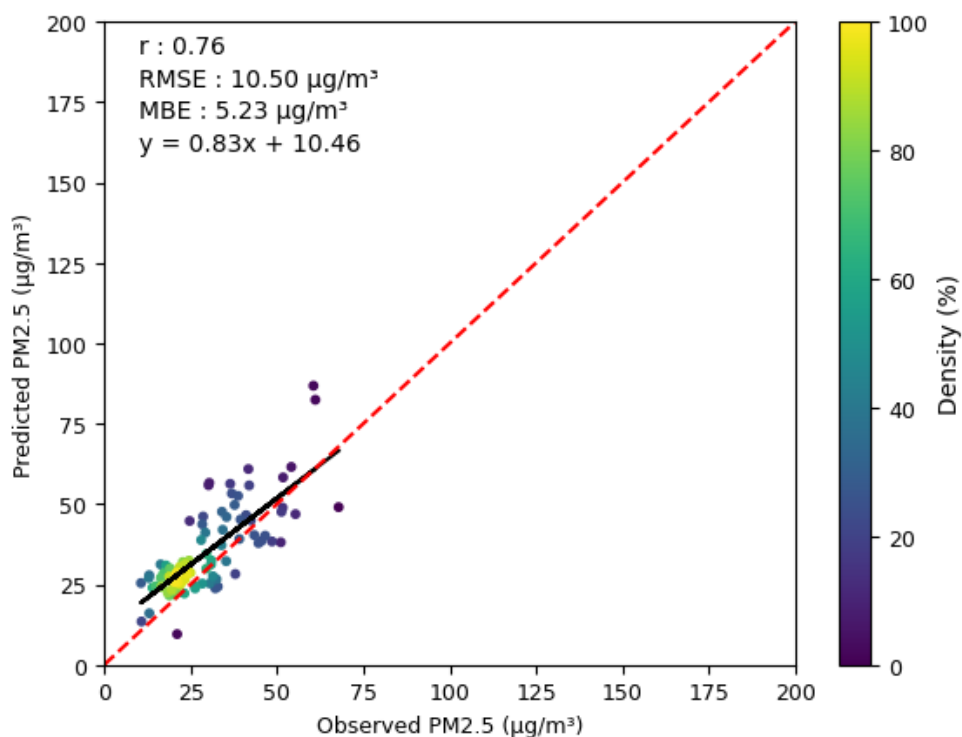
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของสถานี 111T และ 112T ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

จากรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.17 เห็นได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของแต่ละสถานี และเมื่อหากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 จะเห็นได้ว่าค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณมีการประเมินค่าที่ต่ำกว่าค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของชุดข้อมูลเท่ากับ 0.61 โดยเมื่อตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.70 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 15.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 49.23 เพอร์เซ็นต์และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 20.33 เพอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.18



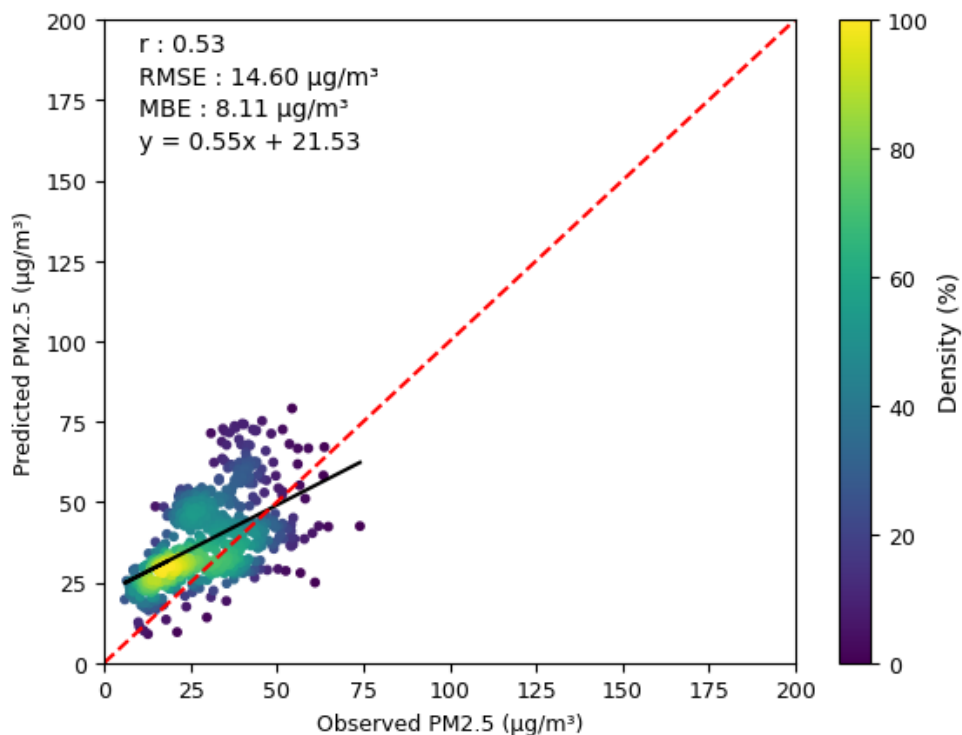
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยบางพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดภาคพื้นดินในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2565 ได้แก่ สถานี 104T 105T 106T 107T 108T 109T 110T 111T และ 112T ดังรูปที่ 4.19 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.83 โดยตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 10.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 34.66 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 17.26 เปอร์เซ็นต์



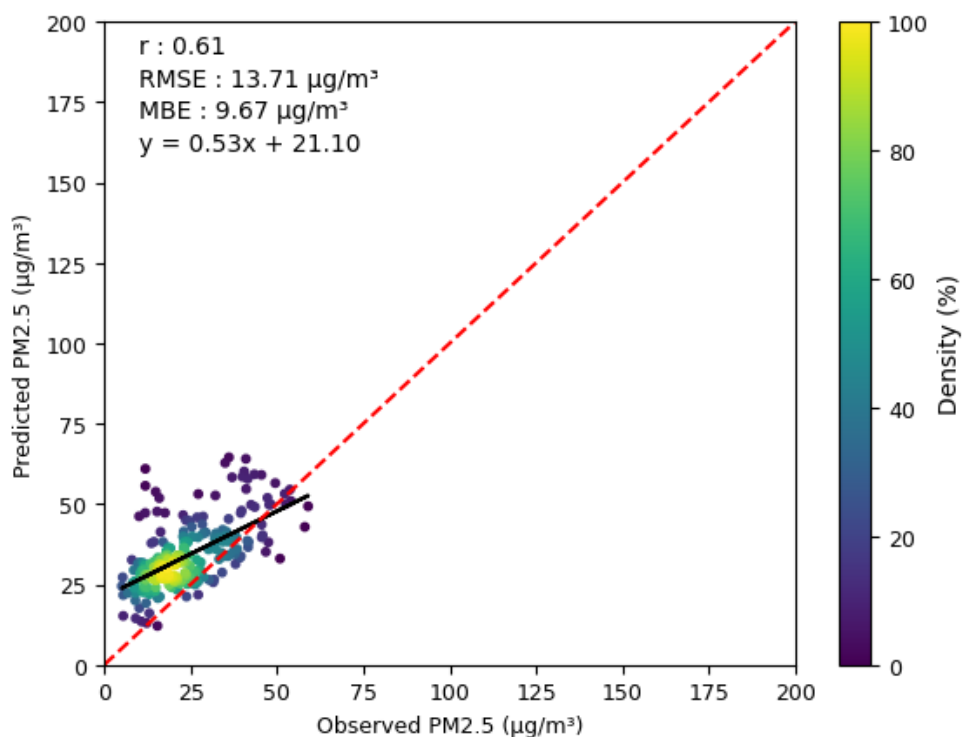
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยบางพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดภาคพื้นดิน ในปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2565

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.20 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.55 โดยตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.53 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 14.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 48.88 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 8.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 27.15 เปอร์เซ็นต์



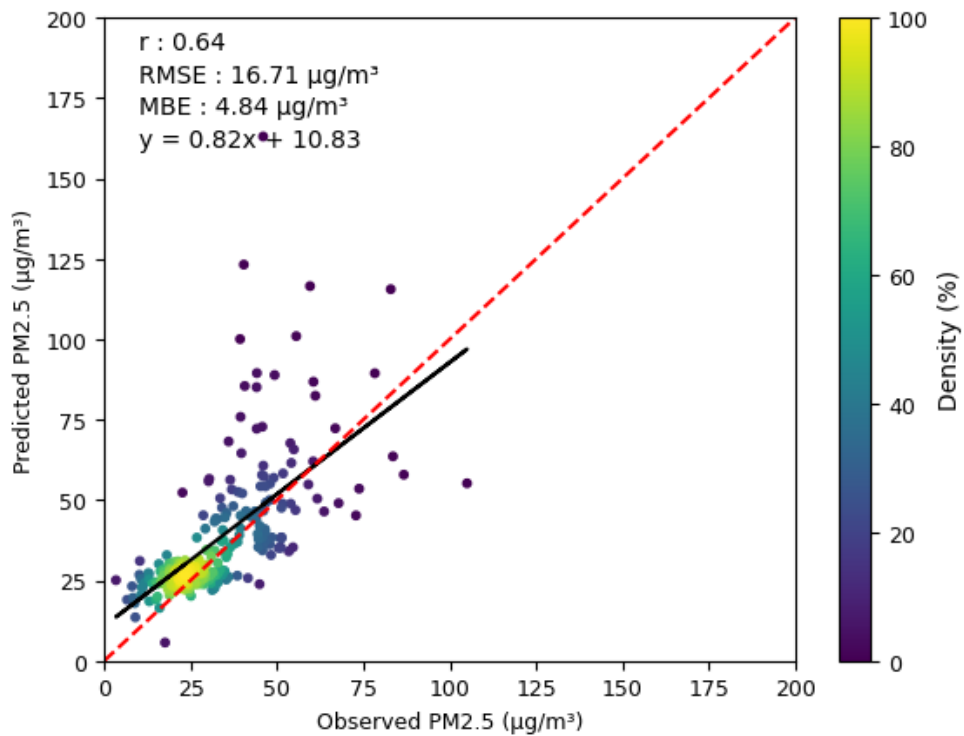
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.21 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.53 โดยตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.61 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 13.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 55.92 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 9.67 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 39.44 เปอร์เซ็นต์



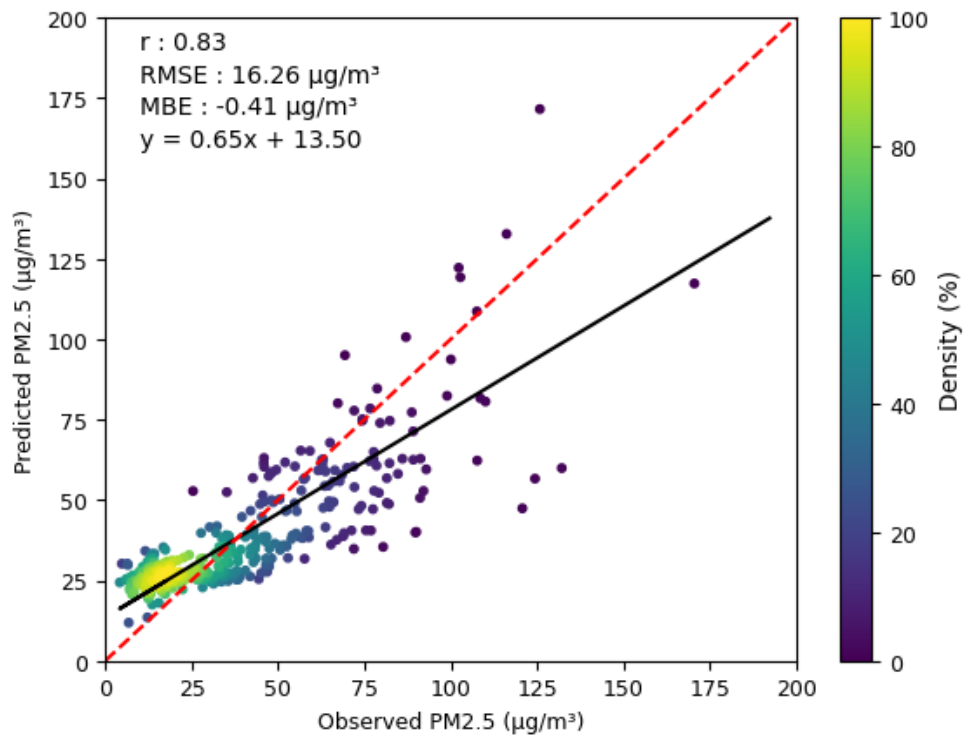
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.22 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.82 โดยตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.64 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 16.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 50.30 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 14.58 เปอร์เซ็นต์



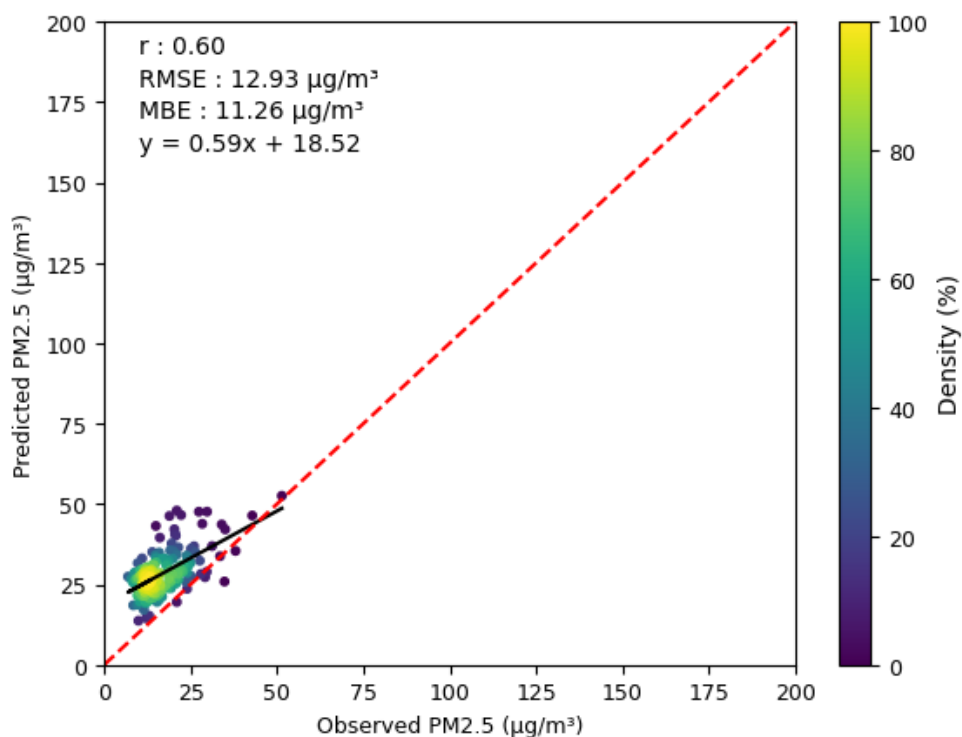
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.23 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินสูงโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.65 โดยตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 16.26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 41.43 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -0.41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ -1.04 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

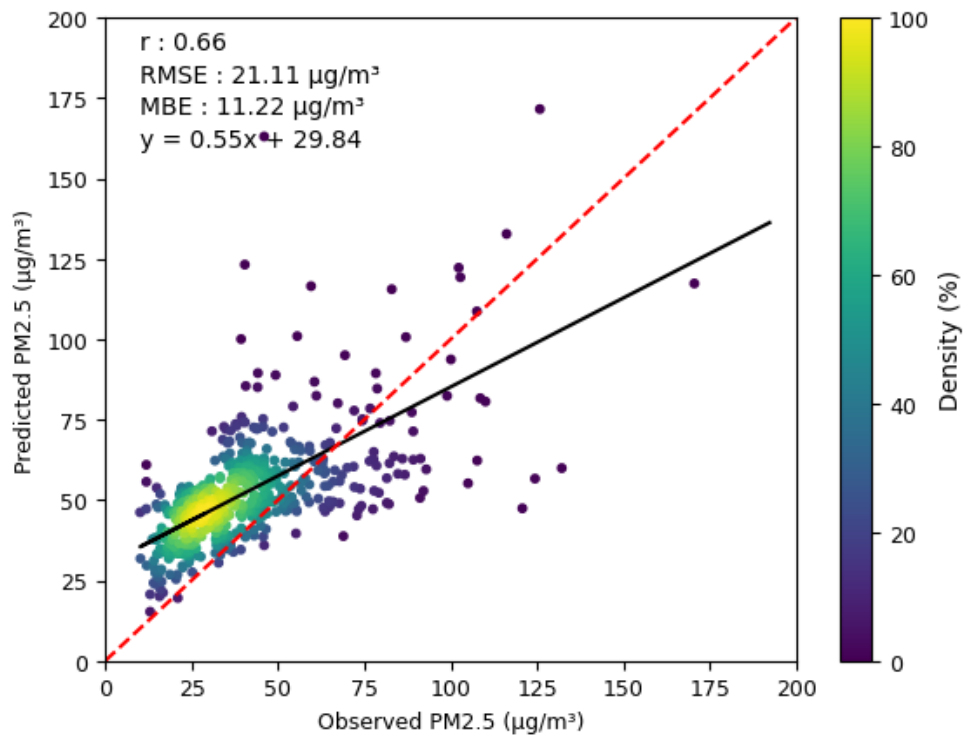
เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.24 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.59 โดยตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.60 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 12.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 73.74 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 11.26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 64.24 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

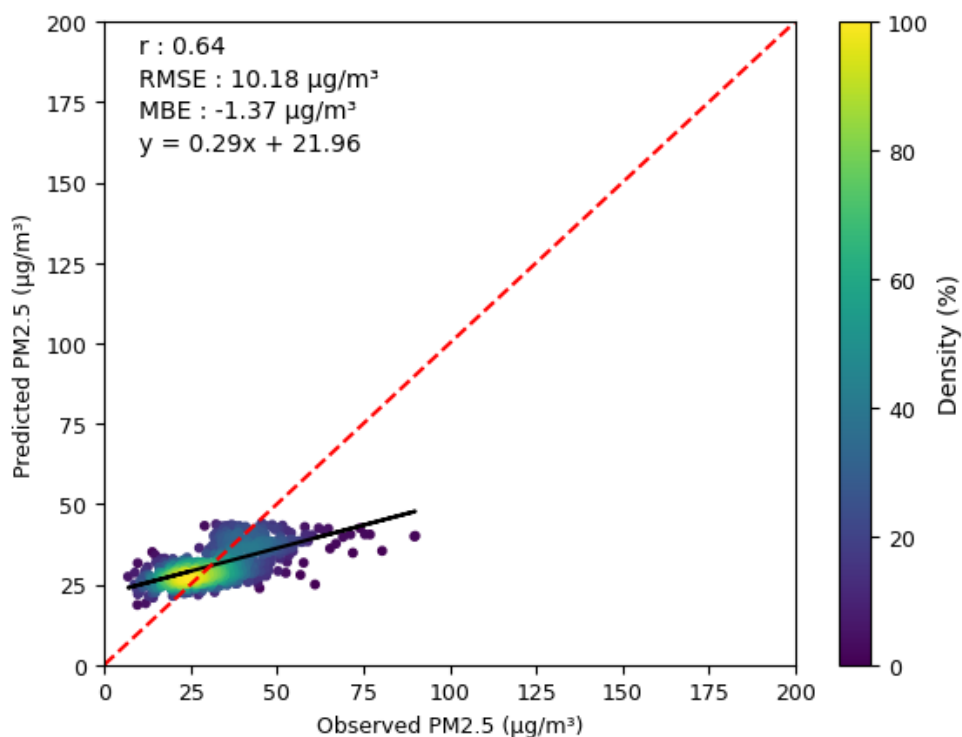
ผลเมื่อเทียบเมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคต่างๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ได้ว่าในภาคเหนือ ค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินมีความสัมพันธ์กันสูงกว่าในภาคอื่นๆ

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.25 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีการประเมินค่าที่ต่ำกว่าค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.55 โดยเมื่อตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.66 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 21.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 50.62 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 11.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 26.90 เปอร์เซ็นต์



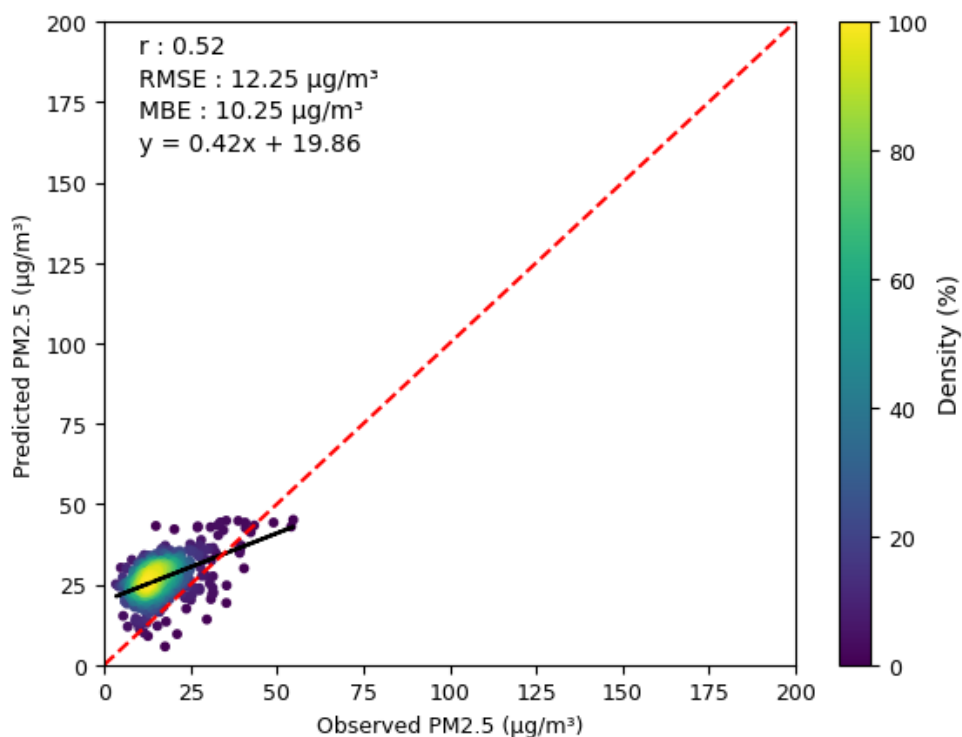
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.26 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีการประเมินค่าที่ต่ำกว่าค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.29 ซึ่งต่ำกว่าในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 โดยเมื่อตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.64 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 10.18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 31.14 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -1.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ -4.20 เปอร์เซ็นต์



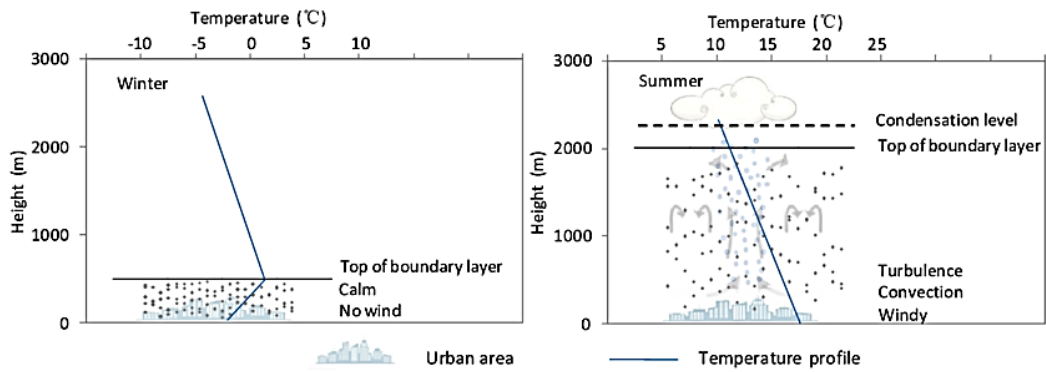
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567

เมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงมิถุนายนถึงตุลาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 ดังรูปที่ 4.27 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีการประเมินค่าที่ต่ำกว่าค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินโดยมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.42 ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 โดยเมื่อตรวจสอบความแม่นยำได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.52 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 12.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 73.79 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 61.71 เปอร์เซ็นต์



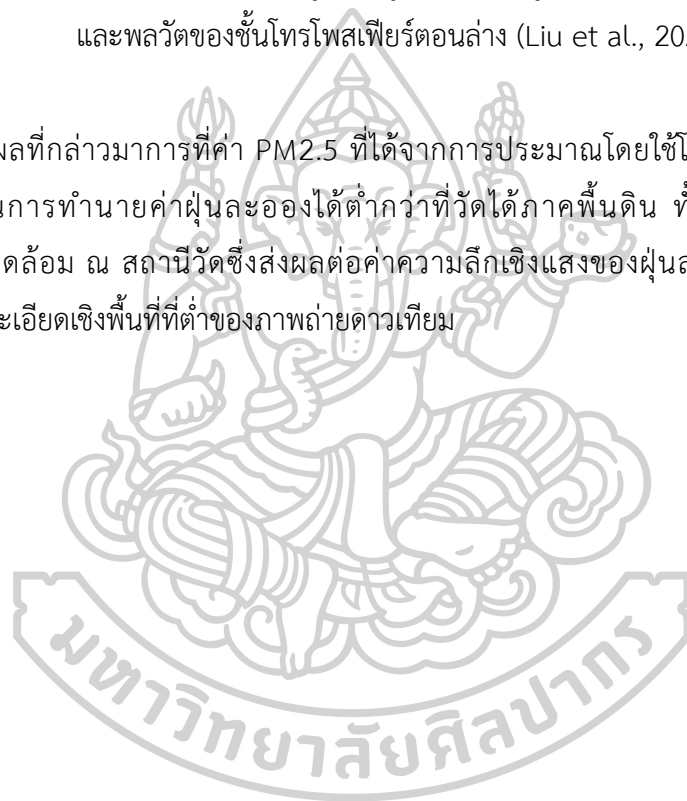
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทย ในช่วงมิถุนายนถึงตุลาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567

ผลเมื่อเทียบค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 ได้ว่าแนวโน้มของค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีการประเมินค่าที่ต่ำกว่าค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณและค่า PM2.5 ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 โดยที่ในช่วงพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์มีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.29 และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -1.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมมีความชันของข้อมูลเท่ากับ 0.55 และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 11.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้สาเหตุเนื่องจากชั้นขอบเขตของชั้นบรรยากาศในฤดูหนาวและฤดูร้อนมีความแตกต่างกันดังรูปที่ 4.23 โดยในฤดูหนาวแม้ปริมาณฝุ่น PM2.5 ในชั้นบรรยากาศจะเท่ากับในฤดูร้อนแต่ความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ที่ภาคพื้นดินในฤดูหนาวจะวัดได้มากกว่าในฤดูร้อนซึ่งทำให้ค่า PM2.5 ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในฤดูหนาวจึงมีแนวโน้มในการทำนายค่าฝุ่นละอองได้ต่ำกว่าในฤดูร้อนดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แผนภาพแสดงลักษณะอุณหภูมิในฤดูหนาวและฤดูร้อน ระดับความลึกของชั้นขอบเขต และพลวัตของชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนล่าง (Liu et al., 2020)

จากผลที่กล่าวมาการที่ค่า $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีแนวโน้มในการทำนายค่าฝุ่นละอองได้ต่ำกว่าที่วัดได้ภาคพื้นดิน ทั้งนี้สาเหตุอาจเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม ณ สถานีวัดซึ่งส่งผลต่อค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ณ ตำแหน่งนั้น รวมถึงความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ต่ำของภาพถ่ายดาวเทียม



บทที่ 5

สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลค่า PM_{2.5} จากกรมควบคุมมลพิษและข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ในระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567 และทำการคัดกรองและคัดแยกข้อมูลด้วยโปรแกรม IDL และโปรแกรมภาษาไพทอน จากนั้นประมวลผลข้อมูลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม Weka3.8 โดยโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 2 โหนดนั้นคือความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ชั้นซ่อน 1 ชั้นประกอบด้วยโหนด 6 โหนด และข้อมูลผลลัพธ์ 1 โหนดนั้นคือค่า PM_{2.5} โดยเมื่อเทียบค่า PM_{2.5} ที่ได้จากการประมาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและค่า PM_{2.5} ที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษในประเทศไทยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 พบว่าการประมาณค่า PM_{2.5} ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องอยู่ในระดับดีโดยมีผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.70 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 15.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในอนาคตผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียมที่มีความละเอียดที่สูงขึ้น รวมถึงการใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม ดัชนีพืชพรรณ และขอบเขตของชั้นบรรยากาศ ในการประมาณค่า PM_{2.5} โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การใช้โปรแกรม IDL

การใช้โปรแกรม IDL

โปรแกรม IDL ใช้ดึงข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากไฟล์ HDF4 จากดาวเทียม MODIS (TERRA และ AQUA) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567 ซึ่งดึงข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมขอบเขตตั้งแต่ค่าละติจูด 4.5 จนถึงค่าละติจูด 21.5 และค่าลองจิจูด 96.5 จนถึงค่าลองจิจูด 106.5 จากนั้นประมาณค่าในช่วงแบบทวีเชิงเส้น

```
pro converttocsvstep
```

```
close,/all
```

```
firstyear = 2011
```

```
lastyear = 2024
```

```
file = dialog_pickfile(PATH='C:\')
```

```
dir = file_dirname(file)
```

```
savefile = dialog_pickfile(PATH='C:\')
```

```
savedir = file_dirname(savefile)
```

```
for iyear=firstyear,lastyear do begin
```

```
FILE_MKDIR,savedir+'\' +strtrim(iyear,2)+'\'
```

```
fload = findfile(dir+'\' + strtrim(string(iyear),2)+
```

```
'\M*D08_D3.A*****.*.*****.hdf');
```

```
MOD08_D3.A2011001.061.2017319234354.hdf D3dailyver
```

```
num = n_elements(fload); count amount of file
```

```
if (num gt 0) then begin ; if have file
```

```
for n=0,num-1 do begin ; loop for all file
```

```
aod = ftarr(360,180)
```

```
thai_aod = ftarr(11,18)
```

```
if (fload(n) ne "") then begin ; check if have file
```

```
getname=str_sep(fload(n),' '); separate fload that with \
```

```
iy=0
```

```
reads,getname(n_elements(getname)-1),iy,format='(10x,i4)'; read filename and year
```

```
year=string(iy,format='(i4)'); convert year to 4 numbers
```

```
ijulian=0
```

```
reads,getname(n_elements(getname)-1),ijulian,format='(10x,4x,i3)'
```

```

convert_julian_todate,ijulian,im,id,iy ;function
month=string(im,format='(i2)') ;convert month to 2 numbers
if (im lt 10) then month=string('0',im,format='(a1,i1)') ;if month less than 10 add 0
before number
day=string(id,format='(i2)') ;convert day to 2 numbers
if (id lt 10) then day=string('0',id,format='(a1,i1)') ;if day less than 10 add 0 before
number
file=fload(n)
if (file ne "") then begin ;if have file then
print,file,iy,im,id
name = str_sep(file,'\')
n_name = n_elements(name)
name = str_sep(name(n_name-1),'08_D3')
read_hdf,file,aod,x,y ;read function
endif

;CROP THAILAND ;long=x-179.5 lat=89.5-y
northern=21.5
southern=4.5
eastern=106.5
western=96.5

;Convert lat,long to array position
y1 = 89.5 - northern
y2 = 89.5 - southern
x1 = 179.5 + western
x2 = 179.5 + eastern
for icon=x1,x2 do begin
for jcon=y1,y2 do begin
if (aod(icon,jcon) eq -9999) then begin
aod(icon,jcon) = "-32768" ;minimum value that idl can hadle = -32768

```

```

endif
thai_aod(icon-x1,jcon-y1) = aod(icon,jcon)
endfor
endif

;EXPAND AOD
expandscale=100 ;2step
EXPAND,thai_aod, (x2-x1)*sqrt(expandscale), (y2-y1)*sqrt(expandscale), expandstep
dim=size(expandstep)
for icon=0,dim(1)-1 do begin
for jcon=0,dim(2)-1 do begin
if (expandstep(icon,jcon) lt 0) then begin
expandstep(icon,jcon) = "-32768" ;minimum value that idl can handle = -32768
endif
endif
endif

EXPAND,expandstep, (x2-x1)*expandscale+1, (y2-y1)*expandscale+1, thai_aod_expand

;save to csv file
openw,1,savedir+'\' + year+'\' + \'THAICSV\' + name(0) + 'step' + year+'_' + month+'_' + day+'.csv'
,

for irow = 0,(y2-y1)*expandscale do begin
csvstr = ""
for icol = 0,(x2-x1)*expandscale do begin
if (icol ne (x2-x1)*expandscale) then begin
csvstr = csvstr+strtrim(string(thai_aod_expand(icol,irow)),2) + ','
endif
if (icol eq (x2-x1)*expandscale) then begin
csvstr = csvstr+strtrim(string(thai_aod_expand(icol,irow)),2)
endif
endif

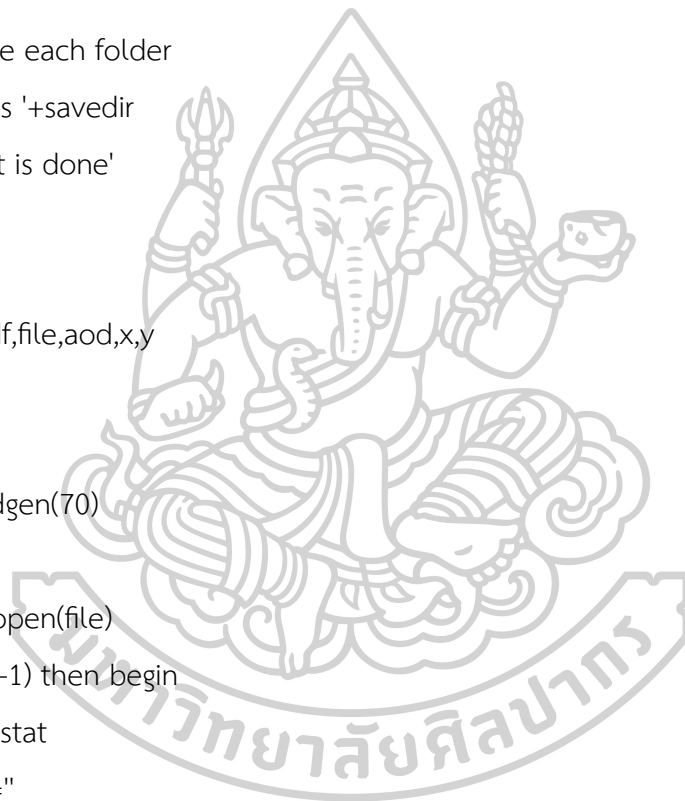
```

```

endfor
printf,1, csvstr
endfor
close,1
wait,0.002
endif
endfor ; time each file
endif
endfor ; time each folder
print,'Save as '+savedir
print,'Project is done'
end

Pro read_hdf,file,aod,x,y
attrpr="
nameattr="
hdfinfo=sindgen(70)
iostat=0
iostat=hdf_open(file)
if (iostat ne -1) then begin
hdf_close,iostat
sds_names="
sd_id=hdf_sd_start(file,/read)
hdf_sd_fileinfo,sd_id,n_datasets,n_attr
;in this data Aerosol_Optical_Depth_Land_Ocean_Mean k=31
id=31
; - Aerosol Optical Depth Land Ocean Mean
sds_id=hdf_sd_select(sd_id,id)
hdf_sd_getinfo,sds_id,name=name,natts=n_attr
hdf_sd_getdata,sds_id,aod
hdf_sd_endaccess,sds_id

```



```
hdf_sd_end,sd_id
```

```
dim=size(aod)
```

```
x=dim(1)
```

```
y=dim(2)
```

```
endif
```

```
End
```

```
pro convert_julian_todate,id,im,iday,iy
```

```
iday=0
```

```
im=0
```

```
if ((iy MOD 4) EQ 0) then begin
```

```
  jstart=[99,01,32,61,92,122,153,183,214,245,275,306,336]; leap year 366 days
```

```
  if (id ge 1) and (id le 31) then im=1
```

```
  if (id ge 32) and (id le 60) then im=2
```

```
  if (id ge 61) and (id le 91) then im=3
```

```
  if (id ge 92) and (id le 121) then im=4
```

```
  if (id ge 122) and (id le 152) then im=5
```

```
  if (id ge 153) and (id le 182) then im=6
```

```
  if (id ge 183) and (id le 213) then im=7
```

```
  if (id ge 214) and (id le 244) then im=8
```

```
  if (id ge 245) and (id le 274) then im=9
```

```
  if (id ge 275) and (id le 305) then im=10
```

```
  if (id ge 306) and (id le 335) then im=11
```

```
  if (id ge 336) and (id le 367) then im=12
```

```
  iday=(id-jstart[im])+1
```

```
endif else if ((iy MOD 4) NE 0) then begin
```

```
  jstart=[99,01,32,60,91,121,152,182,213,244,274,305,335]
```

```
  if (id ge 1) and (id le 31) then im=1
```

```
  if (id ge 32) and (id le 59) then im=2
```

```
  if (id ge 60) and (id le 90) then im=3
```

```
  if (id ge 91) and (id le 120) then im=4
```

```
if (id ge 121) and (id le 151) then im=5
if (id ge 152) and (id le 181) then im=6
if (id ge 182) and (id le 212) then im=7
if (id ge 213) and (id le 243) then im=8
if (id ge 244) and (id le 273) then im=9
if (id ge 274) and (id le 304) then im=10
if (id ge 305) and (id le 334) then im=11
if (id ge 335) and (id le 366) then im=12
iday=(id-jstart[im])+1
endif
end
```





ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรมภาษาไพทอน 1

โปรแกรมภาษาไพทอน 1

โปรแกรมภาษาไพทอนคัดแยกและจัดเรียงข้อมูลจากภาคผนวก ก โดยใช้ตำแหน่งพิกัด ทั้ง 96 สถานีของข้อมูล PM2.5 จากกรมควบคุมมลพิษรายวันทั้ง 96 สถานีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2567

```
import csv
```

```
import os
```

```
def get_index(my_list, value):
```

```
    for i, element in enumerate(my_list):
```

```
        if value in element:
```

```
            return (i)
```

```
    return None
```

```
paradir = "G:\pm25test\parameter.csv"
```

```
pm25dirname = "G:\pm25test\"
```

```
thaiacoddirname = "G:\THAICSVMODISstep\"
```

```
filenamemod = "THAICSVMODstep"
```

```
filenamemyd = "THAICSVMYDstep"
```

```
savedir = "G:\pm25aod\"
```

```
parameter=[]
```

```
parasta=[]
```

```
with open(paradir, mode='r') as parafile:
```

```
    param = csv.reader(parafile)
```

```
    for rows in param:
```

```
        parameter.append(rows)
```

```
    for stations in parameter:
```

```
        if stations[0] != "id":
```

```
            parasta.append(stations[0].strip(" "))
```

```
for year in range(2024,2025):
```

```
    pm25dir = pm25dirname + str(year)+".csv"
```

```

thaiaddir = thaiaddirname + str(year)+"\\"
pm25=[]
pm25head=["Date"]
pm25aod=[]
with open(pm25dir, mode ='r')as pm25file:
pm25dat = csv.reader(pm25file)
for rows in pm25dat:
pm25.append(rows)
aodlistfile=os.listdir(thaiaddirname+ str(year))
for rows in pm25:
if rows[0] == "Date":
for trows in rows:
if trows != "Date":
datpend = trows,trows+"MOD",trows+"MYD"
for datpends in datpend:
pm25head.append(datpends.strip(" "))
pm25aod.append(pm25head)

if rows[0] != "Date":
date = rows[0].split("-")
date = "20" + date[2] + "_" + date[1] + "_" + date[0]
thaimod=[]
thaimyd=[]
mod=myd="N/A"
if (filenamemod+date+".csv") in aodlistfile:
modloco = aodlistfile.index(filenamemod+date+".csv")
with open(thaiaddir+aodlistfile[modloco], mode ='r')as thaiadfile:
thaiadodat = csv.reader(thaiadfile)
for thairow in thaiadodat:
thaimod.append(thairow)
if (filenamemyd+date+".csv") in aodlistfile:

```

```

mydloco = aodlistfile.index(filenameemyd+date+".csv")
with open(thaiaddir+aodlistfile[mydloco], mode ='r')as thiaodfile:
thiaoddat = csv.reader(thiaodfile)
for thairow in thiaoddat:
thaimyd.append(thairow)

pm25content = [date]
count=1
for station in pm25head:
if station in parasta:
staloco = get_index(parameter,station)
lat = float(parameter[staloco][1])
lon = float(parameter[staloco][2])
x = int((lon - 96.50)*100)
y = int((21.50 - lat)*100)
if thaimod == []:
mod = "N/A"
if thaimod != []:
mod = thaimod[y][x]
if float(mod) < 0 :
mod = "N/A"

if thaimyd == []:
myd = "N/A"
if thaimyd != []:
myd = thaimyd[y][x]
if float(myd) < 0 :
myd = "N/A"
if rows[count] == "":
rows[count] = "N/A"
if rows[count] == "n/a":

```

```
rows[count] = "N/A"  
datpend = rows[count],mod,myd  
for datpends in datpend:  
    pm25content.append(datpends)  
count = count + 1  
if not station in parasta:  
    if station.find("MOD") != -1:  
        datpend = "N/A","N/A","N/A"  
        for datpends in datpend:  
            pm25content.append(datpends)  
        count = count + 1  
        pm25aod.append(pm25content)  
with open(savedir + str(year) + "aod.csv", mode='w', newline="") as file:  
    writer = csv.writer(file)  
    writer.writerows(pm25aod)
```





ภาคผนวก ค

การใช้โปรแกรมภาษาไพทอน 2

โปรแกรมภาษาไพทอน 2

โปรแกรมภาษาไพทอนคัดกรองข้อมูลจากภาคผนวก ข โดยมีหลักเกณฑ์คือค่า PM2.5 และค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของดาวเทียม TERRA กับ AQUA ต้องมีอยู่ทั้งสามค่า และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดคือชุดสำหรับการฝึกฝนและชุดสำหรับการทดสอบโดยชุดสำหรับการฝึกฝนเป็นข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2565 และชุดสำหรับการทดสอบเป็นข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567

```
import csv
import os
select = "tests"
if select == "train":
    startyear = 2011
    endyear = 2020
if select == "tests":
    startyear = 2023
    endyear = 2024
def get_index(my_list, value):
    for i, element in enumerate(my_list):
        if value in element:
            return (i, element.index(value))
    return None

paradir = "G:\\pm25test\\parameter.csv"
pm25aoddir = "G:\\pm25aod\\"
savedir = "G:\\\"
stations=[]

with open(paradir, mode ='r')as parafile:
    parameter = csv.reader(parafile)
    for rows in parameter:
        if rows[0] != "id":
            stations.append(rows[0].strip(" "))
```




ภาคผนวก ง
การใช้โปรแกรมภาษาไพทอน 3

โปรแกรมภาษาไพทอน 3

โปรแกรมภาษาไพทอนหาค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลจากภาคผนวก ค เป็นแบบรายเดือน

```
import csv
```

```
import os
```

```
select = "test"
```

```
def find_csv_files(search_path):
```

```
    csv_files = []
```

```
    for root, dirs, files in os.walk(search_path):
```

```
        for file in files:
```

```
            if file.endswith('.csv'):
```

```
                csv_files.append(file)
```

```
    return csv_files
```

```
if select == "train":
```

```
    search_path = "G:\\train\\" #Train
```

```
    save_path = "G:\\"
```

```
if select == "test":
```

```
    search_path = "G:\\test\\" #Test
```

```
    save_path = "G\\"
```

```
csv_files = find_csv_files(search_path)
```

```
if csv_files:
```

```
    station=[]
```

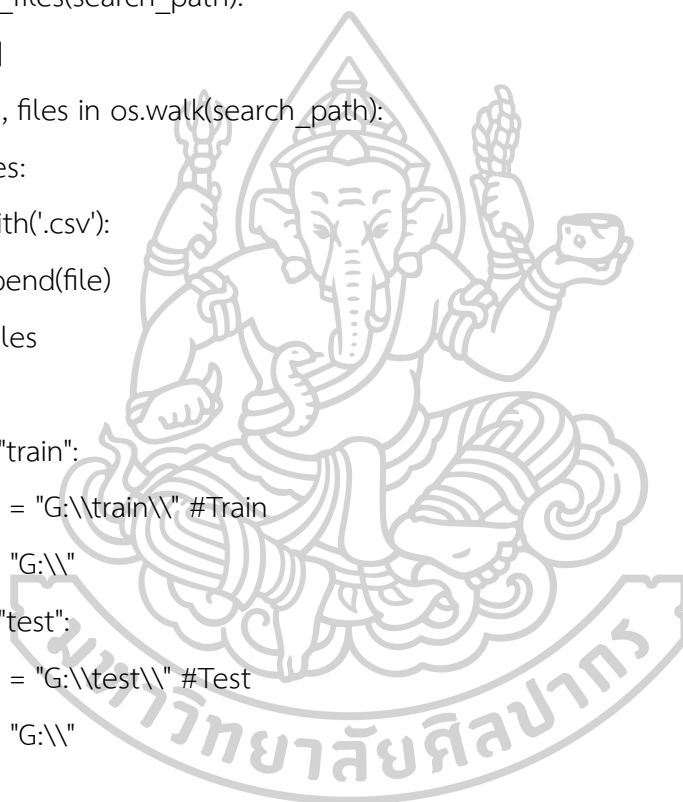
```
    head = 'PM2.5','mod','myd'
```

```
    station.append(head)
```

```
    for file in csv_files:
```

```
        dir_csv_files = os.path.join(search_path, file)
```

```
        print(dir_csv_files)
```



```

month = 0
year = 0
with open(dir_csv_files, mode='r') as csvfiles:
    csvstation = csv.reader(csvfiles)
    for rows in csvstation:
        if rows[0] != "Date":
            date = rows[0].split("_")
            if date[0] != year:
                year = date[0]
                month = date[1]
                sumpm25 = float(rows[1])
                summod = float(rows[2])
                summyd = float(rows[3])
                count = 1
                if date[0] == year:
                    if date[1] == month:
                        sumpm25 = sumpm25 + float(rows[1])
                        summod = summod + float(rows[2])
                        summyd = summyd + float(rows[3])
                        count = count + 1
                    if date[1] != month:
                        avgpm25 = sumpm25/count
                        avgmod = summod/count
                        avgmyd = summyd/count
                        avgmonth = str(round(avgpm25, 4)),str(round(avgmod, 4)),str(round(avgmyd, 4))
                                station.append(avgmonth)
                month = date[1]
                sumpm25 = float(rows[1])
                summod = float(rows[2])
                summyd = float(rows[3])
                count = 1

```

```
avgpm25 = sumpm25/count  
avgmod = summod/count  
avgmyd = summyd/count  
avgmonth = str(round(avgpm25, 4)),str(round(avgmod, 4)),str(round(avgmyd, 4))  
station.append(avgmonth)
```

```
with open(save_path+"allstation"+select+".csv", mode='w', newline=") as file:
```

```
writer = csv.writer(file)
```

```
writer.writerows(station)
```





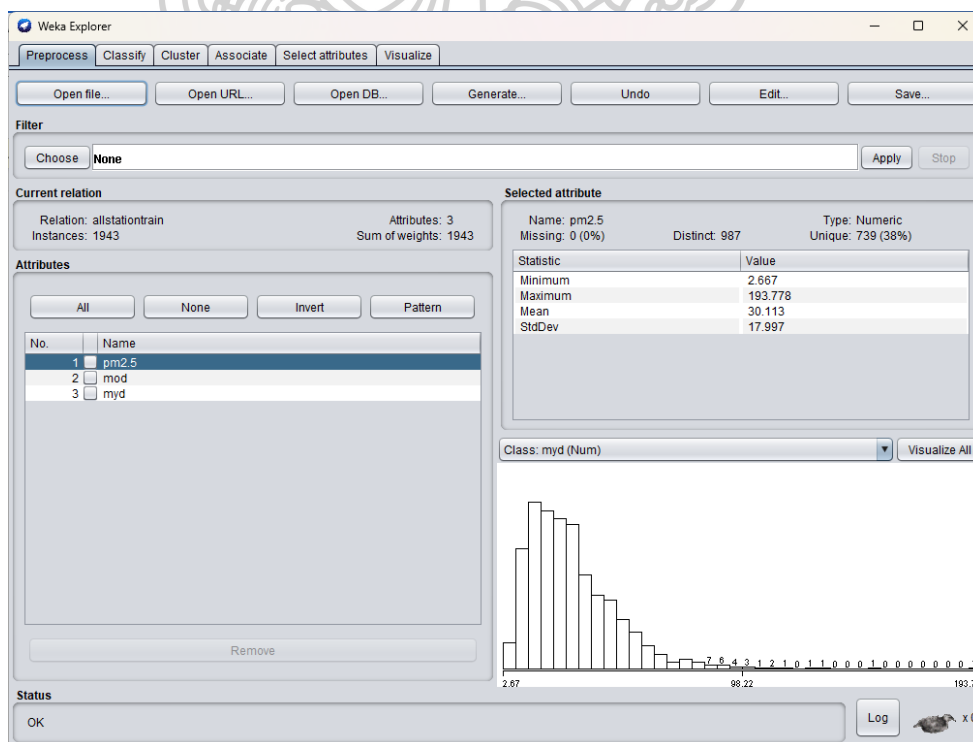
โปรแกรม Weka3.8

โปรแกรม Weka3.8 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยโปรแกรม Weka3.8 มีลักษณะดังรูปที่ 1



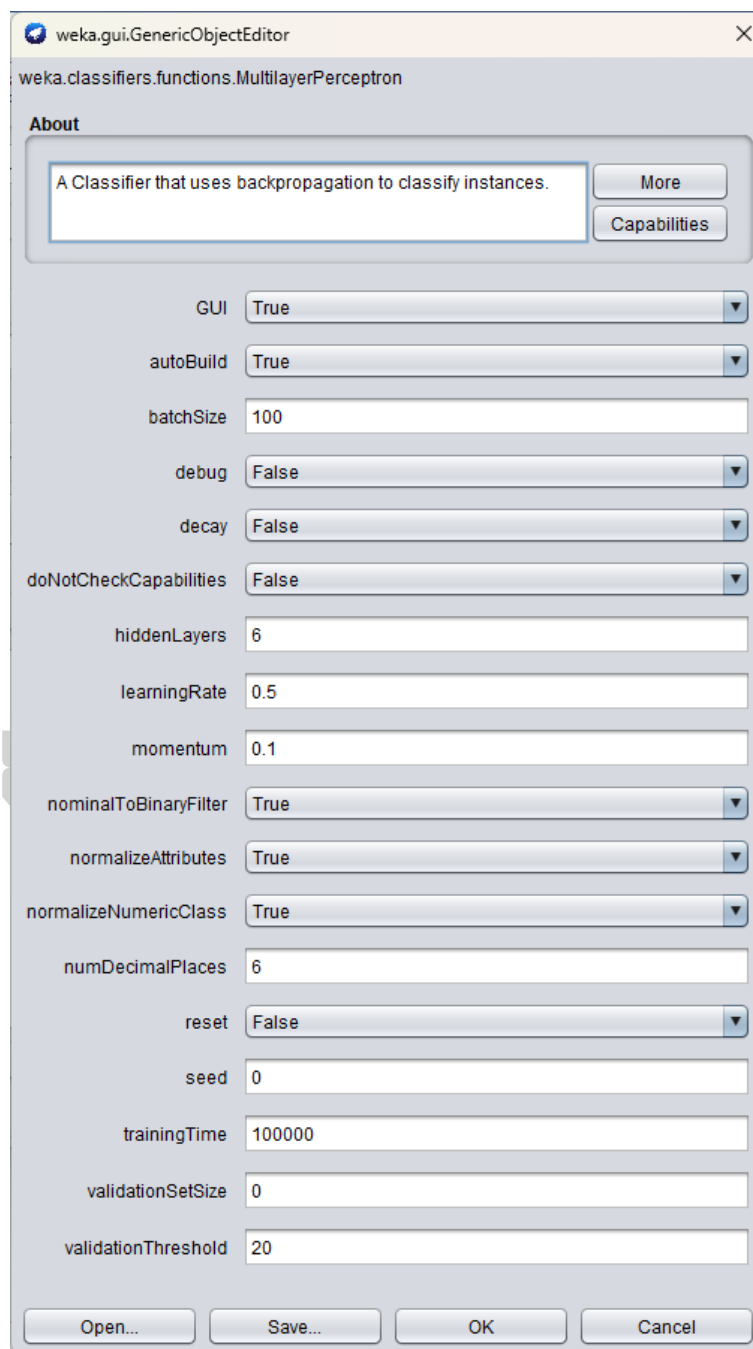
รูปที่ 1 โปรแกรม Weka3.8

เมื่อเปิดเข้าโปรแกรม Weka3.8 หัวข้อ Explorer สามารถเปิดไฟล์ข้อมูล csv จากหัวข้อ Open file จะได้ลักษณะของชุดข้อมูลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝน

เมื่อเปิดหัวข้อ Classify เลือก Choose ในช่อง Classifier จะได้ดังรูปที่ 3 โดยในงานวิจัยนี้มีการกำหนดตัวแปรสำหรับการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมคือ hiddenLayers ตั้งแต่ 1 ถึง 9 learningRate เท่ากับ 0.5 momentum เท่ากับ 0.1 numDecimalPlaces เท่ากับ 6 และ trainingTime เท่ากับ 100,000



รูปที่ 3 ค่าตัวแปรของชุดฝึกฝน

รายการอ้างอิง

- Amnuaylojaroen, T. (2022). Prediction of PM2.5 in an urban area of northern Thailand using multivariate linear regression model. *Advances in Meteorology*, 2022(1), 3190484.
- Basith, S., Manavalan, B., Shin, T. H., Park, C. B., Lee, W.-S., Kim, J., & Lee, G. (2022). The impact of fine particulate matter 2.5 on the cardiovascular system: a review of the invisible killer. *Nanomaterials*, 12(15).
- Buya, S., Usanavasin, S., Gokon, H., & Karnjana, J. (2023). An estimation of daily PM2.5 concentration in Thailand using satellite data at 1-kilometer resolution. *Sustainability*, 15(13).
- Farrow, A., Anhauser, A., & เหมือนอบ, อ. (2020). ภาวะชีวิตจากมลพิษทางอากาศของประเทศไทย ปี 2564.
- Fu, T., Zhang, J., Sun, R., Huang, Y., Xu, W., Yang, S., Zhu, Z., & Chen, H. (2024). Optical neural networks: progress and challenges. *Light: Science & Applications*, 13(1), 263.
- Hua, Z., Sun, W., Yang, G., & Du, Q. (2019). A full-coverage daily average PM2.5 retrieval method with two-stage IVW fused MODIS c6 AOD and two-stage GAM model. *Remote Sensing*, 11(13).
- Li, Y., Xu, J., Liu, C., Zhu, C., & Li, Y. (2025). Chain-effect of commuting pattern choice under different PM2.5 inhalation information publication degrees. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 139, 104560.
- Liu, Y., Ren, G., & Zhou, H. (2020). New evidence for significant effect of air temperature on COVID-19 transmission.
- Lyu, H., Dai, T., Zheng, Y., Shi, G., & Nakajima, T. (2018). Estimation of PM2.5 concentrations over Beijing with MODIS AODs using an artificial neural network. *SOLA*, 14, 14-18.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review [Review]. *Frontiers in Public Health*, Volume 8 - 2020.

- Nakano, T., & Otsuki, T. (2013). Environmental air pollutants and the risk of cancer. *Gan to kagaku ryoho. Cancer & chemotherapy*, 40(11), 1441-1445.
- Nguyen, N., Nguyen, H., Le, T., & Vu, C. (2021). Evaluating low-cost commercially available sensors for air quality monitoring and application of sensor calibration methods for improving accuracy. *Open Journal of Air Pollution*, 10, 1-17.
- Ni, X., Cao, C., Zhou, Y., Cui, X., & P. Singh, R. (2018). Spatio-temporal pattern estimation of PM_{2.5} in Beijing-Tianjin-Hebei region based on MODIS AOD and meteorological data using the back propagation neural network. *Atmosphere*, 9(3).
- Quilliec, E., Fundere, A., Al-u'datt, D., & Hiram, R. (2023). Pollutants, including organophosphorus and organochloride pesticides, may increase the risk of cardiac remodeling and atrial fibrillation: a narrative review. *Biomedicines*, 11, 2427.
- Shukla, K., & Aggarwal, S. G. (2022). Particulate matter measurement techniques. In D. K. Aswal, S. Yadav, T. Takatsuji, P. Rachakonda, & H. Kumar (Eds.), *Handbook of Metrology and Applications* (pp. 1-29). Springer Nature Singapore.
- Sukcharoen, W., Tangaromsuk, P., Sontatchara, M., Waithayakul, K., Savedkairop, C., Pooongpet, J., Kengkoom, R., Bhubhanil, S., & Lapmanee, S. (2020). The study on Thailand's particulate matter 2.5 (PM 2.5) management in accordance with the world health organization (WHO) guidelines. *Vajira Medical Journal : Journal of Urban Medicine*, 64(5), 345-356.
- Wang, X., Sun, W., Zheng, K., Ren, X., & Han, P. (2020). Estimating hourly PM_{2.5} concentrations using MODIS 3 km AOD and an improved spatiotemporal model over Beijing-Tianjin-Hebei, China. *Atmospheric Environment*, 222, 117089.
- Whitby, K., & Cantrell, B. (1976). Atmospheric aerosols characteristics and measurement. international conference on environmental sensing and assessment, Las Vegas, Nev,
- Xing, Y.-F., Xu, Y.-H., Shi, M.-H., & Lian, Y.-X. (2016). The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, 8(1), E69-E74.
- Xiong, H.-B., Chen, J., Ma, X., & Fang, M.-Y. (2021). Estimating the PM_{2.5} concentration

over Anhui Province, China, using the Himawari-8 AOD and a GAM/BME model. *Atmospheric Pollution Research*, 12(7), 101110.

Yao, L., Lu, N., & Jiang, S. (2012). *Artificial neural network (ANN) for multi-source PM2.5 estimation using surface, MODIS, and meteorological Data.*

ประกอบผล, ธ. (2552). โครงข่ายประสาทเทียม. วารสาร มฉก.วิชาการ 12, 24, 73-87.

ศรแก้วดารา, ร. (2019). มาตรฐานวัดค่ามาตรฐาน PM2.5 และข้อเสนอแนะสำหรับมาตรการด้านฝุ่น PM2.5 ในประเทศไทย. *Thammasat Journal*, 38(3), 148-159.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	คันธพจน์ ศักดิ์ศรีสกุล
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม พ.ศ. 2563 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
รางวัลที่ได้รับ	ได้รับรางวัล Very Good Oral Presentation ในการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 16 วันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

