

การเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในเขต
กรุงเทพมหานคร และเทศบาลนครนครราชสีมา
โดยใช้แบบจำลองความถดถอยร่วมกับสถานีตรวจวัดชั่วคราว

นายเฉลิมพล จิงตระกูลวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-533-608-4

**ENHANCING ABILITY TO MONITOR PM₁₀ LEVELS IN
BANGKOK AND NAKHON RATCHASIMA MUNICIPALITY
AREAS USING REGRESSION MODELS WITH
TEMPORARY MONITORING STATIONS**

Chalermpon Chungtragunwong

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Suranaree University of Technology**

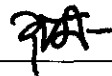
Academic Year 2006

ISBN 974-533-608-4

การเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ PM₁₀ ในเขตกรุงเทพมหานคร
และเทศบาลนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลองความถดถอยร่วมกับ
สถานีตรวจวัดชั่วคราว

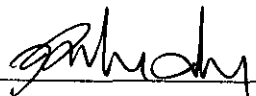
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



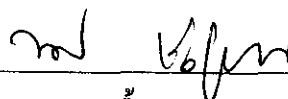
(อ. ดร. วุฒิ ด้านกิตติกุล)

ประธานกรรมการ



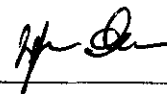
(ผศ. ดร. สุตจิต ครุจิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



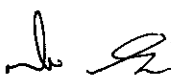
(ผศ. ดร. นเรศ เชื้อสุวรรณ)

กรรมการ



(อ. ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร)

กรรมการ



(รศ. ดร. เสาวณีษ์ รัตนพานี)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ ชำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เฉลิมพล จึงตระกูลวงศ์ : การเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ PM₁₀ ใน
เขตกรุงเทพมหานคร และเทศบาลนครนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลองความถดถอย
ร่วมกับสถานีตรวจวัดชั่วคราว (ENHANCING ABILITY TO MONITOR PM₁₀
LEVELS IN BANGKOK AND NAKHON RATCHASIMA MUNICIPALITY
AREAS USING REGRESSION MODELS WITH TEMPORARY
MONITORING STATIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุรุจิต,
172 หน้า. ISBN: 974-533-608-4

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับตัวแปรมลพิษทางอากาศ
อื่น ๆ และกับตัวแปรอุณหภูมิตามฤดูกาล และพัฒนาแบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนายระดับ PM₁₀
ณ บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรและแบบชั่วคราวในเขตกรุงเทพฯ และ
เทศบาลนครนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลจากสถานีถาวรของกรมควบคุมมลพิษ 7 สถานี ในช่วงปี
พ.ศ.2543-2548 และเก็บข้อมูล PM₁₀ ณ สถานีชั่วคราวของการศึกษา 2 สถานี ในเขตเทศบาลนคร
นครราชสีมา

ผลการศึกษาพบว่า ณ สถานีเดียวกัน PM₁₀ มีความสัมพันธ์สูงที่สุดในทิศทางเดียวกันกับ
NO₂ และในทิศทางตรงข้ามกับความชื้นสัมพัทธ์ และพบว่า PM₁₀ ณ สถานีตรวจวัดต่าง ๆ มี
ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($R = 0.630-0.917$) โดยระยะห่างระหว่างคู่สถานีที่เพิ่มขึ้นมีผลให้
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM₁₀ ระหว่างคู่สถานีตรวจวัดมีแนวโน้มลดลง ($R = -0.879$) ส่วน
แบบจำลองสำหรับทำนาย PM₁₀ กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน มีค่า Adjusted
R² อยู่ในช่วง 0.236-0.765 โดยตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลสูงในแบบจำลองคือ ตัวแปร NO₂ ส่วน
แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานีสำหรับทำนาย PM₁₀ ในเขตกรุงเทพฯ
มีค่า Adjusted R² อยู่ในช่วง 0.815-0.967 และในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่า Adjusted R² อยู่
ในช่วง 0.419-0.748 โดยตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลสูงในแบบจำลองคือ ตัวแปร PM₁₀ จากต่างสถานี
นอกจากนี้ พบว่าส่วนใหญ่แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลจากช่วงฤดูหนาวทำนายได้ดีกว่าช่วงฤดูอื่น ๆ
แบบจำลองที่ได้ทำให้สามารถเพิ่มจุดในการติดตามตรวจสอบระดับ PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษาได้ และ
แนวทางการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์สำหรับเมืองอื่น ๆ ของประเทศไทยได้

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

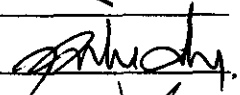
ปีการศึกษา 2549

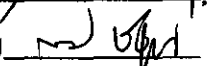
ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม







CHALERMPON CHUNGTRAGUNWONG : ENHANCING ABILITY TO
MONITOR PM₁₀ LEVELS IN BANGKOK AND NAKHON RATCHASIMA
MUNICIPALITY AREAS USING REGRESSION MODELS WITH
TEMPORARY MONITORING STATIONS. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. SUDJIT KARUCHIT, Ph.D. 172 PP. ISBN 974-533-608-4

PM₁₀ / CORRELATION / PREDICTION / MONITORING STATION /
REGRESSION MODEL

The objective of this research is to study the relationship between PM₁₀ and other air pollutant concentration and meteorological variables, and to develop regression models for predicting PM₁₀ concentrations at fixed and temporary monitoring stations in Bangkok and Nakhon Ratchasima Municipality areas. This study used sampling data from seven monitoring stations of the Pollution Control Department over the period of 2000-2005, and from PM₁₀ sampling at two temporary monitoring stations of this study in Nakhon Ratchasima Municipality area.

The results show that PM₁₀ were highly correlated with NO₂ and inversely correlated with relative humidity. Furthermore, PM₁₀ between each stations were highly correlated ($R = 0.630-0.917$), and the correlation between the distance of each stations and the coefficient of correlation of PM₁₀ between stations were inversely correlated ($R = -0.879$). In the case of dependent variables and independent variables within the same station, the models predict PM₁₀ with Adjusted R² in the range of 0.236-0.765, and NO₂ is the most influential independent variable. In the case of dependent variables and independent variables from different stations, the

Adjusted R^2 in Bangkok are in the range of 0.815-0.967 and in Nakhon Ratchasima Municipality are in the range of 0.419-0.748. It shows that PM_{10} from different stations can strongly help the models' prediction. Most regression models which use data from winter season perform better than other models. The developed models help increasing PM_{10} monitoring sites in the study area, and the process of model development and analysis of this study can be applied to other cities.

School of Environmental Engineering

Academic Year 2006

Student's Signature Chalermpon C.

Advisor's Signature [Signature]

Co-Advisor's Signature [Signature]

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต ทรุจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.วุฒิ ค่านกิตติกุล และ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศาสน์ สุขประเสริฐ รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 สำนักงานอุตุนิยมหาวิทยาลัยราชสีห์มา โรงเรียนเมืองนครราชสีมา โรงเรียนอุบลรัตน์ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลเครื่องมือ และสถานที่สำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรและเพื่อนบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่าน ขอขอบคุณ คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการจัดทำวิทยานิพนธ์ และที่สำคัญ ดร.ณัฐญา ดิยัง สำหรับความห่วงใยและกำลังใจที่มอบให้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา นายห้างเชียง จึงตระกูลวงศ์ มารดา นางมาลี แซ่อึ้ง และครอบครัวจึงตระกูลวงศ์ ที่ให้การเลี้ยงดู อบรม และส่งเสริมการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถ และพุทธธรรมในการดำเนินชีวิตตลอดมา

เฉลิมพล จึงตระกูลวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 อากาศและมลพิษทางอากาศ.....	5
2.1.1 คุณสมบัติของอากาศ.....	5
2.1.2 มลพิษทางอากาศ	6
2.1.3 ฝุ่นละออง.....	7
2.2 อุตุนิยมวิทยา.....	8
2.3 การตรวจวัดคุณภาพอากาศของประเทศไทย	12
2.3.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย.....	12
2.3.2 การตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ	12
2.3.3 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	15
2.3.4 สถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายระดับมลพิษทางอากาศ	17
2.4.1	กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	17
2.4.2	การวิเคราะห์ความถดถอย.....	19
2.4.3	การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง.....	21
2.4.4	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	21
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.5.1	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับตัวแปรมลพิษทางอากาศ.....	21
2.5.2	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับตัวแปรอุณหภูมิ.....	22
2.5.3	การศึกษาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} จากการวิเคราะห์ความถดถอย	23
2.5.4	สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	25
3.1	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษา	26
3.1.1	พื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ	26
3.1.2	พื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา	27
3.2	การรวบรวมข้อมูลและเก็บตัวอย่าง	29
3.2.1	ข้อมูลปฐมภูมิ	29
3.2.2	ข้อมูลทุติยภูมิ	31
3.2.3	การกำหนดตัวแปร	31
3.3	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	36
3.3.1	การวิเคราะห์สถิติพรรณนา.....	36
3.3.2	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	37
3.4	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	37
3.5	การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน	38
3.6	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	38
3.7	การสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10}	39
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล	41
4.1	ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา.....	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1	สถิติพรรณนาของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในพื้นที่กรุงเทพฯ.....	41
4.1.1.1	ข้อมูลมลพิษทางอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ.....	41
4.1.1.2	ข้อมูลอุณหภูมิตามสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ.....	44
4.1.2	สถิติพรรณนาของข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา.....	48
4.1.2.1	ข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา.....	48
4.1.2.2	ข้อมูลอุณหภูมิตามสถานีนครราชสีมา.....	50
4.1.3	สถิติพรรณนาของข้อมูล PM ₁₀ จากการตรวจวัด ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา.....	52
4.1.4	สรุปผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา.....	57
4.2	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	57
4.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับข้อมูลมลพิษทางอากาศ ณ สถานีเดียวกัน.....	57
4.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับข้อมูลอุณหภูมิตามสถานีเดียวกัน.....	59
4.2.3	ความสัมพันธ์ของ PM ₁₀ ระหว่างสถานีตรวจวัด.....	62
4.2.4	ความสัมพันธ์ของ PM ₁₀ กับข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุณหภูมิตาม ระหว่างสถานีตรวจวัด.....	67
4.2.5	สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	70
4.3	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM ₁₀	71
4.3.1	ตัวอย่างการสร้างและคัดเลือกแบบจำลอง.....	71
4.3.2	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน.....	73
4.3.3	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี.....	80
4.3.3.1	สถานีตัวแปรอิสระทำนายที่เหมาะสม.....	80
4.3.3.2	การเปรียบเทียบค่า Adjusted R ² ของแบบจำลอง.....	84
4.3.3.3	อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลอง.....	90
4.3.4	แบบจำลองกรณีใช้ตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว.....	95
4.3.4.1	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน.....	95

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.4.2 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีต่างสถานี	97
4.3.5 สรุปการศึกษาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10}	100
4.4 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการเฝ้าระวัง PM_{10} ในเขตเมือง	101
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	106
5.1 สรุปผลการศึกษา	106
5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศ และระหว่างสถานี	106
5.1.2 แบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10}	107
5.1.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการเฝ้าระวัง PM_{10}	108
5.2 ข้อเสนอแนะ	109
รายการอ้างอิง	111
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา	114
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์	127
ภาคผนวก ค แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน	140
ภาคผนวก ง แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากต่างสถานี	147
ภาคผนวก จ แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน	156
ภาคผนวก ฉ แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากต่างสถานี	163
ประวัติผู้เขียน	172

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบของอากาศบริสุทธิ์แห่ง5
2.2	มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย12
3.1	ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ27
3.2	ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา29
3.3	แผนการเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว30
3.4	ตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้ในการศึกษา32
3.5	ตัวแปรหุ่นที่ใช้ในการศึกษา35
4.1	สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ42
4.2	สถิติพรรณนาของข้อมูลอนุภาคมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพฯ45
4.3	สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา ปี พ.ศ.2543-254848
4.4	สถิติพรรณนาของข้อมูลอนุภาคมวิทยาจากสถานีนครราชสีมา ปี พ.ศ.2543-254850
4.5	สถิติพรรณนาของข้อมูล PM ₁₀ ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา55
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับ CO NO ₂ SO ₂ และ O ₃ ในพื้นที่กรุงเทพฯ58
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับ CO NO ₂ SO ₂ และ O ₃ ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา...58
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับตัวแปรอนุภาคมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพฯ60
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับตัวแปรอนุภาคมวิทยาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา.....60
4.10	ความสัมพันธ์ของ PM ₁₀ ระหว่างสถานีตรวจวัดในพื้นที่กรุงเทพฯ63
4.11	ความสัมพันธ์ของ PM ₁₀ ระหว่างสถานีตรวจวัดในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา ...63
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับ CO NO ₂ SO ₂ และ O ₃ ระหว่างสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ67
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับตัวแปรอนุภาคมวิทยาระหว่างสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ69
4.14	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีนครราชสีมา72
4.15	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน74
4.16	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี81
4.17	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18	แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี.....98
ข1	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพฯ.....128
ข2	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร CO ในพื้นที่กรุงเทพฯ128
ข3	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร NO_2 ในพื้นที่กรุงเทพฯ129
ข4	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร O_3 ในพื้นที่กรุงเทพฯ129
ข5	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร SO_2 ในพื้นที่กรุงเทพฯ130
ข6	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิในพื้นที่กรุงเทพฯ.....130
ข7	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความกดอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ131
ข8	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่กรุงเทพฯ131
ข9	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณรังสีสุทธิในพื้นที่กรุงเทพฯ132
ข10	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่กรุงเทพฯ.....132
ข11	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วลมในพื้นที่กรุงเทพฯ133
ข12	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรวันที่มีฝนตกในพื้นที่กรุงเทพฯ133
ข13	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร CO ในพื้นที่กรุงเทพฯ134
ข14	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร NO_2 ในพื้นที่กรุงเทพฯ134
ข15	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร SO_2 ในพื้นที่กรุงเทพฯ.....135
ข16	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร O_3 ในพื้นที่กรุงเทพฯ135
ข17	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรอุณหภูมิในพื้นที่กรุงเทพฯ136
ข18	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรความกดอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ....136
ข19	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ ในพื้นที่กรุงเทพฯ137
ข20	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรปริมาณรังสีสุทธิ ในพื้นที่กรุงเทพฯ137
ข21	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ในพื้นที่กรุงเทพฯ138
ข22	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรความเร็วลมในพื้นที่กรุงเทพฯ.....138
ข23	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรวันที่มีฝนตกในพื้นที่กรุงเทพฯ.....139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น141
ค2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีห้วยขวาง142
ค3	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนนทบุรี143
ค4	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีสิงหราช144
ค5	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์145
ค6	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนครราชสีมา146
ง1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีรามคำแหง148
ง2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น149
ง3	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีห้วยขวาง150
ง4	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนนทบุรี151
ง5	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีสิงหราช152
ง6	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์153
ง7	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว โรงเรียนเมืองนครราชสีมา154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์	155
จ1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีคลองจั่น	157
จ2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง	158
จ3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีนนทบุรี	159
จ4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีสิงหราช	160
จ5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์	161
จ6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว จากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีนครราชสีมา	162
ฉ1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีรามคำแหง	164
ฉ2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีคลองจั่น	165
ฉ3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง	166
ฉ4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีนนทบุรี	167
ฉ5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีสิงหราช	168
ฉ6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM ₁₀ ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์	169

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฉ7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมืองนครราชสีมา.....	170
ฉ8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์.....	171

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ6
2.2	ประเภทและช่วงขนาดของฝุ่นละออง.....7
2.3	ทิศทางของลมมรสุมที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทย9
2.4	ที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ14
2.5	เครื่องเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ แบบปริมาตรสูง.....15
2.6	ร้อยละของการตรวจวัด PM ₁₀ ที่พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา16
2.7	กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....18
3.1	ขั้นตอนของการศึกษา25
3.2	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ.....26
3.3	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครราชสีมา28
3.4	สถานีตรวจวัดชั่วคราว30
3.5	จุดที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและจุดสมมุติในพื้นที่กรุงเทพฯ39
4.1	ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมลพิษทางอากาศรวมทุกสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ.....43
4.2	ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอนุกรมวิธานรวมทุกสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ.....47
4.3	ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา.....49
4.4	ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอนุกรมวิธานจากสถานีนครราชสีมา.....51
4.5	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูฝนในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา53
4.6	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูหนาวในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา...54
4.7	ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล PM ₁₀ ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา.....56
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับ CO NO ₂ SO ₂ และ O ₃ ณ สถานีเดียวกัน.....59
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM ₁₀ กับตัวแปรอนุกรมวิธาน ณ สถานีเดียวกัน62
4.10	ระยะห่างระหว่างคู่สถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM ₁₀ ระหว่างคู่สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยพิจารณาทุกคู่สถานี64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ระยะห่างระหว่างคู่สถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยไม่มีคู่ตัวแปร PM_{10} จากสถานีห้วยขวาง	65
4.12 ระยะห่างระหว่างคู่สถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานี ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	66
4.13 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ จากสถานีเดียวกัน	76
4.14 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ จากสถานีเดียวกัน	77
4.15 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีรามคำแหง	85
4.16 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น	86
4.17 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีห้วยขวาง	86
4.18 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนนทบุรี	87
4.19 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีสิงหราช	87
4.20 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์	88
4.21 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา	88
4.22 ระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายกับค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลอง ในพื้นที่กรุงเทพฯ	89
4.23 ระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายกับค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลอง ในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยไม่มีแบบจำลองจากข้อมูลสถานีห้วยขวาง	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ จากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพฯ.....	91
4.25 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ จากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา.....	94
4.26 แผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ค่าเฉลี่ย 1 ปี ในพื้นที่กรุงเทพฯ.....	104
4.27 แผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ค่าเฉลี่ยแยกตามฤดูกาลในพื้นที่กรุงเทพฯ.....	105
ก1 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล PM_{10}	115
ก2 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล CO.....	116
ก3 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล NO_2	117
ก4 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล SO_2	118
ก5 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล O_3	119
ก6 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอุณหภูมิ.....	120
ก7 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความกดอากาศ.....	121
ก8 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์.....	122
ก9 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลปริมาณรังสีสุทธิ.....	123
ก10 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์.....	124
ก11 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความเร็วลม.....	125
ก12 ข้อมูลจำนวนวันที่มีฝนตก.....	126

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

β	=	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน
ε	=	ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม
Adjusted R ²	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้
BK	=	กรุงเทพมหานคร
CO	=	คาร์บอนมอนอกไซด์
COV	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
GR	=	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์
H ₀	=	สมมติฐานว่าง
H ₁	=	สมมติฐานแย้ง
MSPR	=	mean squared prediction error
MST	=	สถานีตรวจวัดชั่วคราว โรงเรียนเมืองนครราชสีมา
N	=	จำนวนตัวอย่าง
NO _x	=	ออกไซด์ของไนโตรเจน
NO ₂	=	ไนโตรเจนไดออกไซด์
NO	=	ไนโตรเจนออกไซด์
NR	=	ปริมาณรังสีสุทธิ
O ₃	=	โอโซน
P	=	ความกดอากาศ
PM ₁₀	=	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
PM _{2.5}	=	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
R	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
R ²	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
RA	=	วันที่มีฝนตก
RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์
RMSE	=	root mean squared error
SO ₂	=	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
S.D.	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SSR	=	sum square of regression
SSE	=	sum square of error
SST	=	sum square of total
T	=	อุณหภูมิ
U.S. EPA	=	United States Environmental Protection Agency
UST	=	สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์
V	=	ปริมาตรอากาศ
VOC	=	สารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compound)
W	=	น้ำหนักกระดาศกรอง
WS	=	ความเร็วลม
x	=	ตัวแปรอิสระ
y	=	ตัวแปรตาม
09T	=	สถานีรามคำแหง
10T	=	สถานีคลองจั่น
11T	=	สถานีห้วยขวาง
12T	=	สถานีนนทบุรี
15T	=	สถานีสิงหราช
47T	=	สถานีนครราชสีมา
59T	=	สถานีกรมประชาสัมพันธ์
มค.ก.	=	ไมโครกรัม
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศในประเทศไทยของกรมควบคุมมลพิษ (2549) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 ถึงปัจจุบัน ชี้ว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นสารมลพิษอากาศในเขตเมืองที่เป็นปัญหาสำคัญที่สุด เนื่องจากมีผลการตรวจวัดรายวันในรอบหนึ่งปีพบเกินระดับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศบ่อยครั้งกว่าสารมลพิษอากาศชนิดอื่น ๆ และเป็นที่น่าทึ่งว่า PM_{10} มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากขนาดที่เล็กมากทำให้สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ลึกกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ และก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ อาทิ ก่อให้เกิดการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ หลอดลมอักเสบ หอบหืด ถุงลมโป่งพอง เป็นต้น จากการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ (นันทวรรณ วิจิตรวาทการ และคณะ, 2547) ชี้ว่าการที่ระดับ PM_{10} ในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นมีผลสัมพันธ์กับจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวันเพิ่มขึ้น ซึ่งหากสามารถลดระดับ PM_{10} ในเขตเมือง นอกจากจะลดอัตราการเสียชีวิตเนื่องจากโรคทางเดินหายใจแล้ว ยังจะก่อให้เกิดผลประโยชน์ทางสุขภาพ ดังนั้น การจัดการคุณภาพอากาศในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการลดระดับ PM_{10} ในเขตเมืองจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ปัจจุบันการจัดการคุณภาพอากาศในเขตเมืองใหญ่ของประเทศไทย ยังขาดระบบการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ที่สำคัญในเขตเมือง และขาดการตรวจวัดระดับมลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่องและนานเพียงพอที่จะเห็นแนวโน้มของระดับมลพิษทางอากาศ อาทิ เทศบาลนครนครราชสีมา แม้จะเป็นเมืองใหญ่ที่มีประชากรหนาแน่นมากกว่า 4,597 คนต่อตารางกิโลเมตร (เทศบาลนครราชสีมา, 2549) แต่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรเพียง 1 สถานี ทั้งนี้เนื่องจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรมีข้อจำกัดในด้านค่าลงทุนและดำเนินการสูง ดังนั้นสำหรับพื้นที่อื่น ๆ ในเขตเมือง หน่วยงานภาครัฐจึงใช้วิธีตรวจวัดแบบตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว แต่ก็ยังถูกจำกัดด้วยปัญหาของเครื่องมือ งบประมาณ บุคลากรจำกัด ทำให้ภาพรวมของการดำเนินการเป็นแบบสุ่มตรวจ คือ ไม่มีจุดตั้งสถานีตรวจวัดที่แน่นอนและไม่ต่อเนื่อง

จากปัญหาและข้อจำกัดดังกล่าว การใช้วิธีการทำนายระดับมลพิษทางอากาศในเขตเมือง โดยเฉพาะระดับ PM_{10} ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดข้อจำกัดของการตรวจวัดจริงและเพิ่มความสามารถในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยข้อมูลจากการทำนายสามารถใช้ในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศ อาทิ การตัดสินใจในการดำเนินการ

โครงการหรือกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อลดระดับของมลพิษทางอากาศในเขตเมือง

การศึกษานี้ ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติจากวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา และทำนายระดับ PM_{10} ณ บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวที่ผู้วิจัยตั้งขึ้นในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาของการศึกษานี้ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายระดับ PM_{10} ในเขตเมืองอื่น ๆ สามารถอาศัยแนวคิดและวิธีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการศึกษานี้ ไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองความถดถอยสำหรับการทำนายระดับ PM_{10} ณ บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรและสถานีตรวจวัดชั่วคราว และเสนอแนวทางการนำแบบจำลองที่พัฒนาได้ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โอโซน (O_3) และกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร และระหว่างสถานีตรวจวัดในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษา คือ ในเขตเมืองที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศทั้งแบบเคลื่อนที่ได้และแบบเคลื่อนที่ไม่ได้กระจายทั่วพื้นที่ รวมถึงมีการกระจายพัฒามลพิษทางอากาศให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ ระดับ PM_{10} ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไปต่าง ๆ ในเขตเมือง มีความสัมพันธ์กันและมีความสัมพันธ์กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ และกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายระดับ PM_{10} เพื่อประยุกต์ใช้ในการติดตามตรวจสอบและการเฝ้าระวังระดับ PM_{10} ในเขตเมืองได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 พื้นที่ศึกษา คือ กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา

1.4.2 เขตเมือง หมายถึง พื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นมากกว่า 750 คนต่อตารางกิโลเมตร ตามหลักเกณฑ์การจำแนกประเภทของพื้นที่เขตเมืองโดยอาศัยความหนาแน่นของประชากร (US.EPA, 1997) หรือเขตเมือง หมายถึง พื้นที่ในเขตเทศบาลตามหลักเกณฑ์การจำแนกประเภทของพื้นที่โดยอาศัยเขตการปกครอง (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2549)

1.4.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

1.4.3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่าง PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} แบบปริมาตรสูง โดยการตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 2 สถานี ได้แก่ บริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และบริเวณโรงเรียนอุบลรัตน์ โดยกำหนดแผนการเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ.2548 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2548 และช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2549

1.4.3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลมลพิษทางอากาศ ได้แก่ PM_{10} , NO_2 , CO , SO_2 และ O_3 และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม โดยทุกตัวแปรเป็นข้อมูลเฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยเป็นข้อมูลย้อนหลัง 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2548 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษในเขตกรุงเทพฯ จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีรามคำแหง สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี สถานีสิงหราช และสถานีกรมประชาสัมพันธ์ และในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 1 สถานี ได้แก่ สถานีนครราชสีมา

1.4.4 การศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีทางสถิติคือ การวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) โดยทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยด้วยวิธี Stepwise Regression โดยการศึกษาทางสถิติใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 13

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.5.1 ได้แบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรและตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว ที่ตั้งในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา และการศึกษาเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ประโยชน์แบบจำลองในการเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบ และเฝ้าระวังระดับ PM_{10} ในเขตเมืองได้

1.5.2 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ และกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และระหว่างสถานีต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา และอิทธิพลของปัจจัยด้านระยะระหว่างสถานีและ

ฤดูกาลที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและความสามารถในการทำนายระดับ PM_{10} ของแบบจำลอง

1.5.3 แนวคิดรูปแบบและวิธีการพัฒนาแบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ร่วมกับการตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวที่ใช้ในการศึกษานี้ สามารถเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายระดับ PM_{10} ณ บริเวณพื้นที่ที่ไม่มีการตรวจวัดระดับ PM_{10} อย่างต่อเนื่อง และสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ในเขตเมืองอื่น ๆ ได้

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อากาศและมลพิษทางอากาศ

2.1.1 คุณสมบัติของอากาศ

อากาศของโลกประกอบด้วยแก๊ส ไออน้ำ และสารแขวนลอยต่าง ๆ โดยองค์ประกอบแปรผันตามสถานการณ์ สถานที่และเวลา โดยในสภาวะอากาศบริสุทธิ์แห่ง (unpolluted air) ประกอบด้วย ไนโตรเจน (N_2) ร้อยละ 78 ออกซิเจน (O_2) ร้อยละ 20.94 และส่วนที่เหลือร้อยละ 0.96 ประกอบด้วย อาร์กอน (Ar) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นีออน (Ne) ฮีเลียม (He) มีเทน (CH_4) คริปตอน (Kr) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรเจน (H_2) ซีนอน (Xe) ก๊าซอินทรีย์และอนินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของอากาศบริสุทธิ์แห่ง

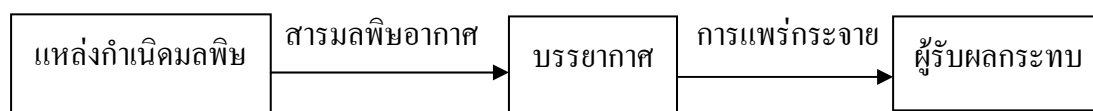
องค์ประกอบ	ส่วนในล้านส่วน (ppm)	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ไนโตรเจน (N_2)	780,000	8.95×10^8
ออกซิเจน (O_2)	209,400	2.74×10^8
อาร์กอน (Ar)	9,300	1.52×10^7
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	350	5.67×10^5
นีออน (Ne)	18	1.49×10^4
ฮีเลียม (He)	5.2	8.50×10^2
มีเทน (CH_4)	1.0 – 1.2	$6.56 – 7.87 \times 10^2$
คริปตอน (Kr)	1.0	3.43×10^3
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	0.5	9.00×10^2
ไฮโดรเจน (H_2)	0.5	4.13×10^1
ซีนอน (Xe)	0.08	4.29×10^2
ก๊าซอินทรีย์และอื่นๆ	≈ 0.02	-

หมายเหตุ จาก Boubel et al., 1994.

2.1.2 มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณมากและเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อม โดยสิ่งเจือปนนี้อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบทางเคมีและอาจอยู่ในรูปของก๊าซ ของเหลว และอนุภาคของแข็ง (นพภาพร พานิชและคณะ, 2547)

ระบบมลพิษทางอากาศ ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สัมพันธ์กันคือ แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ บรรยากาศ และผู้รับผลกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยเริ่มจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศปล่อยสารมลพิษอากาศออกสู่บรรยากาศ และแพร่กระจายสารมลพิษอากาศไปถึงผู้รับผลกระทบ โดยปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษทางอากาศในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้แก่ อัตราการปล่อยสารมลพิษของแหล่งกำเนิด ลักษณะการแพร่กระจาย อัตราการถูกกำจัด สภาพภูมิประเทศ และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา อาทิ อุณหภูมิ ความเร็วลม ทิศทางลม และเสถียรภาพของบรรยากาศ (Seinfeld, 1986) โดยความรุนแรงของผลกระทบขึ้นกับชนิด ปริมาณ และระยะเวลาของการสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ



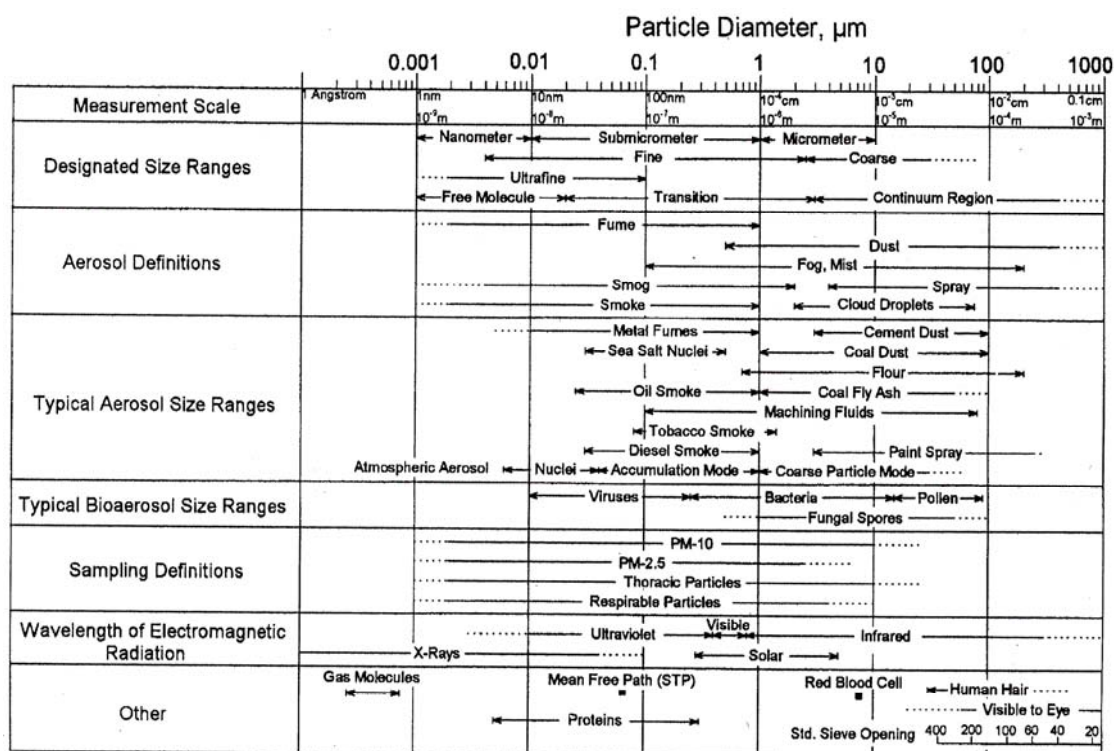
รูปที่ 2.1 ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ (Seinfeld, 1986)

แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งได้หลายวิธี อาทิ แบ่งลักษณะของแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ได้หรือไม่ได้ โดยแบ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ และแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ไม่ได้ หรือแบ่งตามตัวการที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่ แหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ อาทิ ภูเขาไฟ และแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ อาทิ เตาเผาขยะ รถยนต์ เป็นต้น

สารมลพิษอากาศสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิด ได้แก่ สารมลพิษอากาศปฐมภูมิ (primary air pollutants) เป็นสารมลพิษอากาศที่เกิดและถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และสารมลพิษอากาศทุติยภูมิ (secondary air pollution) เป็นสารมลพิษอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษอากาศปฐมภูมิด้วยกันเอง หรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษอากาศปฐมภูมิกับสารประกอบอื่น ๆ ในบรรยากาศ โดยสารมลพิษอากาศที่สำคัญ ได้แก่ ฝุ่นละออง (particulate matter) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และโอโซน (O₃)

2.1.3 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (particulate matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ โดยอนุภาคเหล่านี้มีขนาด รูปร่าง คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์แตกต่างกัน และประกอบด้วยสารหลากหลายชนิด อาทิ ไฮโดรคาร์บอน ซัลเฟต และโลหะต่าง ๆ ฝุ่นละอองมีหลากหลายประเภททั้งในรูปของฝุ่น (dust) ละอองไอ (aerosol) ควัน (smoke) เถ้าลอย (fly ash) ไอเสียด (fume) โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.001 ถึง 1,000 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ประเภทและช่วงขนาดของฝุ่นละออง (Hinds, 1998)

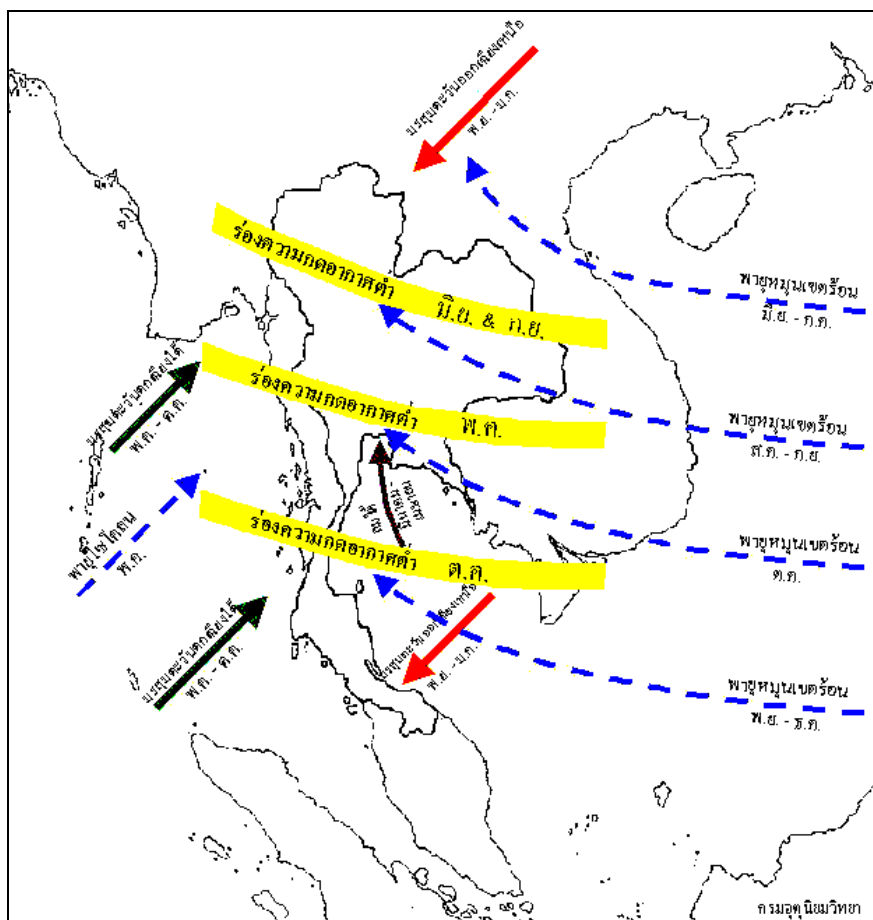
ฝุ่นละอองอาจแยกได้เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดมลพิษโดยตรง อาทิ ฝุ่นจากกิจกรรมบดขยี้หิน และฝุ่นที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศ อาทิ ฝุ่นจากปฏิกิริยาเคมีของก๊าซ SO₂, NO_x และสาร VOC กับสารอื่นในบรรยากาศ โดยฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยและฟุ้งกระจายในบรรยากาศ ซึ่งขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของฝุ่นละออง และปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์ โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กจะสามารถแขวนลอยในบรรยากาศได้นานกว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีความเร็วในการตกตะกอนต่ำ และฝุ่นละอองจะสามารถฟุ้งกระจายไปไกลจากแหล่งกำเนิด ถ้าสภาพบรรยากาศมีความชื้นต่ำ อุณหภูมิสูง และความเร็วลมสูง

ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และพืช ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคต่อการคมนาคมขนส่ง โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าฝุ่นรวม โดยฝุ่นละอองสามารถตกค้างในระบบทางเดินหายใจได้ 2 ส่วน คือ ตกค้างในทางเดินหายใจส่วนบน ได้แก่ จมูก โปรงจมูก คอหอย หลอดลมคอ โดยมีขนจมูกและความชื้นกรองฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ และตกค้างในทางเดินหายใจส่วนล่าง ได้แก่ หลอดลม คอส่วนอก และปอด โดยหลอดลมฝอยทำให้ความเร็วของการไหลของอากาศในปอดลดลง ซึ่งมีผลต่อการตกค้างของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ผ่านทางเดินหายใจส่วนบนตกค้างในทางเดินหายใจส่วนล่าง ซึ่งก่อให้เกิดการระคายเคืองและการอักเสบของหลอดลม และปอด และเป็นปัจจัยหนึ่งของการเกิดโรคหอบหืด ถุงลมโป่งพอง โดยความรุนแรงของ PM_{10} ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ปริมาณ และระยะเวลาที่รับเข้าสู่ร่างกาย

ปัจจุบันประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยแบ่งตามขนาดของอนุภาคออกเป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นรวม (total suspended particulate) หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน

2.2 อุตุนิยมวิทยา

อุตุนิยมวิทยา (meteorology) เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่ศึกษาเรื่องราวของบรรยากาศ กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศ พื้นดิน มหาสมุทร และสิ่งมีชีวิตบนพื้นที่ผิวโลก สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพของบรรยากาศและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ (รังสรรค์ อากาศ์พทะกุล, 2547) โดยการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาพของบรรยากาศในสถานที่และเวลาหนึ่ง เรียกว่า สภาพของบรรยากาศ และสภาพของบรรยากาศโดยทั่วไปของท้องถิ่นจากการศึกษาในระยะเวลาอันยาวนาน เรียกว่า ภูมิอากาศ โดยข้อมูลภูมิอากาศเป็นข้อมูลกำหนดฤดูกาลต่าง ๆ ในรอบปีของท้องถิ่นนั้น ๆ โดยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยอิทธิพลลมมรสุมที่สำคัญคือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือที่ผ่านประเทศไทยในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยประเทศไทยมีฤดูกาลที่เด่นชัด 2 ฤดู คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง (wet and dry seasons) สลับกัน โดยฤดูแล้งแยกเป็นฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนั้น ฤดูกาลของประเทศไทยจึงมี 3 ฤดู คือ ฤดูร้อนระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝนระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และฤดูหนาวระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์



รูปที่ 2.3 ทิศทางของลมมรสุมที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาด้านมลพิษทางอากาศ และประยุกต์ใช้ในการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายมลพิษทางอากาศ โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ ได้แก่

1. รังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ดวงอาทิตย์แผ่มายังโลก โดยรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลก ประกอบด้วย รังสีที่ตกกระทบพื้นโลกโดยตรงและไม่เปลี่ยนทิศทาง (direct radiation) รังสีที่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปโดยการกระเจิงจากโมเลกุลของสารแขวนลอยในบรรยากาศ (scattered radiation) และรังสีที่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปโดยการสะท้อนจากเมฆ (reflected radiation)

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ระนาบของพื้นโลกขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ประกอบด้วย พลักซ์ความหนาแน่นของรังสี มุมตกกระทบ ตำแหน่งทางดาราศาสตร์ของโลกกับดวงอาทิตย์ ปริมาณเมฆในท้องฟ้า และสภาพขุ่นมัวของอากาศ โดยรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่

บรรยากาศของโลกจะถูกลดปริมาณรังสีที่ส่องผ่านด้วยกระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง (scattering) ของก๊าซชนิดต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่นละออง และสารแขวนลอยในบรรยากาศ โดยการดูดกลืนเป็นกระบวนการที่รังสีที่ตกกระทบผ่านเข้าไปในโครงสร้างโมเลกุลและถูกดูดกลืนไว้โดยโมเลกุลของสารนั้น ๆ ส่วนการกระเจิงเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของตัวกลางและอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ที่แขวนลอยในตัวกลางทำให้รังสีที่ตกกระทบเกิดกระเจิงออกทุกทิศทาง

2. รังสีสุทธิ (net radiation) เป็นผลรวมของสมดุลรังสีคลื่นสั้นและสมดุลรังสีคลื่นยาวที่ตกและที่ออกจากพื้นที่ผิวที่พิจารณา โดยปริมาณรังสีคลื่นสั้นที่ออกจากพื้นผิวโลกส่วนใหญ่เกิดจากการสะท้อนกลับของรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์และปริมาณสะท้อนกลับขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและพื้นที่ที่รังสีตกกระทบ ส่วนปริมาณรังสีคลื่นยาวเป็นคลื่นรังสีความร้อนที่เกิดจากพื้นผิวโลกและบรรยากาศดูดกลืนพลังงานรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์และแผ่รังสีความร้อนคลื่นยาวในช่วงรังสีอินฟราเรดโดยรังสีคลื่นยาวขึ้นกับระดับอุณหภูมิพื้นผิวโลกและอุณหภูมิส่วนที่ใกล้พื้นผิวโลก

ปริมาณรังสีสุทธิที่พื้นผิวโลกมีประโยชน์ต่อกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสมดุลพลังงาน โดยรังสีสุทธิส่วนใหญ่ของพื้นผิวโลกถูกใช้ในกระบวนการระเหยน้ำและการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ โดยในพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นรังสีสุทธิจะถูกใช้เพื่อการระเหยน้ำมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ และในพื้นที่ที่แห้งแล้งรังสีสุทธิจะถูกใช้เพื่อการเพิ่มอุณหภูมิอากาศมากกว่าการระเหยน้ำ

3. อุณหภูมิ (temperature) เป็นตัววัดค่าของพลังงานจลน์เฉลี่ย โดยความแตกต่างของอุณหภูมิกำหนดทิศทางการไหลของความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิอากาศเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของพื้นผิวโลกสู่บรรยากาศ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวโลกให้กับอากาศที่อยู่ติดกับพื้นผิว และถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่อยู่สูงขึ้นไป โดยการเปลี่ยนแปลงความร้อนในบรรยากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ การหมุนเวียนของอากาศ และการเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติบนพื้นผิวโลก และปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิอากาศ ประกอบด้วยปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกได้รับ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์

4. ความชื้นบรรยากาศ (atmospheric humidity) แสดงถึงปริมาณของไอน้ำในบรรยากาศ โดยความชื้นบรรยากาศเกิดจากการหมุนเวียนของวัฏจักรน้ำ และความชื้นบรรยากาศมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของบรรยากาศและภูมิอากาศที่เกิดขึ้นเหนือผิวโลก โดยความชื้นบรรยากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน โดยเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำเป็นของเหลวหรือจากของเหลวเป็นของแข็งจะมีการคายความร้อนแฝง และเมื่อน้ำแข็งละลายเป็นของเหลวหรือน้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำจะดูดกลืนความร้อน และเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นทำให้อากาศเกิดการขยายตัวมีปริมาตรและช่องว่างเพิ่มขึ้นทำให้อากาศสามารถรับไอน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ความจุความร้อนของอากาศเพิ่มขึ้น

สำหรับปริมาณความชื้นในบรรยากาศ ณ สถานที่และเวลาหนึ่ง ๆ จะสามารถแสดงโดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำจริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน

5. ความกดอากาศ (atmospheric pressure) เป็นแรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวลอากาศกดลงบนพื้นที่โลกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยความกดอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญของการตรวจสอบสภาพอากาศประจำวันเพื่อการวิเคราะห์และการพยากรณ์อากาศ และการเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมิผลทำให้ปริมาตรอากาศเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นของมวลอากาศลดลง และอากาศเกิดการไหลจากพื้นที่ที่มีมวลอากาศหนาแน่นมากเข้าไปสู่พื้นที่ที่มีมวลอากาศหนาแน่นน้อยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีผลทำให้เกิดการถ่ายเทมวล ความร้อน และความชื้น และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของบรรยากาศ

6. ลม (wind) เกิดจากอากาศเคลื่อนที่ในแนวราบจากความแตกต่างของความกดอากาศ โดยลมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะบรรยากาศ อาทิ การเคลื่อนย้ายพลังงานความร้อน ความชื้น ปริมาณก๊าซชนิดต่าง ๆ และสารแขวนลอย ลมทำให้อัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้นและก่อให้เกิดเมฆ และฝน โดยลมพัดออกจากบริเวณความกดอากาศสูงเข้าสู่บริเวณความกดอากาศต่ำและความเร็วเพิ่มขึ้นตามค่าความแตกต่างของความกดอากาศ

อิทธิพลของเขตบริเวณความกดอากาศต่าง ๆ ที่ปรากฏบนผิวโลกมีผลต่อการหมุนเวียนของบรรยากาศส่งผลให้ลมที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนต่าง ๆ ของโลกมีความแตกต่างกัน และการหมุนเวียนของบรรยากาศประจำถิ่นที่เกิดขึ้นเฉพาะพื้นที่ เนื่องจากความแตกต่างของมวลอากาศ ลักษณะรูปร่างความสูงต่ำของพื้นที่ และความปั่นป่วนของลมเนื่องจากความร้อน เป็นสาเหตุทำให้เกิดลมประจำถิ่น โดยลมประจำถิ่นที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ลมมรสุมประจำฤดูร้อนหรือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมประจำฤดูหนาวหรือลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมบกและลมทะเลที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งทะเล ลมภูเขาและลมภูเขา ลมบ้าหมู โดยทั่วไปการวัดความเร็วและทิศทางลมสามารถวัดที่ระดับผิวพื้นด้วยเครื่องแอนนิโมมิเตอร์แบบลูกถ้วย (cup anemometer) และวัดที่ระดับชั้นบนโดยใช้บอลูนหยั่งอากาศ (pilot balloon)

7. ฝน หมายถึง หยาดน้ำฟ้าที่อยู่ในรูปของเหลว โดยมีแหล่งกำเนิดจากเมฆ โดยทั่วไปเม็ดฝนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร และมีความเร็วเฉลี่ยในการตกประมาณ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ลักษณะโดยทั่วไปข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของเม็ดฝนและความแรงของฝนตกจะมีความแปรปรวน โดยทั่วไปฝนที่ตกหนักและมีขนาดเม็ดฝนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ส่วนฝนที่ตกเบาและมีขนาดเม็ดฝนเล็กจะมีระยะเวลาการตกยาวนาน สำหรับการวัดปริมาณฝนสามารถใช้ภาชนะรองรับปริมาณน้ำฝน โดยปริมาณน้ำฝนสามารถใช้คำนวณการชะล้างมลพิษจากอากาศลงสู่พื้นดินและพื้นน้ำได้

2.3 การตรวจวัดคุณภาพอากาศของประเทศไทย

2.3.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปสำหรับประเทศไทย กำหนดควบคุมสารมลพิษอากาศ จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) โอโซน (O₃) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ตะกั่ว (Pb) ฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย

ชนิดของสารมลพิษอากาศ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ระดับมาตรฐาน
คาร์บอนมอนอกไซด์	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 30 ส่วนในล้านส่วน
	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 9 ส่วนในล้านส่วน
ไนโตรเจนไดออกไซด์	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 170 ส่วนในพันล้านส่วน
โอโซน	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 100 ส่วนในพันล้านส่วน
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	1 ปี	ไม่เกิน 40 ส่วนในพันล้านส่วน
	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 120 ส่วนในพันล้านส่วน
	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 300 ส่วนในพันล้านส่วน
ตะกั่ว	1 เดือน	ไม่เกิน 1.5 มค.ก./ลบ.ม
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 120 มค.ก./ลบ.ม
	1 ปี	ไม่เกิน 50 มค.ก./ลบ.ม
ฝุ่นละอองรวม	24 ชม.	ไม่เกิน 330 มค.ก./ลบ.ม
	1 ปี	ไม่เกิน 100 มค.ก./ลบ.ม

หมายเหตุ จาก กรมควบคุมมลพิษ, 2546

2.3.2 การตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ

กรมควบคุมมลพิษ โดยสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ได้จัดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรดำเนินการตรวจวัดข้อมูลมลพิษทางอากาศ ได้แก่ PM₁₀ CO NO₂ SO₂ และ O₃ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับผิวพื้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณฝน ความเร็ว และทิศทางลม

กรมควบคุมมลพิษ มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร สำหรับตรวจวัดคุณภาพอากาศในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในบริเวณชุมชนที่ตั้งอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ จำนวน 16 จังหวัด รวมทั้งสิ้น 41 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยในพื้นที่กรุงเทพฯ มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร

ที่ตรวจวัด PM₁₀ จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีรามคำแหง สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานี นนทบุรี สถานีสิงหาราช และสถานีกรมประชาสัมพันธ์ และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา สถานี ตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร จำนวน 1 สถานี โดยดำเนินการตรวจวัดข้อมูลมลพิษทางอากาศ และข้อมูลอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง

โดยรูปแบบการดำเนินการของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ระบบอัตโนมัติและรับส่งข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ โดยการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ ใช้เครื่องวัดตามมาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด ดังนี้

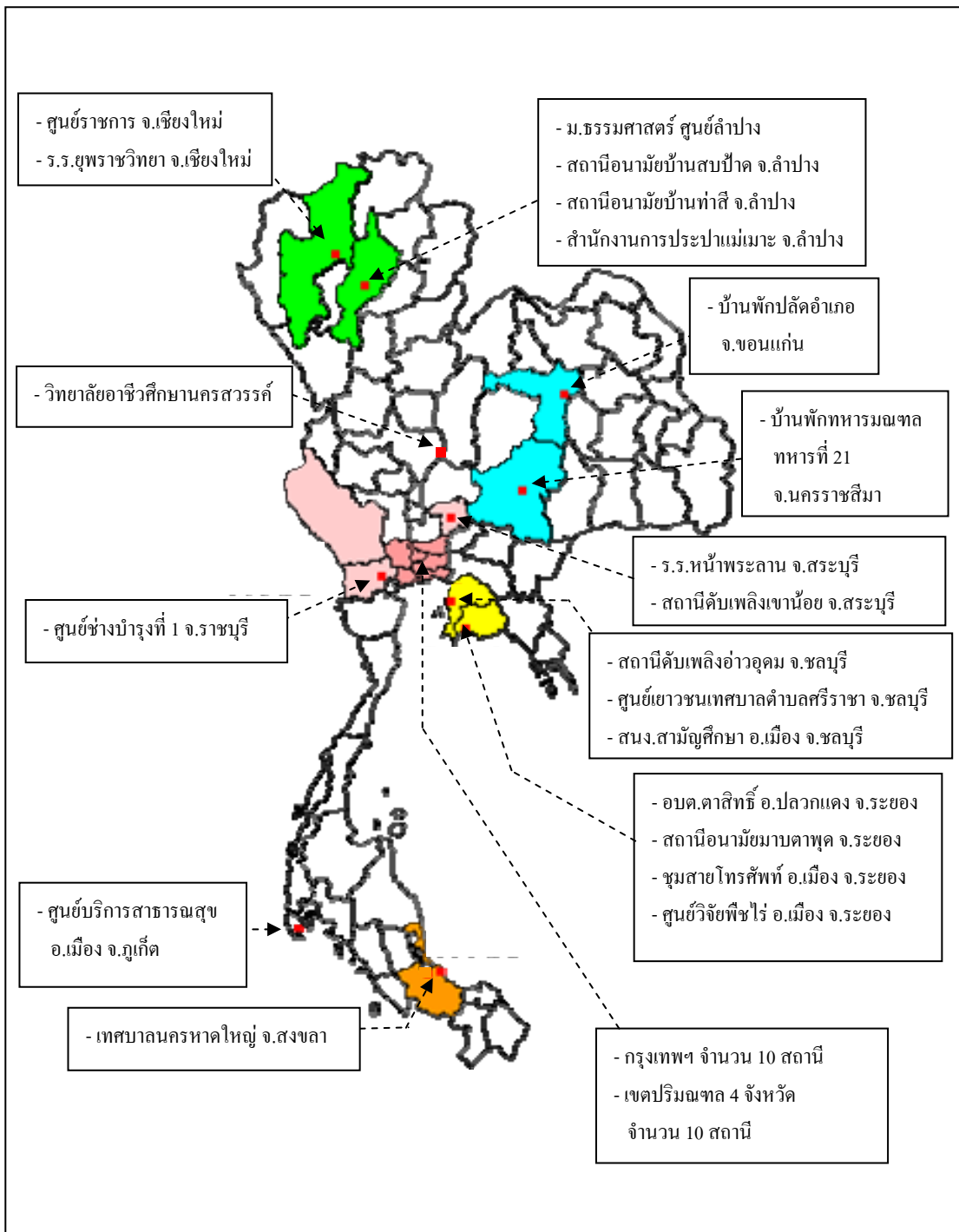
- ฟลูออโรเมตริกใช้เครื่องวัดระบบเบตาเรย์ (beta ray) โดยใช้ หลักการฉายรังสีเบตาไปยังฟลูออโรสโคปบนแผ่นกรองซึ่งดูดผ่านหัววัดขนาดสำหรับฟลูออโรเมตริก ใช้เครื่องวัดตามมาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด ดังนี้

- การับอมอนอกไซด์ ใช้เครื่องวัดระบบนินติสเปอร์ซีฟ อินฟราเรด ดิเทกชัน (non-dispersive infrared detection) ซึ่งเป็นเครื่องวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้รังสีอินฟราเรด

- ไนโตรเจนไดออกไซด์ ใช้เครื่องวัดระบบเคมีลูมิเนสเซน (chemiluminescence) เป็นเครื่องวัดค่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยใช้ก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับก๊าซไนตริกออกไซด์ ซึ่งถูกเปลี่ยนมาจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แล้ววัดความเข้มของแสงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยานั้น ณ ที่ความยาวคลื่นที่สูงกว่า 600 นาโนเมตร

- โอโซน ใช้เครื่องวัดระบบดูดซับไอโอเดต แอบซอร์ปชัน โฟโตเมตรี (ultraviolet absorption photometry) ซึ่งเป็นเครื่องวัดค่าเฉลี่ยของก๊าซโอโซนโดยใช้หลักการให้แสงดูดซับไอโอเดตทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน และวัดการดูดซับแสงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่ช่วงความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ใช้เครื่องวัดระบบดูดซับไอโอเดต ฟลูออเรสเซน (ultraviolet fluorescence) ซึ่งเป็นเครื่องวัดค่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้หลักการให้แสงดูดซับไอโอเดตทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และวัดความเข้มของแสงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 190 ถึง 230 นาโนเมตร



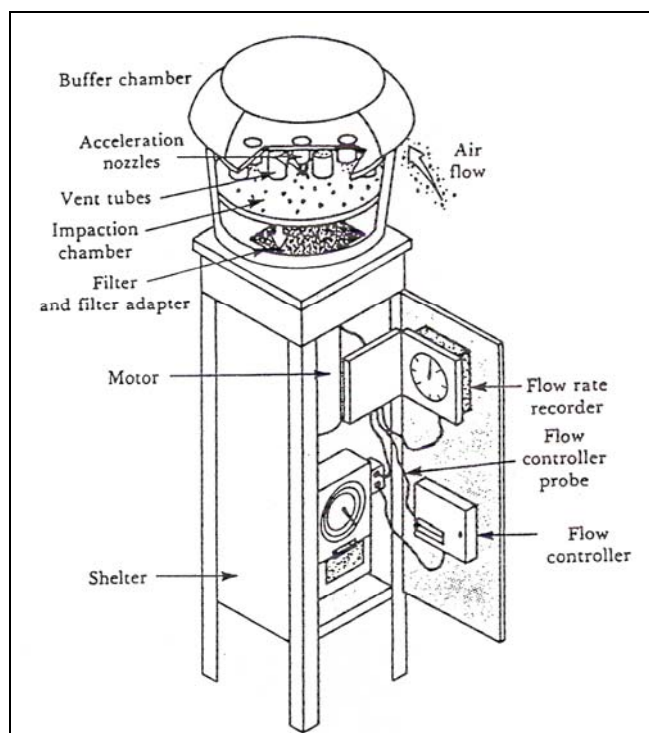
รูปที่ 2.4 ที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ

2.3.3 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

กรมควบคุมมลพิษ (2546) กำหนดใช้เครื่องวัดระบบกราวิเมตริก (gravimetric) เป็นมาตรฐานการตรวจวัด PM_{10} ในบรรยากาศทั่วไป และกำหนดเครื่องวัดระบบเทียบเท่า ได้แก่ ระบบเบต้าเร (beta ray) ระบบเทปเปอ อลิเมน ออสซิลเลตติ้ง ไมโครบาลานซ์ (tapered element oscillating microbalance) และระบบไดโคโตมัส (dichotomous)

มาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ (2546) และมาตรฐาน EPA 450 (U.S. EPA, 1999) การตรวจวัด PM_{10} ด้วยเครื่องวัดระบบกราวิเมตริก กำหนดใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} แบบปริมาตรสูง (high volume PM_{10} sampler) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยมีหลักการทำงานคือ การดูดอากาศผ่านหัวคัดขนาดสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และผ่านแผ่นกรอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ได้ร้อยละ 99 แล้วหาน้ำหนักฝุ่นละอองจากแผ่นกรอง และคำนวณหาความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ตรวจวัด โดยการดูดอากาศใช้ปั๊มดูดอากาศไหลเข้าด้านบนของเครื่องด้วยอัตราการไหล 1.13 ลบ.ม./นาที และกระดาศกรองเป็นชนิดใยหินขนาด 8 x 10 นิ้ว

สำหรับการตรวจวัด PM_{10} ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไป ตำแหน่งจุดตั้งเครื่องวัดควรตั้งในบริเวณพื้นที่โล่ง อยู่ห่างจากถนนสายหลักอย่างน้อย 50 เมตร และความสูงของช่องอากาศไหลเข้าต้องสูงกว่าระดับพื้นดินในช่วง 1.5-6.0 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

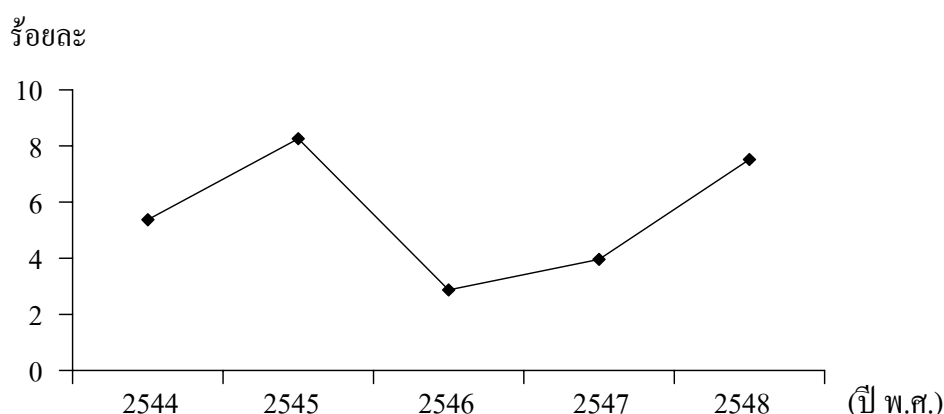


รูปที่ 2.5 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} แบบปริมาตรสูง (Wight, 1994)

2.3.4 สถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทย

รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ (2549) พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2544-2548 สารมลพิษอากาศที่เป็นปัญหามากที่สุดโดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่คือ PM_{10} โดยผลการตรวจวัดพบจำนวนครั้งเกินค่ามาตรฐานมากที่สุด โดยระดับ PM_{10} ในเขตเมืองต่าง ๆ ในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูหนาว) และลดระดับลงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) และมีระดับต่ำสุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม (ฤดูฝน) สำหรับสารมลพิษอากาศชนิดอื่น ๆ พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ โดย O_3 และ NO_2 พบเกินมาตรฐานเป็นครั้งคราวในบางพื้นที่ โดยสาเหตุของปัญหามลพิษทางอากาศในเขตเมืองที่สำคัญคือ ปัญหามลพิษทางอากาศจากการจราจร

สถานการณ์คุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา พบว่า PM_{10} เป็นปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุด รองลงมาคือ O_3 โดยในพื้นที่กรุงเทพฯ ผลการตรวจวัด PM_{10} พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไม่เกิน 120 มค.ก./ลบ.ม. จำนวน 134 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 1.51 ของจำนวนการตรวจวัดทั้งหมด สำหรับในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา พบระดับ PM_{10} สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศจำนวน 85 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.32 ของจำนวนการตรวจวัดทั้งหมด โดยแนวโน้มร้อยละของจำนวนการตรวจวัด PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เฉพาะข้อมูลในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544-2548 ดังแสดงในรูปที่ 2.6 พบว่าจำนวนครั้งที่ของการตรวจวัดที่พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546-2548 โดยในพื้นที่เมืองใหญ่อื่น ๆ ในประเทศไทยพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.6 ร้อยละของการตรวจวัด PM_{10} ที่พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายระดับมลพิษทางอากาศ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นชุดสมการที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ทำนายปรากฏการณ์ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งสามารถพัฒนานำมาใช้เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับทำนายปริมาณสารมลพิษทางอากาศ ควบคู่กับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศด้วยการตรวจวัดจริงด้วยเครื่องมือ (นพภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช, 2544) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีต้องสามารถคาดผลที่จะเกิดขึ้น โดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด และชี้ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงของพฤติกรรมที่ใช้แบบจำลองแทนได้อย่างชัดเจน และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์หรือข้อผิดพลาดจากการใช้ข้อมูลได้ และประหยัดเวลาในการทำงาน โดยแบบจำลองที่สลับซับซ้อนไม่ได้หมายความว่าจะใช้คาดหมายเหตุการณ์ได้ดีกว่าแบบจำลองแบบง่าย เนื่องจากเมื่อมีตัวแปรเพิ่มมากขึ้นและแบบจำลองจะต้องมีข้อสมมุติฐานกำกับเพิ่มมากขึ้นตาม แบบจำลองที่ดีต้องมีความสมเหตุสมผล ความแน่นอนสมจริง และความกระชับรัดกุมของการอธิบายพฤติกรรมของระบบ ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเท่าเทียมกับผลการคาดหมายหรือผลการทำนายที่ถูกต้อง

โดยทั่วไปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ แบบจำลองเชิงทฤษฎี (theoretical model) และแบบจำลองเชิงการทดลอง (empirical model) ซึ่งแบบจำลองเชิงการทดลองมักอยู่ในรูปของแบบจำลองเชิงสถิติ (statistical model) โดยเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธีที่นิยมและถูกเลือกใช้ในการศึกษานี้คือ การวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) เพื่อสร้างแบบจำลองความถดถอย (regression model) สำหรับการทำนายตัวแปรตาม (dependent variables) เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระ (independent variables)

2.4.1 กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

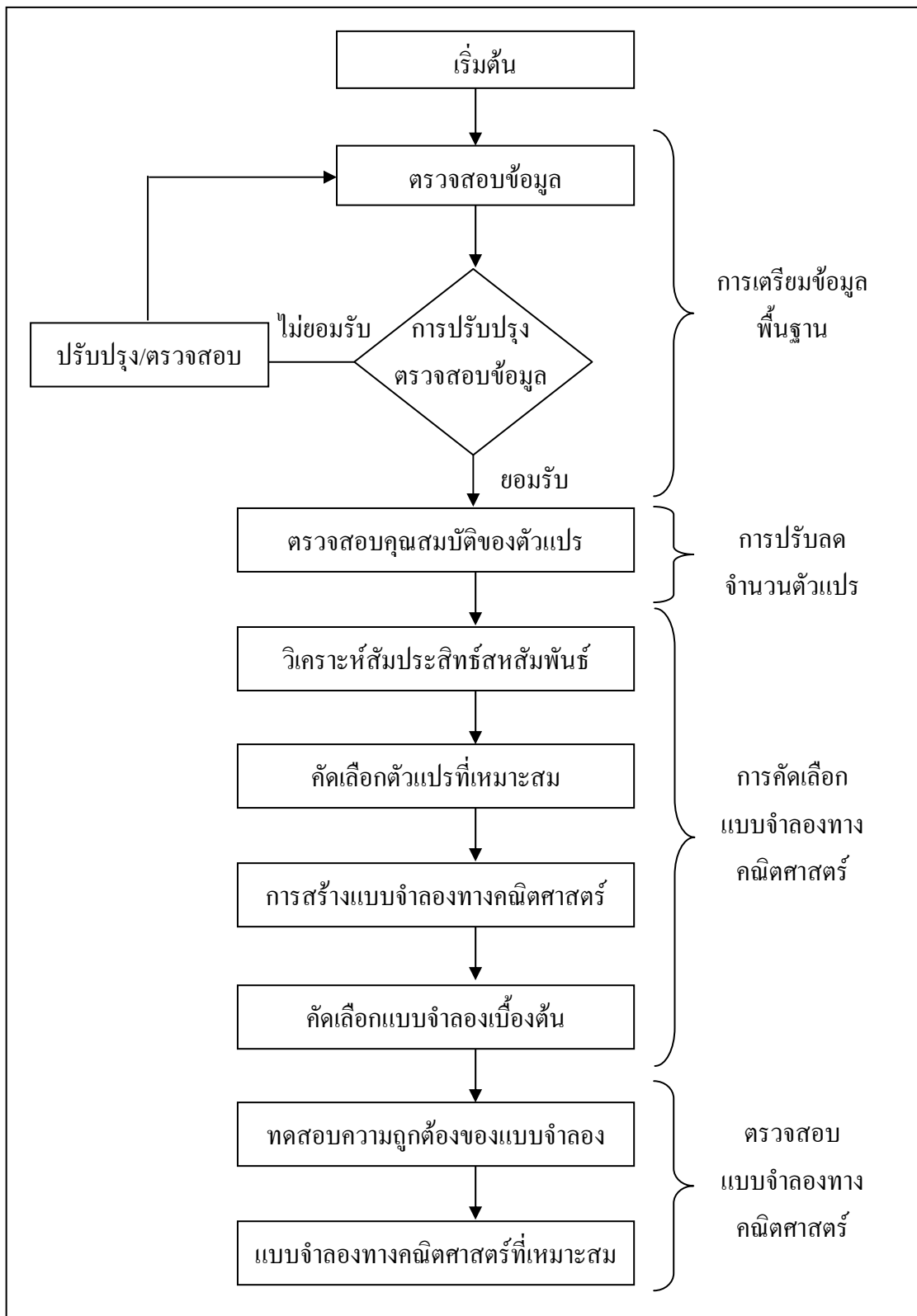
Kutner et al., (2004) ได้แบ่งขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูล โดยรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องหรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล และแก้ไขหรือปรับปรุงข้อมูลให้มีความสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกตัวแปร โดยการตรวจสอบคุณสมบัติของตัวแปรและคัดเลือกตัวแปรที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกแบบจำลอง โดยการนำตัวแปรที่คัดเลือกมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และนำตัวแปรที่เหมาะสมมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วทำการคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการทำนายกับค่าจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.7 กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Kutner et al., 2004)

2.4.2 การวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการความถดถอยสำหรับทำนายค่าของตัวแปรตามเมื่อกำหนดค่าของตัวแปรอิสระ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) โดยการวิเคราะห์ความถดถอยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (simple regression analysis) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว โดยแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้น คือ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.1)$$

โดยที่	y	คือ	ตัวแปรตาม
	x	คือ	ตัวแปรอิสระ
	β_0	คือ	ส่วนตัดแกน y หรือคือค่าของ y เมื่อ x เท่ากับศูนย์
	β_1	คือ	ความชันของเส้นตรง หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย
	ε	คือ	ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

2) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (multiple regression analysis) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว หรือมีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้นคือ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.2)$$

โดยที่	y	คือ	ตัวแปรตาม เนื่องจากค่าของ y ขึ้นอยู่กับค่าของ x
	x	คือ	ตัวแปรอิสระ
	β_0	คือ	ส่วนตัดแกน y เมื่อ x_1, x_2, \dots, x_k เท่ากับศูนย์
	$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$	คือ	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน
	ε	คือ	ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

โดยการวิเคราะห์ความถดถอยมีค่าสถิติที่อธิบายความเชื่อมั่นของสมการความถดถอยที่สร้างขึ้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงหรือผันแปรของตัวแปรตาม โดย R^2 เป็นค่าสถิติที่ไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถ

อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่ามาก แต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่าน้อย โดย R^2 คำนวณได้จากสมการ 2.3

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.3)$$

โดยที่ R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
 SSR คือ ค่าความแปรปรวนของ y เนื่องจากอิทธิพลของ x
 SSE คือ ค่าความแปรปรวนของ y เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ
 SST คือ ค่าความแปรปรวนของ y ทั้งหมด

เมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปเข้าสมการความถดถอยจะทำให้ค่า R^2 มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ x ที่เพิ่มขึ้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ y ดังนั้น จึงมีการปรับค่า R^2 ให้ถูกต้องขึ้น ซึ่งเรียกค่าดังกล่าวว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (Adjusted R^2) โดยคำนวณได้จากสมการ 2.4

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - \frac{SSE / (n - k - 1)}{SST / (n - 1)} = 1 + \frac{(n - 1)}{(n - k - 1)} \cdot (R^2 - 1) \quad (2.4)$$

โดยที่ Adjusted R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้
 R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
 SSE คือ ค่าความแปรปรวนของ y เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ
 SST คือ ค่าความแปรปรวนของ y ทั้งหมด
 n คือ จำนวนตัวอย่างของการวิเคราะห์ความถดถอย
 k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

ค่าสถิติที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: R) โดยคำนวณได้จากสมการ 2.5

$$R = \sqrt{R^2} \quad (2.5)$$

โดยที่ R คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดังนี้

- ถ้าค่า R มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน
- ถ้าค่า R มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม
- ถ้าค่า R มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันน้อย
- ถ้าค่า R มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามไม่มีความสัมพันธ์กัน

2.4.3 การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

ค่าความคลาดเคลื่อน (residual analysis) คือ ความแตกต่างของค่าที่ทำนายกับค่าจริง โดยแบบจำลองที่มีความเหมาะสมจากการวิเคราะห์ความถดถอยต้องตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับค่าความคลาดเคลื่อน 4 ประเด็น คือ

- 1) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนต้องเท่ากับศูนย์
- 2) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
- 3) ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่
- 4) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระกัน

2.4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้อง (validation) ของแบบจำลอง เป็นกระบวนการพิสูจน์เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องสามารถใช้งานได้ โดยการตรวจสอบความถูกต้องจะต้องอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากผลการทำนายของแบบจำลองกับข้อมูลจริง ซึ่งทั้งข้อมูลที่ใช้ทำนายผลของแบบจำลองกับข้อมูลจริงเป็นข้อมูลชุดใหม่ที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยวิธีการตรวจสอบความถูกต้องวิธีหนึ่ง คือ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อมูลจากผลการทำนายของแบบจำลองกับตัวแปรข้อมูลจริง ซึ่งถ้าข้อมูลทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในระดับที่สูงแสดงว่าแบบจำลองมีความถูกต้องมาก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับตัวแปรมลพิษทางอากาศ

Chuersuwan (2003) ศึกษาการกระจายของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพฯ โดยทำการตรวจวัดในบริเวณดินแดง บ้านสมเด็จ บางนา และจันทรมุข ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม พ.ศ.2545 โดยพบว่า PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ณ จุดตรวจวัดดินแดงมีความสัมพันธ์กับ PM_{10} และกับ $PM_{2.5}$ ณ จุดตรวจวัดอื่น ๆ ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.72-0.86 และ 0.77-0.90 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sajani et al. (2004) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ของระดับมลพิษทางอากาศ ณ บริเวณสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในเขตเมืองของประเทศอิตาลี คลอบคลุมพื้นที่

20,000 ตารางกิโลเมตร พบว่าความสัมพันธ์ของ PM_{10} CO NO NO_2 และ O_3 ระหว่างสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในเขตเมืองเดียวกัน มีค่า R เฉลี่ยเท่ากับ 0.89 0.81 0.87 0.77 และ 0.96 ตามลำดับ

Vega et al. (2002) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} ณ บริเวณต่าง ๆ ในเขตเมืองเม็กซิโกซิตี ประเทศเม็กซิโก โดยเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่ที่ได้รับหรือมีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่คล้ายกันและแตกต่างกัน ได้แก่ บริเวณเขตอุตสาหกรรม บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น และบริเวณย่านชุมชนที่พักอาศัย โดยพบว่า PM_{10} จากสองพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายกันจะมีความสัมพันธ์กันสูงกว่าสองพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยมีค่า R อยู่ระหว่าง 0.79-0.80

Chatterton (2001) ได้ศึกษาเปรียบเทียบ PM_{10} บริเวณริมถนนกับบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเมืองนอร์วิช ประเทศอังกฤษ พบว่า PM_{10} ระหว่างสองบริเวณมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และสร้างสมการถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10} ณ บริเวณริมถนน โดยสมการมีค่า R^2 เท่ากับ 0.74

Shaddick and Wakefield (2002) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศในเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ พบว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ CO NO และ SO_2 ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน และ PM_{10} ระหว่างสถานีตรวจวัดต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวลดลงตามระยะห่างระหว่างคู่สถานีที่เพิ่มมากขึ้น

Chaloulakou, Kassomenos, et al. (2003) ได้ศึกษาระดับ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ บริเวณพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองเอเธน ประเทศกรีซ โดยการตรวจวัดด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรต่ำที่ความสูง 6.7 เมตรจากพื้นที่ดิน พบว่า PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ CO Black Carbon NO_x และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วลมที่พัดเข้าสู่จุดตรวจวัด โดยมีค่า R เท่ากับ 0.71 0.73 0.69 และ -0.43 ตามลำดับ จากการศึกษาข้างต้นได้นำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มาสร้างแบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ซึ่งสามารถใช้ประเมินแนวโน้มระดับ PM_{10} ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบปีได้

2.5.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยา

Keary et al. (1998) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในเมืองดับลิน ประเทศสก็อตแลนด์ พบว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วลม อุณหภูมิ และปริมาณฝนตก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Aldrin and Haff (2005); Celis et al. (2004); Lu and Fang (2002)

Cassoni et al. (2004) ได้ศึกษาปริมาณ $PM_{2.5}$ ในประเทศอิตาลี พบว่า $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิลดต่ำลง และมีแนวโน้มลดต่ำในช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มสูง และจากการศึกษาของ Chan and Kwok (2001); Harrison et al. (1997); Manoli et al. (2002); Thongsanit et al. (2003) พบว่าระดับ PM_{10} ในบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งแสดงว่า PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับอุณหภูมิในบรรยากาศ

2.5.3 การศึกษาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} จากการศึกษาวิเคราะห์ความถดถอย

Fuller et al. (2002) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} บริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับสร้างแบบจำลอง และกำหนดตัวแปร NO_x เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากสถานีตรวจวัดเดียวกันกับ PM_{10} เป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่า R^2 มากกว่า 0.8 โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ได้เฉพาะเมืองลอนดอนเท่านั้น และจากการศึกษาของ Harrison et al. (1997) พบว่าตัวแปร NO_x สามารถใช้เป็นตัวแปรอิสระสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีที่เดียวกันได้ และพบว่าแบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10} แยกตามฤดูกาล มีค่า R^2 แตกต่างกัน โดยแบบจำลองที่สร้างจากข้อมูลช่วงฤดูหนาวมักมีค่า R^2 สูงกว่าแบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูร้อน

Slini et al. (2006) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ในเมือง Thessaloniki ประเทศกรีซ โดยใช้ข้อมูลความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน โดยพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 11.236 มก./ลบ.ม. และจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า PM_{10} จากผลการตรวจวัดจริงกับผลการทำนาย พบว่ามีค่า R เท่ากับ 0.297

Chaloulakou, Grivas, and Spyrellis (2003) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ในเมืองเอเธน ประเทศกรีซ โดยใช้ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน โดยผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่า R^2 เท่ากับ 0.44 และมีค่า RMSE เท่ากับ 23.6 มก./ลบ.ม.

Koutrakis et. al. (2005) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองจากการวิเคราะห์ความถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในเมืองซานโทเอโก ประเทศซีลี โดยตัวแปรอิสระประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งผลการศึกษาพบว่าความเร็วลม และอุณหภูมิ เป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaloulakou, Kassomenos, et al. (2003) ที่ได้ศึกษาในเมืองเอเธน ประเทศกรีซ โดยพบว่าความเร็วลมเป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลสูงในการทำนาย PM_{10} ณ บริเวณสถานที่ที่ลมพัดเข้าไป

2.5.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5.1-2.5.3 สรุปข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้

- ในรอบปีระดับ PM_{10} ในบรรยากาศทั่วไปมีแนวโน้มเพิ่มสูงช่วงที่อุณหภูมิลดต่ำลง
- บริเวณพื้นที่ทั่วไปในเขตเมือง ณ สถานีที่เดียวกัน พบว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ CO NO NO_2 NO_x และ SO_2 และมีความสัมพันธ์ในทิศทางข้ามกับความเร็วลม

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณฝน

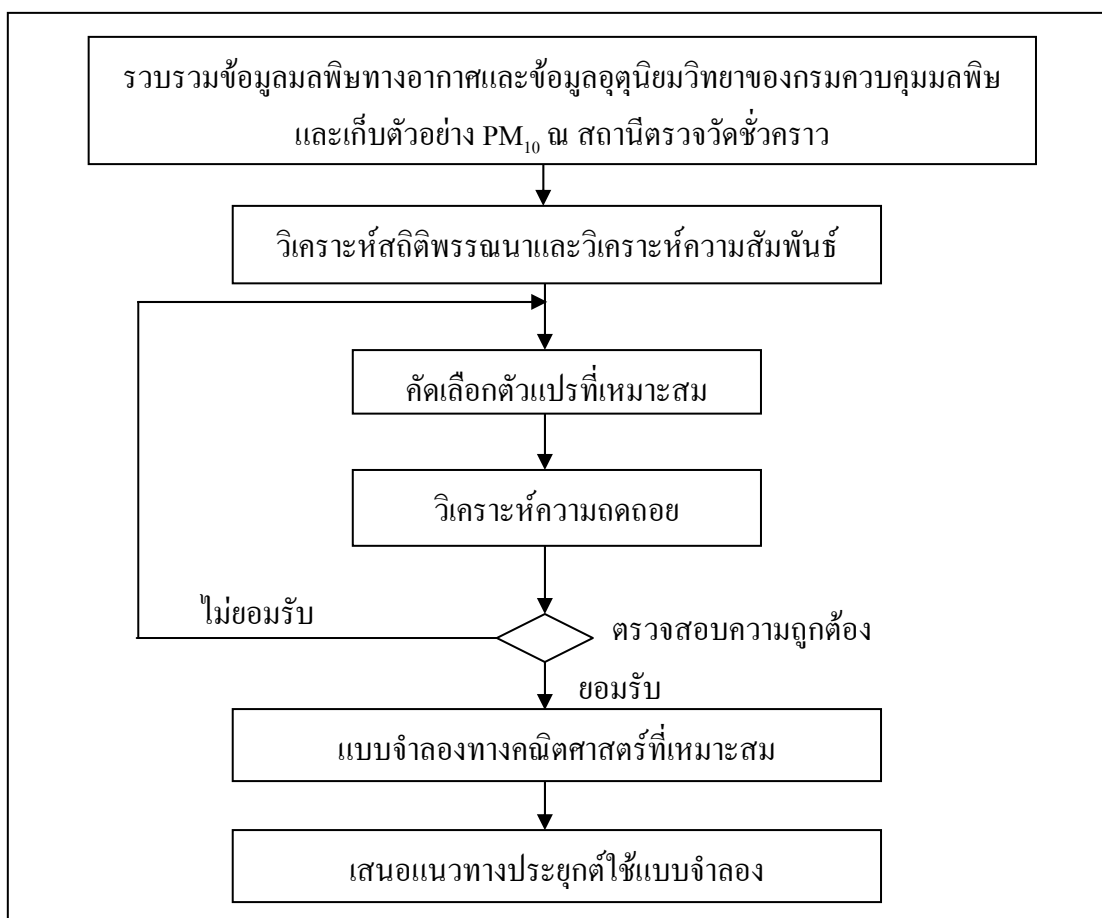
- ระดับ PM_{10} ณ สถานที่ต่าง ๆ ในเขตเมืองเดียวกันมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าระดับ PM_{10} บริเวณสองพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่คล้ายคลึงกันจะมีความสัมพันธ์กันสูงกว่าบริเวณสองพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่แตกต่างกัน

- การพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ พื้นที่ทั่วไปในเขตเมือง โดยใช้ข้อมูลทางสถิตินำมาวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ตรวจวัดได้จากสถานที่เดียวกัน พบว่าตัวแปร NO_x อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มีศักยภาพในการทำนาย PM_{10} และสามารถเลือกเป็นตัวแปรอิสระในการศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลอง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา นำมาวิเคราะห์สถิติพรรณนาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ และกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน และระหว่างสถานีตรวจวัดต่าง ๆ โดยความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำมาใช้สร้างแบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร และ ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว เพื่อเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา



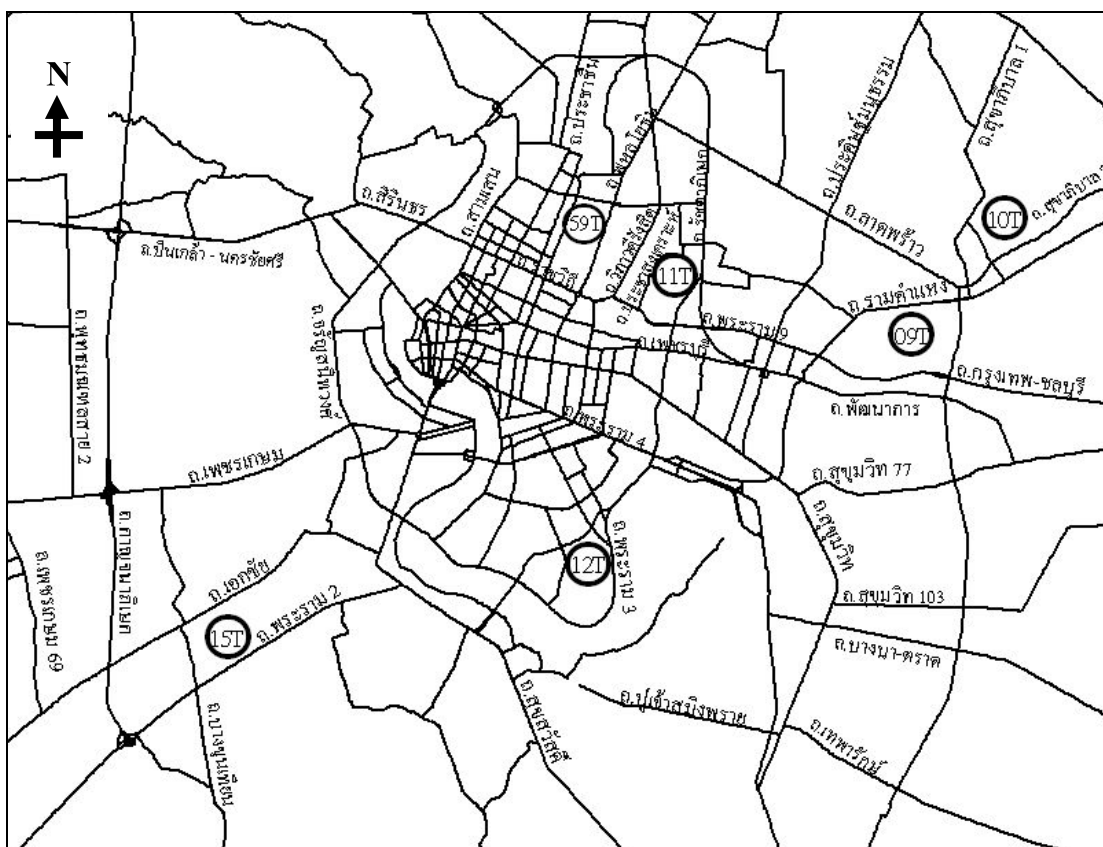
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของการศึกษา

3.1 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ กำหนดพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ ได้แก่ กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา โดยมีรายละเอียดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษา ดังนี้

3.1.1 พื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ

พื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ ใช้ข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุณหภูมิต่ำย้อนหลัง 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2548 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ ที่ตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ทั่วไป จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีรามคำแหง (09T) สถานีคลองจั่น (10T) สถานีห้วยขวาง (11) สถานีนนทบุรี (12T) สถานีสิงหราช (15T) และสถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T) โดยตำแหน่งจุดที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และลักษณะที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยสถานีตั้งอยู่บนที่ดินประเภทสถาบันราชการ ที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง และพาณิชยกรรม ซึ่งมีประชากรหนาแน่นประมาณ 1,058-7,020 คนต่อตารางกิโลเมตร (กรุงเทพมหานคร, 2549)



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ

ชื่อสถานี	รายละเอียดของสถานี					ช่วงเวลา ที่ศึกษา
	ประเภท	สถานที่ตั้ง	ประเภทที่ดิน	ประชากร ¹ (คน/ตร.กม.)	ระยะห่าง จากถนน สายหลัก (เมตร)	
รามคำแหง (09T)	สถานี ถาวร	มหาวิทยาลัย รามคำแหง	สถาบันราชการ	5,178	มากกว่า 50	1 ม.ค. 2543 ถึง 31 ส.ค. 2546 ²
คลองจั่น (10T)	สถานี ถาวร	สำนักงานการ เคหะชุมชน คลองจั่น	ที่อยู่อาศัย หนาแน่น ปานกลาง	7,020	มากกว่า 50	1 ม.ค. 2543 ถึง 31 ธ.ค. 2548
ห้วยขวาง (11T)	สถานี ถาวร	สนามกีฬาการ เคหะชุมชน ห้วยขวาง	ที่อยู่อาศัย หนาแน่น ปานกลาง	5,086	มากกว่า 50	1 ม.ค. 2543 ถึง 31 ธ.ค. 2548
นนทบุรี (12T)	สถานี ถาวร	โรงเรียน นนทบุรีวิทยา	พาณิชยกรรม	5,341	มากกว่า 50	1 ม.ค. 2543 ถึง 31 ธ.ค. 2548
สิงหราช (15T)	สถานี ถาวร	โรงเรียน สิงหราช พิทยาคม	ที่อยู่อาศัย หนาแน่น ปานกลาง	1,058	มากกว่า 50	1 ม.ค. 2543 ถึง 31 ธ.ค. 2548
กรมประชา สัมพันธ (59T)	สถานี ถาวร	กรมประชา สัมพันธ	สถาบันราชการ	5,165	มากกว่า 50	23 เม.ย. 2547 ถึง 31 ธ.ค. 2548

หมายเหตุ¹ สถานีรามคำแหงได้ยกเลิกการตรวจวัดตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ.2546

3.1.2 พื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา

พื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา ใช้ข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูล
อุตุนิยมวิทยา จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 1 สถานี
ได้แก่ สถานีนครราชสีมา (47T) โดยเป็นข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2549 และ
ผู้วิจัยดำเนินการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ในช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2548 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2549
โดยกำหนดตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในย่านชุมชนที่อยู่อาศัยของประชาชน
และเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการเฝ้าระวังระดับ PM₁₀ ในเขตเมือง โดยการศึกษา

กำหนดสถานที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวจำนวน 2 แห่ง คือ บริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST) ซึ่งอยู่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของสถานีนครราชสีมา และบริเวณโรงเรียนอุบลรัตน์ (UST) ซึ่งอยู่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของสถานีนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 3.3

โดยเหตุผลที่เลือกตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวในบริเวณโรงเรียน เนื่องจากโรงเรียนเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ และเด็กเป็นกลุ่มประชากรที่อ่อนไหวต่อผลกระทบจากระดับมลพิษทางอากาศ โดยการเลือกกำหนดจุดที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว กำหนดให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากที่สุด เพื่อให้สามารถติดตามระดับ PM_{10} ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาครอบคลุมพื้นที่ได้มากยิ่งขึ้น โดยการศึกษาี้ กำหนดเลือกบริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมาเป็นจุดเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} โดยเป็นตัวแทนของพื้นที่ด้านตะวันออกของเมือง และบริเวณโรงเรียนอุบลรัตน์เป็นจุดเฝ้าระวังเป็นตัวแทนของพื้นที่ด้านตะวันตกของเมือง ดังนั้น ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาจึงมีจุดเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} เพิ่มจากปัจจุบันที่มีเพียง 1 จุด เป็น 3 จุด



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา

โดยลักษณะที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร และสถานีตรวจวัดชั่วคราวในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยทุกสถานีตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักประมาณ 50 เมตร และตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เปิดโล่งบนที่ดินประเภทสถาบันราชการ โดยบริเวณโดยรอบสถานีไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่ และบริเวณรอบข้างสถานีเป็น

ที่ดินประเภทพาณิชยกรรม ซึ่งมีประชากรหนาแน่นประมาณ 4,597 คนต่อตารางกิโลเมตร (เทศบาลนครนครราชสีมา, 2549)

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา

ชื่อสถานี	รายละเอียดของสถานี					ช่วงเวลา ที่ศึกษา
	ประเภท	สถานที่ตั้ง	ประเภทที่ดิน	ประชากร (คน/ตร.กม.)	ระยะห่าง จากถนน สายหลัก (เมตร)	
นครราชสีมา	สถานี ถาวร	บ้านพักทหาร มณฑล ทหารบกที่ 21	สถาบัน ราชการ	4,597	50	29 ก.ย. 2543 ถึง 15 ก.พ. 2549
โรงเรียน เมืองนคร ราชสีมา	สถานี ชั่วคราว ¹	โรงเรียนเมือง นครราชสีมา	สถาบัน ราชการ	4,597	50	8 ก.ย. 2548 ถึง 15 ก.พ. 2549
โรงเรียน อุบลรัตน์	สถานี ชั่วคราว ¹	โรงเรียน อุบลรัตน์	พาณิชยกรรม	4,597	50	8 ก.ย. 2548 ถึง 15 ก.พ. 2549

หมายเหตุ¹ สถานีชั่วคราว หมายถึง สถานีตรวจวัดชั่วคราวที่ตั้งขึ้นในการศึกษานี้

3.2 การรวบรวมข้อมูลและเก็บตัวอย่าง

3.2.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูล PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ แบบปริมาตรสูง (high volume PM₁₀ sampler) โดยแผนการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ กำหนดเก็บตัวอย่างวันเว้นวันช่วงวันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยการเก็บตัวอย่างแบ่งเป็น 2 คือ ช่วงฤดูฝนระหว่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2548 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2548 โดยมีระยะเวลาดำเนินการ 21 วัน และช่วงฤดูหนาวระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 โดยมีระยะเวลาดำเนินการ 45 วัน รวมระยะเวลาดำเนินการทั้งสิ้น 66 วัน โดยการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ แบบปริมาตรสูงของสถานีตรวจวัดชั่วคราว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 กำหนดให้ช่องทางอากาศไหลเข้าอยู่สูงกว่าระดับพื้นดินอย่างน้อย 1.5 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร

ตารางที่ 3.3 แผนการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว

สถานี	ช่วงฤดูกาล	ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	
			แผนงาน	ปฏิบัติได้จริง ¹
โรงเรียนเมืองนครราชสีมา	ฤดูฝน	วันที่ 8 ก.ย. 2548 – 19 ต.ค. 2548	21	21
	ฤดูแล้ง	วันที่ 21 พ.ย. 2548 – 15 ก.พ. 2549	45	41
โรงเรียนอุบลรัตน์	ฤดูฝน	วันที่ 8 ก.ย. 2548 – 19 ต.ค. 2548	21	17
	ฤดูแล้ง	วันที่ 21 พ.ย. 2548 – 15 ก.พ. 2549	45	42

หมายเหตุ¹ จำนวนตัวอย่างที่ปฏิบัติได้จริงน้อยกว่าแผนงาน เนื่องจากมีบางวันเครื่องมือเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ชัดข้อง



1) โรงเรียนเมืองนครราชสีมา



2) โรงเรียนอุบลรัตน์

รูปที่ 3.4 สถานีตรวจวัดชั่วคราว

โดยขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ มีรายละเอียดดังนี้

- อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง PM₁₀ คือ เครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ แบบปริมาตรสูง โดยสอบเทียบป้อนให้มีอัตราการไหลของอากาศเป็น 1.13 ลบ.ม./นาที เพื่อให้สามารถคัดแยกฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ตามมาตรฐาน EPA 450 (U.S. EPA, 1999)

- การเตรียมกระดาศกรองใยหิน เริ่มจากอบกระดาศกรองที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำมาเข้าสู่ตูความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักกระดาศกรองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ในพื้นที่ควบคุมให้มีอุณหภูมิ 20 °C ± 1 °C และความชื้น 50% ± 1% บันทึกค่าน้ำหนักก่อน (W₁)

- ใส่กระดาษกรองที่ซั่งน้ำหนักแล้วลงในที่วางและยึดกระดาษกรอง ใส่กระดาษบันทึกอัตราการไหล และตั้งเวลาเปิดปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง โดยกำหนดช่วงเวลาตั้งแต่ 0.00 น. ถึง 0.00 น. ของวันถัดไปรวมระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง

- เมื่อเครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ทำงานครบ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างกระดาษกรองนำไปเข้าสู่คูความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปซั่งน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง (W₂) ด้วยอุปกรณ์และสภาวะแวดล้อมเช่นเดียวกับก่อนนำกระดาษกรองมาใช้เก็บตัวอย่าง

- วิเคราะห์หาความเข้มข้นของตัวอย่าง PM₁₀ จากสมการที่ 3.1

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{10} \text{ (มก.ก./ลบ.ม.)} = \frac{(W_1 - W_2)}{V} \times 10^6 \quad (3.1)$$

โดยที่ W₁ คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (g)
 W₂ คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (g)
 V คือ ปริมาตรอากาศในการเก็บตัวอย่าง (m³)

3.2.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

ข้อมูลทุติยภูมิเป็นข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยเป็นข้อมูลที่ได้รวบรวมจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ ที่ตั้งในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเขตกรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา โดยข้อมูลมลพิษทางอากาศประกอบด้วย PM₁₀ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ซึ่งตรวจวัดโดยใช้วิธีตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประกอบด้วย อุณหภูมิ (T) ความกดอากาศ (P) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาณรังสีสุทธิ (NR) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR) ความเร็วลม (WS) และวันที่มีฝนตก (RA)

3.2.3 การกำหนดตัวแปร

จากการรวบรวมข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรของข้อมูลแต่ละประเภทแยกตามสถานีตรวจวัด โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรเชิงปริมาณ และตัวแปรหุ่น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวแปรเชิงปริมาณ (quantitative variable) เป็นตัวแปรที่มีข้อมูลแสดงเป็นตัวเลขสามารถวัดได้ว่ามีค่ามากหรือน้อยเท่าไร โดยการศึกษาครั้งนี้ มีจำนวน 11 ตัวแปร ประกอบด้วย ตัวแปรมลพิษทางอากาศ ได้แก่ PM₁₀ CO NO₂ SO₂ และ O₃ และตัวแปรอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ (T) ความกดอากาศ (P) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาณรังสีสุทธิ (NR) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR) และความเร็วลม (WS) โดยรายละเอียดของตัวแปรเชิงปริมาณ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปร	หน่วย	รายละเอียด
PM10@BK	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
PM10@09T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
PM10@10T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
PM10@11T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
PM10@12T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
PM10@15T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
PM10@59T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
PM10@47T	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
PM10@MST	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมืองนครราชสีมา
PM10@UST	มก.ก./ลบ.ม.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์
CO@BK	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
CO@09T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
CO@10T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
CO@11T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
CO@12T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
CO@15T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
CO@59T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
CO@47T	ส่วนในล้านส่วน	คาร์บอนมอนอกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
NO2@BK	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
NO2@09T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	รายละเอียด
NO2@10T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
NO2@11T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
NO2@12T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
NO2@15T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
NO2@59T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
NO2@47T	ส่วนในพันล้านส่วน	ไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
SO2@BK	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
SO2@09T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
SO2@10T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
SO2@11T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
SO2@12T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
SO2@15T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
SO2@59T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
SO2@47T	ส่วนในพันล้านส่วน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
O3@BK	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
O3@09T	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
O3@10T	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
O3@11T	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
O3@12T	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
O3@15T	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
O3@47T	ส่วนในพันล้านส่วน	โอโซน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
T@BK	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
T@09T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
T@10T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
T@11T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
T@12T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
T@15T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
T@59T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
T@47T	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	รายละเอียด
P@BK	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
P@09T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
P@10T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
P@11T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
P@12T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
P@15T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
P@59T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
P@47T	มิลลิเมตรปรอท	ความกดอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
RH@BK	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
RH@09T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
RH@10T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
RH@11T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
RH@12T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
RH@15T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
RH@59T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
RH@47T	เปอร์เซ็นต์	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
NR@BK	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
NR@09T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
NR@10T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
NR@11T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
NR@12T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
NR@15T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
NR@59T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
NR@47T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
GR@BK	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีสุทธิดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ
GR@09T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
GR@10T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
GR@11T	วัดศตต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	รายละเอียด
GR@12T	วัดต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
GR@15T	วัดต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
GR@47T	วัดต่อตารางเมตร	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา
WS@BK	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากข้อมูลรวม 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ
WS@09T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีรามคำแหง
WS@10T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีคลองจั่น
WS@11T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีห้วยขวาง
WS@12T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนนทบุรี
WS@15T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีสิงหราช
WS@59T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์
WS@47T	เมตรต่อวินาที	ความเร็วลม เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีนครราชสีมา

2) ตัวแปรหุ่น (dummy variable) เป็นตัวแปรที่กำหนดให้มีค่าได้ 2 ค่า คือ 0 และ 1 โดยเป็นตัวเลขที่แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของข้อมูลตัวแปรนั้น ๆ ถ้ากรณีที่พิจารณาเป็นตามเงื่อนไข จะกำหนดให้มีค่าของตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 และถ้าไม่เป็นตามเงื่อนไขจะกำหนดให้ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 0 โดยตัวแปรหุ่นในการศึกษานี้ มีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรวันที่อยู่ในช่วงฤดูฝน (Rain) ตัวแปรวันที่อยู่ในช่วงฤดูหนาว (Winter) และตัวแปรวันที่มีฝนตก (RA) โดยรายละเอียดของตัวแปรหุ่น ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรหุ่นที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปร	หน่วย	รายละเอียด
Rain	ไม่มี	วันที่อยู่ในช่วงฤดูฝน คือ ช่วงระหว่างวันที่ 15 พฤษภาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
Winter	ไม่มี	วันที่อยู่ในช่วงฤดูหนาว คือ ช่วงระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
RA@09T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีรามคำแหง (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
RA@10T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีคลองจั่น (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
RA@11T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีห้วยขวาง (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
RA@12T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีนนทบุรี (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
RA@15T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีสิงหราช (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรหุ่นที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	รายละเอียด
RA@59T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)
RA@47T	ไม่มี	วันที่มีฝนตก ณ สถานีนครราชสีมา (0 หมายถึง ไม่ใช่ , 1 หมายถึง ใช่)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.3.1 การวิเคราะห์สถิติพรรณนา

การวิเคราะห์สถิติพรรณนาเป็นการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น โดยการศึกษาจะทำการวิเคราะห์ค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ค่ามัธยฐาน (median) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: S.D.) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (coefficient of variation: COV) ค่าความเบ้ (Skewness) ค่าความโด่ง (Kurtosis) และสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูล โดยทดสอบสถิติ Kolmogorvo-Smirnov (K-S) test โดยการศึกษาสถิติพรรณนาสามารถสรุปลักษณะเบื้องต้นของข้อมูล ดังนี้

- ค่ามัธยฐาน เป็นค่าของข้อมูลที่มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางของชุดข้อมูล และค่าเฉลี่ยเป็นค่ากลางของข้อมูลในกรณีที่มีข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูล โดยข้อมูลชุดที่มีค่าการกระจายมาก แสดงว่าค่ากลางไม่เป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลชุดนั้น
- ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูล ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันไม่มีหน่วยจึงสามารถเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปได้ชัดเจน โดยข้อมูลชุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันสูงจะมีการกระจายมากกว่าข้อมูลชุดค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันน้อย
- ค่าความเบ้ เป็นค่าที่ใช้วัดลักษณะของเส้นโค้งหรือลักษณะการแจกแจงของข้อมูลว่าเบ้หรือไม่ โดยเส้นโค้งปกติจะมีค่าความเบ้เป็นศูนย์ ถ้าค่าความเบ้เป็นบวก แสดงว่าเบ้ขวา ซึ่งอธิบายว่าข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าน้อยโดยมีบางข้อมูลมีค่ามากกว่าปกติ และถ้าค่าความเบ้เป็นลบ แสดงว่าเบ้ซ้าย ซึ่งอธิบายว่าหมายคามข้อมูลส่วนใหญ่มีค่ามากโดยมีบางข้อมูลมีค่าต่ำกว่าปกติ
- ค่าความโด่ง เป็นค่าที่ใช้วัดความโด่งของเส้นโค้งการแจกแจงของข้อมูล โดยเส้นโค้งปกติจะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าค่าความโด่งเป็นบวก แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่ค่อนข้างป้าน หรือโค้งน้อย และถ้าค่าความโด่งเป็นลบ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่มีลักษณะมีโค้งมาก
- การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ K-S test ซึ่งมีสมมติฐานของการทดสอบ คือ H_0 : มีการแจกแจงแบบปกติ และ H_1 : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และกำหนดเงื่อนไขการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับ

นัยสำคัญที่กำหนด 0.05 โดยถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จะสรุปว่าข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ หรือข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

3.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การศึกษานี้ ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ว่ามีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อย มีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่ และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: R) โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ

- ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ ณ สถานีเดียวกัน
- ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลอุณหภูมิตามสถานีเดียวกัน
- ความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีตรวจวัด
- ความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ และข้อมูลอุณหภูมิตามสถานีตรวจวัด

โดยการวิเคราะห์เพื่อยืนยันสมมติฐานของการศึกษา และคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคัดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร PM_{10} ตามกรณีศึกษาที่ได้กำหนด 2 กรณี คือ กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน และกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี

3.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษานี้ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) เพื่อหาสมการถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10} โดยสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) กับตัวแปรอิสระ (independent variable) ตัวเดียวหรือหลายตัวที่มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น โดยการศึกษาใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 13 เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

- 1) กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน
- 2) กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี

และแต่ละกรณีแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 กรณีย่อย คือ

- กรณีย่อยที่ 1 แบบจำลองจากข้อมูลทุกช่วงฤดูกาล
- กรณีย่อยที่ 2 แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูหนาว (วันที่ 1 พ.ย. ถึงวันที่ 15 ก.พ.)
- กรณีย่อยที่ 3 แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูร้อน (วันที่ 16 ก.พ. ถึงวันที่ 15 พ.ค.)
- กรณีย่อยที่ 4 แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูฝน (วันที่ 16 พ.ค. ถึงวันที่ 31 ต.ค.)

โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีต่าง ๆ กำหนดชุดข้อมูลโดยข้อมูล 1 ชุด ประกอบด้วยค่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระวันเดียวกัน โดยทำการสุ่มตัวอย่างจำนวนร้อยละ 80 ของชุดข้อมูลทั้งหมด ส่วนชุดข้อมูลที่เหลือจำนวนร้อยละ 20 แยกไว้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความถดถอย กำหนดใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย ด้วยวิธี Stepwise Regression ซึ่งเป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระโดยใช้หลักเกณฑ์ของวิธี Backward Elimination และวิธี Forward Selection รวมกัน โดยเลือกตัวแปรอิสระ 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าสมการซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ การคำนวณจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y กับ X_i ที่ละตัว แล้วเลือกตัวแปรเข้ามาเพิ่มเติมทีละตัวและคัดออกโดยพิจารณาจากสถิติทดสอบ F โดยกำหนดนัยสำคัญ 0.05 เป็นเกณฑ์ของการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการความถดถอย และกำหนดนัยสำคัญ 0.10 เป็นเกณฑ์ของการคัดเลือกตัวแปรออกจากสมการความถดถอย และหากการทดสอบพบว่าไม่มีตัวแปรอิสระใด ๆ ผ่านเกณฑ์จะหยุดการวิเคราะห์และถือว่าไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม

3.5 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (residual analysis) ในการวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขความเชื่อมั่นของสมการถดถอย โดยพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standardized residuals) โดยสมการถดถอยที่มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0 มากที่สุด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 มากที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ จะถือว่าเป็นสมการที่เหมาะสมและเป็นไปตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (validation) ในการศึกษานี้ กำหนดใช้ 2 วิธี คือ

1) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าของ PM_{10} จากการตรวจวัดจริงกับค่าของ PM_{10} จากผลการทำนาย โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด แสดงว่าเป็นแบบจำลองมีความถูกต้องมากที่สุด

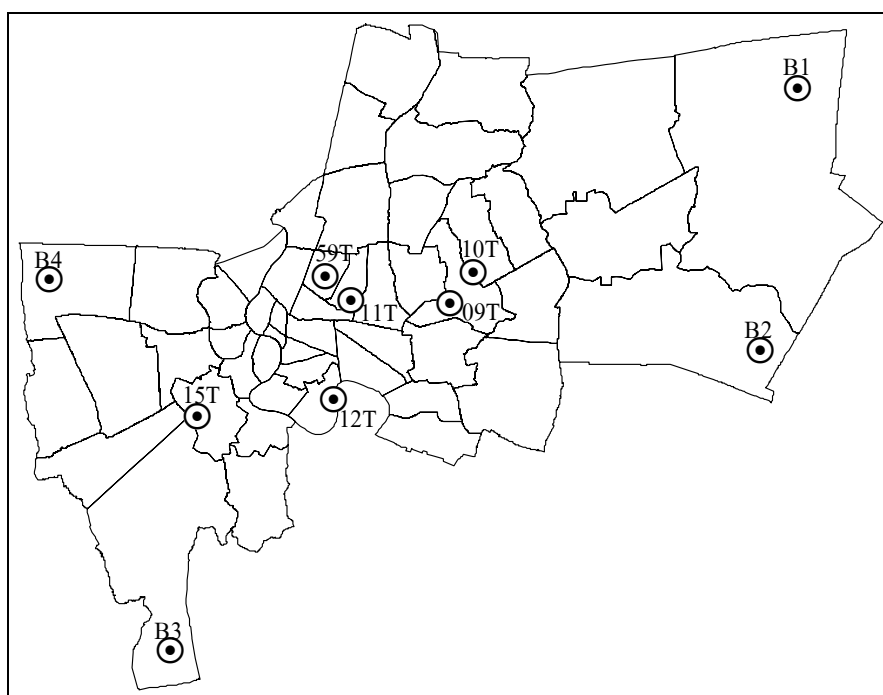
2) การพิจารณาค่า mean squared prediction error (MSPR) ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยของตัวแปร PM_{10} จากการตรวจวัดจริงกับตัวแปร PM_{10} จากผลการทำนาย โดยแบบจำลองที่มีค่า MSPR ใกล้เคียง 0 มากที่สุด แสดงว่าเป็นแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีความถูกต้องมากที่สุด

3.7 การสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10}

การศึกษานี้ กำหนดสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} เฉพาะข้อมูลจากการศึกษาในพื้นที่ กรุงเทพฯ เท่านั้น ส่วนการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาไม่สามารถสร้างได้ เนื่องจากมีจำนวนสถานีตรวจวัดเพียง 3 สถานี ซึ่งมีจำนวนจุดข้อมูลไม่เหมาะสมสำหรับการสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} โดยการวิเคราะห์กำหนดวิธีการประมาณค่าจุดข้อมูล (grid) สำหรับสร้างเส้นชั้น (contour) ด้วยวิธี Kriging โดยกำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ ดังนี้

1) กำหนดขอบเขตพื้นที่ของการวิเคราะห์เพื่อสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} เฉพาะในพื้นที่ กรุงเทพฯ เท่านั้น โดยข้อมูลเส้นชั้นระดับ PM_{10} ที่อยู่นอกเขตกรุงเทพฯ จะไม่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้

2) ใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ จำนวน 6 สถานี ได้แก่ รามคำแหง (09T) คลองจั่น (10T) ห้วยขวาง (11T) นนทบุรี (12T) สิงหาคม (15T) และกรมประชาสัมพันธ์ (59T) และกำหนดจุดข้อมูลสมมุติอยู่ในที่ดินประเภทเกษตรกรรมบริเวณชานเมืองของกรุงเทพฯ จำนวน 4 จุด ได้แก่ จุด B1 อยู่ในเขตหนองจอก จุด B2 อยู่ในเขตลาดกระบัง จุด B3 อยู่ในเขตบางขุนเทียน และจุด B4 อยู่ในเขตทวีวัฒนา ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยจุดสมมุติกำหนดค่า PM_{10} ให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 70 ของค่าเฉลี่ยของ PM_{10} จาก 6 สถานี เพื่อกำหนดควบคุมให้ระดับ PM_{10} ในเขตชั้นในของกรุงเทพฯ มีค่าสูงกว่าบริเวณชานเมืองของกรุงเทพฯ



รูปที่ 3.5 จุดที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและจุดสมมุติในพื้นที่กรุงเทพฯ

3) กำหนดใช้ข้อมูล PM_{10} ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ โดยกรณีไม่มีข้อมูลจริงกำหนดใช้ข้อมูลผลการทำนาย PM_{10} ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษานี้ทดแทนข้อมูลที่ขาดหายไป

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา

4.1.1 สถิติพรรณนาของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในพื้นที่กรุงเทพฯ

4.1.1.1 ข้อมูลมลพิษทางอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงระหว่างปี พ.ศ.2543-2548 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร จำนวน 6 สถานี ในพื้นที่ กรุงเทพฯ โดยพิจารณารวมทุกสถานีและแยกรายสถานี ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยพบว่าค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นของ PM_{10} CO NO_2 SO_2 และ O_3 มีค่าสูงสุดที่สถานีนนทรี (12T) สถานีห้วยขวาง (11T) สถานีห้วยขวาง (11T) สถานีรามคำแหง (09T) และสถานีรามคำแหง (09T) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณารวมทุกสถานี พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} เท่ากับ 49.96 มก.ก./ลบ.ม. CO เท่ากับ 0.82 ส่วนในล้านส่วน NO_2 เท่ากับ 24.06 ส่วนในพันล้านส่วน SO_2 เท่ากับ 6.58 ส่วนในพันล้านส่วน และ O_3 เท่ากับ 16.40 ส่วนในพันล้านส่วน โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารมลพิษอากาศกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} CO NO_2 SO_2 และ O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 41.63 ร้อยละ 2.73 ร้อยละ 14.15 ร้อยละ 5.48 และร้อยละ 16.40 ของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศตามลำดับ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าข้อมูล PM_{10} CO NO_2 SO_2 และ O_3 ทุกตัวแปรมีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (COV) น้อยกว่า 1 ส่วน ลักษณะการกระจายของข้อมูล พบว่าทุกตัวแปร มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามัธยฐาน มีค่าความเบ้และค่าความโด่งเป็นบวก และจากการทดสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov (K-S) test พบว่าทุกตัวแปร ได้ผลการทดสอบเป็นการปฏิเสธสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าตัวแปรมลพิษทางอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ ทุกตัวแปรไม่ได้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

จากการศึกษาลักษณะการแจกแจงโดยใช้ฮิสโตแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สรุปได้ว่าทุกตัวแปรมีการกระจายของข้อมูลเบ้ขวาและข้อมูลมีลักษณะกระจุกตัว ซึ่งอธิบายได้ว่า ข้อมูลตัวแปรมลพิษทางอากาศส่วนใหญ่มีค่าน้อยโดยข้อมูลบางตัวอย่างมีค่าสูงกว่าปกติ โดยสังเกตว่าตัวแปร SO_2 ณ สถานีคลองจั่น พบมีการกระจุกตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับตัวแปร SO_2 ณ สถานีอื่น ๆ

ตารางที่ 4.1 สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร ¹	จำนวนข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่าความเบ้	ค่าความโด่ง	K-S Test
									P-value
PM10@BK	10,725	594	49.96	44.88	21.8	0.44	1.51	3.25	0.000
PM10@09T	1,339	105	48.17	45.04	18.8	0.39	1.33	2.89	0.000
PM10@10T	2,192	62	42.24	37.54	18.5	0.44	1.53	2.92	0.000
PM10@11T	2,192	76	51.92	48.17	18.4	0.36	1.25	2.32	0.000
PM10@12T	2,192	145	54.59	50.17	21.9	0.40	1.50	3.46	0.000
PM10@15T	2,192	157	53.27	45.54	26.3	0.49	1.53	2.64	0.000
PM10@59T	618	49	46.92	39.00	24.0	0.51	1.56	2.09	0.000
CO@BK	10,725	640	0.82	0.74	0.46	0.56	1.16	2.03	0.000
CO@09T	1,339	125	0.74	0.69	0.41	0.55	1.13	2.50	0.000
CO@10T	2,192	88	0.74	0.67	0.40	0.54	1.33	3.18	0.000
CO@11T	2,192	93	1.06	0.99	0.45	0.42	0.75	0.64	0.000
CO@12T	2,192	124	0.72	0.64	0.38	0.53	1.51	3.75	0.000
CO@15T	2,192	161	0.95	0.81	0.52	0.55	1.37	2.20	0.000
CO@59T	618	49	0.30	0.23	0.25	0.83	2.29	10.63	0.000
NO2@BK	10,725	686	24.06	22.22	11.4	0.47	0.82	0.92	0.000
NO2@09T	1,339	88	20.35	18.61	9.80	0.48	0.94	1.36	0.000
NO2@10T	2,192	143	20.26	18.65	8.40	0.41	1.28	2.61	0.000
NO2@11T	2,192	130	31.83	30.52	9.62	0.30	1.18	2.95	0.000
NO2@12T	2,192	150	27.15	25.22	11.2	0.41	0.98	1.18	0.000
NO2@15T	2,192	149	19.97	15.09	12.4	0.62	0.92	0.11	0.000
NO2@59T	618	26	21.46	18.77	8.77	0.41	1.39	2.00	0.000
SO2@BK	10,725	1,049	6.58	5.83	4.10	0.62	3.44	29.77	0.000
SO2@09T	1,339	236	8.10	7.04	5.34	0.66	3.05	15.38	0.000
SO2@10T	2,192	202	6.32	5.91	3.70	0.59	7.10	116.37	0.000
SO2@11T	2,192	202	6.50	5.74	3.88	0.60	3.05	22.98	0.000
SO2@12T	2,192	144	7.31	6.39	4.50	0.62	2.46	10.42	0.000
SO2@15T	2,192	189	6.17	5.61	3.25	0.53	1.32	2.87	0.000
SO2@59T	618	76	3.47	3.30	1.74	0.50	0.87	1.76	0.000

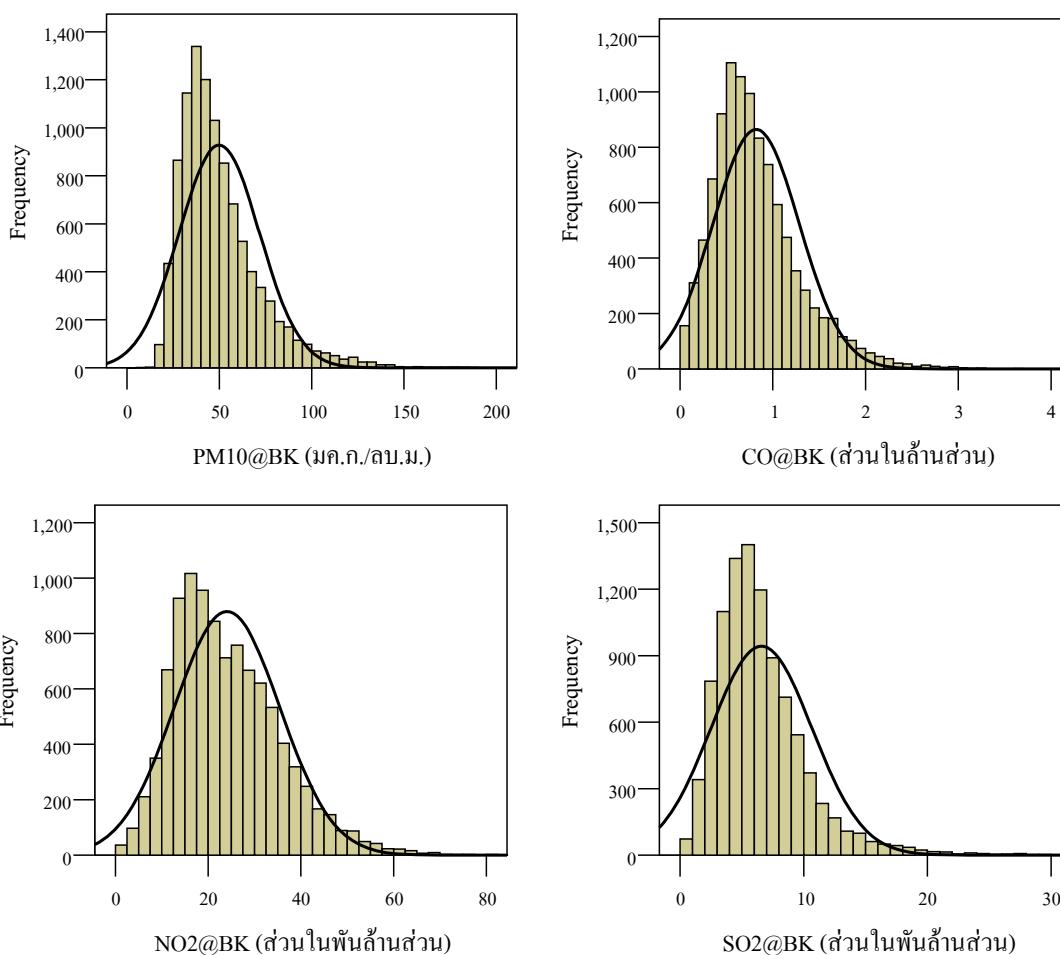
หมายเหตุ¹ หน่วยของ PM₁₀ คือ มก.ก./ลบ.ม., CO คือ ส่วนในล้านส่วน

NO₂ และ SO₂ คือ ส่วนในพันล้านส่วน

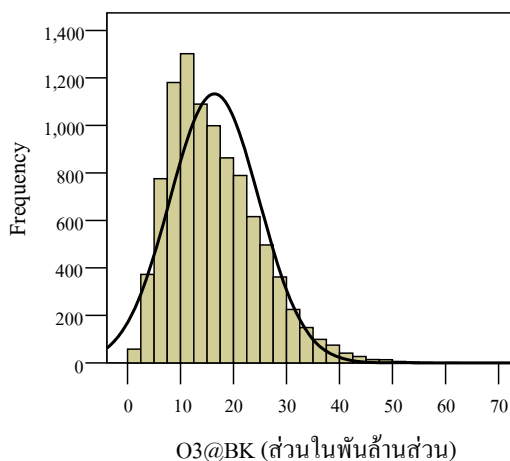
ตารางที่ 4.1 สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ (ต่อ)

ตัวแปร ¹	จำนวนข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่าความเบ้	ค่าความโด่ง	K-S Test
									P-value
O3@BK	10,725	1,164	16.40	15.00	8.42	0.51	0.82	0.67	0.000
O3@09T	1,339	82	22.42	21.74	8.81	0.39	0.56	0.29	0.023
O3@10T	2,192	90	19.01	18.33	7.64	0.40	0.56	0.41	0.000
O3@11T	2,192	125	12.06	10.79	6.44	0.53	1.04	1.77	0.000
O3@12T	2,192	91	12.74	11.36	6.80	0.53	1.17	1.78	0.000
O3@15T	2,192	158	18.16	16.74	8.33	0.46	0.86	0.71	0.000

หมายเหตุ¹ หน่วยของ O₃ คือ ส่วนในพันล้านส่วน



รูปที่ 4.1 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมลพิษทางอากาศรวมทุกสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ



รูปที่ 4.1 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมลพิษทางอากาศรวมทุกสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ (ต่อ)

4.1.1.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพฯ

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร จำนวน 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยพิจารณารวมทุกสถานีและแยกรายสถานี ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาข้อมูลรวมทุกสถานี พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (T) เท่ากับ 29.18 องศาเซลเซียส ความกดอากาศ (P) เท่ากับ 757.13 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เท่ากับ 75.37 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณรังสีสุทธิ (NR) เท่ากับ 108.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR) เท่ากับ 138.95 วัตต์ต่อตารางเมตร ความเร็วลม (WS) เท่ากับ 0.95 เมตรต่อวินาที และมีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยเท่ากับ 116 วันต่อปี

จากการศึกษาลักษณะความแปรปรวนของข้อมูล พบว่าทุกตัวแปรมีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ โดยมีค่า COV น้อยกว่า 1 โดยสังเกตว่าตัวแปรความกดอากาศ และอุณหภูมิ มีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยมาก จากการศึกษาลักษณะการกระจายของข้อมูล โดยพิจารณาค่าความเบ้และค่าความโด่ง พบว่าตัวแปรอุณหภูมิ ความอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนใหญ่มีลักษณะการกระจายเบ้ซ้ายและข้อมูลค่อนข้างกระจุกตัว ส่วนตัวแปรปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม ส่วนใหญ่มีลักษณะการกระจายเบ้ขวาและข้อมูลมีลักษณะกระจายตัว โดยมีข้อสังเกตว่าตัวแปรความกดอากาศ ความเร็วลม ณ สถานีคลองจั่น (10T) และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ สถานีนนทรี (12T) มีการกระจุกตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับตัวแปรประเภทเดียวกัน ณ สถานีอื่น ๆ ซึ่งจากทบทวนข้อมูลไม่พบความผิดปกติของข้อมูล ดังนั้น จึงถือว่าผลการวิเคราะห์ได้แสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลทางสถิติที่เกิดขึ้นจริง

ตารางที่ 4.2 สถิติพรรณนาของข้อมูลอุณหภูมิวิทยาในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร ¹	จำนวนข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่าความเบ้	ค่าความโด่ง	K-S Test
									P-value
T@BK	10,725	452	29.18	29.33	1.97	0.07	-0.46	0.94	0.000
T@09T	1,339	98	29.50	29.65	1.56	0.05	-0.60	0.80	0.008
T@10T	2,192	86	29.06	29.19	1.82	0.06	-0.57	0.66	0.000
T@11T	2,192	74	29.24	29.47	2.61	0.09	-0.35	0.17	0.003
T@12T	2,192	58	29.05	29.21	1.67	0.06	-0.51	1.45	0.000
T@15T	2,192	107	29.41	29.52	1.87	0.06	-0.51	0.42	0.055
T@59T	618	29	28.48	28.58	1.73	0.06	-0.69	0.89	0.345
P@BK	10,725	753	757.1	757.3	3.40	0.00	-3.90	41.93	0.000
P@09T	1,339	198	757.3	757.21	1.98	0.00	0.45	0.14	0.044
P@11T	2,192	60	757.3	757.21	2.46	0.00	-1.34	13.28	0.000
P@10T	2,192	67	756.5	756.54	2.94	0.00	-9.40	189.97	0.000
P@12T	2,192	38	757.0	757.00	1.98	0.00	0.26	-0.11	0.034
P@15T	2,192	146	757.2	758.34	5.67	0.01	-2.62	9.69	0.000
P@59T	618	244	759.6	759.78	2.44	0.00	-3.55	13.74	0.000
RH@BK	10,725	889	75.37	75.12	12.6	0.17	-0.22	-0.37	0.000
RH@09T	1,339	188	76.74	76.88	10.8	0.14	-0.28	0.07	0.549
RH@10T	2,192	148	78.88	79.94	11.6	0.15	-0.30	-0.77	0.000
RH@11T	2,192	236	70.35	69.67	12.9	0.18	0.26	-0.36	0.032
RH@12T	2,192	152	77.12	77.53	14.2	0.18	-0.53	-0.28	0.000
RH@15T	2,192	115	73.72	73.83	11.3	0.15	-0.30	0.21	0.056
RH@59T	618	50	77.05	73.49	11.1	0.14	0.30	-0.93	0.000
NR@BK	10,725	499	108.8	98.79	58.6	0.54	0.79	0.35	0.000
NR@09T	1,339	69	109.6	104.41	43.0	0.39	0.79	1.74	0.000
NR@10T	2,192	81	126.6	121.00	54.2	0.43	0.39	-0.46	0.000
NR@11T	2,192	144	77.64	79.46	32.6	0.42	-0.17	-0.44	0.047
NR@12T	2,192	67	91.82	90.62	36.1	0.39	0.12	-0.10	0.400
NR@15T	2,192	105	79.94	75.81	41.7	0.52	0.31	-0.66	0.000
NR@59T	618	22	115.6	117.06	36.6	0.32	-0.22	0.04	0.294

หมายเหตุ¹ หน่วยของ T คือ องศาเซลเซียส, P คือ มิลลิเมตรปรอท, RH คือ เปอร์เซ็นต์

NR คือ วัตต์ต่อตารางเมตร

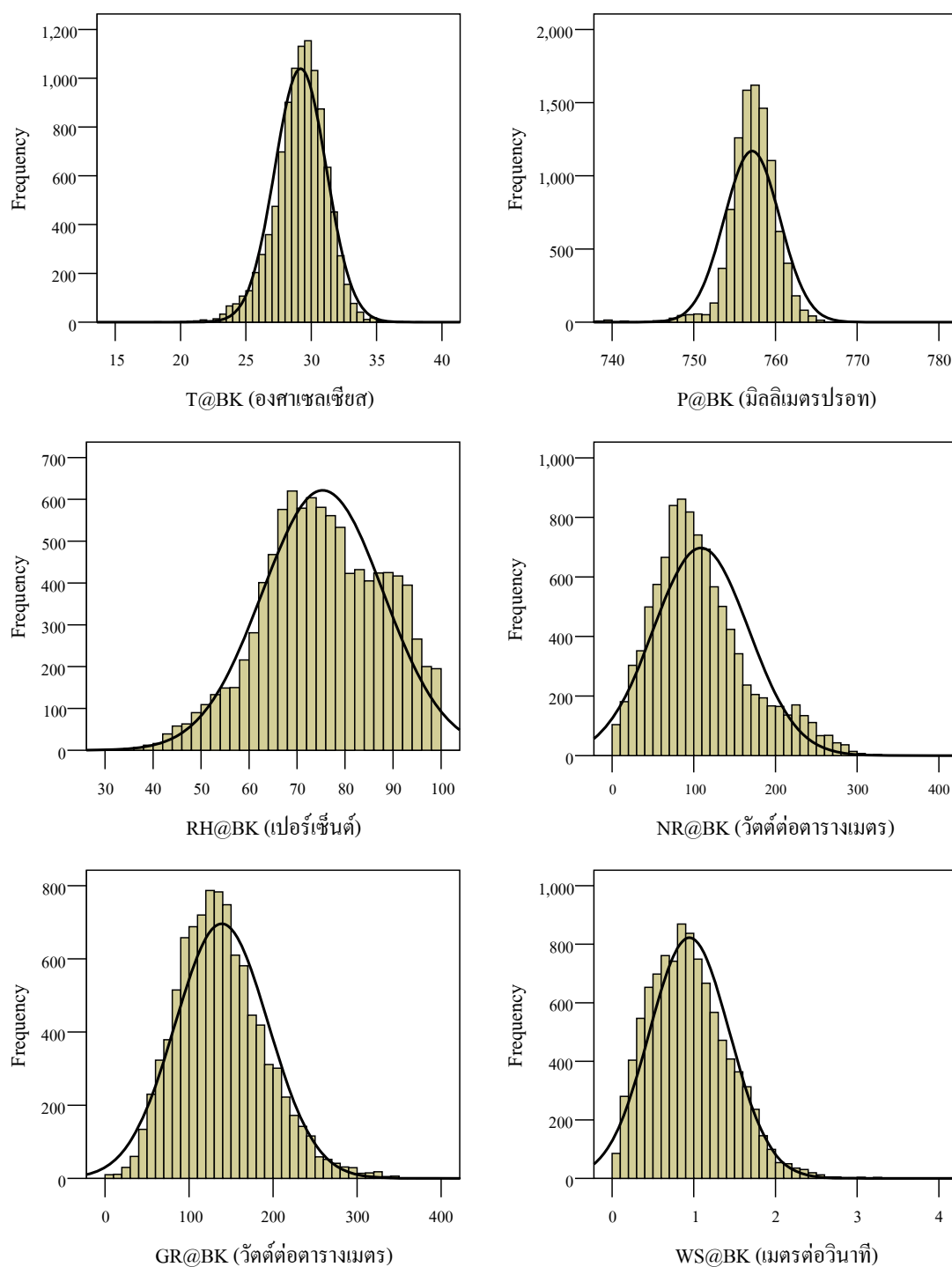
ตารางที่ 4.2 สถิติพรรณนาของข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยในพื้นที่กรุงเทพฯ (ต่อ)

ตัวแปร ¹	จำนวน ข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่า ความเบ้	ค่า ความโด่ง	K-S Test
									P-value
GR@BK	10,725	1,046	139.0	134.0	55.5	0.40	1.51	12.00	0.000
GR@09T	1,339	76	203.0	207.71	50.2	0.25	-0.48	0.10	0.007
GR@10T	2,192	122	177.0	175.85	58.4	0.33	0.29	-0.10	0.400
GR@11T	2,192	61	134.4	133.33	44.0	0.33	0.24	-0.02	0.047
GR@12T	2,192	73	133.0	132.71	52.2	0.39	5.88	71.54	0.000
GR@15T	2,192	103	129.8	123.33	54.0	0.42	0.38	-0.62	0.000
WS@59T	618	25	0.89	0.79	0.58	0.65	0.87	0.47	0.003
WS@09T	1,339	28	0.89	0.75	0.55	0.62	0.97	0.57	0.000
WS@10T	2,192	98	1.12	1.12	0.48	0.43	1.38	12.88	0.130
WS@11T	2,192	80	0.96	0.92	0.49	0.51	0.99	4.06	0.001
WS@12T	2,192	87	0.99	0.94	0.44	0.44	0.58	0.23	0.000
WS@15T	2,192	249	0.76	0.74	0.41	0.54	0.50	-0.22	0.000
WS@59T	618	25	0.89	0.79	0.58	0.65	0.87	0.47	0.003

หมายเหตุ¹ หน่วยของ GR คือ วัตต์ต่อตารางเมตร, WS คือ เมตรต่อวินาที

จากการทดสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ K-S test ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าตัวแปร T@15T T@59T RH@09T RH@15T NR@12T NR@59T GR@10T และ WS@10T ได้ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสรุปได้ว่ามีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ส่วนตัวแปรอื่น ๆ สรุปได้ว่าไม่ได้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

จากการศึกษาลักษณะการแจกแจงโดยใช้ฮิสโตแกรมโดยพิจารณาข้อมูลรวมทุกสถานี ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าข้อมูลตัวแปรปริมาณรังสีสุทรมีลักษณะการแจกแจงเบ้ขวา ส่วนตัวแปรอุตุนิยมหาวิทยาลัยอื่น ๆ มีลักษณะการแจกแจงเบ้เล็กน้อยและค่อนข้างใกล้เคียงแบบปกติ



รูปที่ 4.2 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยาลัยรวมทุกสถานี่ในพื้นที่กรุงเทพฯ

4.1.2 สถิติพรรณนาของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

4.1.2.1 ข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากสถานีนครราชสีมา (47T) ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรแห่งเดียวในพื้นที่ เทศบาลนครนครราชสีมา โดยวิเคราะห์ข้อมูลช่วงปี พ.ศ.2543-2548 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{10} CO NO_2 SO_2 และ O_3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.58 มก.ก./ลบ.ม. 0.64 ส่วนในล้านส่วน 11.36 ส่วนในพันล้านส่วน 2.40 ส่วนในพันล้านส่วน และ 19.33 ส่วนในพันล้านส่วน ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป พบว่าค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นของ PM_{10} CO NO_2 SO_2 และ O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 45.48 ร้อยละ 2.13 ร้อยละ 6.75 ร้อยละ 6.08 และร้อยละ 19.71 ของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบ ข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร ในพื้นที่กรุงเทพฯ พบว่าข้อมูล PM_{10} และ O_3 ในบรรยากาศในสองพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ส่วนข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ พบว่าข้อมูลจากสถานีนครราชสีมา มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าข้อมูลจาก สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ

จากการศึกษาลักษณะความแปรปรวนและการกระจายของข้อมูล พบว่าข้อมูล มลพิษทางอากาศทุกตัวแปรที่มีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ และข้อมูลมีลักษณะการกระจายเบ้ขวา และค่อนข้างกระจุกตัว โดยพบว่าตัวแปร CO มีการกระจุกตัวของข้อมูลสูงที่สุด และจากการ ทดสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ K-S test พบว่า ข้อมูลทุกตัวแปร ได้ผลการทดสอบปฏิเสธสมมุติฐานของการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่าทุกตัวแปรไม่ได้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

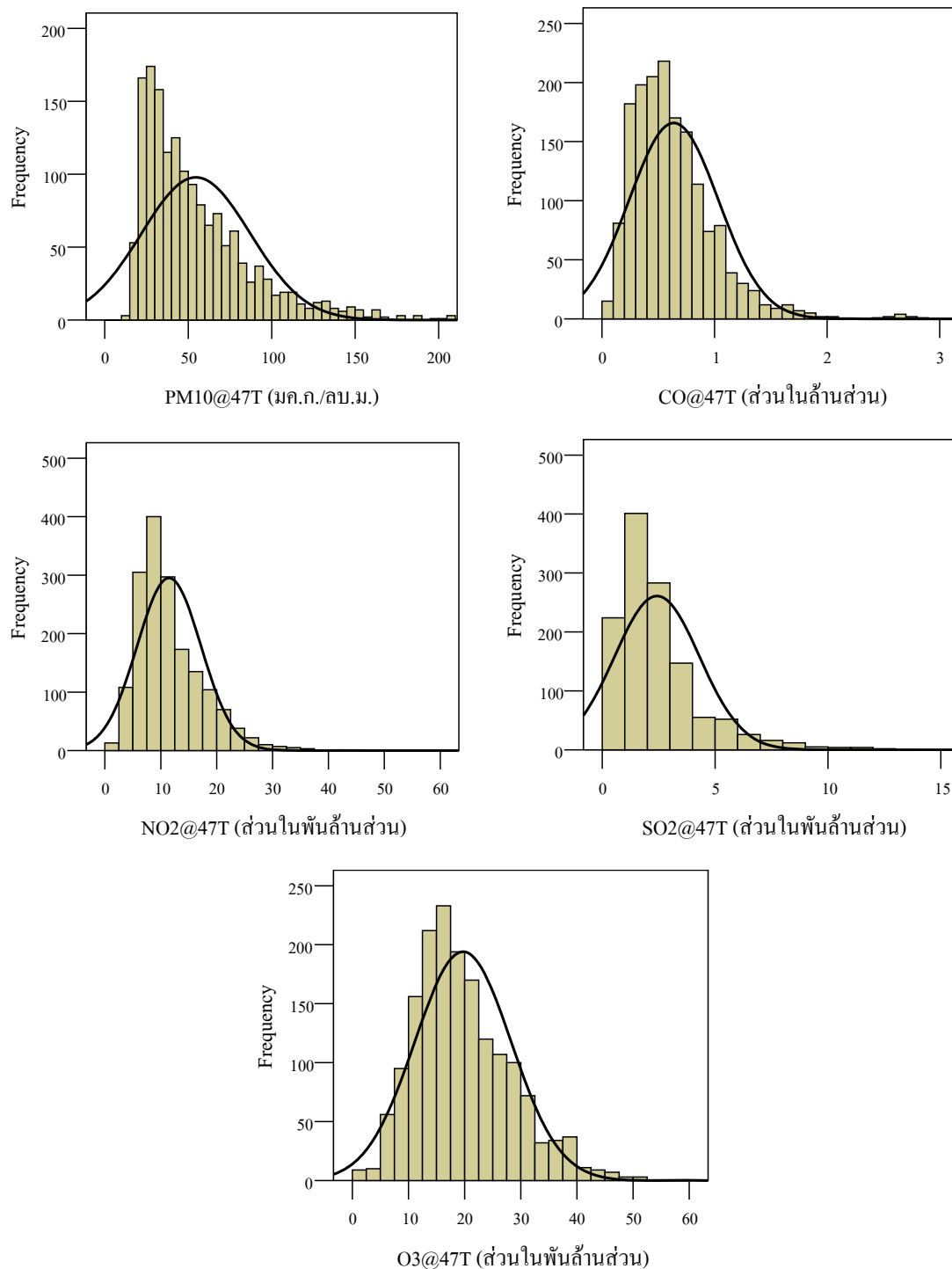
ตารางที่ 4.3 สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา ปี พ.ศ.2543-2548

ตัวแปร ¹	จำนวน ข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่า ความเบ้	ค่า ความโด่ง	K-S Test
									P-value
PM10@47T	1,920	321	54.58	45.21	32.6	0.60	1.50	2.52	0.000
CO@47T	1,920	271	0.64	0.56	0.40	0.63	2.23	10.57	0.000
NO2@47T	1,920	230	11.48	10.17	5.71	0.50	1.11	1.35	0.000
SO2@47T	1,920	689	2.43	1.95	1.88	0.77	1.83	4.67	0.000
O3@47T	1,920	250	19.71	18.25	8.58	0.44	0.71	0.36	0.000

หมายเหตุ¹ หน่วยของ PM_{10} คือ มก.ก./ลบ.ม., CO คือ ส่วนในล้านส่วน

NO_2 SO_2 และ O_3 คือ ส่วนในพันล้านส่วน

จากการศึกษาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้ฮิสโตแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าข้อมูลมลพิษทางอากาศทุกตัวแปร มีลักษณะการแจกแจงเบ้ขวา ซึ่งอธิบายได้ว่าข้อมูลมลพิษทางอากาศส่วนใหญ่มีค่าน้อยโดยข้อมูลบางตัวอย่างมีค่าสูงกว่าปกติ



รูปที่ 4.3 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีนครราชสีมา

4.1.2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีนครราชสีมา

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากสถานีนครราชสีมา โดยเป็นข้อมูลช่วงปี พ.ศ.2543-2548 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 26.47 องศาเซลเซียส ความกดอากาศเท่ากับ 741.63 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 78.42 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณรังสีสุทธิเท่ากับ 78.42 วัตต์ต่อตารางเมตร ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 202.33 วัตต์ต่อตารางเมตร ความเร็วลมเท่ากับ 1.02 เมตรต่อวินาที และมีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยเท่ากับ 100 วันต่อปี

จากการศึกษาลักษณะความแปรปรวนของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา พบว่าข้อมูลทุกตัวแปรมีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ และจากการศึกษาลักษณะการกระจายของข้อมูล พบว่าข้อมูลปริมาณรังสีสุทธิ และความเร็วลม มีลักษณะการกระจายของข้อมูลเบ้ขวาและข้อมูลกระจายตัวเล็กน้อย สำหรับข้อมูลความชื้นสุทธิ พบว่ามีลักษณะการแจกแจงเบ้ซ้ายและข้อมูลกระจายตัวเล็กน้อย สำหรับข้อมูลอุณหภูมิ ความกดอากาศ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ พบว่ามีลักษณะการกระจายของข้อมูลเบ้ซ้ายและมีลักษณะกระจุกตัว โดยพบว่าข้อมูลความกดอากาศมีการกระจุกตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง

จากการทดสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ K-S test พบว่าตัวแปรปริมาณรังสีดวงได้ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงสรุปว่ามีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติจึงสรุปว่าไม่ได้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

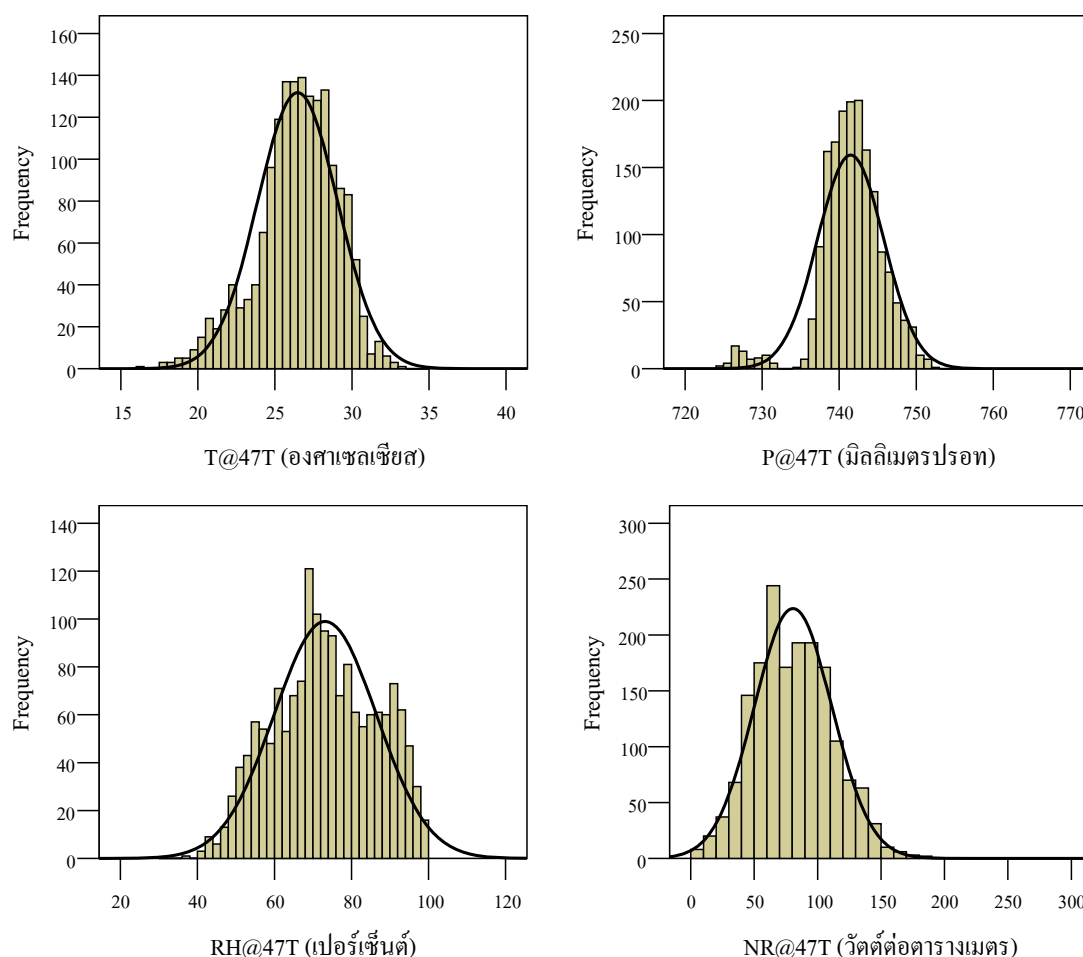
ตารางที่ 4.4 สถิติพรรณนาของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีนครราชสีมา ปี พ.ศ.2543-2548

ตัวแปร ¹	จำนวนข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่าความเบ้	ค่าความโด่ง	K-S Test
									P-value
T@47T	1,920	209	26.47	26.71	2.59	0.10	-0.57	0.40	0.003
P@47T	1,920	207	741.5	741.63	4.29	0.01	-1.45	7.22	0.000
RH@47T	1,920	271	73.19	72.92	13.3	0.18	-0.06	-0.78	0.002
NR@47T	1,920	204	80.67	78.42	30.6	0.38	0.25	-0.17	0.001
GR@47T	1,920	195	201.2	202.33	45.0	0.22	-0.41	0.27	0.087
WS@47T	1,920	237	1.12	1.02	0.67	0.60	0.55	-0.39	0.000

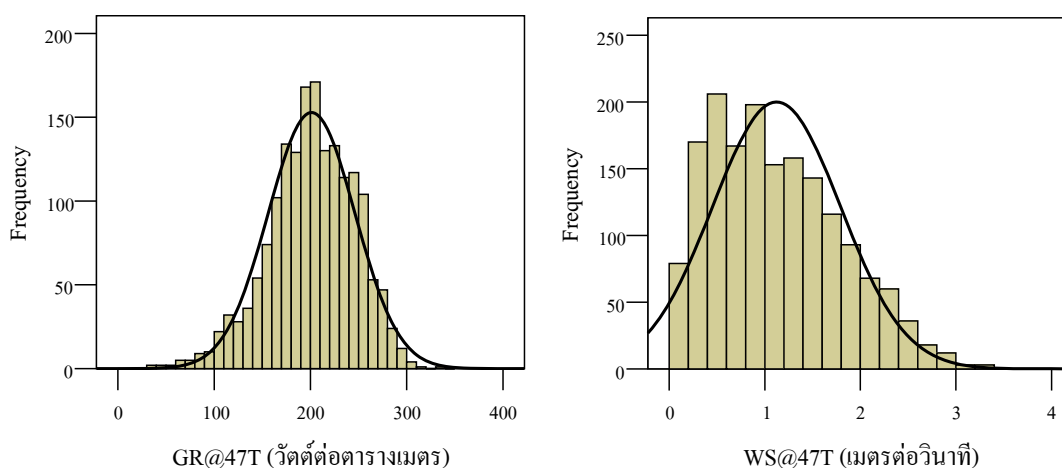
หมายเหตุ¹ หน่วยของ T คือ องศาเซลเซียส, P คือ มิลลิเมตรปรอท, RH คือ เปอร์เซ็นต์

NR และ GR คือ วัตต์ต่อตารางเมตร, WS คือ เมตรต่อวินาที

จากการศึกษาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอุณหภูมิจากสถานี นครราชสีมาโดยใช้ฮิสโตแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าข้อมูลทุกตัวแปร มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเบ้เล็กน้อยและค่อนข้างใกล้เคียงแบบปกติ โดยมีข้อสังเกตว่าข้อมูลความกดอากาศ ณ สถานีนครราชสีมา มีลักษณะการแจกแจงแบบ Bimodal คือ มีจุดความถี่สูงสุดอยู่ 2 จุด โดยข้อมูลกลุ่มใหญ่มีจุดความถี่สูงสุดที่ 742 มิลลิเมตรปรอท และข้อมูลกลุ่มเล็กมีจุดความถี่สูงสุดที่ค่า 727 มิลลิเมตรปรอท โดยข้อมูลกลุ่มเล็กเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2548 (ช่วงฤดูฝน) ซึ่งจากทบทวนข้อมูลพบว่าข้อมูลความกดอากาศทั้งหมดเป็นผลการตรวจวัดจริง ดังนั้น จึงถือว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความกดอากาศที่เกิดขึ้นจริง ณ สถานีนครราชสีมา



รูปที่ 4.4 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีนครราชสีมา



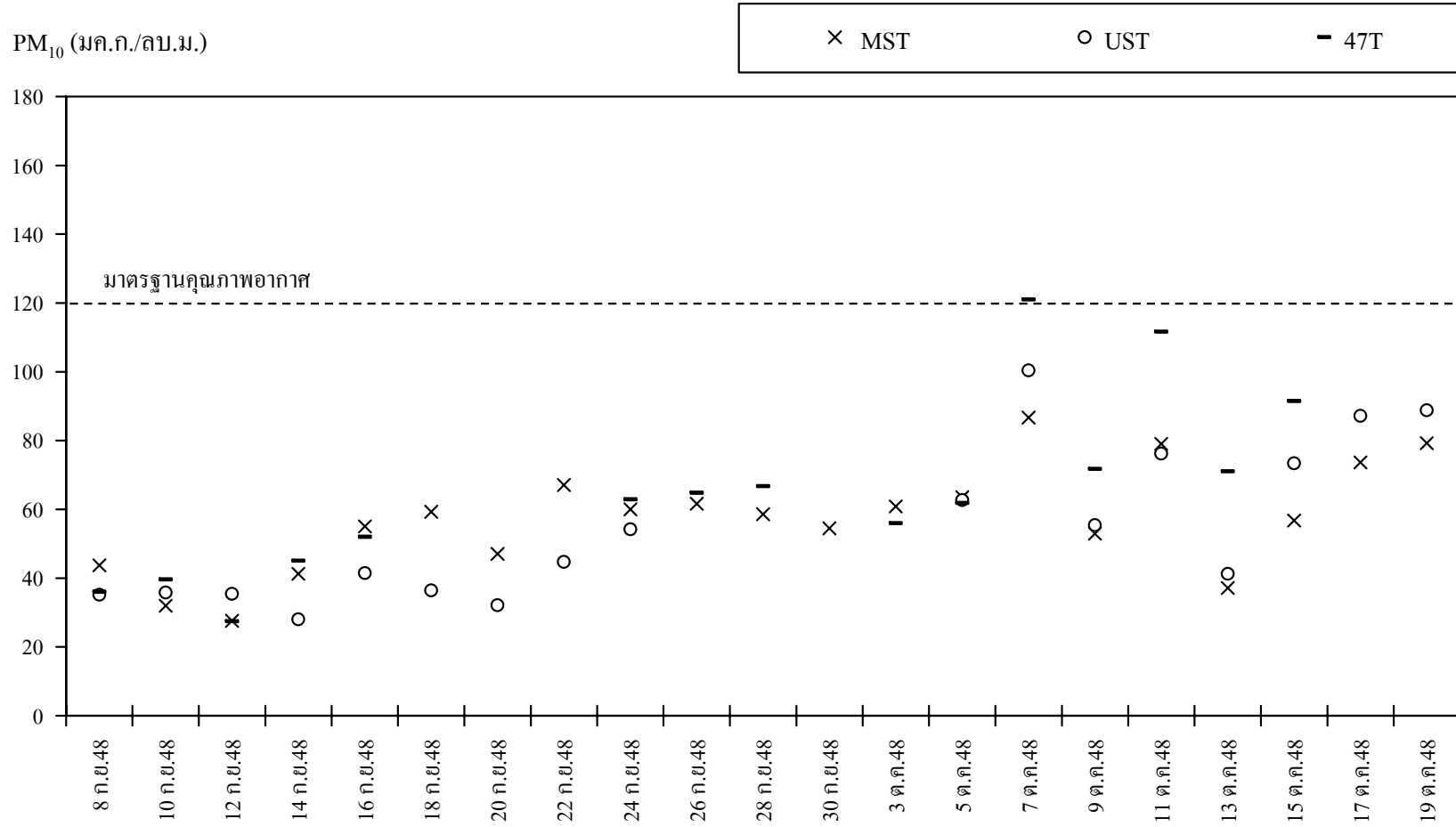
รูปที่ 4.4 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีนครราชสีมา (ต่อ)

4.1.3 สถิติพรรณนาของข้อมูล PM_{10} จากการตรวจวัดในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา

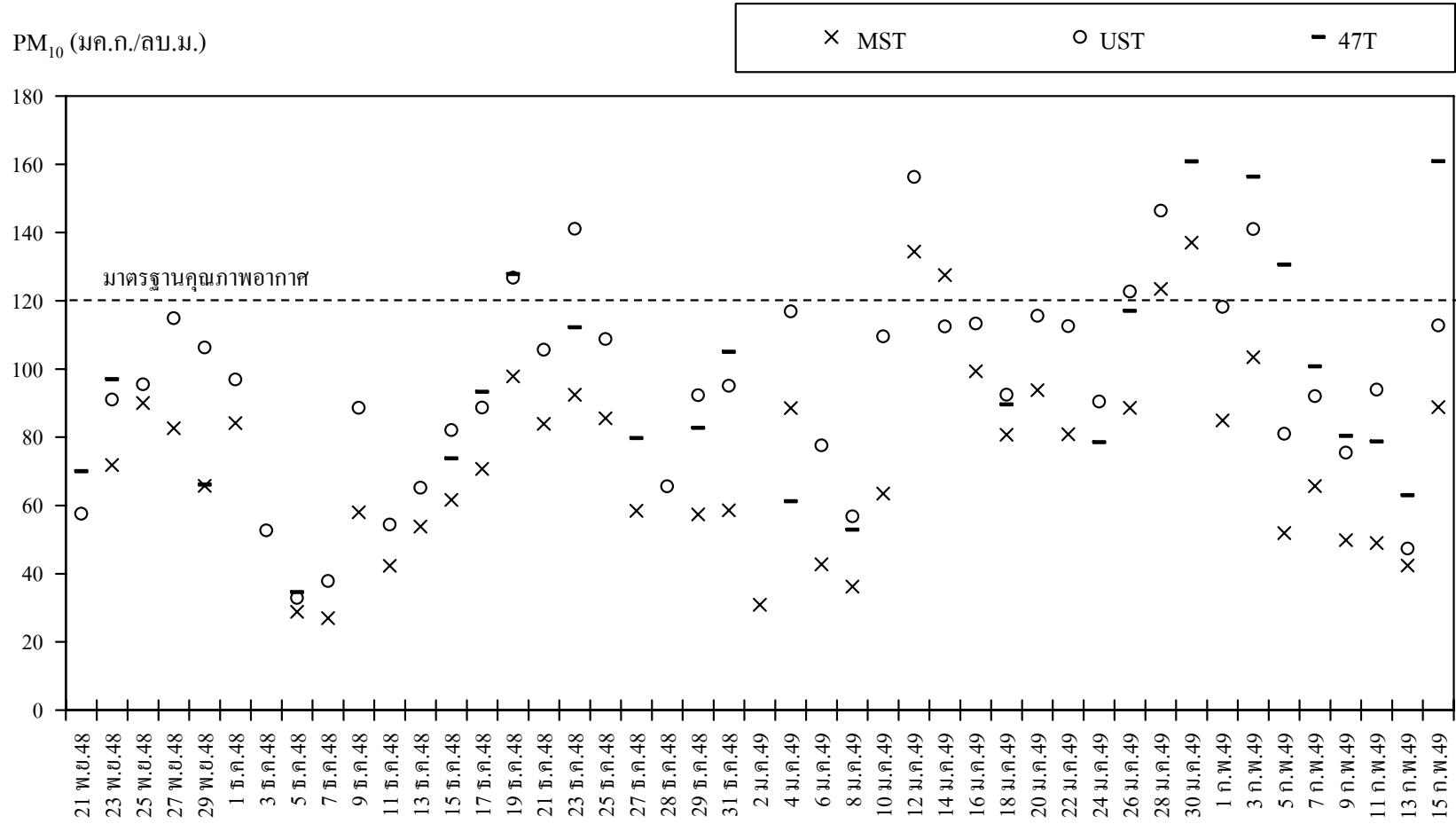
ผลการตรวจวัด PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากสถานีตรวจวัดชั่วคราวและสถานีตรวจวัดอากาศแบบถาวร (สถานีนครราชสีมา) ในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา โดยการตรวจวัดแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงฤดูฝนตั้งแต่วันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 19 ตุลาคม 2548 โดยตรวจวัดทุก 2 วัน รวมเป็นจำนวน 21 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และช่วงฤดูหนาวตั้งแต่วันที่ 21 พฤศจิกายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 โดยตรวจวัดทุก 2 วัน รวมเป็นจำนวน 42 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

โดยผลการตรวจวัด PM_{10} ในช่วงฤดูฝน พบว่าระดับ PM_{10} มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไม่เกิน 120 มก.ก./ลบ.ม. จำนวน 1 ตัวอย่าง คือ ณ สถานีนครราชสีมา (47T) และผลการตรวจวัดในช่วงฤดูหนาว พบว่าระดับ PM_{10} มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ จำนวน 15 ตัวอย่าง คือ ณ สถานีนครราชสีมา จำนวน 5 ตัวอย่าง สถานีตรวจวัดชั่วคราว โรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST) จำนวน 4 ตัวอย่าง และสถานีตรวจวัดชั่วคราว โรงเรียนอุบลรัตน์ (UST) จำนวน 6 ตัวอย่าง โดยพบว่าช่วงเดือนมกราคม 2549 เป็นช่วงเวลาที่พบผลการตรวจวัดเกินค่ามาตรฐานบ่อยครั้งที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจวัด ณ สถานีนครราชสีมา ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 ที่พบว่าช่วงเดือนมกราคมของทุกปี ระดับ PM_{10} มีแนวโน้มพบสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศบ่อยครั้งที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงเดือนอื่น ๆ ในรอบปี และเมื่อเปรียบเทียบระดับ PM_{10} ในช่วงฤดูฝนกับฤดูหนาว พบว่าในช่วงฤดูหนาวระดับ PM_{10} มีแนวโน้มสูงกว่าในช่วงฤดูฝน

จากรูปที่ 4.5-4.6 มีข้อสังเกตว่าระดับ PM_{10} ที่ตรวจวัดได้จากทั้งสามสถานีตรวจวัดมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามกัน ซึ่งแสดงว่าระดับ PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของ PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูฝนในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของ PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ช่วงฤดูหนาวในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูล PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมา ที่ตรวจวัดได้จากสถานีนครราชสีมา (47T) สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมื่อน นครราชสีมา (MST) และสถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์ (UST) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าข้อมูลทุกตัวแปรมีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างต่ำและข้อมูลค่อนข้างกระจายตัว โดยมีข้อสังเกตว่าในช่วงฤดูฝนข้อมูล ณ สถานี MST และสถานี UST มีการกระจายตัวของข้อมูลสูงกว่า ช่วงฤดูหนาว และในช่วงฤดูฝนค่าเฉลี่ยของ PM_{10} ณ สถานี 47T มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของ PM_{10} ณ สถานี MST และสถานี UST ส่วนในช่วงฤดูหนาวพบว่าค่าเฉลี่ยของ PM_{10} ณ สถานี 47T มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของ PM_{10} ณ สถานี UST และค่าเฉลี่ยของ PM_{10} ณ สถานี MST มีค่าต่ำสุด ในช่วงฤดูหนาว

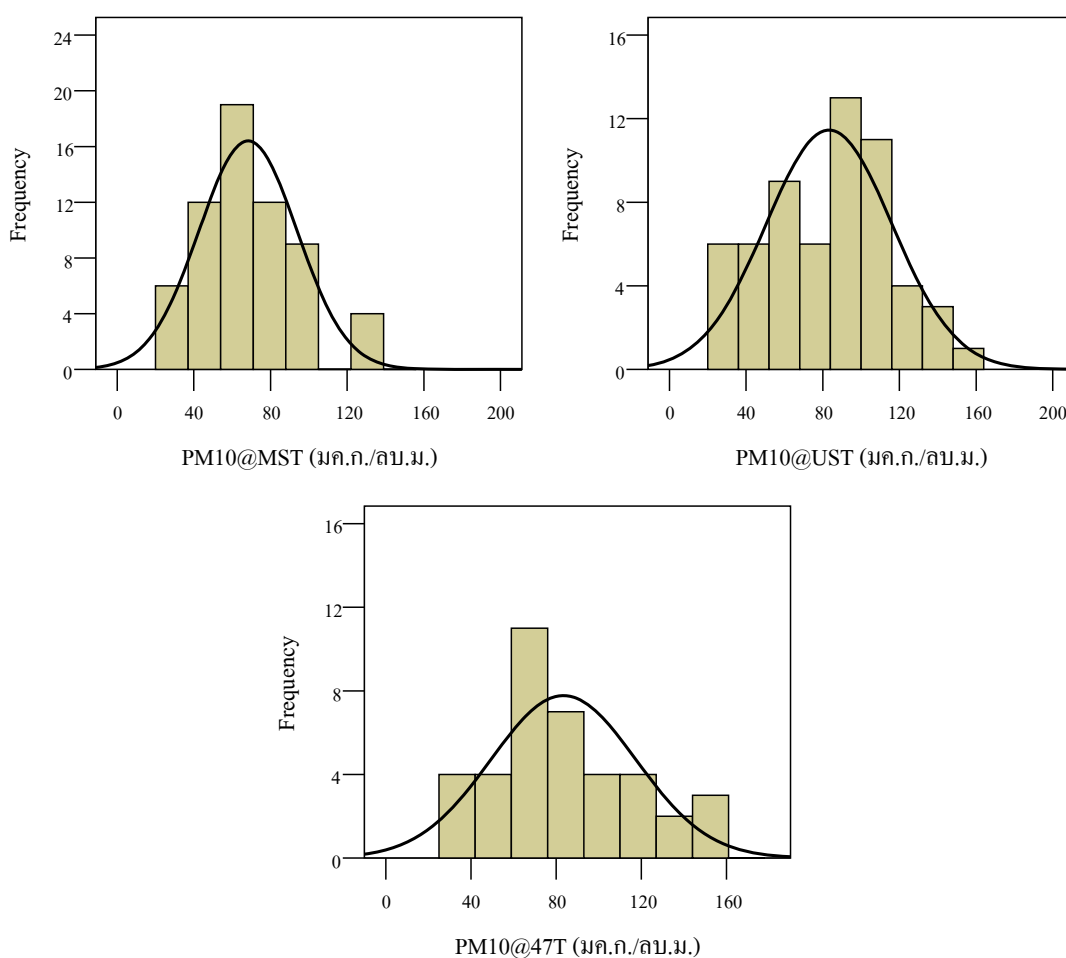
จากการตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัด พบว่าสถานี 47T ตั้งอยู่บริเวณ กลางเมือง สถานี UST ตั้งอยู่บริเวณด้านตะวันตกเฉียงใต้ของสถานี 47T และสถานี MST ตั้งอยู่ บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของสถานี 47T โดยในช่วงฤดูหนาวบริเวณสถานี 47T และสถานี UST อยู่ใต้ลมตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูหนาว ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ของทั้งสองสถานีมี แนวโน้มได้รับ PM_{10} จากการพัดพาของลมตะวันออกเฉียงเหนือเข้าสู่พื้นที่มากกว่าพื้นที่บริเวณสถานี MST ซึ่งตั้งอยู่ด้านเหนือของเมืองและตั้งอยู่เหนือลมตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 4.5 สถิติพรรณนาของข้อมูล PM_{10} ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวแปร ¹	จำนวน ข้อมูล	Missing	Mean	Median	S.D.	COV	ค่า ความเบ้	ค่า ความโด่ง	K-S Test
									P-value
ช่วงฤดูฝน (วันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 19 ตุลาคม 2548)									
PM10@47T	15	6	65.28	62.92	26.25	0.40	0.834	0.425	0.569
PM10@MST	21	0	57.02	58.55	15.45	0.27	-0.039	-0.249	0.964
PM10@UST	17	4	54.63	44.74	22.78	0.42	0.745	-0.761	0.523
ช่วงฤดูหนาว (วันที่ 21 พฤศจิกายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549)									
PM10@47T	24	24	94.71	86.17	33.86	0.36	0.598	-0.177	0.747
PM10@MST	41	4	74.02	71.88	27.98	0.38	0.408	-0.194	0.942
PM10@UST	42	3	94.87	94.49	29.13	0.31	-0.163	-0.271	0.740
รวมทั้ง 2 ช่วง (วันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549)									
PM10@47T	39	27	83.39	78.52	34.03	0.41	0.696	0.060	0.572
PM10@MST	62	4	68.26	62.55	25.64	0.38	0.699	0.411	0.497
PM10@UST	59	7	83.28	88.72	32.88	0.39	0.065	-0.810	0.728

หมายเหตุ¹ หน่วยของ PM_{10} คือ มก.ก./ลบ.ม.

จากการศึกษาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้ฮิสโตแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าข้อมูลทุกตัวแปร มีลักษณะการแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ และจากการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ K-S test พบว่าทุกตัวแปร ได้ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ จึงสรุปว่าทุกตัวแปร มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งต่างจากข้อมูล PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ และข้อมูลจากสถานีนครราชสีมา ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2543-2548 ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงเวลาที่ศึกษามีความแตกต่างกันและจำนวนตัวอย่างของช่วงเวลาที่ศึกษามีน้อยกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรช่วงปี พ.ศ.2543-2548 มาก ดังนั้น จึงยังไม่เป็นตัวแทนที่ดีของประชากร PM_{10} ทั้งหมดของพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา



รูปที่ 4.7 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล PM_{10} ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

4.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา

สรุปผลการศึกษาสถิติพรรณนาของข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา พบว่าข้อมูลมลพิษทางอากาศทุกตัวแปรมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป โดยข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอนุกรมวิธานทุกตัวแปรมีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ

ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมลพิษทางอากาศ พบว่าส่วนใหญ่ไม่ได้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ และสำหรับข้อมูลตัวแปรอนุกรมวิธาน พบว่าแต่ละตัวแปรมีลักษณะการแจกแจงแตกต่างกัน ดังนี้ ตัวแปรอุณหภูมิ ความกดอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนใหญ่มีลักษณะการแจกแจงเบ้ซ้าย ส่วนตัวแปรปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม ส่วนใหญ่มีลักษณะการแจกแจงเบ้ขวา โดยพบว่าตัวแปรความกดอากาศ และอุณหภูมิ มีการกระจุกตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูล PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครราชสีมา พบว่าข้อมูล PM_{10} จากทุกสถานีตรวจวัดมีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ และมีลักษณะการกระจายของข้อมูลเบ้ขวา และการแจกแจงของข้อมูลไม่ได้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

ผลการศึกษาข้อมูล PM_{10} ในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา ที่ตรวจวัดในช่วงระหว่างวันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 พบว่าข้อมูล PM_{10} ในช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าช่วงฤดูฝนในทุกสถานีตรวจวัด และระดับ PM_{10} ณ สถานีต่าง ๆ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามกัน ซึ่งแสดงว่าระดับ PM_{10} ณ สถานีต่าง ๆ มีแนวโน้มสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศ ณ สถานีเดียวกัน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับ CO NO_2 SO_2 และ O_3 ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน โดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าตัวแปร PM_{10} มีความสัมพันธ์กับตัวแปร CO NO_2 SO_2 และ O_3 ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากการศึกษาในลักษณะเดียวกันในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมาโดยวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าตัวแปร PM_{10} มีความสัมพันธ์กับตัวแปร CO NO_2 และ O_3 ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ ยกเว้นตัวแปร SO_2 ที่พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับ PM_{10}

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@BK	CO@BK	NO2@BK	SO2@BK	O3@BK
PM10@BK	R	1	0.444*	0.686*	0.154*	0.301*
	N	10,131	9,809	9,771	9,434	9,312
CO@BK	R	0.444*	1	0.518*	0.148*	0.098*
	N	9,809	10,085	9,737	9,385	9,231
NO2@BK	R	0.686*	0.518*	1	0.148*	0.098*
	N	9,771	9,737	10,039	9,385	9,231
SO2@BK	R	0.154*	0.247*	0.148*	1	0.000
	N	9,434	9,409	9,385	9,676	8,929
O3@BK	R	0.301*	0.075*	0.098*	0.000	1
	N	9,312	9,283	9,231	8,929	9,561

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

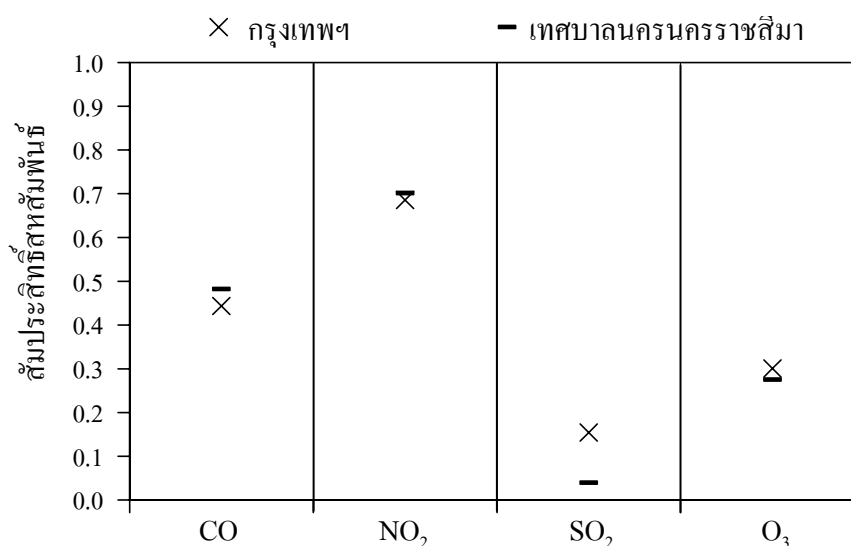
ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวแปร		PM10@47T	CO@47T	NO2@47T	SO2@47T	O3@47T
PM10@47T	R	1	0.482*	0.701*	0.039	0.275*
	N	1,599	1,516	1,563	1,136	1,537
CO@47T	R	0.482*	1	0.575*	-0.031	-0.007
	N	1,516	1,649	1,618	1,171	1,597
NO2@47T	R	0.701*	0.575*	1	0.112*	0.137*
	N	1,563	1,618	1,690	1,219	1,640
SO2@47T	R	0.039	-0.031	0.112*	1	-0.098*
	N	1,136	1,171	1,219	1,231	1,195
O3@47T	R	0.275*	-0.007	0.137*	-0.098*	1
	N	1,537	1,597	1,640	1,195	1,670

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร CO NO₂ SO₂ และ O₃ ณ สถานีเดียวกันในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าตัวแปร PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรมลพิษทางอากาศอื่น ๆ ในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าตัวแปร PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับตัวแปร NO₂ มากที่สุด รองลงมาคือตัวแปร CO O₃ และ SO₂ ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ อาทิ Harrison

et al. (1997); Fuller et al. (2002); Chaloulakou, Kassomenos, et al. (2003) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับมลพิษทางอากาศอื่น ๆ ในบรรยากาศทั่วไปในพื้นที่เขตเมืองต่าง ๆ โดยการศึกษาความสัมพันธ์จากข้อมูลทางสถิติให้ผลชี้ว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ NO_2 และ CO ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับสารมลพิษทางอากาศอื่น ๆ โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ความสัมพันธ์ดังกล่าวมักมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากในเขตเมืองแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ ซึ่งปล่อยสารมลพิษทางอากาศที่หลากหลาย โดยเฉพาะ PM_{10} NO_2 และ CO เป็นสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ในยานพาหนะ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับ CO NO_2 SO_2 และ O_3 ณ สถานีเดียวกัน

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีเดียวกัน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ T P RH NR GR และ WS ณ สถานีเดียวกัน โดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก 6 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และจากการศึกษาลักษณะเดียวกัน โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีนครราชสีมาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 4.9 โดยพบว่าทั้งสองพื้นที่ตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร P มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร TRH NR GR และ WS มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@BK	T@BK	P@BK	RH@BK	NR@BK	GR@BK	WS@BK
PM10@BK	R	1	-0.187*	0.256*	-0.312*	-0.218*	-0.178*	-0.235*
	N	10,131	9,990	9,694	9,592	9,938	9,419	10,117
T@BK	R	-0.187*	1	-0.162*	0.050*	0.336*	0.397*	0.119*
	N	9,990	10,273	9,864	9,797	10,129	9,586	10,007
P@BK	R	0.256*	-0.162*	1	-0.196*	-0.136*	-0.150*	-0.148*
	N	9,694	9,864	9,972	9,436	9,708	9,483	9,969
RH@BK	R	-0.312*	0.050*	-0.196*	1	0.054*	-0.034*	-0.119*
	N	9,592	9,797	9,436	9,836	9,719	9,718	9,579
NR@BK	R	-0.218*	0.336*	-0.136*	0.054*	1	0.478*	0.166*
	N	9,938	10,129	9,708	9,719	10,226	9,529	9,958
GR@BK	R	-0.178*	0.397*	-0.150*	-0.034*	0.478*	1	0.265*
	N	9,419	9,586	9,483	9,718	9,529	9,679	9,438
WS@BK	R	-0.235*	0.119*	-0.148*	-0.119*	0.166*	0.265*	1
	N	10,117	10,007	9,969	9,579	9,958	9,438	10,122

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวแปร		PM10@47T	T@47T	P@47T	RH@47T	NR@47T	GR@47T	WS@47T
PM10@47T	R	1	-0.269*	0.160*	-0.472*	-0.226*	-0.077*	-0.292*
	N	1,599	1,584	1,585	1,524	1,530	1,537	1,555
T@47T	R	-0.269*	1	-0.102*	0.064*	0.435*	0.284*	0.030
	N	1,584	1,711	1,700	1,634	1,636	1,644	1,668
P@47T	R	0.160*	-0.102*	1	0.121*	0.297*	0.016	-0.090*
	N	1,585	1,700	1,713	1,637	1,639	1,648	1,670
RH@47T	R	-0.472*	0.064*	0.121*	1	0.260*	-0.163*	-0.018
	N	1,524	1,634	1,637	1,649	1,575	1,584	1,614
NR@47T	R	-0.226*	0.435*	0.297*	0.260*	1	0.750*	0.064*
	N	1,530	1,636	1,639	1,575	1,716	1,715	1,606
GR@47T	R	-0.077*	0.284*	0.016	-0.163*	0.750*	1	0.027
	N	1,537	1,644	1,648	1,584	1,715	1,725	1,615

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

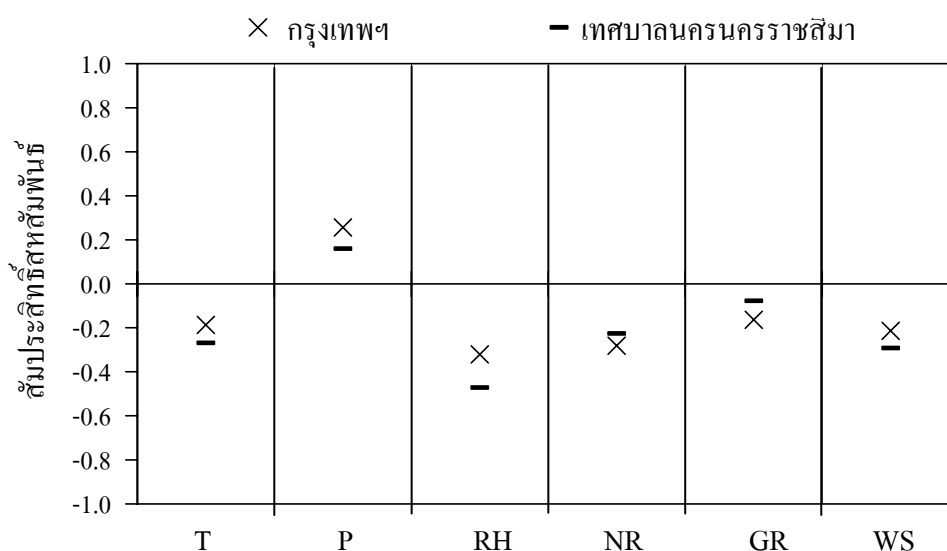
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับตัวแปรอุณหภูมิตามพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

ตัวแปร		PM10@47T	T@47T	P@47T	RH@47T	NR@47T	GR@47T	WS@47T
WS@47T	R	-0.292*	0.030	-0.090*	-0.018	0.064*	0.027	1
	N	1,555	1,668	1,670	1,614	1,606	1,615	1,683

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปร T P RH NR GR และ WS ณ สถานที่เดียวกันในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยพบว่าทั้งสองพื้นที่ความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับตัวแปรต่าง ๆ มีค่า R ใกล้เคียงกัน และความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรเป็นในลักษณะเดียวกัน โดยตัวแปร PM_{10} ความสัมพันธ์กับตัวแปร RH มากที่สุด รองลงมาคือตัวแปร P NR WS T และ GR ตามลำดับ โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ อาทิ Keary et al. (1998); Lu et al. (2002); Slini et al. (2006) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล PM_{10} กับข้อมูลอุณหภูมิตามพื้นที่เขตเมืองต่าง ๆ โดยศึกษาความสัมพันธ์จากข้อมูลทางสถิติให้ผลชี้ว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในพื้นที่ศึกษา

โดยความสัมพันธ์ทางสถิติจากการศึกษานี้ สอดคล้องกับทฤษฎีการแพร่กระจายของสารมลพิษอากาศเกี่ยวกับปัจจัยของลมต่อการกระจายสารมลพิษอากาศ โดยลมที่มีความเร็วลมสูงหรือพัดแรงจะสามารถพัดพาอนุภาคของ PM_{10} ให้ฟุ้งกระจายออกไปจากพื้นที่แหล่งกำเนิดหรือพื้นที่ที่ลมพัดเข้าไป และอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดลม ดังนั้นข้อมูลเหล่านี้จึงมีความสัมพันธ์กัน และสำหรับความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณรังสีสุทธิ ที่พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามนั้น เนื่องจากฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศมีผลต่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่พื้นผิวโลก โดยฝุ่นละอองสามารถดูดกลืนและกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ได้ ดังนั้น เมื่อปริมาณฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศมีระดับเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และปริมาณรังสีสุทธิที่ตกกระทบบสู่พื้นผิวโลกมีปริมาณลดลงได้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับตัวแปรอนุกรมวิธาน ณ สถานศึกษาเดียวกัน

4.2.3 ความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีตรวจวัด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก 6 สถานี ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 โดยมีคู่ตัวแปรที่ศึกษาทั้งสิ้น 14 คู่ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาโดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก 3 สถานี ช่วงวันที่ 8 กันยายน 2548 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 โดยมีคู่ตัวแปรที่ศึกษาทั้งสิ้น 3 คู่ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 โดยพบว่าในพื้นที่กรุงเทพฯ ตัวแปร PM_{10} ทุกคู่ตัวแปรมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.630-0.917 และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา พบว่าตัวแปร PM_{10} ทุกคู่ตัวแปรมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.789-0.804 โดยเป็นค่า R ที่อยู่ในช่วงของการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ

โดยสังเกตว่าในพื้นที่กรุงเทพฯ ความสัมพันธ์ของตัวแปร PM_{10} ณ สถานีห้วยขวาง (11T) กับตัวแปร PM_{10} ณ สถานีอื่น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับความสัมพันธ์ของตัวแปร PM_{10} ระหว่างคู่สถานีอื่น ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังนั้น จึงตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ ซึ่งพบว่าสถานี 11T มีลักษณะบริเวณโดยรอบที่ตั้งสถานีแตกต่างจากสถานีอื่น ๆ คือ สถานี 11T ตั้งอยู่ใกล้สถานีจอดรถโดยสารประจำทาง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่ที่สามารถรวบรวมระดับ PM_{10} ณ สถานี 11T ได้ ส่วนสถานีอื่น ๆ ไม่พบว่ามีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่ที่รวบรวม ซึ่งแสดงว่าข้อมูล PM_{10} จากสถานี 11T มีแนวโน้มมีความแปรปรวนสูงกว่าข้อมูลจากสถานีอื่น ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

PM₁₀ ณ สถานี 11T กับ PM₁₀ ณ สถานีอื่น ๆ มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์กันในระดับที่ต่ำกว่าความสัมพันธ์ของ PM₁₀ ระหว่างสถานีอื่น ๆ ที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศบริเวณ

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของ PM₁₀ ระหว่างสถานีตรวจวัดในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
PM10@09T	R	1	0.917*	0.630*	0.905*	0.850*	–
	N	1,234	1,184	1,182	1,155	1,121	–
PM10@10T	R	0.917*	1	0.798*	0.870*	0.863*	0.902*
	N	1,184	2,130	2,071	1,995	2,006	565
PM10@11T	R	0.630*	0.798*	1	0.696*	0.639*	0.887*
	N	1,182	2,071	2,116	1,982	2,003	558
PM10@12T	R	0.905*	0.870*	0.696*	1	0.888*	0.906*
	N	1,155	1,995	1,982	2,047	1,924	540
PM10@15T	R	0.850*	0.863*	0.639*	0.888*	1	0.869*
	N	1,121	2,006	2,003	1,924	2,035	544
PM10@59T	R	–	0.902*	0.887*	0.906*	0.869*	1
	N	–	565	558	540	544	569

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

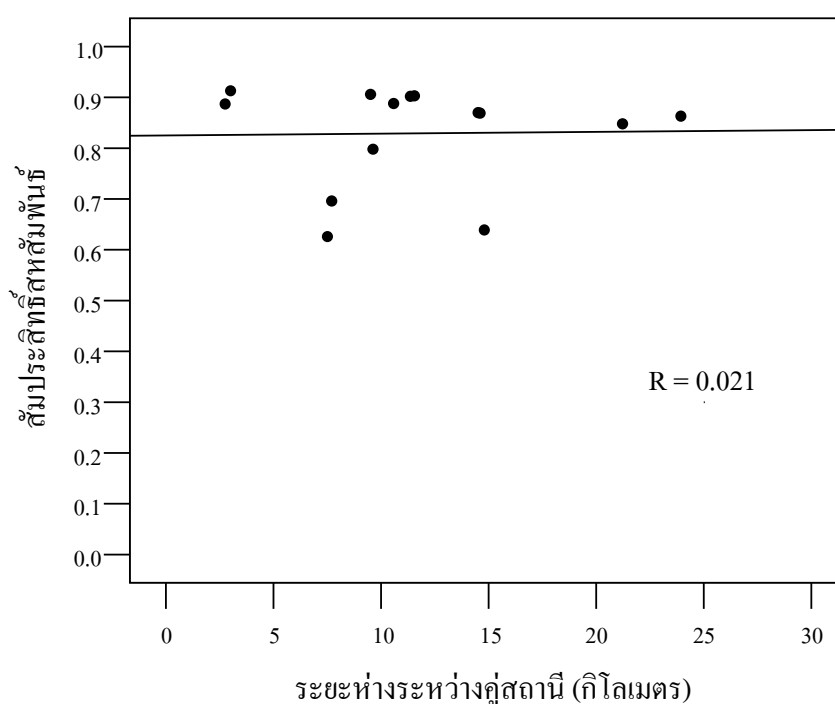
ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของ PM₁₀ ระหว่างสถานีตรวจวัดในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

ตัวแปร		PM10@47T	PM10@MST	PM10@UST
PM10@47T	R	1	0.804*	0.789*
	N	39	37	34
PM10@MST	R	0.804*	1	0.858*
	N	37	62	55
PM10@UST	R	0.789*	0.858*	1
	N	34	55	59

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

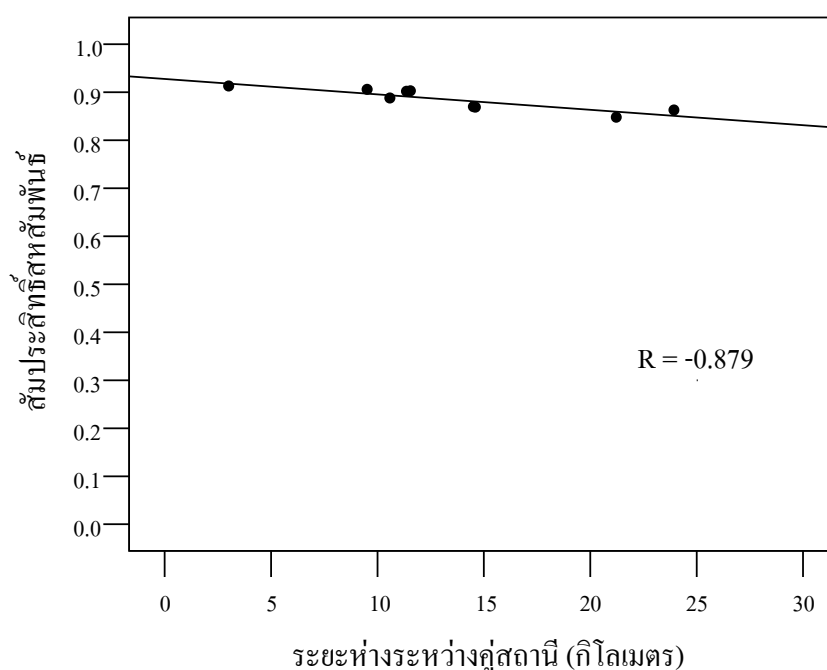
จากผลการศึกษาข้างต้นชี้ว่าระดับ PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครราชสีมา มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน โดยคู่สถานีที่มีความสัมพันธ์กันสูงมักเป็นคู่สถานีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่บริเวณ และมัลักษณะบริเวณโดยรอบของสถานีคล้ายกัน ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vega et al. (2002) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานีต่าง ๆ ในเมืองเม็กซิโกซิตี ประเทศเม็กซิโก โดยพบว่าระดับ PM_{10} ระหว่างคู่สถานีที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่คล้ายคลึงกันจะมีความสัมพันธ์กันสูงกว่าความสัมพันธ์ระหว่างคู่สถานีที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างคู่สถานีตรวจวัดกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานีตรวจวัดต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก 6 สถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ ซึ่งมีคู่ตัวแปรที่ศึกษาทั้งสิ้น 14 คู่สถานี ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าระยะห่างระหว่างคู่สถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานี มีค่า R เท่ากับ 0.021 และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



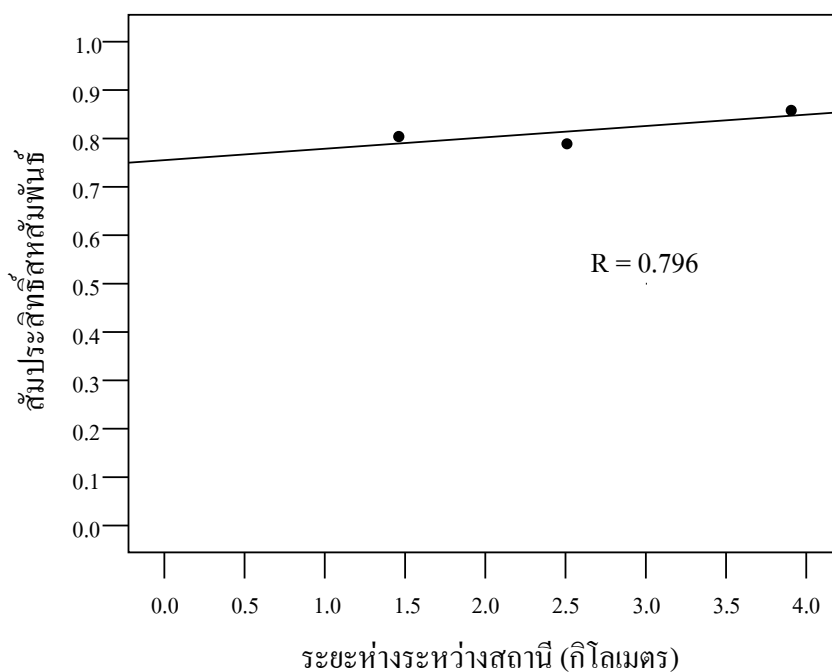
รูปที่ 4.10 ระยะห่างระหว่างคู่สถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยพิจารณาทุกคู่สถานี

แต่เมื่อไม่นำค่าตัวแปร PM_{10} ที่มีตัวแปรจากสถานีห้วยขวาง (11T) ซึ่งเป็นสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่บริเวณและมีลักษณะแตกต่างจากสถานีอื่น ๆ ออกจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างคู่อสถานีตรวจวัดกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ซึ่งทำให้เหลือค่าตัวแปรทั้งสิ้น 9 คู่อสถานี โดยคู่อสถานีที่นำมาพิจารณา มีระยะห่างระหว่างคู่อสถานีเท่ากับ 3.0-23.9 กิโลเมตร และมีค่า R อยู่ในช่วง 0.863-0.917 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยพบว่าระยะห่างระหว่างคู่อสถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานี มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า R เท่ากับ -0.879 ซึ่งแสดงว่าระดับความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานีมีแนวโน้มลดลงเมื่อคู่อสถานีที่พิจารณาอยู่ห่างกันออกไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shaddick and Wakefield (2002) ที่ศึกษาในเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ พบว่าความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในเขตเมือง มีค่า R ลดลงเมื่อคู่อสถานีที่พิจารณาอยู่ห่างกันออกไป ซึ่งสรุปว่าความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานีต่าง ๆ ในเขตเมืองขึ้นกับระยะห่างระหว่างคู่อสถานีนั่น ๆ โดยผลสรุปดังกล่าวพิจารณาเฉพาะคู่อสถานีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่บริเวณ



รูปที่ 4.11 ระยะห่างระหว่างคู่อสถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยไม่มีค่าตัวแปร PM_{10} จากสถานีห้วยขวาง

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างคู่อสถานี่ตรวจวัดกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานี่ต่าง ๆ ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา โดยวิเคราะห์ข้อมูลจาก 3 สถานี่ ซึ่งมีคู่อตัวแปรที่ศึกษาทั้งสิ้น 3 คู่อสถานี่ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยพบว่าระยะห่างระหว่างคู่อสถานี่กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานี่ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมี R เท่ากับ 0.796 ซึ่งผลดังกล่าวตรงข้ามกับผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ เนื่องจากการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีจำนวนคู่อตัวแปรเพียง 3 คู่อเท่านั้น ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างในการศึกษาน้อยกว่าในพื้นที่กรุงเทพฯ และทั้ง 3 คู่อสถานี่ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีระยะห่างอยู่ในช่วง 1.5-4.0 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ ที่คู่อสถานี่ที่มีระยะห่างกันอยู่ในช่วง 3.0-23.9 กิโลเมตร ดังนั้น ปัจจัยของการวิเคราะห์ที่แตกต่างดังกล่าว จึงมีผลให้ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างคู่อสถานี่กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานี่ในสองพื้นที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.12 ระยะห่างระหว่างคู่อสถานี่กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่อสถานี่ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา

4.2.4 ความสัมพันธ์ของ PM₁₀ กับข้อมูลมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ระหว่างสถานีตรวจวัด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปรมลพิษทางอากาศ ได้แก่ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ระหว่างคู่สถานีตรวจวัด โดยวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลจาก 6 สถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 ดังแสดงในตารางที่ 4.12 โดยพบว่าตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร CO NO₂ และ O₃ ระหว่างคู่สถานีตรวจวัดต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนความสัมพันธ์ของตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร SO₂ ระหว่างคู่สถานี พบว่ามีบางคู่สถานีที่ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ โดยคู่สถานีที่พบว่า PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับ SO₂ มักมีค่า R ในระดับที่ต่ำกว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับ CO NO₂ และ O₃ ระหว่างคู่สถานี

และจากการศึกษาลักษณะเดียวกันโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ T P RH NR GR WS และ RA ระหว่างคู่สถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าส่วนใหญ่ตัวแปร PM₁₀ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปร P และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับตัวแปร T RH NR GR WS และ RA อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของ PM₁₀ กับ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ระหว่างสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ

คู่สถานี ¹	ระยะห่าง (กิโลเมตร)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM ₁₀ กับตัวแปรมลพิษทางอากาศอื่น ๆ			
		CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
11T-59T	2.8	0.443*	0.574*	0.373*	-
59T-11T	2.8	0.414*	0.740*	0.139*	-
09T-10T	3.0	0.421*	0.632*	0.098*	0.479*
10T-09T	3.0	0.527*	0.728*	0.227*	0.431*
09T-11T	7.5	0.168*	0.537*	-0.030	0.555*
11T-09T	7.5	0.432*	0.383*	0.235*	0.426*
11T-12T	7.7	0.305*	0.534*	0.227*	0.238*
12T-11T	7.7	0.224*	0.722*	0.040	0.492*
12T-59T	9.5	0.430*	0.608*	0.345*	-
59T-12T	9.5	0.436*	0.788*	-0.010	-

หมายเหตุ¹ คู่สถานีในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปร PM₁₀ - ชื่อของสถานีของตัวแปรอื่น ๆ

เช่นค่า 0.443 ในแถวแรกหมายถึง PM₁₀ ของสถานี 11T และ CO ของสถานี 59T มีค่า R = 0.443

* หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากช่วงเวลาตรวจวัดไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของ PM₁₀ กับ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ระหว่างสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ (ต่อ)

คู่สถานี ¹	ระยะห่าง (กิโลเมตร)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM ₁₀ กับตัวแปรมลพิษทางอากาศอื่น ๆ			
		CO	NO ₂	SO ₂	O ₃
10T-11T	9.6	0.289*	0.692*	0.043	0.488*
11T-10T	9.6	0.394*	0.520*	0.112*	0.347*
12T-15T	10.6	0.447*	0.691*	0.157*	0.536*
15T-12T	10.6	0.393*	0.712*	-0.060*	0.483*
10T-59T	11.4	0.411*	0.591*	0.412*	-
59T-10T	11.4	0.532*	0.695*	0.131*	-
09T-12T	11.6	0.342*	0.674*	0.042	0.553*
12T-09T	11.6	0.435*	0.709*	0.196*	0.366*
10T-12T	14.5	0.386*	0.705*	0.052*	0.467*
12T-10T	14.5	0.447*	0.619*	0.035	0.456*
15T-59T	14.6	0.401*	0.551*	0.312*	-
59T-15T	14.6	0.683*	0.796*	0.267*	-
11T-15T	14.8	0.471*	0.512*	0.284*	0.527*
15T-11T	14.8	0.182*	0.632*	-0.065*	0.491*
09T-15T	21.2	0.335*	0.587*	0.132*	0.547*
15T-09T	21.2	0.485*	0.734*	0.146*	0.323*
10T-15T	23.9	0.499*	0.692*	0.235*	0.588*
15T-10T	23.9	0.508*	0.677*	0.029	0.397*

หมายเหตุ¹ คู่สถานีในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปร PM₁₀ – ชื่อของสถานีของตัวแปรอื่น ๆ

เช่นค่า 0.289 ในแถวแรกหมายถึง PM₁₀ ของสถานี 10T และ CO ของสถานี 11T มีค่า R = 0.289

* หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

– หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากช่วงเวลาตรวจวัดไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน

ตารางที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยาระหว่างสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ

คู่สถานี ¹	ระยะห่าง (กิโลเมตร)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยา						
		T	P	RH	NR	GR	WS	RA
11T-59T	2.8	-0.241*	0.285*	0.124*	-0.194*	-	-0.525*	-0.312*
59T-11T	2.8	-0.032	0.420*	-0.479*	0.067*	-	-0.206*	-0.322*
09T-10T	3.0	-0.211*	0.331*	-0.382*	0.029	0.035	-0.230*	-0.191*
10T-09T	3.0	-0.242*	0.404*	-0.370*	-0.240*	0.062*	-0.248*	-0.262*
09T-11T	7.5	-0.133*	0.348*	-0.352*	-0.062*	-0.090*	-0.189*	-0.224*
11T-09T	7.5	-0.251*	0.306*	-0.078*	-0.147*	0.152*	-0.303*	-0.235*
11T-12T	7.7	-0.136*	0.436*	-0.079*	0.080*	0.170*	-0.118*	-0.257*
12T-11T	7.7	-0.109*	0.333*	-0.337*	-0.122*	-0.175*	-0.230*	-0.219*
12T-59T	9.5	-0.260*	0.299*	0.079	-0.187*	-	-0.559*	-0.235*
59T-12T	9.5	-0.407*	0.589*	-0.593*	-0.191*	-	-0.132*	-0.300*
10T-11T	9.6	-0.064*	0.308*	-0.281*	-0.059*	-0.080*	-0.156*	-0.297*
11T-10T	9.6	-0.240*	0.099*	-0.137*	-0.284*	-0.135*	-0.096*	-0.317*
12T-15T	10.6	-0.195*	0.215*	-0.333*	-0.384*	-0.342*	-0.168*	-0.226*
15T-12T	10.6	-0.347*	0.461*	-0.528*	-0.253*	-0.016	-0.092*	-0.222*
10T-59T	11.4	-0.243*	0.299*	0.061*	-0.130*	-	-0.502*	-0.311*
59T-10T	11.4	-0.421*	0.371*	-0.496*	-0.260*	-	0.104*	-0.319*
09T-12T	11.6	-0.201*	0.397*	-0.518*	-0.222*	0.003	-0.123*	-0.243*
12T-09T	11.6	-0.242*	0.378*	-0.386*	-0.315*	-0.005	-0.155*	-0.198*
10T-12T	14.5	-0.290*	0.486*	-0.384*	-0.144*	0.069*	-0.091*	-0.287*
12T-10T	14.5	-0.313*	0.418*	-0.300*	-0.069*	-0.014	-0.030	-0.217*
15T-59T	14.6	-0.230*	0.274*	0.104*	-0.169*	-	-0.556*	-0.255*
59T-15T	14.6	-0.413*	0.401*	-0.503*	-0.460*	-	0.211*	-0.263*
11T-15T	14.8	-0.216*	-0.037	-0.338*	-0.179*	-0.043*	0.082*	-0.258*
15T-11T	14.8	-0.073*	0.373*	-0.407*	-0.113*	-0.148*	-0.243*	-0.230*
09T-15T	21.2	-0.071*	0.135*	-0.453*	-0.284*	-0.216*	-0.312*	-0.262*
15T-09T	21.2	-0.271*	0.449*	-0.471*	-0.185*	0.043	-0.242*	-0.215*
10T-15T	23.9	-0.235*	0.162*	-0.437*	-0.353*	-0.264*	-0.078*	-0.305*
15T-10T	23.9	-0.361*	0.322*	-0.338*	-0.151*	-0.053*	-0.030	-0.234*

หมายเหตุ¹ คู่สถานีในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปร PM_{10} - ชื่อของสถานีของตัวแปรอื่น ๆ

* หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากช่วงเวลาตรวจวัดไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน

4.2.5 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรมลพิษทางอากาศอื่น ๆ และกับตัวแปรอุณหภูมิวิทยา ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน และระหว่างสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา ดังแสดงในหัวข้อ 4.2.1-4.2.4 สรุปได้ว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์กับ CO NO_2 SO_2 และ O_3 ในทิศทางเดียวกัน และ PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความกดอากาศ และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม โดยทั้งหมดมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีตรวจวัด ซึ่งว่าแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่ รวมถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีมีผลต่อความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อคู่สถานีที่พิจารณามีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่บริเวณแตกต่างกัน และเมื่อคู่สถานีอยู่ห่างไกลกันออกไป

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับสมมติฐานของการศึกษา คือ ระดับ PM_{10} ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไปต่าง ๆ ในเขตเมืองมีความสัมพันธ์กันและสัมพันธ์กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ และข้อมูลอุณหภูมิวิทยาในพื้นที่ศึกษา ซึ่งผลการศึกษาความสัมพันธ์สนับสนุนแนวคิดของการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร และ ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวในเขตพื้นที่ศึกษา โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เป็นตัวแปรที่มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้กำหนดเป็นตัวแปรอิสระตั้งต้นในการวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM_{10} โดยแนวคิดของการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM_{10} แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} โดยใช้ตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกันทำนาย PM_{10} ณ สถานีเดียวกัน ซึ่งจากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศ และกับข้อมูลอุณหภูมิวิทยา ณ สถานีเดียวกัน พบว่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกำหนดเป็นตัวแปรอิสระตั้งต้นของการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ CO NO_2 SO_2 O_3 อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม

กรณีที่ 2 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} โดยใช้ตัวแปรอิสระจากสถานีหนึ่งทำนาย PM_{10} ณ ต่างสถานีในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศและกับข้อมูลอุณหภูมิวิทยาระหว่างสถานี พบว่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกำหนดเป็นตัวแปรอิสระตั้งต้นของการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ CO NO_2 SO_2 O_3 อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และ PM_{10} จากต่างสถานี

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM_{10}

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร และสถานีตรวจวัดชั่วคราว ที่ตั้งบริเวณพื้นที่ทั่วไปในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา โดยการวิเคราะห์ความถดถอยและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง แบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ

- 1) กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน
- 2) กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี

โดยแต่ละกรณีศึกษาแบ่งการวิเคราะห์ตามข้อมูลช่วงฤดูกาลต่าง ๆ ออกเป็น 4 กรณีย่อย คือ

- กรณีที่ 1 แบบจำลองจากข้อมูลทุกช่วงฤดูกาล
- กรณีที่ 2 แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูหนาว (ข้อมูลวันที่ 1 พฤศจิกายน – 15 กุมภาพันธ์)
- กรณีที่ 3 แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูร้อน (ข้อมูลวันที่ 16 กุมภาพันธ์ – 15 พฤษภาคม)
- กรณีที่ 4 แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูฝน (ข้อมูลวันที่ 16 พฤษภาคม – 31 ตุลาคม)

ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนาย PM_{10} กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน แสดงไว้ในภาคผนวก ค และแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี แสดงไว้ในภาคผนวก ง

4.3.1 ตัวอย่างการสร้างและคัดเลือกแบบจำลอง

ในที่นี้จะยกตัวอย่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 4.14 มาอภิปรายเป็นตัวอย่าง ส่วนการสร้างและคัดเลือกของแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีอื่น ๆ และแบบจำลองกรณีอื่น ๆ เป็นวิธีการเดียวกัน

แบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนครราชสีมา (47T) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระทุกตัวแปรจากสถานีเดียวกัน โดยมีตัวแปรเชิงปริมาณตั้งต้น จำนวน 11 ตัวแปร ประกอบด้วยตัวแปรมลพิษทางอากาศ ได้แก่ CO NO_2 SO_2 และ O_3 และตัวแปรอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ T P RH NR GR และ WS และมีตัวแปรหุ่นตั้งต้น จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรวันที่มีฝนตก (RA) วันที่อยู่ในช่วงฤดูฝน (Rain) และวันที่อยู่ในช่วงฤดูหนาว (Winter) โดยแบบจำลองสร้างจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ 4 กรณีย่อย คือ กรณีที่ 1 ทุกช่วงฤดู กรณีที่ 2 ฤดูหนาว กรณีที่ 3 ฤดูร้อน และกรณีที่ 4 ฤดูฝน ผลการวิเคราะห์ได้สมการที่เหมาะสม 4 สมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 โดยแบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (Adjusted R^2) อยู่ในช่วง 0.314-0.666 ซึ่งอธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยสามารถอธิบายความแปรปรวนของ PM_{10} ได้ร้อยละ 31.4-66.6 และแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ในช่วง 13.062-22.280 มก.ก./ลบ.ม.

ตารางที่ 4.14 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถดถอยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนครราชสีมา (47T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	47T-47T	$PM_{10@47T} = 755.876 + 2.395(NO_{2@47T}) + 0.471(O_{3@47T}) + 12.412(CO@47T) - 0.906(P@47T) - 0.783(RH@47T) + 0.203(NR@47T) - 0.161(GR@47T) - 6.534(WS@47T) + 12.261(Winter) + 4.488(Rain)$	1225	0.666	17.142	0.02	1.02	ทุกฤดู	269	0.738	0.000	22.006
								ฤดูหนาว	83	0.701	0.000	26.338
								ฤดูร้อน	62	0.715	0.000	21.012
								ฤดูฝน	124	0.519	0.000	19.341
ฤดูหนาว	47T-47T	$PM_{10@47T} = 85.407 + 2.316(NO_{2@47T}) + 0.630(O_{3@47T}) + 14.044(CO@47T) + 1.875(SO_{2@47T}) - 0.978(RH@47T) - 10.221(WS@47T) + 15.166(RA@47T)$	384	0.581	22.280	-0.09	1.00	ฤดูหนาว	68	0.732	0.000	26.231
ฤดูร้อน	47T-47T	$PM_{10@47T} = -795.217 + 2.846(NO_{2@47T}) - 1.781(SO_{2@47T}) + 1.170(P@47T) - 0.394(RH@47T) - 0.097(GR@47T)$	305	0.576	15.625	0.11	1.01	ฤดูร้อน	36	0.749	0.000	13.715
ฤดูฝน	47T-47T	$PM_{10@47T} = 539.279 + 1.463(NO_{2@47T}) + 9.984(CO@47T) - 0.627(P@47T) - 0.639(RH@47T) - 4.156(WS@47T)$	552	0.312	13.062	0.04	0.94	ฤดูฝน	135	0.734	0.000	15.171

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 47T-47T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (residual analysis) เพื่อตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย โดยหากเป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Standardized Residual จะมีค่าเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ โดยค่า Standardized Residual จะมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งจากผลวิเคราะห์ทั้ง 4 สมการ พบว่าสมการผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย โดยมีค่าเฉลี่ยของ Standardized Residual อยู่ระหว่าง -0.09-0.11 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Standardized Residual อยู่ระหว่าง 0.94-1.02 และค่า Standardized Residual มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 4 สมการ โดยการวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM_{10} จากการตรวจวัดจริงกับค่า PM_{10} จากการทำนาย โดยพิจารณาค่า R ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 มาก แสดงว่ามีความถูกต้องสูง และพิจารณาค่า MSPR ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองมีความถูกต้องสูงเช่นกัน ซึ่งจากตารางที่ 4.14 พบว่าค่าจากการตรวจวัดจริงกับค่าจากการทำนายทุกสมการ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยสมการแยกตามฤดูกาลต่าง ๆ มีค่า R อยู่ในช่วง 0.732-0.749 และมีค่า MSPR อยู่ในช่วง 13.715-26.231 มก.ก./ลบ.ม. และเมื่อพิจารณาสมการกรณีทุกฤดูโดยพิจารณาผลการตรวจสอบความถูกต้องจากข้อมูลแยกตามฤดูกาล พบว่าช่วงฤดูหนาวมีค่า R สูงสุด ซึ่งแสดงว่าสมการกรณีทุกฤดู เมื่อทำนายในช่วงฤดูหนาวมีความถูกต้องมากที่สุด

จากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สรุปได้ว่าแบบจำลองทั้ง 4 สมการในตารางที่ 4.14 ผ่านการพิจารณาคัดเลือกและสามารถนำไปใช้งานหรือวิเคราะห์เปรียบเทียบในขั้นตอนต่อไป โดยเมื่อเปรียบเทียบค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองแยกตามฤดูกาล พบว่าสมการกรณีฤดูหนาวมีค่า Adjusted R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.581 และสมการกรณีฤดูฝนมีค่า Adjusted R^2 ต่ำสุดเท่ากับ 0.312 ซึ่งแสดงว่าตัวแปรอิสระในสมการกรณีฤดูหนาวอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ณ สถานีนครราชสีมาได้สูงกว่าสมการกรณีฤดูกาลอื่น ๆ

4.3.2 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน

จากการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกันสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานีคลองจั่น (10T) สถานีห้วยขวาง (11T) สถานีนนทบุรี (12T) สถานีสิงหราช (15T) และสถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T) และในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา จำนวน 1 สถานี ได้แก่ สถานีนครราชสีมา (47T) ซึ่งได้แบบจำลองดังแสดงในภาคผนวก ค และได้สรุปแบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกไว้ในตารางที่ 4.15 โดยแบบจำลองสำหรับ 5 สถานีในพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่าส่วนใหญ่สมการกรณีฤดูหนาวมีค่า Adjusted R^2 สูงสุด และสมการกรณีฤดูฝนมีค่า Adjusted R^2 ต่ำสุด ซึ่งผลดังกล่าวคล้ายกับแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนครราชสีมา

ตารางที่ 4.15 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน

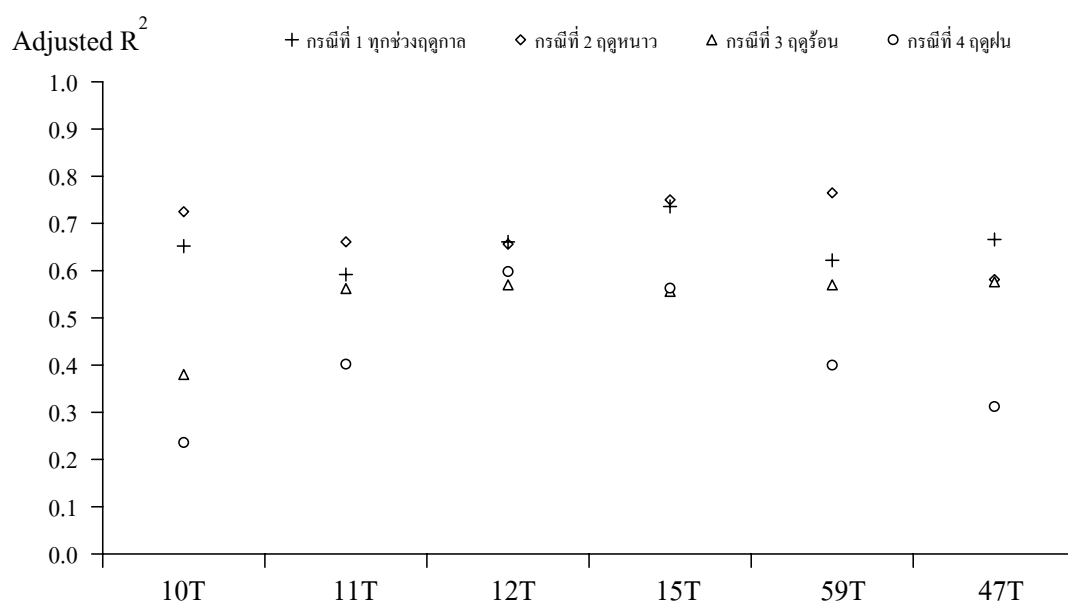
สถานี	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
คลองจั่น (10T)	ทุกฤดู	$PM_{10@10T} = -206.104 + 1.112(NO_{2@10T}) + 0.487(O_{3@10T})$ $+ 6.858(CO@10T) + 0.315(P@10T) - 0.856(T@10T)$ $- 4.891(RA@10T) - 4.229(Rain)$	0.652
	ฤดูหนาว	$PM_{10@10T} = -1099.895 + 1.480(NO_{2@10T}) + 0.470(O_{3@10T})$ $- 9.040(CO@10T) + 1.457(P@10T) - 0.033(GR@10T)$ $- 6.564(RA@10T)$	0.725
	ฤดูร้อน	$PM_{10@10T} = 114.349 + 0.406(NO_{2@10T}) + 0.719(O_{3@10T})$ $+ 4.745(CO@10T) - 3.431(T@10T) + 0.038(NR@10T) - 7.897(RA@10T)$	0.380
	ฤดูฝน	$PM_{10@10T} = -28.519 + 0.448(NO_{2@10T}) + 4.438(CO@10T)$ $+ 1.431(T@10T) + 0.147(RH@10T) - 3.375(WS@10T)$	0.236
ห้วยขวาง (11T)	ทุกฤดู	$PM_{10@11T} = 0.973(NO_{2@11T}) + 11.085(CO@11T)$ $+ 0.081(RH@11T) - 0.098(NR@11T) + 0.124(GR@11T)$ $- 4.868(RA@11T) + 3.348(Winter) - 4.173(Rain)$	0.592
	ฤดูหนาว	$PM_{10@11T} = -16.363 + 0.750(NO_{2@11T}) + 0.646(O_{3@11T})$ $+ 18.633(CO@11T) - 0.487(T@11T) + 0.170(RH@11T)$ $- 0.149(NR@11T) + 0.275(GR@11T)$	0.661
	ฤดูร้อน	$PM_{10@11T} = -17.522 + 1.337(NO_{2@11T}) - 0.281(SO_{2@11T})$ $+ 0.323(RH@11T) - 0.180(NR@11T) + 0.125(GR@11T)$ $+ 4.477(WS@11T) - 7.418(RA@11T)$	0.562
	ฤดูฝน	$PM_{10@11T} = -32.462 + 0.517(NO_{2@11T}) + 9.935(CO@11T)$ $+ 0.296(SO_{2@11T}) + 1.787(T@11T) - 2.884(WS@11T)$	0.402
นนทบุรี (12T)	ทุกฤดู	$PM_{10@12T} = 651.342 + 1.187(NO_{2@12T}) + 0.191(O_{3@12T})$ $+ 3.585(CO@12T) + 0.459(SO_{2@12T}) - 0.742(P@12T)$ $- 1.750(T@12T) - 0.348(RH@12T) + 0.038(GR@12T) - 3.359(WS@12T)$	0.661
	ฤดูหนาว	$PM_{10@12T} = 3529.933 + 1.278(NO_{2@12T}) + 0.506(O_{3@12T})$ $+ 7.962(CO@12T) + 1.100(SO_{2@12T}) - 4.554(P@12T)$ $- 1.968(T@12T) - 0.374(RH@12T) + 0.061(GR@12T)$	0.656
	ฤดูร้อน	$PM_{10@12T} = 98.386 + 1.077(NO_{2@12T}) + 0.258(SO_{2@12T})$ $- 2.028(T@12T) - 0.324(RH@12T) + 0.043(NR@12T) + 0.029(GR@12T)$	0.570
	ฤดูฝน	$PM_{10@12T} = -1020.531 + 1.069(NO_{2@12T}) - 2.808(CO@12T)$ $+ 0.415(SO_{2@12T}) + 1.512(P@12T) - 2.044(T@12T)$ $- 0.465(RH@12T) - 2.892(WS@12T)$	0.598

ตารางที่ 4.15 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน (ต่อ)

สถานี	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
สิงหราช (15T)	ทุกฤดู	$PM10@15T = -60.349 + 1.943(NO2@15T) + 0.513(O3@15T) - 8.874(CO@15T) + 2.455(T@15T) + 2.362(RA@15T)$	0.736
	ฤดูหนาว	$PM10@15T = -482.443 + 1.793(NO2@15T) + 0.632(O3@15T) - 7.202(CO@15T) + 0.598(P@15T) + 1.872(T@15T) - 0.312(NR@15T) + 0.245(GR@15T) - 14.144(WS@15T)$	0.750
	ฤดูร้อน	$PM10@15T = -81.683 + 1.680(NO2@15T) + 0.840(O3@15T) - 8.933(CO@15T) + 1.986(T@15T) + 0.441(RH@15T)$	0.556
	ฤดูฝน	$PM10@15T = -74.053 + 1.861(NO2@15T) - 5.136(CO@15T) + 3.071(T@15T) + 3.309(RA@15T)$	0.563
กรมประชาสัมพันธ์ (59T)	ทุกฤดู	$PM10@59T = -1099.319 + 1.718(NO2@59T) + 2.237(SO2@59T) + 1.359(P@59T) + 2.733(T@59T) - 8.054(WS@59T) - 4.691(RA@59T)$	0.622
	ฤดูหนาว	$PM10@59T = -10443.6 + 1.635(NO2@59T) + 6.659(SO2@59T) + 13.713(P@59T)$	0.765
	ฤดูร้อน	$PM10@59T = -9055.495 + 2.874(SO2@59T) + 11.959(P@59T)$	0.570
	ฤดูฝน	$PM10@59T = -570.743 + 0.581(NO2@59T) + 14.409(CO@59T) + 0.665(P@59T) + 3.377(T@59T) - 8.120(WS@59T)$	0.400
นครราชสีมา (47T)	ทุกฤดู	$PM10@47T = 755.876 + 2.395(NO2@47T) + 0.471(O3@47T) + 12.412(CO@47T) - 0.906(P@47T) - 0.783(RH@47T) + 0.203(NR@47T) - 0.161(GR@47T) - 6.534(WS@47T) + 12.261(Winter) + 4.488(Rain)$	0.666
	ฤดูหนาว	$PM10@47T = 85.407 + 2.316(NO2@47T) + 0.630(O3@47T) + 14.044(CO@47T) + 1.875(SO2@47T) - 0.978(RH@47T) - 10.221(WS@47T) + 15.166(RA@47T)$	0.581
	ฤดูร้อน	$PM10@47T = -795.217 + 2.846(NO2@47T) - 1.781(SO2@47T) + 1.170(P@47T) - 0.394(RH@47T) - 0.097(GR@47T)$	0.576
	ฤดูฝน	$PM10@47T = 539.279 + 1.463(NO2@47T) + 9.984(CO@47T) - 0.627(P@47T) - 0.639(RH@47T) - 4.156(WS@47T)$	0.312

ผลการเปรียบเทียบค่า Adjusted R² ของแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจากสถานีเดียวกัน โดยพิจารณาเป็นรายสถานี ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าส่วนใหญ่สมการกรณีฤดูหนาวมีค่า Adjusted R² สูงสุด รองลงคือ กรณีทุกฤดู กรณีร้อน และกรณีฤดูฝน ตามลำดับ โดย

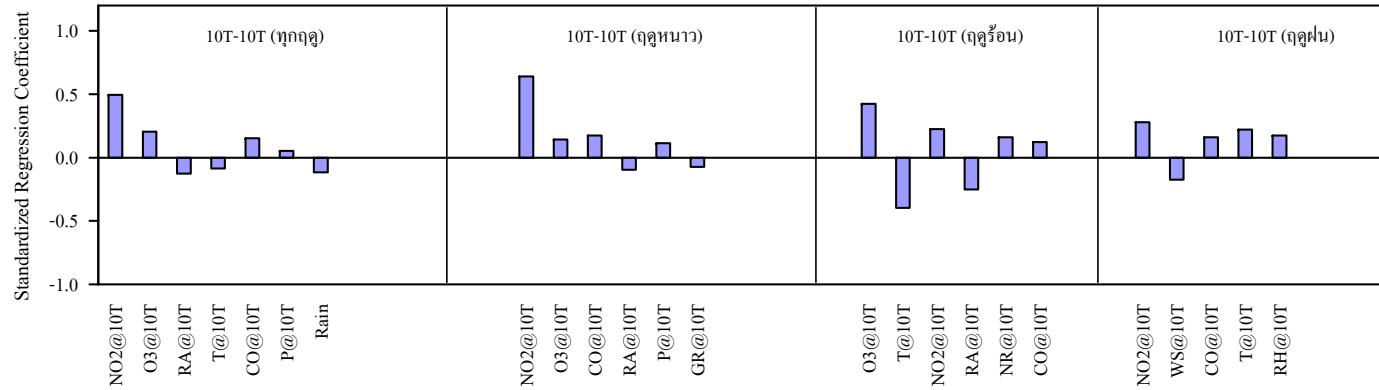
สาเหตุที่สมการถดถอยทุกฤดูกาลมีค่า Adjusted R^2 สูงกว่าสมการถดถอยฤดูร้อนและฤดูฝน เนื่องจากถดถอยทุกฤดูกาลมีข้อมูลจากช่วงฤดูหนาวอยู่ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่มีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำกว่าข้อมูลจากฤดูร้อนและฤดูฝน และเป็นข้อมูลที่มีค่า Adjusted R^2 สูงในการทำนาย PM_{10} ดังนั้น จึงทำให้สมการถดถอยทุกฤดูกาลมีค่า Adjusted R^2 สูงกว่าฤดูร้อนและฤดูฝน



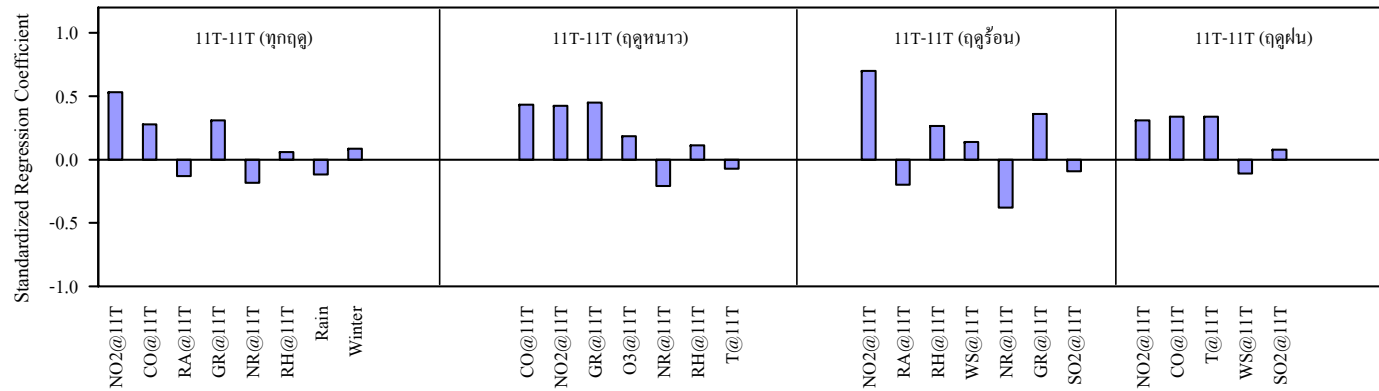
รูปที่ 4.13 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองถดถอยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน

จากตารางที่ 4.15 แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกพบว่ามีตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2-10 ตัว โดยตัวแปรอิสระที่พบในสมการบ่อยครั้ง ได้แก่ NO_2 , CO, RH และ WS เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้มักมีความสัมพันธ์สูงกับ PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1-4.2.2

จากการเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวในแบบจำลอง โดยพิจารณาค่า Standardized Regression Coefficient ดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดยพบว่าตัวแปร NO_2 มีอิทธิพลในแบบจำลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวแปรอิสระอื่น ๆ โดยมีอิทธิพลในด้านบวก และมักถูกคัดเลือกเข้าแบบจำลองเป็นลำดับแรก ส่วนตัวแปรอิสระอื่น ๆ พบว่ามีอิทธิพลแตกต่างกันตามสถานีและช่วงฤดูกาล โดยกลุ่มตัวแปรมลพิษทางอากาศพบว่ามีอิทธิพลในด้านบวก โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลน้อยที่สุดคือ SO_2 ทั้งนี้เนื่องจากมีความสัมพันธ์ทางสถิติกับ PM_{10} น้อยที่สุด และมีข้อสังเกตว่ากลุ่มตัวแปรมลพิษทางอากาศมักมีอิทธิพลสูงกว่ากลุ่มตัวแปรอุตุนิยมวิทยา และเมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มตัวแปรอุตุนิยมวิทยา พบว่าตัวแปร RH มีอิทธิพลสูงสุดโดยมีอิทธิพลสูงในด้านลบ

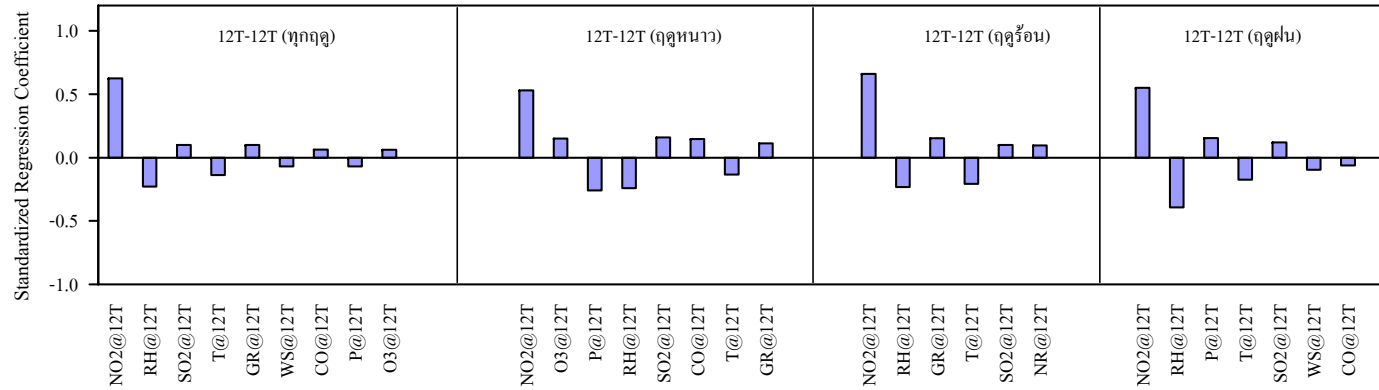


1) สถานีคลองจั่น (10T)

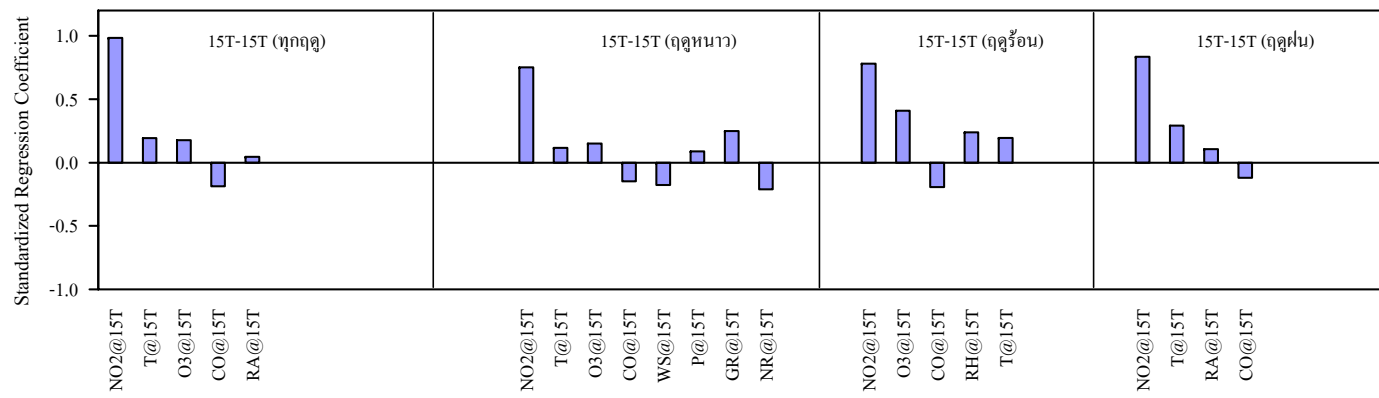


2) สถานีห้วยขวาง (11T)

รูปที่ 4.14 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน (ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)

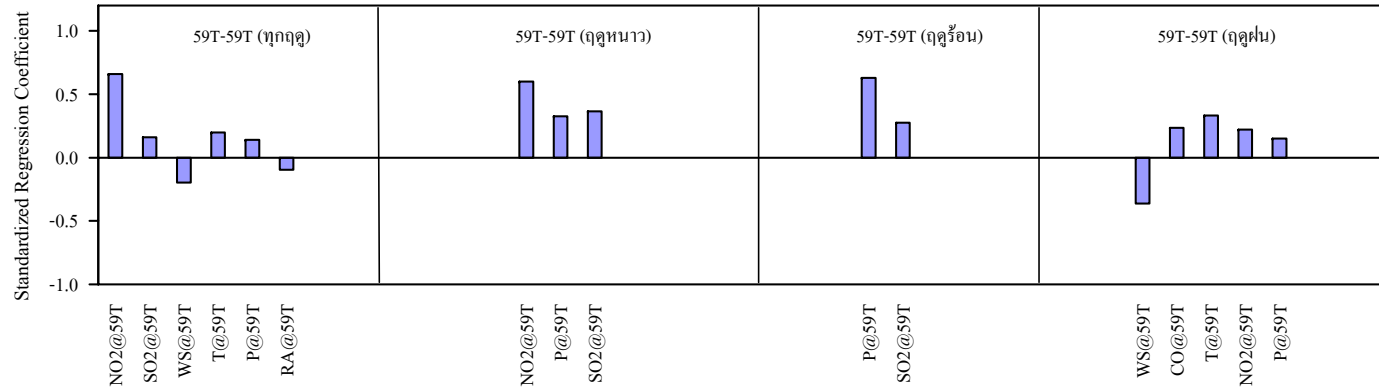


3) สถานีนนทบุรี (12T)

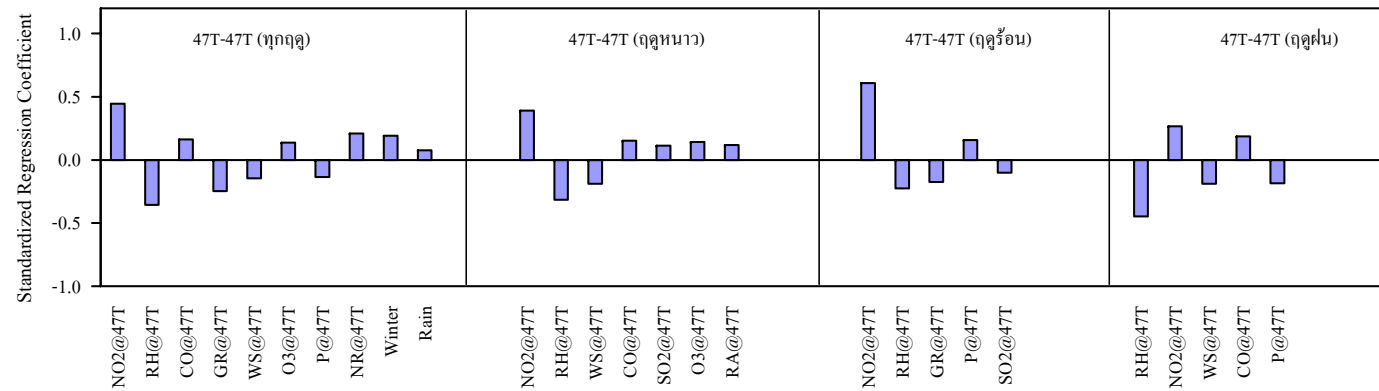


4) สถานีสิงห์ราช (15T)

รูปที่ 4.14 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน (ต่อ)
 (ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)



5) สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)



6) สถานีนครราชสีมา (47T)

รูปที่ 4.14 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน (ต่อ)
(ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)

4.3.3 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี

การศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ จำนวน 6 สถานี และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 2 สถานี มีการคัดเลือกสมการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากการทำนาย PM_{10} สถานีหนึ่ง ๆ และกรณีหนึ่ง ๆ นั้นจะได้สมการทำนายหลายสมการ เช่น การทำนาย PM_{10} ณ สถานี 09T ในกรณีทุกฤดู มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก 4 สมการ คือ สมการที่ใช้ตัวแปรอิสระจากสถานี 10T สถานี 11T สถานี 12T และสถานี 15T ดังนั้น จึงต้องทำการคัดเลือกสมการอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เหลือสมการที่ดีที่สุดเพียงสมการเดียว โดยพิจารณาที่ค่า Adjusted R^2 ที่สูงที่สุด ซึ่งผลที่ได้แสดงในภาคผนวก ง และสรุปไว้ในตารางที่ 4.16 โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.3.1 สถานีตัวแปรอิสระทำนายที่เหมาะสม

1) แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีรามคำแหง (09T) กรณีทุกฤดูและฤดูหนาวใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีคลองจั่น (10T) ส่วนกรณีฤดูร้อนและกรณีฤดูฝนใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีนนทบุรี (12T) โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.848-0.967

2) แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น (10T) กรณีฤดูร้อนใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีนนทบุรี (12T) ส่วนกรณีอื่น ๆ ใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T) โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.824-0.921

3) แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีห้วยขวาง (11T) สถานีนนทบุรี (12T) และสถานีสิงหราช (15T) ทุกกรณีใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T) โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.815-0.950 0.859-0.918 และ 0.822-0.908 ตามลำดับ

4) แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T) กรณีฤดูฝนใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีนนทบุรี (12T) ส่วนกรณีอื่น ๆ ใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีห้วยขวาง (11T) ซึ่งตั้งอยู่ใกล้สถานี 59T มากที่สุด โดยแบบจำลองที่ค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.863-0.956

5) แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST) และสถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์ (UST) ทุกกรณีใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีนครราชสีมา (47T) โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.519-0.748 และ 0.419-0.742 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี

สถานี	กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	Adjusted R ²
รามคำแหง (09T)	ทุกฤดู	09T-10T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@09\text{T} = & -118.701 + 0.953(\text{PM}_{10}@10\text{T}) \\ & + 0.168(\text{O}_3@10\text{T}) + 0.157(\text{P}@10\text{T}) \\ & + 0.034(\text{NR}@10\text{T}) + 1.911(\text{RA}@10\text{T}) \end{aligned}$	0.904
	ฤดูหนาว	09T-10T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@09\text{T} = & -1140.695 + 1.053(\text{PM}_{10}@10\text{T}) \\ & - 0.526(\text{NO}_2@10\text{T}) + 4.815(\text{CO}@10\text{T}) \\ & + 0.443(\text{SO}_2@10\text{T}) + 1.492(\text{P}@10\text{T}) \\ & + 0.622(\text{T}@10\text{T}) \end{aligned}$	0.967
	ฤดูร้อน	09T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@09\text{T} = & -1097.380 + 0.713(\text{PM}_{10}@12\text{T}) \\ & + 0.540(\text{O}_3@12\text{T}) + 1.487(\text{P}@12\text{T}) \\ & - 0.338(\text{RH}@12\text{T}) + 5.152(\text{WS}@12\text{T}) \end{aligned}$	0.885
	ฤดูฝน	09T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@09\text{T} = & 18.219 + 0.958(\text{PM}_{10}@12\text{T}) \\ & - 0.459(\text{NO}_2@12\text{T}) + 0.604(\text{O}_3@12\text{T}) \\ & - 4.525(\text{CO}@12\text{T}) - 0.193(\text{SO}_2@12\text{T}) \\ & - 0.124(\text{RH}@12\text{T}) \end{aligned}$	0.848
คลองจั่น (10T)	ทุกฤดู	10T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@10\text{T} = & -13.088 + 0.635(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 5.355(\text{CO}@59\text{T}) + 0.219(\text{RH}@59\text{T}) \\ & + 0.037(\text{NR}@59\text{T}) - 3.693(\text{RA}@59\text{T}) \end{aligned}$	0.884
	ฤดูหนาว	10T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@10\text{T} = & 46.216 + 0.679(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 8.623(\text{CO}@59\text{T}) + 0.455(\text{RH}@59\text{T}) \\ & + 0.125(\text{NR}@59\text{T}) \end{aligned}$	0.921
	ฤดูร้อน	10T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@10\text{T} = & -1185.661 + 0.752(\text{PM}_{10}@12\text{T}) \\ & + 0.537(\text{O}_3@12\text{T}) - 3.696(\text{CO}@12\text{T}) \\ & + 0.207(\text{SO}_2@12\text{T}) + 1.542(\text{P}@12\text{T}) \\ & + 0.113(\text{RH}@12\text{T}) + 5.673(\text{WS}@12\text{T}) \end{aligned}$	0.824
	ฤดูฝน	10T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@10\text{T} = & -50.300 + 0.642(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 1.321(\text{T}@59\text{T}) + 0.246(\text{RH}@59\text{T}) \end{aligned}$	0.865
ห้วยขวาง (11T)	ทุกฤดู	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@11\text{T} = & -5.831 + 0.599(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 6.240(\text{CO}@59\text{T}) + 0.351(\text{RH}@59\text{T}) \\ & - 3.765(\text{RA}@59\text{T}) - 6.792(\text{Winter}) \\ & - 4.731(\text{Rain}) \end{aligned}$	0.897

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ เช่น 09T-10T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 09T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.16 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี (ต่อ)

สถานี	กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	Adjusted R ²
ห้วยขวาง (11T)	ฤดูหนาว	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & 2416.797 + 0.603(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 9.735(\text{CO@59T}) - 3.174(\text{P@59T}) \\ & - 1.165(\text{T@59T}) + 0.356(\text{RH@59T}) \\ & + 0.135(\text{NR@59T}) \end{aligned}$	0.950
	ฤดูร้อน	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -21.692 + 0.728(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 0.497(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	0.815
	ฤดูฝน	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -45.849 + 0.629(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 1.146(\text{T@59T}) + 0.359(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	0.821
นนทบุรี (12T)	ทุกฤดู	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & -20.840 + 0.939(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 4.865(\text{CO@59T}) + 0.306(\text{RH@59T}) \\ & + 0.047(\text{NR@59T}) - 3.472(\text{WS@59T}) \\ & + 4.130(\text{Winter}) + 5.703(\text{Rain}) \end{aligned}$	0.890
	ฤดูหนาว	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & 8489.694 + 1.192(\text{PM}_{10@59T}) \\ & - 11.255(\text{P@59T}) + 0.626(\text{RH@59T}) \\ & + 0.205(\text{NR@59T}) \end{aligned}$	0.918
	ฤดูร้อน	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & 13.686 + 0.553(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 0.535(\text{NO}_2@59T) \end{aligned}$	0.859
	ฤดูฝน	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & -18.687 + 0.981(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 0.371(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	0.880
สิงหราช (15T)	ทุกฤดู	15T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@15T} = & -76.933 + 1.025(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 1.843(\text{T@59T}) + 0.309(\text{RH@59T}) \\ & - 5.206(\text{WS@59T}) + 10.009(\text{Winter}) \\ & + 11.60(\text{Rain}) \end{aligned}$	0.875
	ฤดูหนาว	15T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@15T} = & 5071.124 + 1.194(\text{PM}_{10@59T}) \\ & - 4.280(\text{SO}_2@59T) - 6.710(\text{P@59T}) \\ & + 0.480(\text{RH@59T}) + 0.219(\text{NR@59T}) \\ & - 20.523(\text{WS@59T}) - 8.941(\text{RA@59T}) \end{aligned}$	0.908

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ เช่น 11T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.16 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี (ต่อ)

สถานี	กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	Adjusted R ²
สิงหราช (15T)	ฤดูร้อน	15T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@15\text{T} = & -22.854 + 0.962(\text{PM}_{10}@12\text{T}) \\ & + 0.784(\text{O}_3@12\text{T}) + 3.668(\text{CO}@12\text{T}) \\ & - 0.020(\text{GR}@12\text{T}) + 11.111(\text{WS}@12\text{T}) \\ & + 2.640(\text{RA}@12\text{T}) \end{aligned}$	0.841
	ฤดูฝน	15T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@15\text{T} = & -44.299 + 1.165(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 1.606(\text{T}@59\text{T}) \end{aligned}$	0.822
กรมประชา สัมพันธ์ (59T)	ทุกฤดู	59T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@59\text{T} = & -889.150 + 1.130(\text{PM}_{10}@11\text{T}) \\ & + 0.158(\text{NO}_2@11\text{T}) + 0.545(\text{O}_3@11\text{T}) \\ & - 0.436(\text{RH}@11\text{T}) + 0.154(\text{NR}@11\text{T}) \\ & - 0.176(\text{GR}@11\text{T}) + 4.861(\text{WS}@11\text{T}) \\ & + 2.104(\text{RA}@11\text{T}) + 1.195(\text{P}@11\text{T}) + 3.670(\text{Rain}) \end{aligned}$	0.930
	ฤดูหนาว	59T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@59\text{T} = & 44.111 + 1.406(\text{PM}_{10}@11\text{T}) \\ & + 0.903(\text{O}_3@11\text{T}) - 5.157(\text{CO}@11\text{T}) \\ & - 0.363(\text{SO}_2@11\text{T}) - 0.541(\text{RH}@11\text{T}) \\ & + 0.566(\text{NR}@11\text{T}) - 0.637(\text{GR}@11\text{T}) \end{aligned}$	0.956
	ฤดูร้อน	59T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@59\text{T} = & 62.185 + 1.103(\text{PM}_{10}@11\text{T}) \\ & - 1.029(\text{RH}@11\text{T}) \end{aligned}$	0.873
	ฤดูฝน	59T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@59\text{T} = & -44.859 + 0.645(\text{PM}_{10}@12\text{T}) \\ & + 0.577(\text{NO}_2@12\text{T}) + 1.252(\text{T}@12\text{T}) \\ & + 3.121(\text{WS}@12\text{T}) \end{aligned}$	0.863
โรงเรียน เมืองนคร ราชสีมา (MST)	ทุกฤดู	MST-47T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@MST = & 0.438(\text{PM}_{10}@47\text{T}) \\ & + 2.350(\text{NO}_2@47\text{T}) \end{aligned}$	0.748
	ฤดูหนาว	MST-47T	$\text{PM}_{10}@MST = 24.512 + 0.487(\text{PM}_{10}@47\text{T})$	0.575
	ฤดูร้อน	MST-47T	ไม่มีสมการ	-
	ฤดูฝน	MST-47T	$\text{PM}_{10}@MST = 22.021 + 0.517(\text{PM}_{10}@47\text{T})$	0.519
โรงเรียน อุบลรัตน์ (UST)	ทุกฤดู	UST-47T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@UST = & 0.355(\text{PM}_{10}@47\text{T}) \\ & + 4.512(\text{NO}_2@47\text{T}) \end{aligned}$	0.742
	ฤดูหนาว	UST-47T	$\text{PM}_{10}@UST = 38.674 + 0.618(\text{PM}_{10}@47\text{T})$	0.505
	ฤดูร้อน	UST-47T	ไม่มีสมการ	-
	ฤดูฝน	UST-47T	$\text{PM}_{10}@UST = 0.509(\text{PM}_{10}@47\text{T})$	0.419

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ เช่น 15T-12T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรอิสระ

จากผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ พบว่าสถานี 59T เป็นสถานีตัวแปรอิสระที่ทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี และสถานีสิงหราช ได้เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า Adjusted R^2 ที่สูงที่สุด (0.815-0.950) โดยปัจจัยที่ตัวแปรอิสระจากสถานี 59T สามารถทำนาย PM_{10} ณ สถานีอื่น ๆ ได้ดี เนื่องจากลักษณะบริเวณโดยรอบสถานี 59T ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่รอบกวน และมีตำแหน่งที่ตั้งสถานีใกล้เคียงกับสถานีอื่น ๆ โดยมีระยะห่างอยู่ในช่วง 2.8-14.6 กิโลเมตร ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ที่พบว่าคู่สถานีที่อยู่ใกล้กันความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานีจะมีค่า R สูง ดังนั้น คู่สถานีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่ตั้งใกล้กันมักทำนายได้ดีกว่าคู่สถานีที่ตั้งอยู่ห่างไกลกัน และสำหรับการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา สถานีตัวแปรอิสระคือ สถานี 47T มีระยะห่างกับสถานีตัวแปรตามคือ สถานี MST และสถานี UST อยู่ในช่วง 1.5-4.0 กิโลเมตร ซึ่งระยะห่างดังกล่าวอยู่ในช่วงของระยะห่างระหว่างคู่สถานีตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่เหมาะสมของการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ

4.3.3.2 การเปรียบเทียบค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลอง

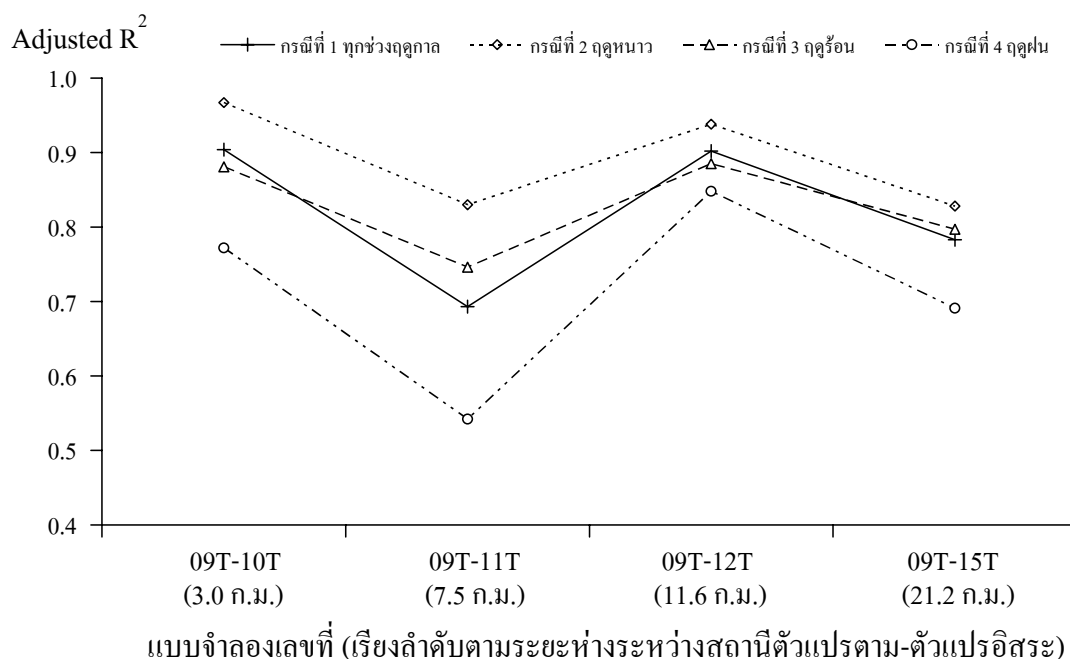
ผลการเปรียบเทียบค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 4.15-4.20 เมื่อพิจารณาแบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูกาลต่าง ๆ ในกรณีที่ข้อมูลดิบของแต่ละตัวแปร มีค่าที่ขาดหายน้อย และชุดข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองในแต่ละกรณีใกล้เคียงกัน พบว่าสมการกรณีฤดูหนาวส่วนใหญ่มีค่า Adjusted R^2 สูงสุด และกรณีฤดูฝนส่วนใหญ่มีค่า Adjusted R^2 ต่ำสุด และกรณีทุกฤดูมักมีค่า Adjusted R^2 อยู่ระหว่างกรณีฤดูหนาวกับกรณีฤดูฝน โดยสมการกรณีฤดูหนาวที่พบว่ามีค่า Adjusted R^2 สูง และกรณีฤดูฝนมีค่า Adjusted R^2 ต่ำ เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงที่สภาวะลมฟ้าอากาศในพื้นที่มีความแปรปรวนน้อย ส่วนในช่วงฤดูฝนมีความแปรปรวนของระดับ PM_{10} ในบรรยากาศสูง เพราะในวันที่มีฝนตกน้ำฝนจะช่วยชะล้างปริมาณ PM_{10} ออกจากบรรยากาศในพื้นที่ที่ฝนตก และเป็นสาเหตุให้ปริมาณ PM_{10} ในบรรยากาศลดต่ำกว่าระดับปกติที่เกิดขึ้นในวันที่ฝนไม่ตก ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรอิสระอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กันลดลง และมีผลให้แบบจำลองมีค่า Adjusted R^2 ต่ำกว่าการศึกษารณีช่วงฤดูอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองเรียงตามระยะห่างระหว่างสถานีของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ พบว่าค่า Adjusted R^2 มีแนวโน้มไม่สัมพันธ์กันและไม่คงที่ โดยมีข้อสังเกตว่าแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรอิสระจากสถานีห้วยขวาง (11T) ส่วนใหญ่มีค่า Adjusted R^2 ต่ำกว่าแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรอิสระจากสถานีอื่น ๆ ยกเว้น สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T) ซึ่งเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ใกล้สถานี 11T มากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากสถานี 11T มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่รอบกวน ซึ่งมีผลให้ข้อมูลมีความแปรปรวนสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ที่ไม่แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่รอบกวน แต่เมื่อแนวโน้มโดยไม่พิจารณาแบบจำลองที่ใช้

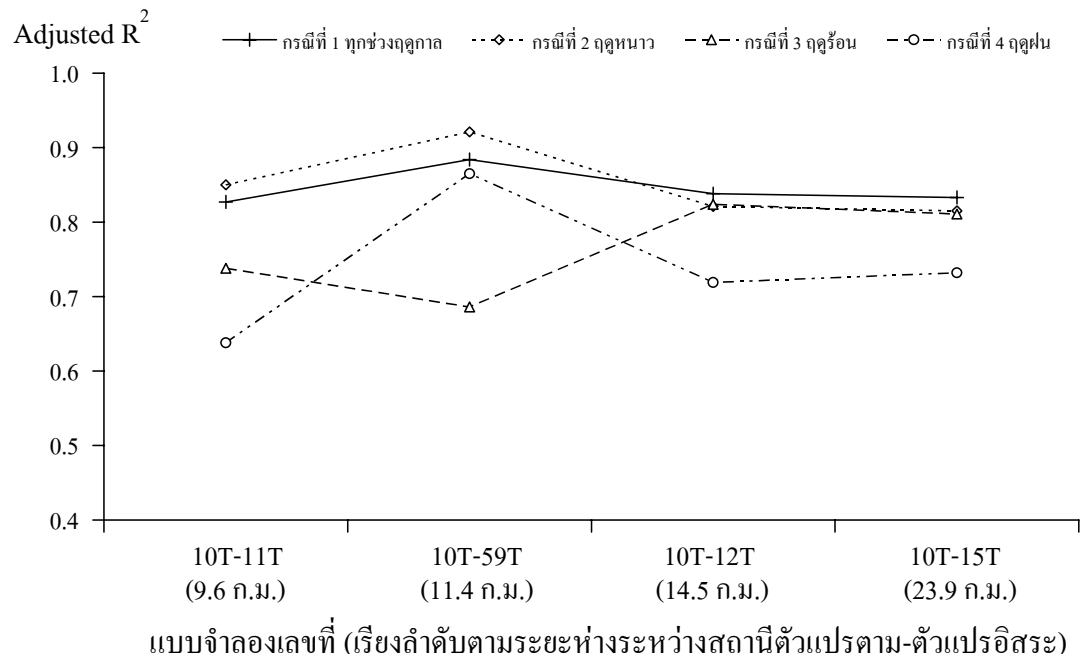
ตัวแปรอิสระจากสถานี 11T สังเกตว่าค่า Adjusted R^2 มีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างระหว่างคู่สถานีของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ผลการเปรียบเทียบค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าให้ผลที่แตกต่างกับในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยสมการกรณีทุกกรณีมีค่า Adjusted R^2 สูงกว่ากรณีฤดูหนาว เนื่องจากจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่าสถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ และตัวแปรอิสระที่เข้าสมการกรณีทุกกรณี 2 ตัวแปร ซึ่งมากกว่ากรณีฤดูหนาวและฤดูฝนที่มีตัวแปรอิสระเข้าสมการเพียงตัวแปรเดียว จึงมีผลให้ค่า Adjusted R^2 ของกรณีทุกฤดูสูงกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนสมการกรณีฤดูฝนมีค่า Adjusted R^2 ต่ำสุดเหมือนกับการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ และสังเกตว่าระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายมีผลต่อค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลอง โดยค่า Adjusted R^2 มีแนวโน้มลดลงเมื่อคู่สถานีทำนายอยู่ห่างไกลกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีคู่สถานีทำนายเพียง 2 คู่ และอยู่ไม่ไกลกันมากนัก (1.5-4.0 กิโลเมตร) ดังนั้นจึงยังไม่อาจสรุปผลได้ว่าระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายมีผลต่อค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลอง

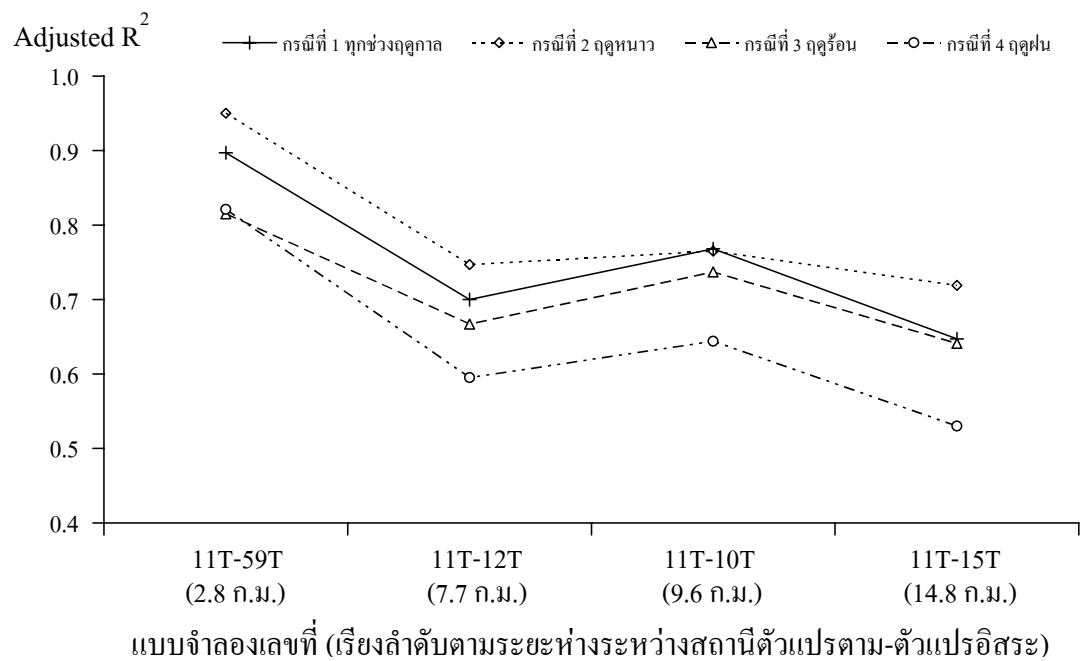
จากการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายกับค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยวิเคราะห์แยกตามกรณีย่อยของแบบจำลอง ซึ่งแต่ละกรณีย่อยมีสมการทั้งสิ้น 24 สมการ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



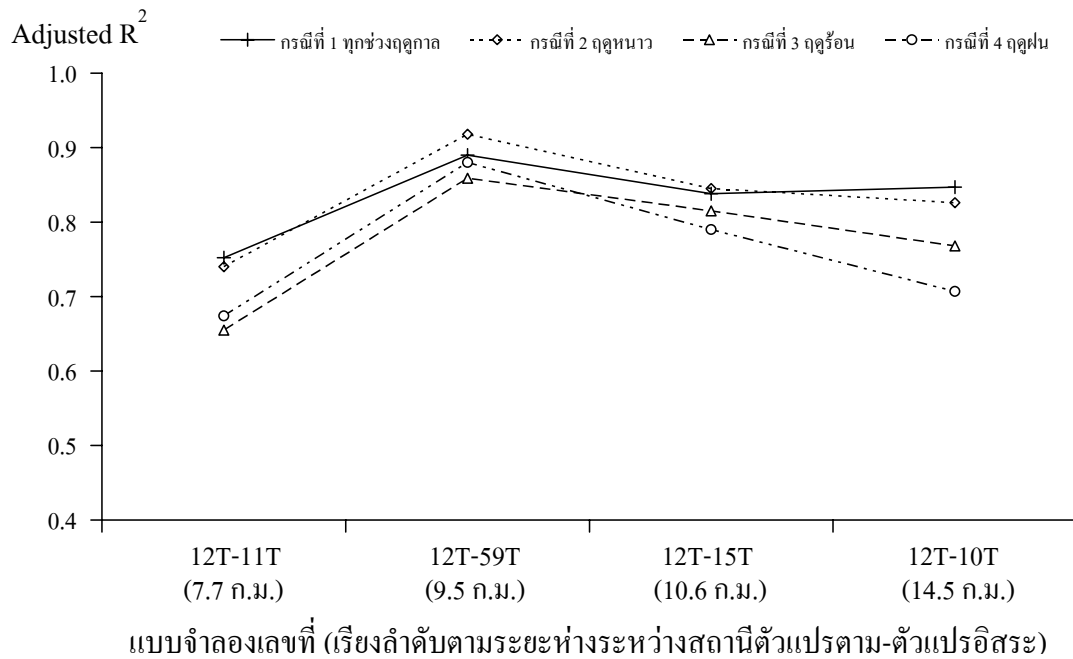
รูปที่ 4.15 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานีสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีรามคำแหง (09T)



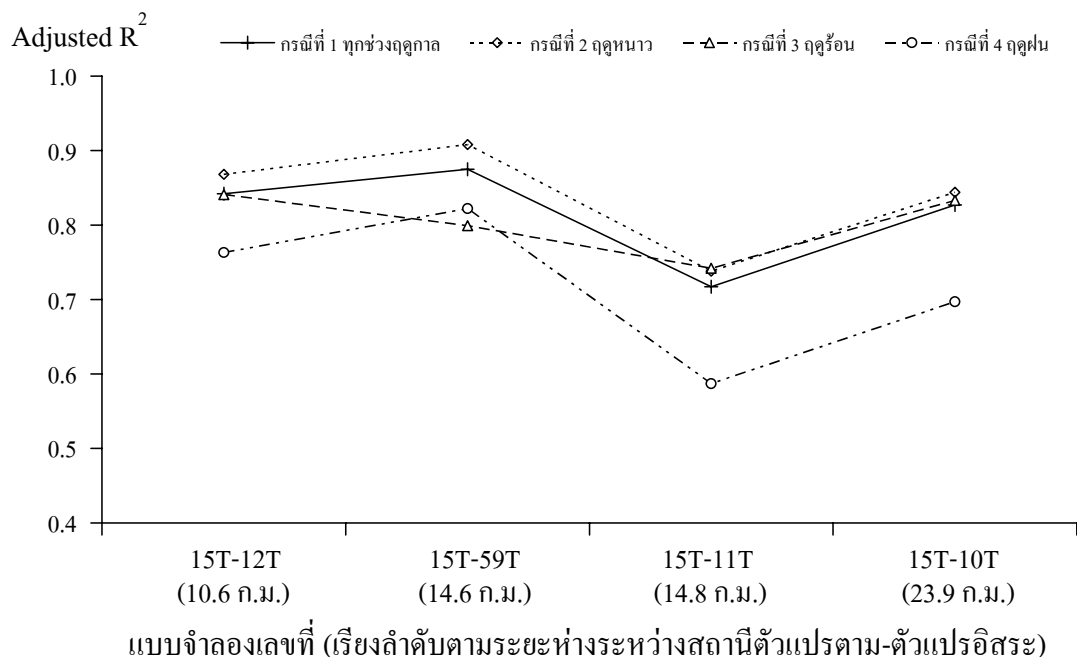
รูปที่ 4.16 ค่า Adjusted R² ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีคลองจั่น (10T)



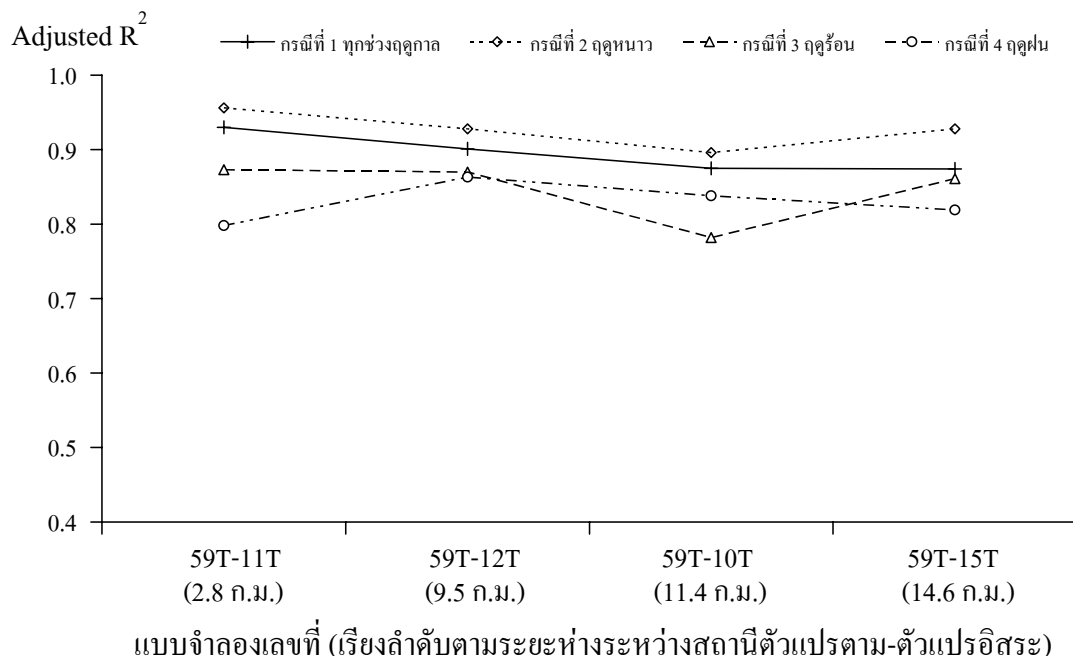
รูปที่ 4.17 ค่า Adjusted R² ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง (11T)



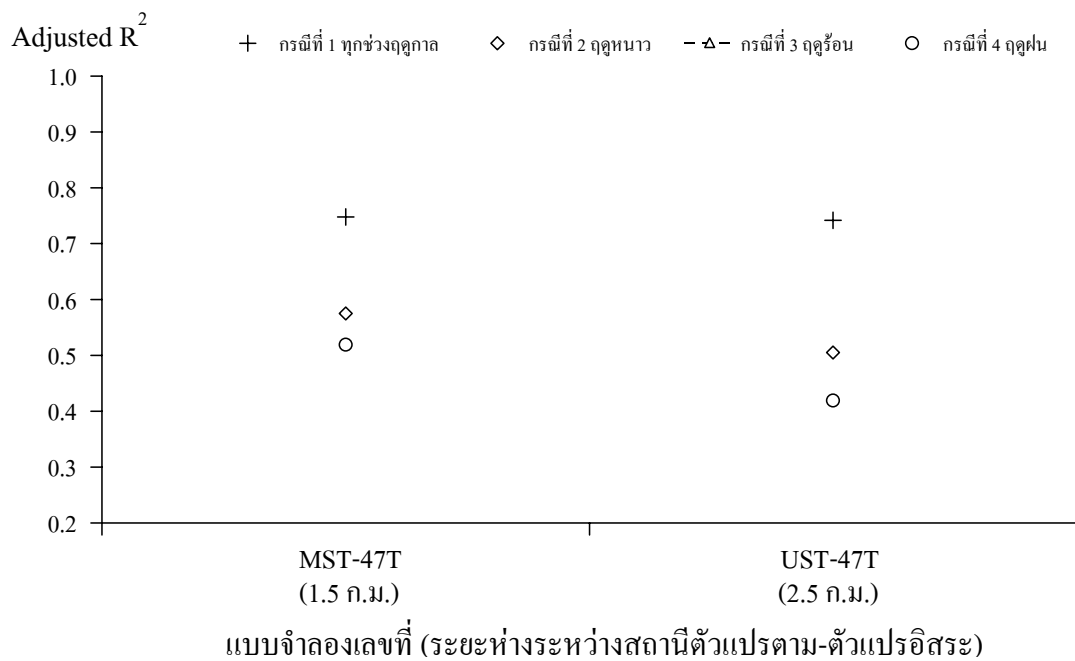
รูปที่ 4.18 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีนนทบุรี (12T)



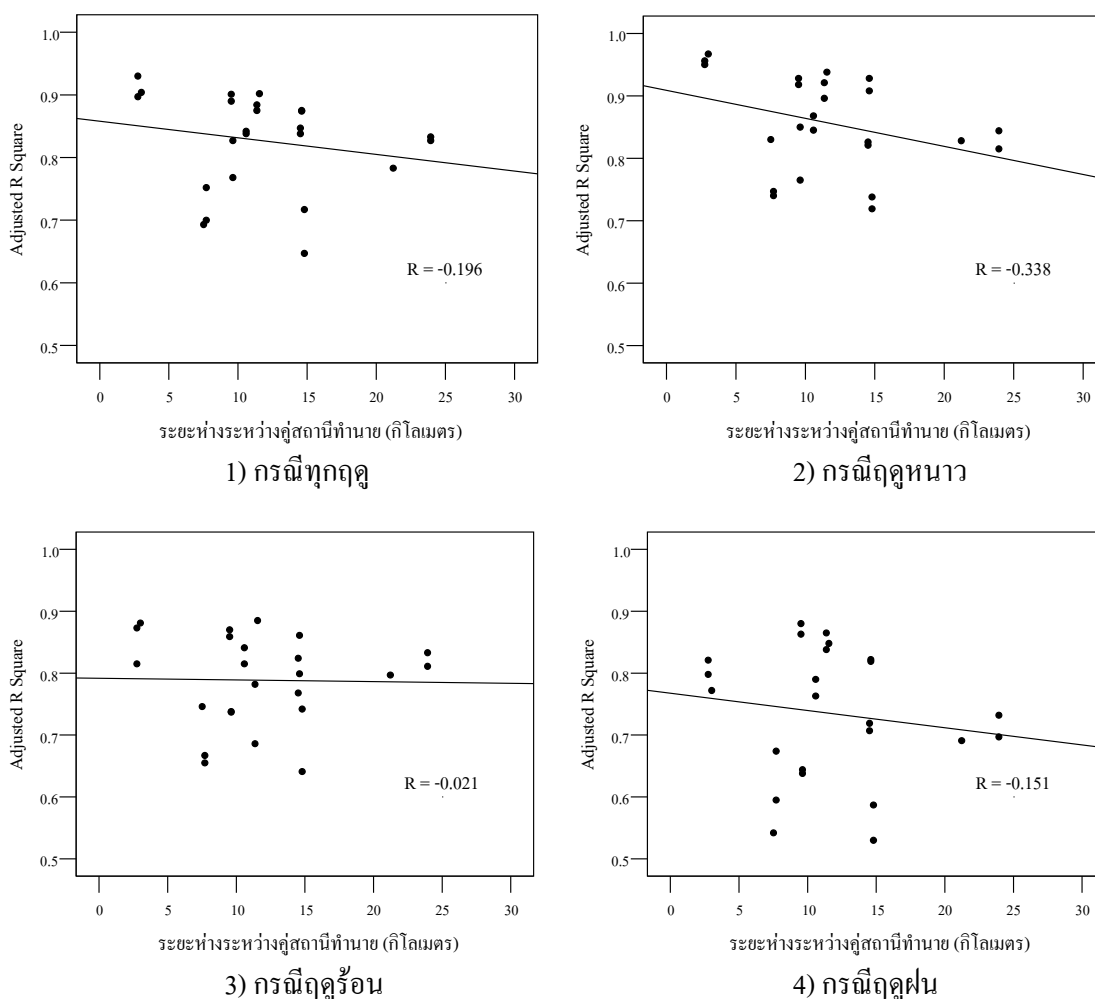
รูปที่ 4.19 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีสิงห์ราช (15T)



รูปที่ 4.20 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)

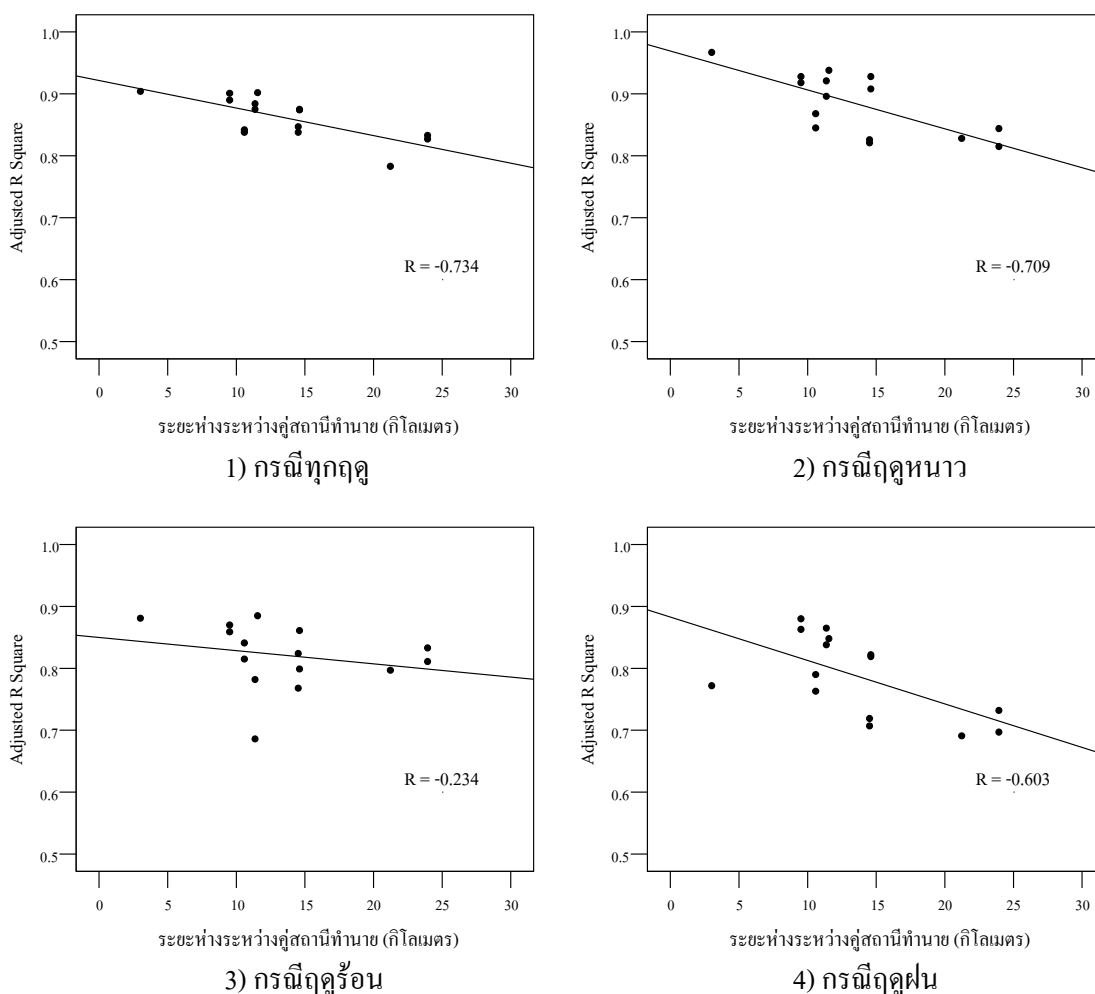


รูปที่ 4.21 ค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราวในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา



รูปที่ 4.22 ระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายกับค่า Adjusted R² ของแบบจำลองในพื้นที่กรุงเทพฯ

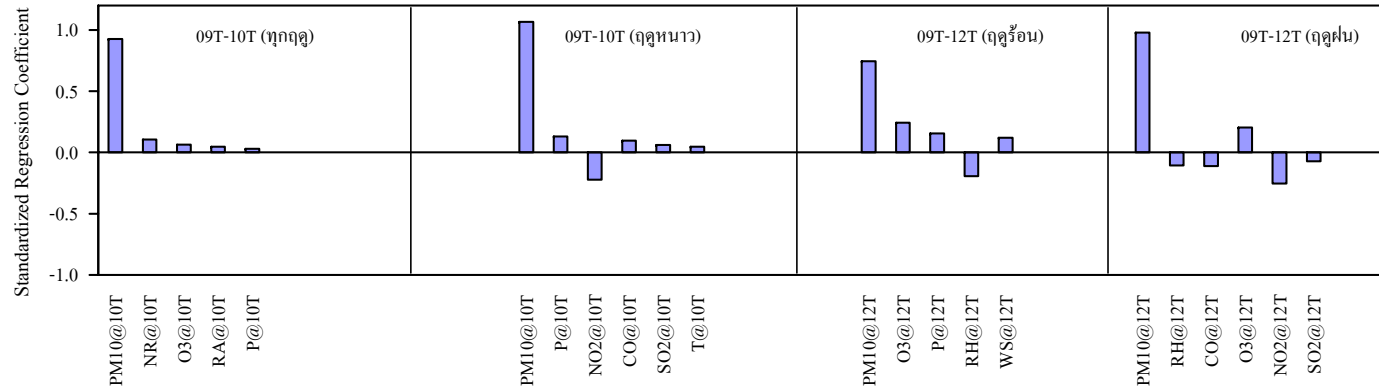
แต่เมื่อทดลองแยกแบบจำลองที่มีตัวแปรจากสถานี 11T ซึ่งเป็นสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่บริเวณแตกต่างจากสถานีอื่น ๆ ออกจากการพิจารณา ซึ่งทำให้เหลือสมการทั้งสิ้น 15 สมการ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 พบว่าระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายกับค่า Adjusted R² ของแบบจำลอง มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยกรณีทุกช่วงฤดูมีค่า R สูงสุดเท่ากับ -0.734 ซึ่งสรุปได้ว่าคู่สถานีทำนายที่อยู่ห่างไกลออกไปค่า Adjusted R² ของแบบจำลองจะมีแนวโน้มลดลง โดยผลสรุปดังกล่าวพิจารณาเฉพาะคู่สถานีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่บริเวณ



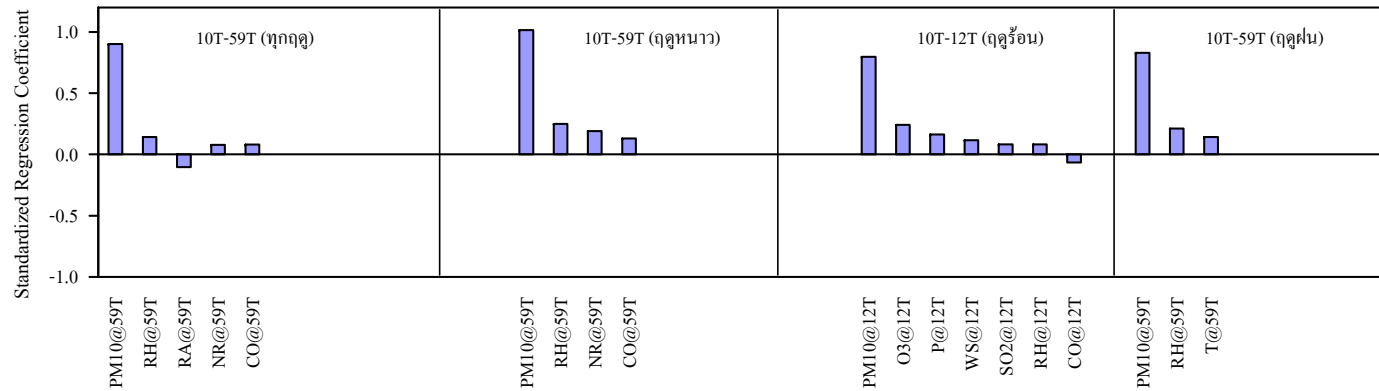
รูปที่ 4.23 ระยะห่างระหว่างคู่อสถานีทำนายกับค่า Adjusted R^2 ของแบบจำลองในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยไม่มีแบบจำลองจากข้อมูลสถานีห้วยขวาง (15 สมการ)

4.3.3.3 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรอิสระโดยพิจารณาค่า Standardized Regression Coefficient ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวในแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม จากต่างสถานีสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.24-4.25 พบว่าตัวแปรอิสระ PM_{10} จากต่างสถานี มีอิทธิพลในแบบจำลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวแปรอิสระอื่น ๆ โดยมีค่า Standardized Regression Coefficient สูงสุดในด้านบวก และมักถูกคัดเลือกเข้าแบบจำลองเป็นลำดับแรก และเมื่อเทียบกับอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่น พบว่าตัวแปร PM_{10} จากต่างสถานีมีอิทธิพลสูงกว่าตัวแปรอื่น ๆ อย่างชัดเจนในทุกกรณีศึกษา

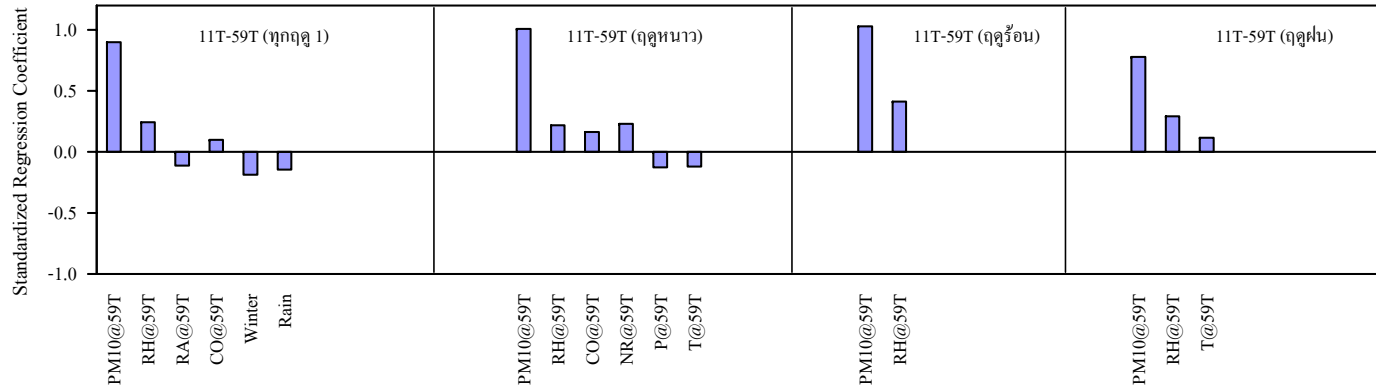


1) สถานีรามคำแหง (09T)

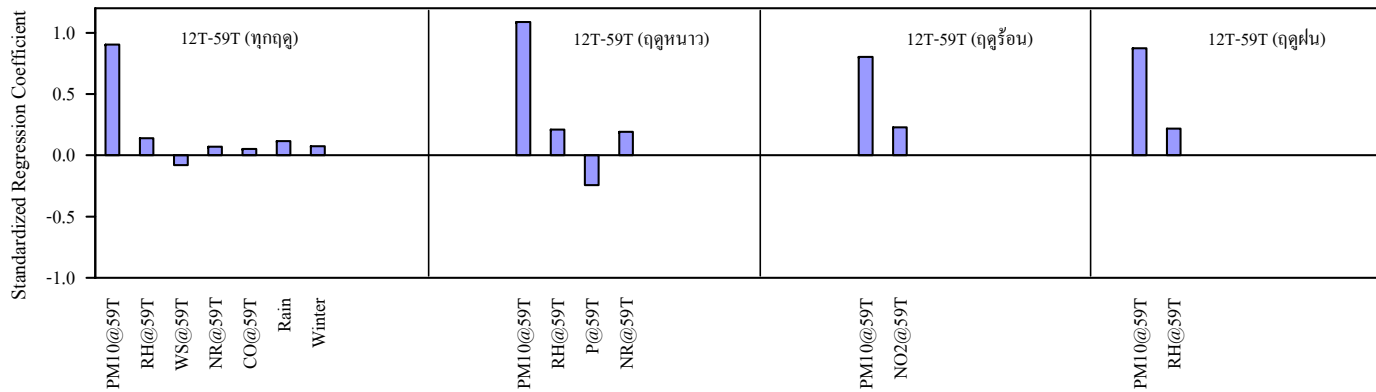


2) สถานีคลองจั่น (10T)

รูปที่ 4.24 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพฯ (ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)

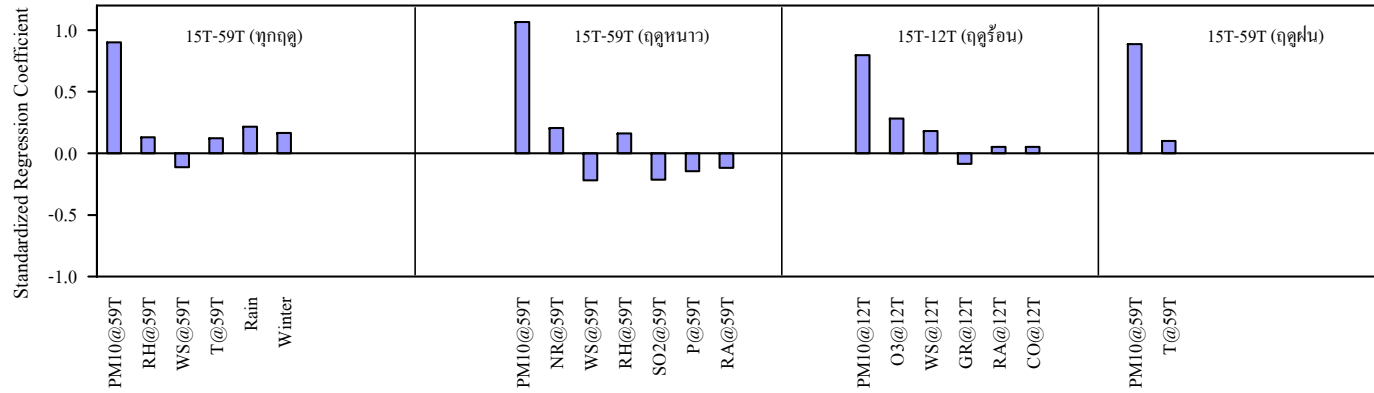


3) สถานีห้วยขวาง (11T)

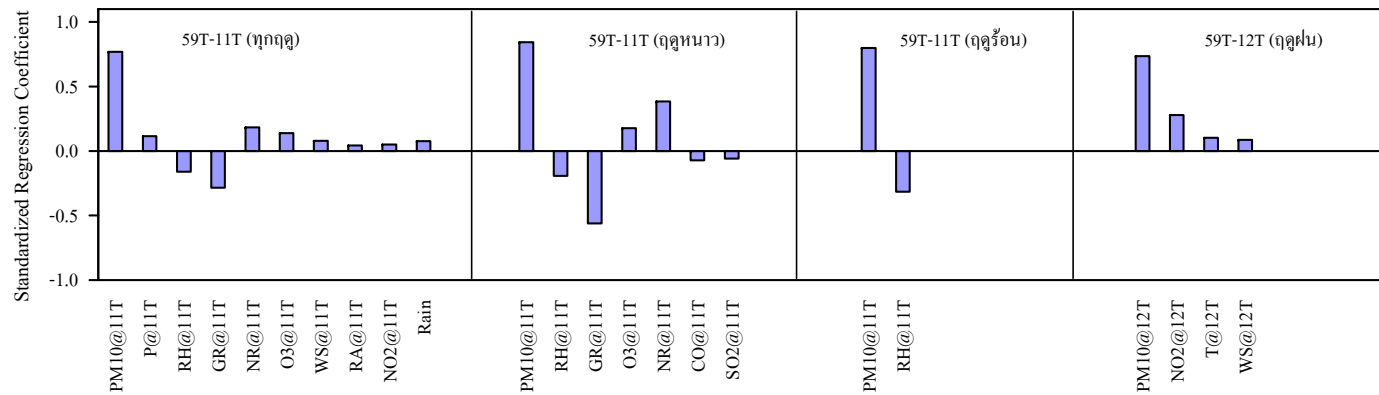


4) สถานีนนทบุรี (12T)

รูปที่ 4.24 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพฯ (ต่อ)
(ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)

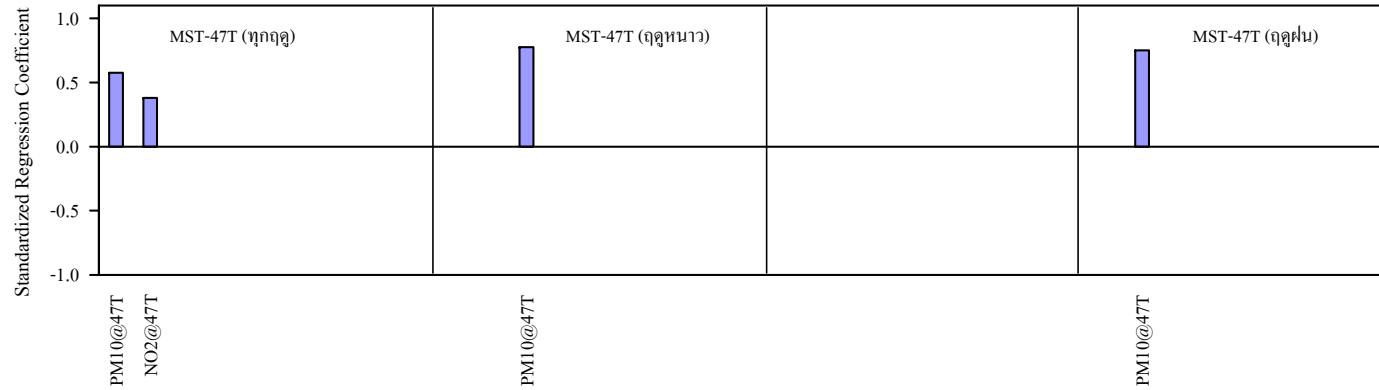


5) สถานีสิงหราช (15T)

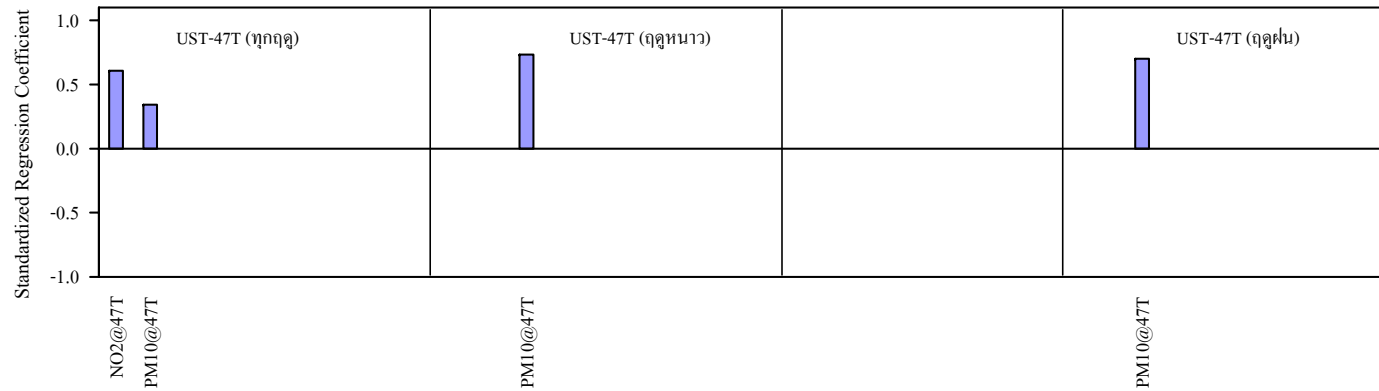


6) สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)

รูปที่ 4.24 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองถดถอยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพฯ (ต่อ)
(ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)



1) สถานีตรวจวัดชั่วคราว โรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST)



2) สถานีตรวจวัดชั่วคราว โรงเรียนอุบลรัตน์ (UST)

รูปที่ 4.25 อิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา (ตัวแปรอิสระเรียงตามลำดับการคัดเลือกเข้าแบบจำลองจากซ้ายไปขวา)

4.3.4 แบบจำลองกรณีใช้ตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว

ภายหลังจากการศึกษาแบบจำลอง ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3.2-4.3.3 ได้คัดเลือกตัวแปรอิสระให้เหลือเพียงตัวแปรเดียว โดยเลือกตัวแปรอิสระจากแบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกในหัวข้อที่ 4.3.2-4.3.3 ที่มีค่า Standardized Regression Coefficient สูงสุดในแบบจำลอง และกำหนดสร้างแบบจำลองที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว โดยแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกันเลือกตัวแปร NO_2 เป็นตัวแปรอิสระตัวเดียว และแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานีเลือกตัวแปร PM_{10} จากต่างสถานีเป็นตัวแปรอิสระตัวเดียว

เมื่อได้แบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระตัวเดียวที่ผ่านการคัดเลือกที่มีความถูกต้องในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ตามกรณีศึกษาต่าง ๆ นำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว โดยในการศึกษานี้ใช้ค่า Adjusted R^2 เป็นเกณฑ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลอง

4.3.4.1 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน

จากการศึกษาแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3.2 พบว่าตัวแปร NO_2 เป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลสูงที่สุดในแบบจำลองส่วนใหญ่ ดังนั้น จึงเลือกตัวแปร NO_2 เป็นตัวแปรอิสระตัวเดียว และตัวแปร PM_{10} เป็นตัวแปรตาม นำมาวิเคราะห์ความถดถอย โดยแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นคือ

$$\text{PM}_{10} = A + B(\text{NO}_2) \quad (4.1)$$

โดยที่ A คือ ค่าของ PM_{10} เมื่อ NO_2 เท่ากับศูนย์ หน่วยเป็น มก.ก./ลบ.ม.
B คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ PM_{10} เมื่อ NO_2 เปลี่ยนไป 1 หน่วย

ผลการคัดเลือกแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระตัวเดียว แสดงในภาคผนวก จ และสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.17 โดยผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (residual analysis) พบว่าทุกสมการผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย โดยมีค่าเฉลี่ยของ Standardized Residual ใกล้เคียง 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียง 1 และค่า Standardized Residual มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระตัวเดียวกับกรณีตัวแปรอิสระหลาย พบว่าแบบจำลองตัวแปรอิสระตัวเดียวมีค่า RMSE เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่า Adjusted R^2 มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนตัวแปรอิสระในแบบจำลองที่มีน้อยกว่า โดยแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า Adjusted R^2 น้อยกว่าร้อยละ 10 ได้แก่ แบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานี 10T กรณีฤดูหนาว และแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10}

ณ สถานี 12T กรณีทุกฤดู นอกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 10 โดยส่วนใหญ่แบบจำลองกรณีฤดูหนาวมีค่า Adjusted R² อยู่ประมาณ 0.50 ซึ่งแสดงว่าตัวแปร NO₂ สามารถอธิบายความผันแปรของ PM₁₀ ได้ประมาณร้อยละ 50 โดยสังเกตว่าส่วนใหญ่แบบจำลองกรณีฤดูร้อนและกรณีฤดูฝนมีการเปลี่ยนแปลงของค่า Adjusted R² มากกว่าแบบจำลองกรณีทุกฤดูและกรณีฤดูหนาว โดยพบว่าแบบจำลองสำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานี 47T กรณีฤดูฝน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า Adjusted R² มากที่สุดถึงร้อยละ 84.29 ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับใช้ทำนาย PM₁₀

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่าทุกสมการมีค่า R ลดลงเมื่อเทียบกับแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว และเมื่อพิจารณาแบบจำลองแยกตามฤดูกาลพบว่าส่วนใหญ่แบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูหนาวมีความถูกต้องมากที่สุด อาทิ ทำนาย PM₁₀ ณ สถานี 10T มีความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 82.8 ส่วนแบบจำลองจากข้อมูลช่วงฤดูฝนพบว่ามีความถูกต้องน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงฤดูกาลอื่น ๆ

ตารางที่ 4.17 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน

สถานี	กรณี	สมการ	Adjusted R ² ของกรณีตัวแปรอิสระ		ร้อยละ ²
			ตัวเดียว	หลายตัว ¹	
คลองจั่น (10T)	ทุกฤดู	PM10@10T = 8.124 + 1.679(NO2@10T)	0.560	0.652	14.11
	ฤดูหนาว	PM10@10T = 6.360 + 1.916(NO2@10T)	0.675	0.725	6.90
	ฤดูร้อน	PM10@10T = 21.808 + 1.032(NO2@10T)	0.257	0.380	32.37
	ฤดูฝน	PM10@10T = 21.300 + 0.663(NO2@10T)	0.162	0.236	31.36
ห้วยขวาง (11T)	ทุกฤดู	PM10@11T = 15.156 + 1.124(NO2@11T)	0.406	0.592	31.42
	ฤดูหนาว	PM10@11T = 24.159 + 1.025(NO2@11T)	0.341	0.661	48.41
	ฤดูร้อน	PM10@11T = 15.977 + 1.199(NO2@11T)	0.375	0.562	33.27
	ฤดูฝน	PM10@11T = 20.923 + 0.764(NO2@11T)	0.239	0.402	40.55
นนทบุรี (12T)	ทุกฤดู	PM10@12T = 14.818 + 1.441(NO2@12T)	0.612	0.661	7.41
	ฤดูหนาว	PM10@12T = 7.630 + 1.696(NO2@12T)	0.508	0.656	22.56
	ฤดูร้อน	PM10@12T = 24.464 + 0.994(NO2@12T)	0.441	0.570	22.63
	ฤดูฝน	PM10@12T = 20.006 + 1.205(NO2@12T)	0.397	0.598	33.61

หมายเหตุ ¹ ข้อมูลจากตารางที่ 4.15

² ร้อยละของค่า Adjusted R² ที่เปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว

ตารางที่ 4.17 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน (ต่อ)

สถานี	กรณี	สมการ	Adjusted R ² ของกรณีตัวแปรอิสระ		ร้อยละ ²
			ตัวเดียว	หลายตัว ¹	
สิงหราช (15T)	ทุกฤดู	PM10@15T = 20.304 + 1.616(NO2@15T)	0.661	0.736	10.19
	ฤดูหนาว	PM10@15T = 12.535 + 1.918(NO2@15T)	0.655	0.750	12.67
	ฤดูร้อน	PM10@15T = 28.211 + 1.343(NO2@15T)	0.406	0.556	26.98
	ฤดูฝน	PM10@15T = 20.972 + 1.450(NO2@15T)	0.451	0.563	19.89
กรมประชา สัมพันธ์ (59T)	ทุกฤดู	PM10@59T = 5.025 + 1.905(NO2@59T)	0.558	0.622	10.29
	ฤดูหนาว	PM10@59T = 2.096(NO2@59T)	0.627	0.765	18.04
	ฤดูร้อน	PM10@59T = 22.462 + 1.229(NO2@59T)	0.139	0.570	75.61
	ฤดูฝน	PM10@59T = 20.740 + 0.813(NO2@59T)	0.167	0.400	58.25
นครราชสีมา (47T)	ทุกฤดู	PM10@47T = 9.294 + 3.873(NO2@47T)	0.514	0.666	22.82
	ฤดูหนาว	PM10@47T = 15.134 + 3.747(NO2@47T)	0.386	0.581	33.56
	ฤดูร้อน	PM10@47T = 15.173 + 3.369(NO2@47T)	0.505	0.576	12.33
	ฤดูฝน	PM10@47T = 25.316 + 1.221(NO2@47T)	0.049	0.312	84.29

หมายเหตุ ¹ ข้อมูลจากตารางที่ 4.15

² ร้อยละของค่า Adjusted R² ที่เปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว

4.3.4.2 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี

จากการศึกษาแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3.3 พบว่าตัวแปร PM₁₀ จากต่างสถานีเป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลสูงที่สุดในแบบจำลองสำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีหนึ่ง ๆ ดังนั้น จึงเลือกตัวแปร PM₁₀ จากต่างสถานีเป็นตัวแปรอิสระตัวเดียว โดยแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นคือ

$$PM_{10}@j = C + D(PM_{10}@i) \quad (4.2)$$

โดยที่ PM₁₀@j คือ ตัวแปรตาม PM₁₀ ณ สถานี j

PM₁₀@i คือ ตัวแปรอิสระ PM₁₀ ณ สถานี i

C คือ ค่าของ PM₁₀@j เมื่อ PM₁₀@i เท่ากับศูนย์ หน่วยเป็น มก.ก./ลบ.ม.

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ PM₁₀@j เมื่อ PM₁₀@i เปลี่ยนไป 1 หน่วย

ผลการคัดเลือกแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีต่าง ๆ โดยมีวิธีการคัดเลือกสมการ 2 ขั้นตอนเช่นเดียวกับที่ใช้ในหัวข้อ 4.3.3 ได้ผลดังแสดงในภาพผนวก จ และสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.18 โดยพบว่าทุกสมการผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยโดยค่า Standardized Residual มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระเดียวตัวกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว พบว่าค่า RMSE มีค่าใกล้เคียงกัน และค่า Adjusted R^2 มีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีการเปลี่ยนแปลงในระดับที่น้อยกว่าแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน โดยสมการทั้งหมดมีค่า Adjusted R^2 มากกว่า 0.7 ซึ่งแสดงว่าตัวแปร PM_{10} จากต่างสถานีสามารถอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ณ สถานีหนึ่ง ๆ ได้สูงถึงร้อยละ 70 ทั้งนี้เนื่องจากตัวแปรอิสระ PM_{10} เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดในแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระหลายตัวอย่างชัดเจน ดังนั้น เมื่อตัดตัวแปรอื่น ๆ ออกจากแบบจำลองจึงส่งผลต่อค่า Adjusted R^2 ลดลงไม่มากนัก

ตารางที่ 4.18 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี

สถานี	กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	Adjusted R^2 ของ		ร้อยละ ³
				ตัวเดียว	หลายตัว ²	
รามคำแหง (09T)	ทุกฤดู	09T-10T	$PM_{10}@09T = 6.835 + 0.969(PM_{10}@10T)$	0.889	0.904	1.66
	ฤดูหนาว	09T-10T	$PM_{10}@09T = 6.601 + 0.961(PM_{10}@10T)$	0.947	0.967	2.07
	ฤดูร้อน	09T-12T	$PM_{10}@09T = 0.858(PM_{10}@12T)$	0.778	0.885	12.09
	ฤดูฝน	09T-12T	$PM_{10}@09T = 4.993 + 0.819(PM_{10}@12T)$	0.729	0.848	14.03
คลองจั่น (10T)	ทุกฤดู	10T-59T	$PM_{10}@10T = 7.934 + 0.646(PM_{10}@59T)$	0.839	0.884	5.09
	ฤดูหนาว	10T-59T	$PM_{10}@10T = 9.910 + 0.608(PM_{10}@59T)$	0.825	0.921	10.42
	ฤดูร้อน	10T-12T	$PM_{10}@10T = 0.753(PM_{10}@12T)$	0.714	0.824	13.35
	ฤดูฝน	10T-59T	$PM_{10}@10T = 4.978 + 0.702(PM_{10}@59T)$	0.795	0.865	8.09
ห้วยขวาง (11T)	ทุกฤดู	11T-59T	$PM_{10}@11T = 17.322 + 0.601(PM_{10}@59T)$	0.806	0.897	10.14
	ฤดูหนาว	11T-59T	$PM_{10}@11T = 18.256 + 0.555(PM_{10}@59T)$	0.857	0.950	9.79
	ฤดูร้อน	11T-59T	$PM_{10}@11T = 20.984 + 0.587(PM_{10}@59T)$	0.684	0.815	16.07
	ฤดูฝน	11T-59T	$PM_{10}@11T = 12.912 + 0.687(PM_{10}@59T)$	0.747	0.821	9.01

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรตัวอิสระ เช่น 09T-10T

หมายถึง PM_{10} ของสถานี 09T เป็นตัวแปรตาม และ PM_{10} ของสถานี 10T เป็นตัวแปรอิสระ

² ข้อมูลจากตารางที่ 4.16

³ ร้อยละของค่า Adjusted R^2 ที่เปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว

ตารางที่ 4.18 แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี (ต่อ)

สถานี	กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	Adjusted R ² ของกรณีตัวแปรอิสระ		ร้อยละ ³
				ตัวเดียว	หลายตัว ²	
นนทบุรี (12T)	ทุกฤดู	12T-59T	$PM_{10}@12T = 10.089 + 0.961(PM_{10}@59T)$	0.839	0.890	5.73
	ฤดูหนาว	12T-59T	$PM_{10}@12T = 8.598 + 1.004(PM_{10}@59T)$	0.809	0.918	11.87
	ฤดูร้อน	12T-59T	$PM_{10}@12T = 20.261 + 0.626(PM_{10}@59T)$	0.825	0.859	3.96
	ฤดูฝน	12T-59T	$PM_{10}@12T = 8.528 + 1.030(PM_{10}@59T)$	0.846	0.880	3.86
สิงหราช (15T)	ทุกฤดู	15T-59T	$PM_{10}@15T = 4.762 + 1.008(PM_{10}@59T)$	0.794	0.875	9.26
	ฤดูหนาว	15T-59T	$PM_{10}@15T = 0.957(PM_{10}@59T)$	0.754	0.908	16.96
	ฤดูร้อน	15T-12T	$PM_{10}@15T = -8.758 + 1.051(PM_{10}@12T)$	0.752	0.841	10.58
	ฤดูฝน	15T-59T	$PM_{10}@15T = 1.186(PM_{10}@59T)$	0.812	0.822	1.22
กรม ประชา สัมพันธ์ (59T)	ทุกฤดู	59T-11T	$PM_{10}@59T = -12.952 + 1.31(PM_{10}@11T)$	0.804	0.930	13.55
	ฤดูหนาว	59T-11T	$PM_{10}@59T = -18.705 + 1.546(PM_{10}@11T)$	0.857	0.956	10.36
	ฤดูร้อน	59T-11T	$PM_{10}@59T = -11.409 + 1.187(PM_{10}@11T)$	0.711	0.873	18.56
	ฤดูฝน	59T-12T	$PM_{10}@59T = 0.793(PM_{10}@12T)$	0.831	0.863	3.71
โรงเรียน เมืองนคร ราชสีมา (MST)	ทุกฤดู	MST-47T	$PM_{10}@MST = 0.636(PM_{10}@47T)$	0.619	0.748	17.24
	ฤดูหนาว	MST-47T	$PM_{10}@MST = 24.512 + 0.487(PM_{10}@47T)$	0.571	0.571	0.00
	ฤดูร้อน	MST-47T	ไม่มีสมการ	-	-	-
	ฤดูฝน	MST-47T	$PM_{10}@MST = 22.021 + 0.517(PM_{10}@47T)$	0.519	0.519	0.00
โรงเรียน อุบลรัตน์ (UST)	ทุกฤดู	UST-47T	$PM_{10}@UST = 0.761(PM_{10}@47T)$	0.555	0.742	25.20
	ฤดูหนาว	UST-47T	$PM_{10}@UST = 38.674 + 0.618(PM_{10}@47T)$	0.505	0.505	0.00
	ฤดูร้อน	UST-47T	ไม่มีสมการ	-	-	-
	ฤดูฝน	UST-47T	$PM_{10}@UST = 0.509(PM_{10}@47T)$	0.419	0.419	0.00

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ เช่น 12T-59T

หมายถึง PM_{10} ของสถานี 12T เป็นตัวแปรตาม และ PM_{10} ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

² ข้อมูลจากตารางที่ 4.16

³ ร้อยละของค่า Adjusted R² ที่เปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว

4.3.5 สรุปการศึกษาแบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10}

สรุปผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ความถดถอยได้สมการสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ 6 สถานี ได้แก่ สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี สถานีสิงหราช สถานีกรมประชาสัมพันธ์ และสถานีรามคำแหง และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา 1 สถานี ได้แก่ สถานีนครราชสีมา และได้สมการสำหรับทำนาย PM_{10} ณ บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว 2 สถานี ได้แก่ สถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และสถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนอุบลรัตน์ โดยแบบจำลองสำหรับแต่ละสถานีแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน และแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี โดยแต่ละกรณีมีสมการที่เหมาะสมตามช่วงฤดูกาลต่าง ๆ จำนวน 4 สมการ คือ กรณีฤดูร้อน กรณีฤดูหนาว กรณีฤดูร้อน และกรณีฤดูฝน โดยความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในการทำนาย PM_{10} พิจารณาได้จากค่า Adjusted R^2 และผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยสรุปได้ดังนี้

แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน มีตัวแปรอิสระที่ผ่านการคัดเลือกเข้าสมการ 2-10 ตัวแปร โดยตัวแปรอิสระทั้งหมดในแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ได้ร้อยละ 23.6-76.5 โดยสมการกรณีฤดูหนาวสามารถอธิบายความผันแปรของ PM_{10} ได้สูงสุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ร้อยละ 58.1-72.5 จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ผ่านการคัดเลือกพบว่าค่า PM_{10} จากการทำนายมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่า PM_{10} จากการตรวจวัดจริง โดยมีค่า R อยู่ในช่วงร้อยละ 73-90

แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี มีตัวแปรอิสระที่ผ่านการคัดเลือกเข้าสมการ 1-10 ตัวแปร โดยผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ ได้แบบจำลองที่สามารถทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร โดยตัวแปรอิสระทั้งหมดในแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ได้ร้อยละ 81.5-96.7 และพบว่าแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีกรมประชาสัมพันธ์สามารถทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี และสถานีสิงหราชได้เหมาะสมที่สุด สำหรับการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาได้แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร (สถานีนครราชสีมา) ที่สามารถทำนายระดับ PM_{10} ณ บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และโรงเรียนอุบลรัตน์ โดยตัวแปรอิสระในแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ได้ร้อยละ 41.9-74.8 และจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมดพบว่าค่า PM_{10} จากการทำนายมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่า PM_{10} จากการตรวจวัดจริง โดยมีค่า R อยู่ในช่วงร้อยละ 67-99 และเมื่อพิจารณาสมการแยกตามฤดูกาล พบว่าในพื้นที่กรุงเทพฯ สมการกรณีฤดูหนาวมีค่า Adjusted R^2 สูงที่สุดเมื่อ

เทียบกับสมการกรณีฤดูกาลอื่น ๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 90.8-96.7 และในพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมาสมการกรณีทุกฤดูมีค่า Adjusted R² สูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 74.2-74.8

ผลการศึกษามิติสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในแบบจำลองทั้งสองกรณี พบว่าตัวแปร NO₂ มีอิทธิพลสูงที่สุดในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน และตัวแปร PM₁₀ จากต่างสถานี มีอิทธิพลสูงที่สุดในแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่าง สถานี และเมื่อเลือกตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลสูงในแบบจำลองแต่ละกรณีกำหนดเป็นตัวแปรอิสระ ตัวเดียวในแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองกรณีตัวแปรอิสระตัวเดียวมีค่า Adjusted R² ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว โดยแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่าง สถานีมีค่า Adjusted R² ในระดับที่สูงกว่าแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจาก สถานีเดียวกัน โดยในพื้นที่กรุงเทพฯ มีค่า Adjusted R² อยู่ในช่วงร้อยละ 68.4-94.7 และในพื้นที่ เทศบาลนครนครราชสีมา มีค่า Adjusted R² อยู่ในช่วงร้อยละ 41.9-61.9

จากผลการศึกษาปัจจัยของระยะห่างระหว่างคู่สถานีทำนายกับค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจปรับแก้ (Adjusted R²) ของแบบจำลอง สรุปได้ว่าคู่สถานีทำนายที่ตั้งอยู่ห่างไกลกันค่า Adjusted R² ของแบบจำลองมีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปร ของการทำนาย PM₁₀ ได้น้อย ซึ่งผลสรุปนี้พิจารณาเฉพาะคู่สถานีทำนายที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษ ทางอากาศในพื้นที่บริเวณ

4.4 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการเฝ้าระวัง PM₁₀ ในเขตเมือง

การศึกษานี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับการเฝ้า ระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM₁₀ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา โดยในที่นี้จะ แสดงการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ใน 3 กรณี ดังนี้

1) การใช้แบบจำลองสำหรับทำนายระดับ PM₁₀ ควบคู่กับการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศแบบถาวร และทำนายระดับ PM₁₀ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดชั่วคราว หลังจากยกเลิกสถานีชั่วคราวนั้นไปแล้ว โดยในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาสามารถทำนาย ระดับ PM₁₀ ณ บริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา และ โรงเรียนอุบลรัตน์ โดยใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระ จากสถานีนครราชสีมา ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษเพียง สถานีเดียวในพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นช่วยเพิ่มความสามารถ ในการติดตามตรวจสอบระดับ PM₁₀ ได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากยิ่งขึ้น

ตัวอย่างกรณีที่ต้องการทราบระดับ PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ บริเวณ โรงเรียนเมือง นครราชสีมา (สถานี MST) สามารถประมาณได้โดยเลือกใช้สมการที่เหมาะสม เช่น วันที่พิจารณา อยู่ในเดือนมกราคม ซึ่งเป็นฤดูหนาว ดังนั้น จึงเลือกสมการกรณีฤดูหนาวมาทำนายคือ

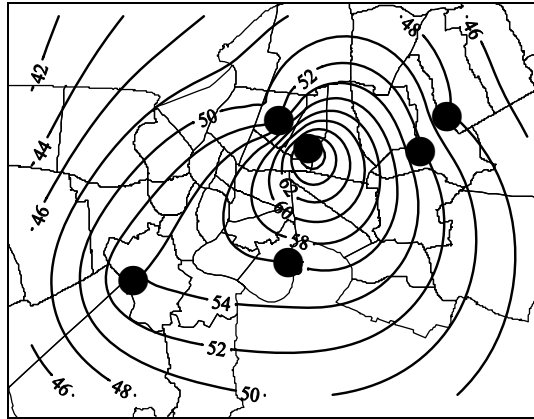
$PM_{10}@MST = 24.512 + 0.487(PM_{10}@47T)$ โดยมีค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.575 ซึ่งจากผลการตรวจวัด PM_{10} ณ สถานี 47T มีค่าเท่ากับ 62.92 มก.ก./ลบ.ม. โดยสามารถคำนวณระดับ PM_{10} ณ สถานี MST ได้ประมาณ 55.15 มก.ก./ลบ.ม. ที่ความเชื่อมั่นของตัวแปรอิสระที่สามารถอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ร้อยละ 57.5

2) การใช้แบบจำลองทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร โดยสามารถใช้ข้อมูลผลการทำนายทดแทนข้อมูลผลการตรวจวัดจริงที่ขาดหายได้ อาทิ ข้อมูลขาดหายในช่วงที่สถานีหยุดดำเนินการชั่วคราวหรือช่วงปิดซ่อมแซม เป็นต้น ซึ่งจากข้อมูล PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครราชสีมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2548 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่ารวมทุกสถานีในรอบ 1 ปี มีจำนวนวันที่ข้อมูล PM_{10} ขาดหายไปเฉลี่ยร้อยละ 5.4 ดังนั้น ช่วงเวลาที่ข้อมูลขาดหายสามารถนำข้อมูลจากผลการทำนาย PM_{10} ทดแทนได้ เพื่อให้การติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} มีข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

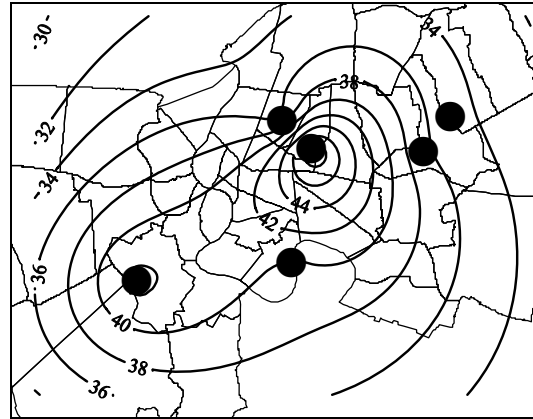
ตัวอย่างสถานีนครราชสีมาซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรเพียงสถานีเดียวในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา โดยวันที่พิจารณาอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม 2548 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน โดยช่วงเวลานั้นเครื่องมือตรวจวัดระดับ PM_{10} ไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้น การติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} จึงเลือกใช้แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน โดยเลือกสมการกรณีฤดูร้อนคือ $PM_{10}@47T = 15.173 + 3.369(NO_2@47T)$ ซึ่งมีค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.505 นำมาใช้ทำนายระดับ PM_{10} โดยในวันที่พิจารณามีผลการตรวจวัด NO_2 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 11.48 ส่วนในพื้นล้านส่วน ดังนั้น สามารถคำนวณระดับ PM_{10} ณ สถานีนครราชสีมา ได้ประมาณ 53.85 มก.ก./ลบ.ม. ที่ความเชื่อมั่นของตัวแปรอิสระที่สามารถอธิบายความผันแปรของการทำนาย PM_{10} ร้อยละ 50.5

3) การเฝ้าระวังระดับ PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพฯ สามารถสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงและข้อมูลจากผลการทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร จำนวน 6 สถานี เพื่อประเมินแนวโน้มเบื้องต้นของระดับ PM_{10} ในภาพรวมของพื้นที่ในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ โดยในที่นี้จะแสดงแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ที่สร้างจากข้อมูลค่าเฉลี่ย 1 ปี ช่วงปี พ.ศ.2543-2548 ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 4.26 โดยสามารถประเมินแนวโน้มเบื้องต้นของระดับ PM_{10} เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศค่าเฉลี่ย 1 ปี ที่กำหนดไม่เกิน 50 มก.ก./ลบ.ม. ซึ่งจากแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} สังเกตได้ว่าปี พ.ศ.2544 และปี พ.ศ.2548 ระดับ PM_{10} อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ ส่วนในปีอื่น ๆ พบว่าระดับ PM_{10} มีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ และสังเกตได้ว่าช่วงปี พ.ศ.2544-2547 ระดับ PM_{10} มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และตั้งแต่ปี พ.ศ.2545-2548 ระดับ PM_{10} มีแนวโน้มสูงในบริเวณพื้นที่สถานีนนทบุรี

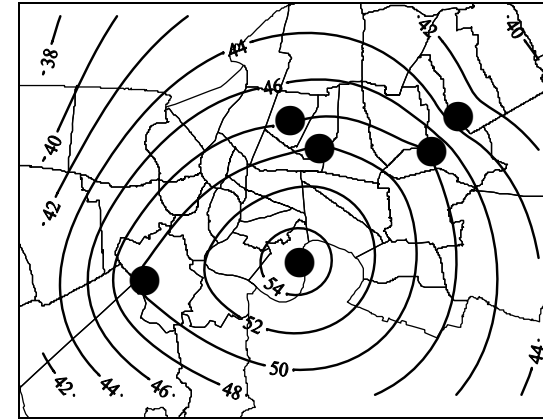
เมื่อพิจารณาแนวโน้มของระดับ PM_{10} ในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ โดยสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} จากข้อมูลค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2543-2548 แยกตามช่วงฤดูกาล ดังแสดงในรูปที่ 4.27 สังเกตได้ว่าระดับ PM_{10} มีแนวโน้มสูงในช่วงฤดูหนาว และมีแนวโน้มต่ำในช่วงฤดูฝน โดยในช่วงฤดูหนาวระดับ PM_{10} มีแนวโน้มสูงในบริเวณพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ ส่วนในช่วงฤดูกาลอื่น ๆ ระดับ PM_{10} มีแนวโน้มสูงในบริเวณพื้นที่ชั้นในของกรุงเทพฯ



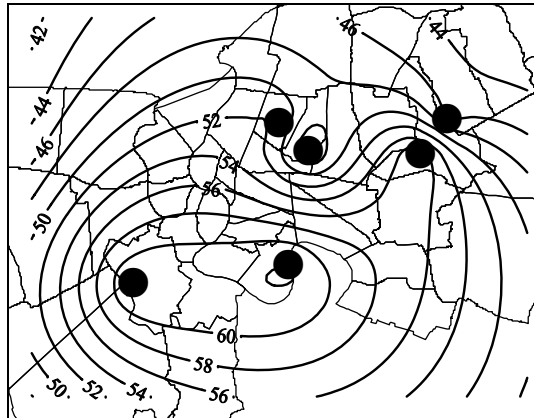
ปี พ.ศ.2543



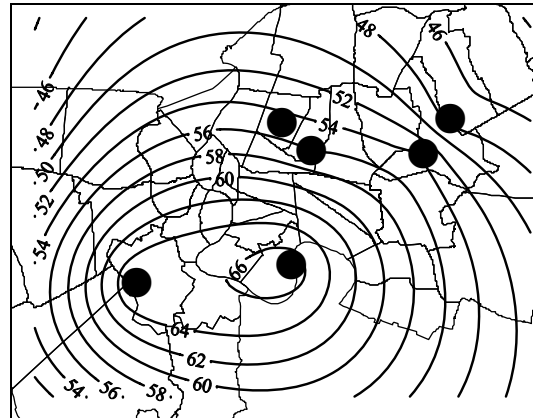
ปี พ.ศ.2544



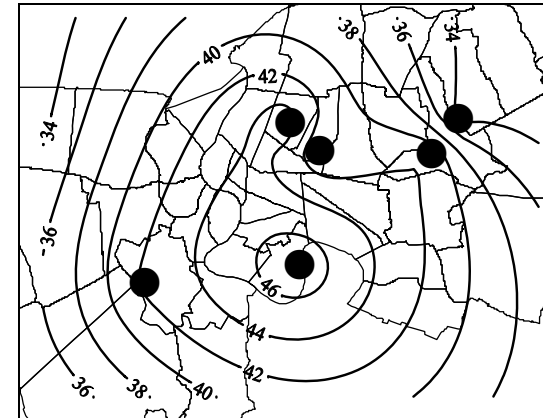
ปี พ.ศ.2545



ปี พ.ศ.2546

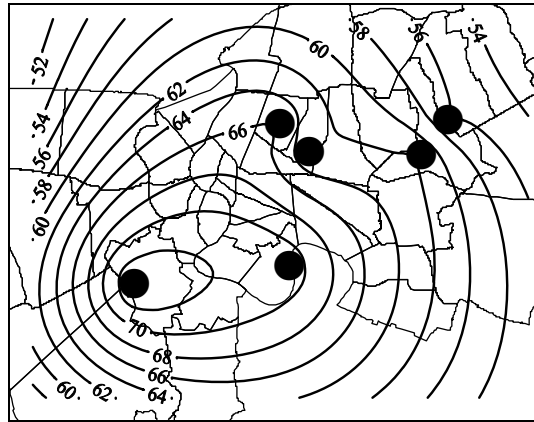


ปี พ.ศ.2547

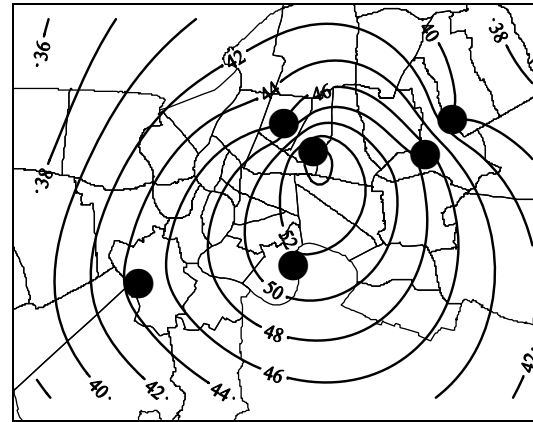


ปี พ.ศ.2548

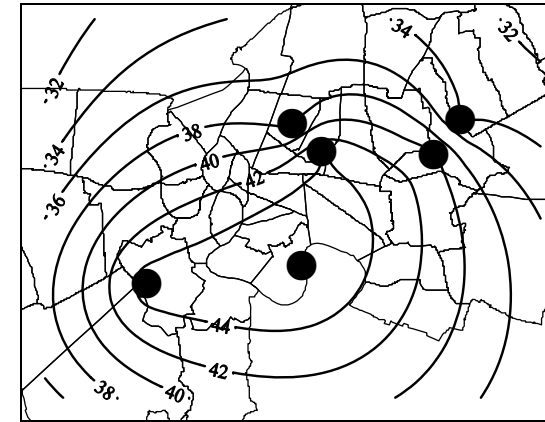
รูปที่ 4.26 แผนที่เส้นชั้นระดับ PM₁₀ ค่าเฉลี่ย 1 ปี ในพื้นที่กรุงเทพฯ



ฤดูหนาว



ฤดูร้อน



ฤดูฝน

รูปที่ 4.27 แผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ค่าเฉลี่ยแยกตามฤดูกาลในพื้นที่กรุงเทพฯ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ เริ่มจากวิเคราะห์สถิติพรรณนาและความสัมพันธ์ของข้อมูล PM_{10} กับข้อมูลมลพิษทางอากาศอื่น ๆ ได้แก่ CO NO_2 SO_2 และ O_3 และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณรังสีสุทธิ และความเร็วลม โดยเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษในพื้นที่กรุงเทพฯ 6 สถานี ได้แก่ สถานีรามคำแหง สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี สถานีสิงหราช และสถานีกรมประชาสัมพันธ์ และในพื้นที่เทศบาลนครนครรราชสีมา ได้แก่ สถานีนครรราชสีมา และข้อมูล PM_{10} ที่ตรวจวัดโดยผู้วิจัยจากสถานีตรวจวัดชั่วคราวโรงเรียนเมื่อนนครรราชสีมา และโรงเรียนอุบลรัตน์ และนำผลการศึกษาไปใช้ในขั้นตอนการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยตามกรณีศึกษาต่าง ๆ วิเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่า Standardized Regression Coefficient และสร้างแบบจำลองที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว และนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในพื้นที่ศึกษา โดยสามารถสรุปผลการศึกษาที่สำคัญตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาและขั้นตอนของการศึกษาที่ตั้งไว้ ดังนี้

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

และระหว่างสถานี

1) ตัวแปร PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดต่าง ๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนครนครรราชสีมา มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า R อยู่ในช่วง 0.630-0.917 และ 0.789-0.854 ตามลำดับ โดยในพื้นที่กรุงเทพฯ ความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีตรวจวัดต่าง ๆ โดยพิจารณาจากสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่รบกวน (สถานีห้วยขวาง) กับสถานีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่รบกวน (รามคำแหง คลองจั่น ห้วยขวาง นนทบุรี สิงหราช และกรมประชาสัมพันธ์) พบว่าความสัมพันธ์มีค่า R ต่ำกว่าความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างสถานีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่

2) ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างคู่สถานีกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคู่สถานีในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยพิจารณาเฉพาะคู่สถานีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่ พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามอย่างมีนัยสำคัญที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า R เท่ากับ -0.879 ซึ่งสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ของ PM_{10} ระหว่างคูสถานี มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างคูสถานีเพิ่มขึ้น ส่วนในพื้นที่เทศบาลนคร นครราชสีมา ให้ผลการศึกษาคัดแย้งกับการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ คือมีค่า R เท่ากับ 0.796 แต่เนื่องจากการศึกษาในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีจำนวนคู่ตัวแปรเพียง 3 คู่เท่านั้น และระยะห่างระหว่างคูสถานีที่พิจารณามีค่าน้อยกว่าการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ มาก ดังนั้น จึงยังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ที่พบให้เป็นตัวแทนที่เกิดขึ้นในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาได้

3) ณ สถานีตรวจวัดเดียวกันในพื้นที่กรุงเทพฯ พบว่า PM_{10} กับ CO NO_2 SO_2 และ O_3 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า R เท่ากับ 0.442 0.684 0.143 และ 0.318 ตามลำดับ สำหรับในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาให้ผลการศึกษาสอดคล้องกับพื้นที่กรุงเทพฯ ยกเว้น SO_2 ที่ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับ PM_{10} โดยความสัมพันธ์ของ PM_{10} กับ CO NO_2 และ O_3 มีค่า R เท่ากับ 0.482 0.701 และ 0.275 ตามลำดับ โดยการศึกษาชี้ว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์สูงกับ NO_2

4) ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน พบว่า PM_{10} กับความกดอากาศ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสี สุทธิ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วลม โดยในพื้นที่กรุงเทพฯ มีค่า R เท่ากับ 0.252 -0.186 -0.312 -0.281 -0.182 และ -0.228 ตามลำดับ และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีค่า R เท่ากับ 0.160 -0.269 -0.472 -0.226 -0.077 และ -0.292 ตามลำดับ โดยการศึกษาชี้ว่า PM_{10} มีความสัมพันธ์สูงกับความชื้นสัมพัทธ์

5.1.2 แบบจำลองความถดถอยสำหรับทำนาย PM_{10}

1) ผลการศึกษาแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรในพื้นที่กรุงเทพฯ และเทศบาลนคร นครราชสีมา โดยได้แบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} เฉพาะสถานีตรวจวัดจำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี สถานีสิงหราช สถานีกรมประชาสัมพันธ์ และสถานี นครราชสีมา พบว่าแบบจำลองมีตัวแปรอิสระ 2-10 ตัว โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.236-0.750 และเมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองจากข้อมูลแยกตามช่วงฤดูกาลต่าง ๆ พบว่าแบบจำลองกรณี ฤดูหนาวมีค่า Adjusted R^2 สูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.581-0.765 และจากผลการตรวจสอบความ ถูกต้องของแบบจำลอง พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทำนายกับค่าจากการตรวจวัดจริงที่มี ค่า R มากกว่า 0.7 มีจำนวน 19 สมการ หรือคิดเป็นร้อยละ 79.17 ของจำนวนสมการทั้งหมด

ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลอง พบว่า NO_2 เป็นตัวแปร อิสระที่มีอิทธิพลในแบบจำลองมากที่สุด และเมื่อกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวใน แบบจำลอง พบว่าแบบจำลองมีค่า Adjusted R^2 ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว โดยพบว่าแบบจำลองกรณีทุกฤดูมีค่า Adjusted R^2 ลดลงน้อยที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.406-0.661

2) ผลการพัฒนาแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากต่างสถานี พบว่าแบบจำลองมีตัวแปรอิสระ 1-10 ตัว โดยมีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.419-0.967 โดยผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งหมดพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทำนายกับค่าจากการตรวจวัดจริง มีค่า R อยู่ในช่วง 0.67-0.99 และเมื่อพิจารณาแบบจำลองในพื้นที่กรุงเทพฯ พบว่ามีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.815-0.967 และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา มีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.419-0.748 และเมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองจากข้อมูลแยกตามช่วงฤดูกาล พบว่าในพื้นที่กรุงเทพฯ สมการกรณีฤดูหนาวมีค่า Adjusted R^2 สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจากสถานีเดียวกัน ส่วนในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมาสมการกรณีทุกฤดูมีค่า Adjusted R^2 สูงที่สุด ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากอิทธิพลของจำนวนตัวแปรอิสระในสมการที่น้อยกว่าการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ

ผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ ชี้ว่าแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากสถานีกรมประชาสัมพันธ์ ส่วนใหญ่มีค่า Adjusted R^2 สูงกว่าแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรอิสระจากสถานีอื่น โดยได้สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีคลองจั่น สถานีห้วยขวาง สถานีนนทบุรี และสถานีสิงหราช สำหรับสถานีรามคำแหงไม่สามารถทำนายได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง โดยสถานีตัวแปรอิสระที่เหมาะสมสำหรับทำนายระดับ PM_{10} ณ สถานีรามคำแหง ได้แก่ สถานีคลองจั่น และสถานีนนทบุรี ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าสถานีกรมประชาสัมพันธ์เป็นสถานีทำนายที่เหมาะสมที่สุดในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองความถดถอยสามารถใช้ในการเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} และลดการตรวจวัดในบางสถานีได้ อาทิ ทดแทนข้อมูลการตรวจวัด ณ สถานีห้วยขวาง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่รบกวน โดยการ ใช้แบบจำลองทำนาย PM_{10} ร่วมกับการสุ่มตรวจวัดจริงในบางช่วงเวลาได้

ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระในแบบจำลอง พบว่าตัวแปร PM_{10} จากต่างสถานีเป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลในแบบจำลองมากที่สุด และเมื่อกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระตัวเดียวในแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองมีค่า Adjusted R^2 ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีตัวแปรอิสระหลายตัว โดยลดลงน้อยกว่าแบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน โดยผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ ได้แบบจำลองที่มีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.684-0.941 และในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาได้แบบจำลองที่มีค่า Adjusted R^2 อยู่ในช่วง 0.419-0.619

5.1.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการเฝ้าระวัง PM_{10}

ผลการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯ แบบจำลองความถดถอยจากการศึกษานี้ สามารถใช้ทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร จำนวน 6 สถานี โดยสามารถทดแทนข้อมูลการตรวจวัดจริงที่ขาดหายไป และการสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} สามารถแสดงระดับ PM_{10} ได้ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ โดยแสดงแนวโน้มเบื้องต้นของระดับ PM_{10} ในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่

ค่าเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2548 และในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ โดยสังเกตได้ว่าระดับ PM_{10} ในพื้นที่ กรุงเทพฯ มีแนวโน้มสูงในช่วงฤดูหนาวโดยเฉพาะในบริเวณด้านตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ

สำหรับในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมาแบบจำลองความถดถอยจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการตรวจวัดโดยสถานีตรวจวัดชั่วคราว ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมา โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่มีความสำคัญและอ่อนไหวต่อผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ เช่น บริเวณ โรงเรียน โดยผลการศึกษาได้แบบจำลองสำหรับทำนาย PM_{10} ณ บริเวณที่ตั้งของสถานีตรวจวัดชั่วคราวที่กำหนดขึ้นได้หลังจากที่ยกเลิกสถานีตรวจวัดชั่วคราวนั้นไปแล้ว ได้แก่ บริเวณโรงเรียนเมืองนครราชสีมา และบริเวณโรงเรียนอุบลรัตน์ ซึ่งทำให้ในพื้นที่เทศบาลนครราชสีมามีข้อมูลจุดเฝ้าระวัง PM_{10} เพิ่มขึ้นจากปัจจุบันที่มีเพียง 1 จุด เพิ่มขึ้น 3 จุด คือ มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษตั้งอยู่บริเวณกลางเมือง มีจุดเฝ้าระวังบริเวณ โรงเรียนเมืองนครราชสีมาเป็นตัวแทนของพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเมือง และจุดเฝ้าระวังบริเวณ โรงเรียนอุบลรัตน์เป็นตัวแทนของพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของเมือง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การเพิ่มความสามารถในการติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในพื้นที่ศึกษา สามารถใช้วิธีการสร้างแบบจำลองสำหรับทำนายระดับ PM_{10} โดยตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราว ณ บริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้นได้ โดยการเลือกพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองควรเป็นบริเวณที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในพื้นที่หรือถูกรบกวนในระดับที่ต่ำ และบริเวณรอบสถานที่ตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวควรมีลักษณะใกล้เคียงสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรที่กำหนดให้เป็นสถานีตัวแปรอิสระ เพื่อให้ข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองมีความแปรปรวนน้อยที่สุด

2) แนวคิดกระบวนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวิเคราะห์ความถดถอยในการศึกษานี้ เป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองเชิงสถิติสำหรับทำนาย PM_{10} ในเขตเมืองอื่น ๆ ของประเทศไทยได้ นอกจากนี้ การศึกษาในอนาคตอาจเลือกศึกษาโดยเลือกวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติอื่น ๆ อาทิ วิธี artificial neural network (ANN) และ วิธี principal component analysis (PCA) มาใช้ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

3) การใช้แบบจำลองในการเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบระดับ PM_{10} ในเขตเมืองควรใช้ร่วมกับการสุ่มตรวจวัดจริงในบางช่วงเวลา เพื่อเป็นการตรวจสอบความแบบจำลองและเป็นข้อมูลสำหรับการปรับแก้แบบจำลองให้มีความเหมาะสมสำหรับช่วงเวลาในอนาคตต่อไป

4) ข้อจำกัดของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ ก็เป็นแบบจำลองเฉพาะสถานีตรวจวัดที่กำหนดในการศึกษาเท่านั้น ซึ่งมีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งและมีความเหมาะสมกับ

ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ และหากสภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันมากควรรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมและปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมต่อไป

5) แผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ที่สร้างขึ้นในการศึกษานี้ มีข้อจำกัดคือ เป็นแผนที่เส้นชั้นที่แสดงแนวโน้มเบื้องต้นของระดับ PM_{10} ในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในเขตกรุงเทพฯ และอ้างอิงเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ เท่านั้น ซึ่งในสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงระดับ PM_{10} ในบริเวณพื้นที่ริมถนนมีแนวโน้มสูงกว่าในบริเวณพื้นที่ทั่วไป และจากรายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของกรมควบคุมมลพิษ (2549) ที่ชี้ว่าระดับ PM_{10} ในเขตจังหวัดสมุทรปราการมีแนวโน้มสูงกว่าในเขตกรุงเทพฯ ดังนั้น การเพิ่มข้อมูลจุดตรวจวัดและกระจายครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้นจะทำให้แผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และจากข้อจำกัดของเครื่องมือเก็บตัวอย่าง PM_{10} ที่ผู้วิจัยมีเพียง 2 ชุด จึงไม่สามารถตั้งสถานีตรวจวัดชั่วคราวเพื่อเก็บตัวอย่าง PM_{10} พร้อมกันให้ได้มากพอสำหรับสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับ PM_{10} ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

รายการอ้างอิง

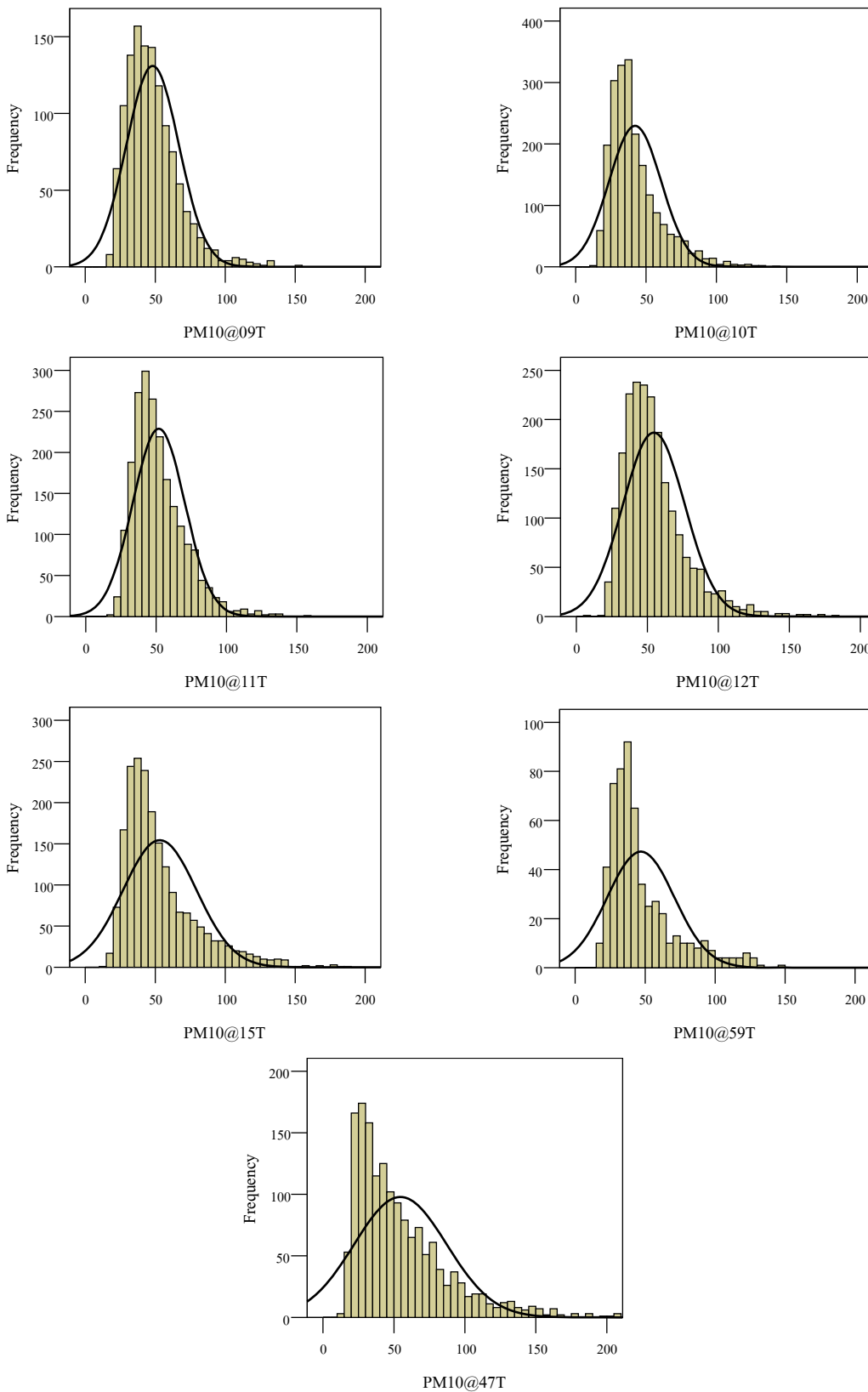
- กรุงเทพมหานคร. (2549). สถิติกรุงเทพมหานคร [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.bma.go.th/info>
- กรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2546). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2549). สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง พ.ศ.2548. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2549). ความรู้อุตุนิยมวิทยา [ออนไลน์]. <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23>
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2546). การใช้ SPSS for windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทศบาลนครนครราชสีมา. (2549). ลักษณะและสภาพทั่วไปของเทศบาลนครนครราชสีมา [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.koratcity.net/general.htm>
- นันทวรรณ วิจิตรวาทการ และ คณะ. (2547). โครงการประเมินอัตราการตาย อัตราป่วย และผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากมลพิษอากาศในกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- นพภาพร พานิช และ คณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นพภาพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช. (2544). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มหาวิทยาลัยมหิดล. สถาบันวิจัยประชากรและสังคม. (2549). ศัพท์านุกรมการวิจัยทางประชากรและสังคม [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.popterms.mahidol.ac.th/popterms>
- รังสรรค์ อาภาศัพท์กุล. (2547). อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Aldrin, M., and Haff, I. H. (2005). Generalised Additive Modelling of Air Pollution, Traffic Volume and Meteorology. **Atmospheric Environment** 39: 2145-2155.
- Boubel, R. W., Fox, D. L., Turner, D. B., and Stern, A. C. (1994). **Fundamentals of Air Pollution** (3rd ed.). San Diego, California: Academic Press.

- Cassoni, F., Bocchi, C., Martino, A., Pinto, G., Fontana, F., and Buschini, A. (2004). The Salmonella Mutagenicity of Urban Airborne Particulate Matter (PM_{2.5}) from Eight Sites of the Emilia-Romagna Regional Monitoring Network (Italy). **Science of the Total Environment** 324: 79-90.
- Celis, J. E., Morales, J. R., Zaror, C. A., and Inzunza, J. C. (2004). A Study of the Particulate Matter PM₁₀ Composition in the Atmosphere of Chillan, Chile. **Chemosphere** 54: 541-550.
- Chaloulakou, A., Grivas, G., and Spyrellis, N. (2003). Neural Network and Multiple Regression Models for PM₁₀ Prediction in Athens: A Comparative Assessment. **Air & Waste Management Association** 53: 1183-1190.
- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, P., and Koutrakis, P. (2003). Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} Particle Concentrations in Athens, Greece. **Atmospheric Environment** 37: 649-660.
- Chan, L. Y., Kwok, W. S. (2001). Roadside Suspended Particulates at Heavily Trafficked Urban Sites of Hong Kong - Seasonal Variation and Dependence on meteorological Conditions. **Atmospheric Environment** 35: 3177-3182.
- Chatterton, T. J. (2001). **Regional and Urban Scale Modelling of Particulate Matter: Can PM₁₀ be Managed at a Local Level**. Ph.D. Dissertation, University of East Anglia.
- Chuersuwan, N. (2003). Spatial distributions of ambient PM-10 and PM-2.5 in Bangkok. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่สอง (หน้า 188-200). กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- Fuller, G. A., Carslaw, D. C., and Lodge, H. W. (2002). A Empirical Approach for the Prediction of Daily Mean PM₁₀ Concentrations. **Atmospheric Environment** 36: 1431-1441.
- Harrison, R., Deacon, A., Jones, M., and Appleby, R. (1997). Sources and Processes Affecting Concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} Particulate Matter in Birmingham (UK). **Atmospheric Environment**. 31: 4103-4117.
- Hinds, W. C. (1998). **Aerosol Technology** (2nd ed.). United States of America: John Wiley&Sons.
- Keary, J., Jenning, S. G., O'Connor, T. C., McManus, B., and Lee, M. (1998). PM₁₀ Concentration Measurements in Dublin City. **Environmental Monitoring and Assessment** 52: 3-18.

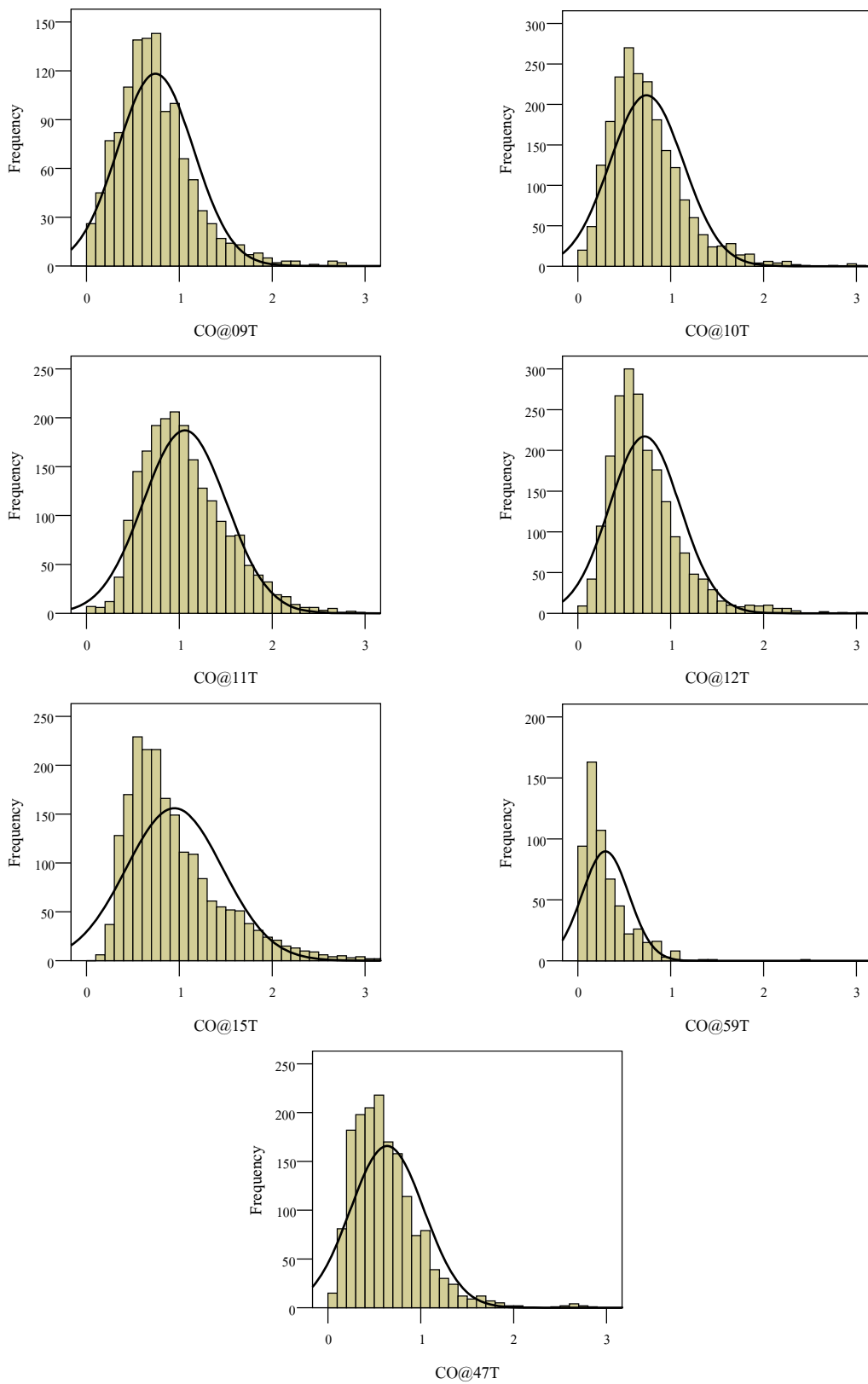
- Koutrakis, P., et. al. (2005). Analysis of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and $PM_{2.5-10}$ Concentrations in Santiago, Chile from 1989 to 2001. **Air & Waste Management Association** 55: 342-351.
- Kutner, M. H., Neter, J., Nachtsheim, C. J., and Wasserman, W. (2004). **Applied Linear Statistical Model**. United States of America: McGraw-Hill.
- Lu, H. C., and Fang, G. C. (2002). Estimating the Frequency Distributions of PM_{10} and $PM_{2.5}$ by the Statistics of Wind Speed at Sha-Lu, Taiwan. **The Science of the Total Environment** 298: 119-130.
- Manoli, E., Voutsas, D., and Samara, C. (2002). Chemical Characterization and Source Identification/Appointment of Fine and Coarse Air Particles in Thessaloniki, Greece. **Atmospheric Environment**. 36: 949-961.
- Sajani, S. Z., Scotto, F., Lauriola, P., Galassi, F., and Montanari, A. (2004). Urban Air Pollution Monitoring and Correlation Properties between Fixed-Site Station. **Air & Waste Management Association** 54: 1236-1241.
- Seinfeld, J. H. (1986). **Atmospheric chemistry and physics of air pollution**. United States of America: John Wiley&Sons.
- Shaddick, G. and Wakefield, J. (2002) Modelling Daily Multivariate Pollutant Data at Multiple Sites. **Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)**. 51 (3): 351-372.
- Slini, T., Kaprara, A., Karatzas, K., and Moussiopoulos, N. (2006). PM_{10} Forecasting for Thessaloniki, Greece. **Environmental Modelling & Software** 26: 559-565.
- Thongsanit, P., Jinsart, W., Hooper, B., Hooper, M. and Limpaseni, W. (2003) Atmospheric particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons for PM_{10} and sine-segregated samples in Bangkok. **Air & Waste Management Association**. 53: 1490-1498
- U.S. EPA. (1997). **Guideline for Air Quality Modeling**. United States of America: US.EPA.
- U.S. EPA. (1999). **APTI Course 435 Atmospheric Sampling: Student Laboratory and Exercise Manual** (2nd ed.). North Carolina: ICES.
- Vega, E., et. al. (2002). Basic Statistics of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the Atmosphere of Mexico City. **The Science of the Total Environment** 287: 167-176.
- Wight, G. D. (1994). **Fundamentals of air sampling**. United States of America: Lewis.

ภาคผนวก ก

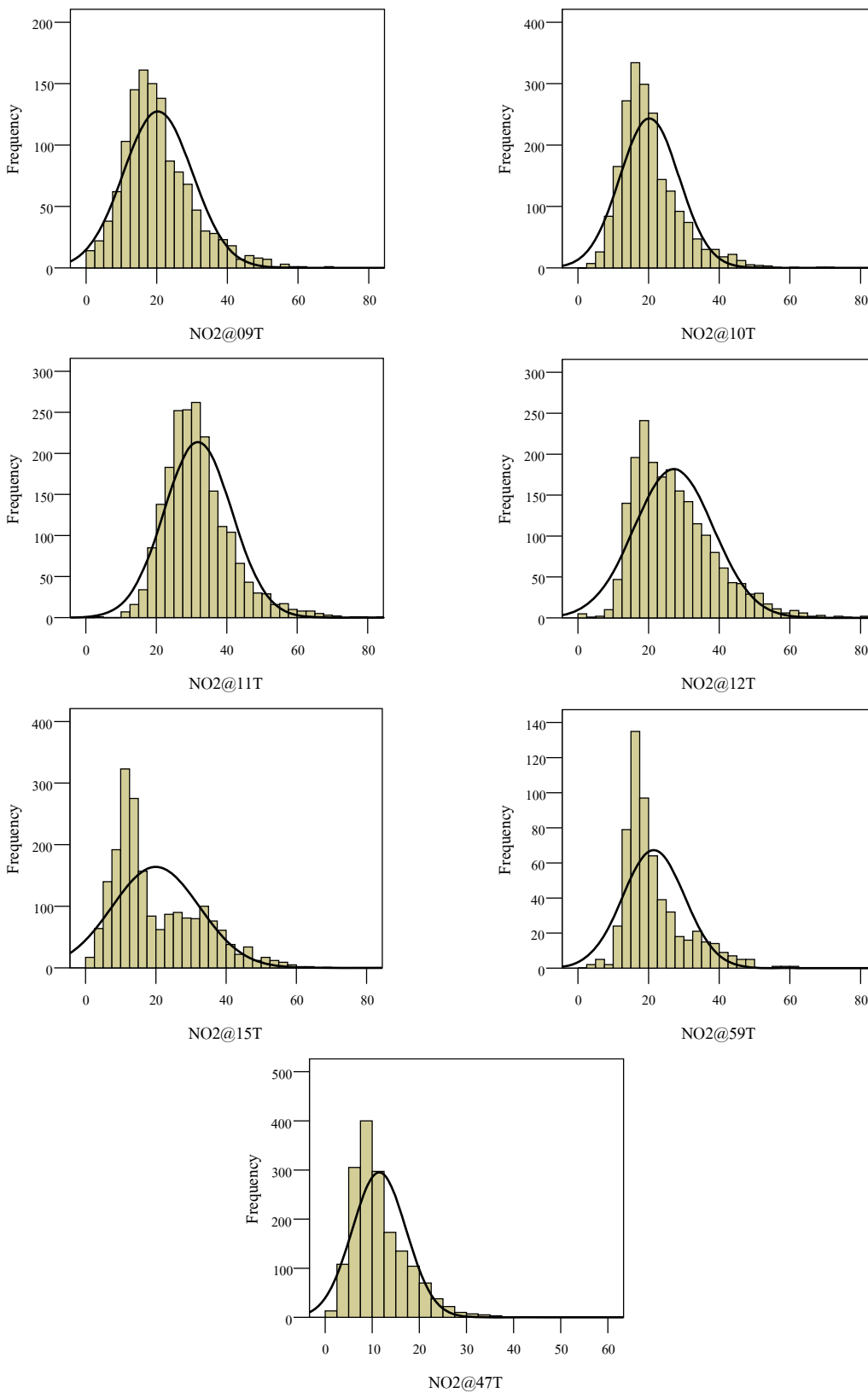
ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา



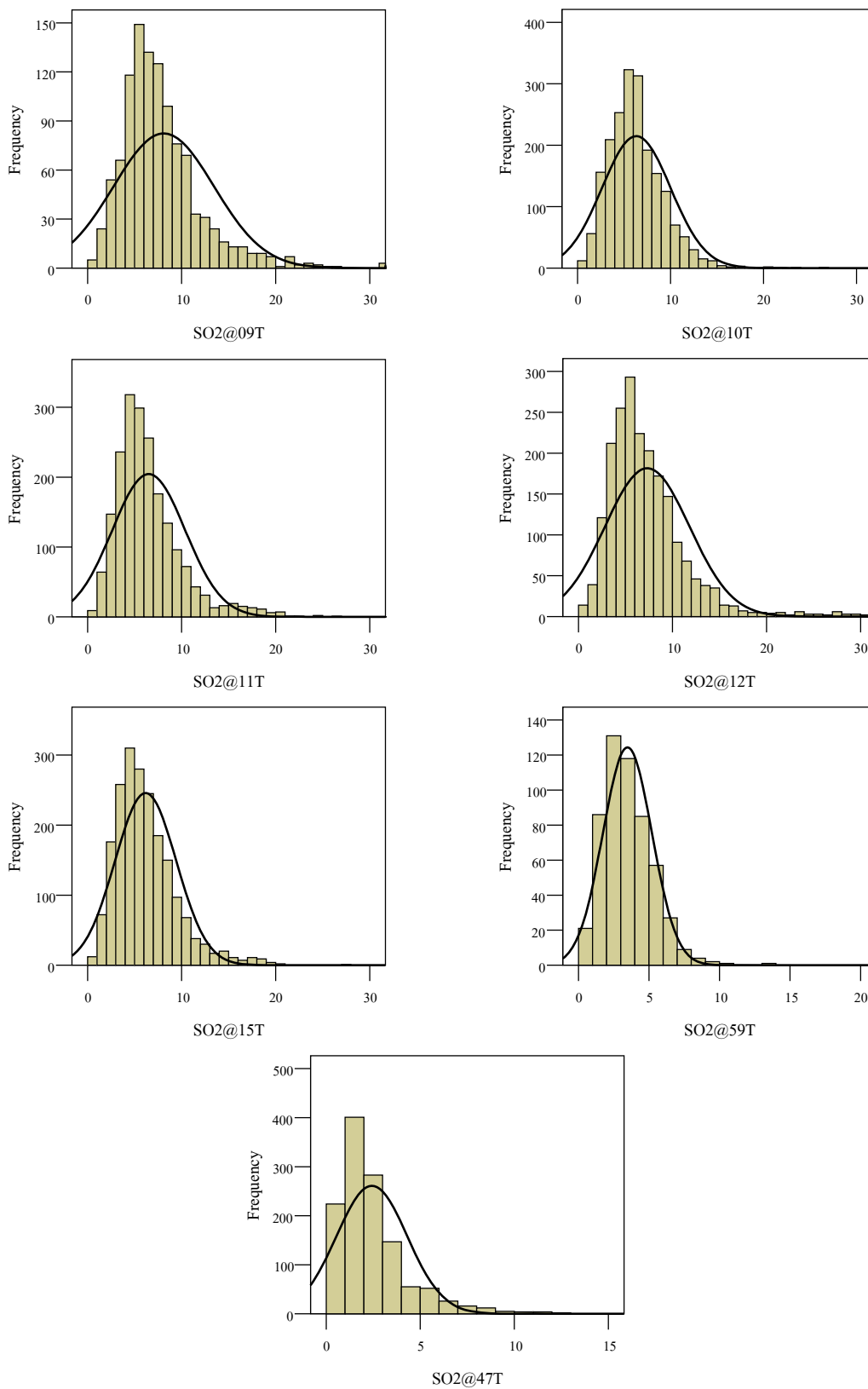
รูปที่ ก1 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล PM₁₀



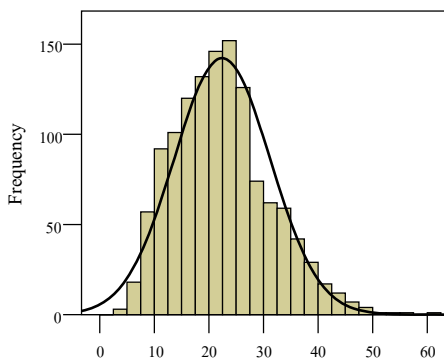
รูปที่ 2 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล CO



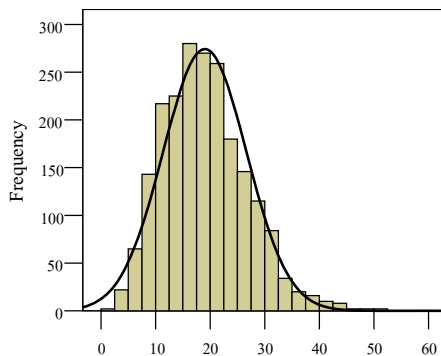
รูปที่ ๓3 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล NO₂



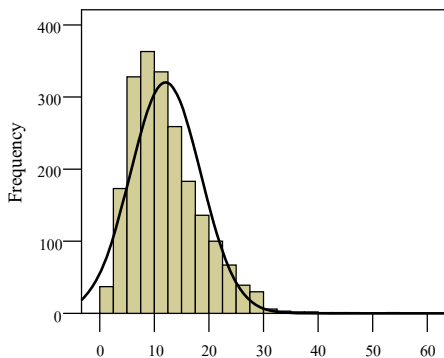
รูปที่ ก4 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล SO₂



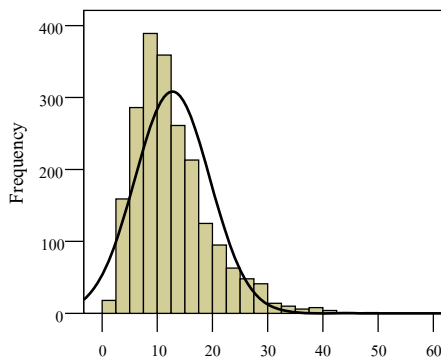
O3@09T



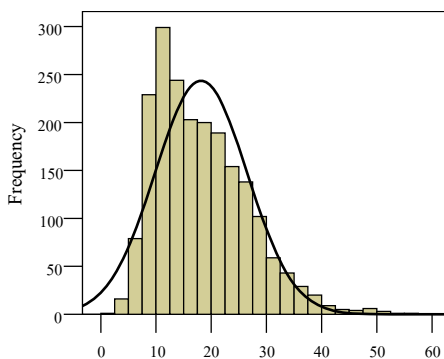
O3@10T



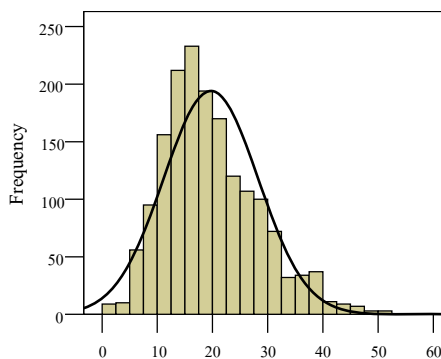
O3@11T



O3@12T

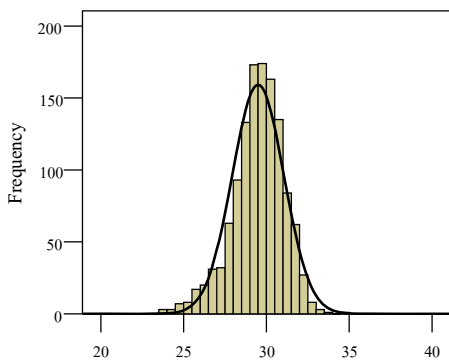


O3@15T

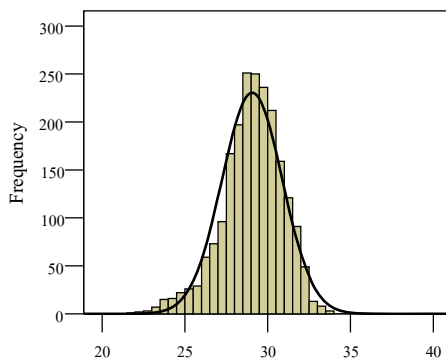


O3@47T

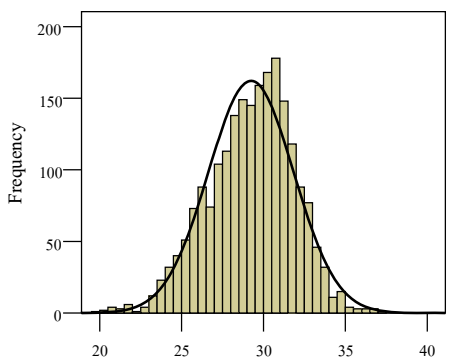
รูปที่ ก5 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล O₃



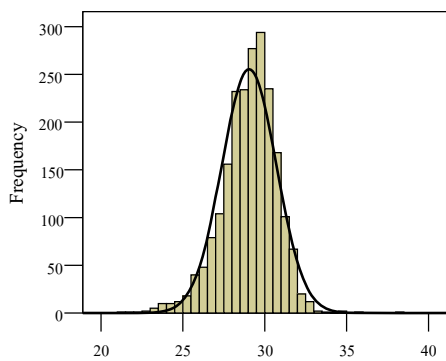
T@09T



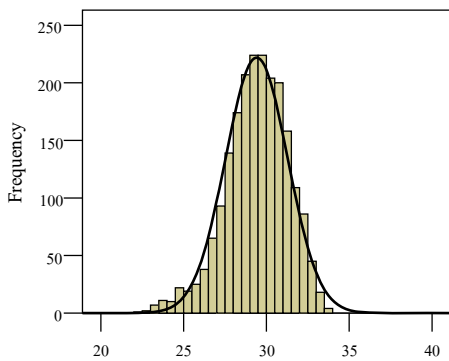
T@10T



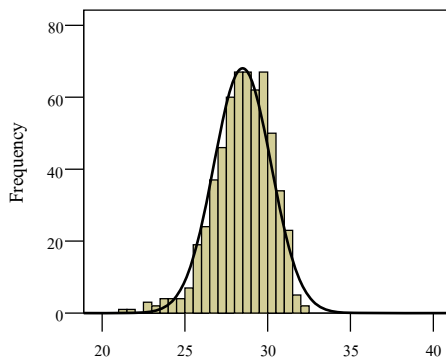
T@11T



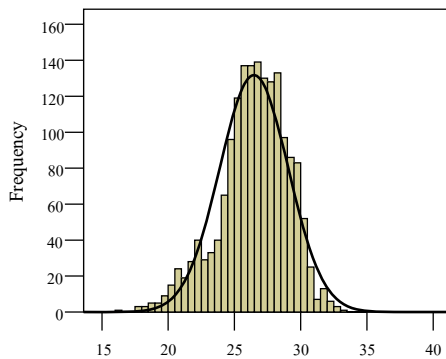
T@12T



T@15T

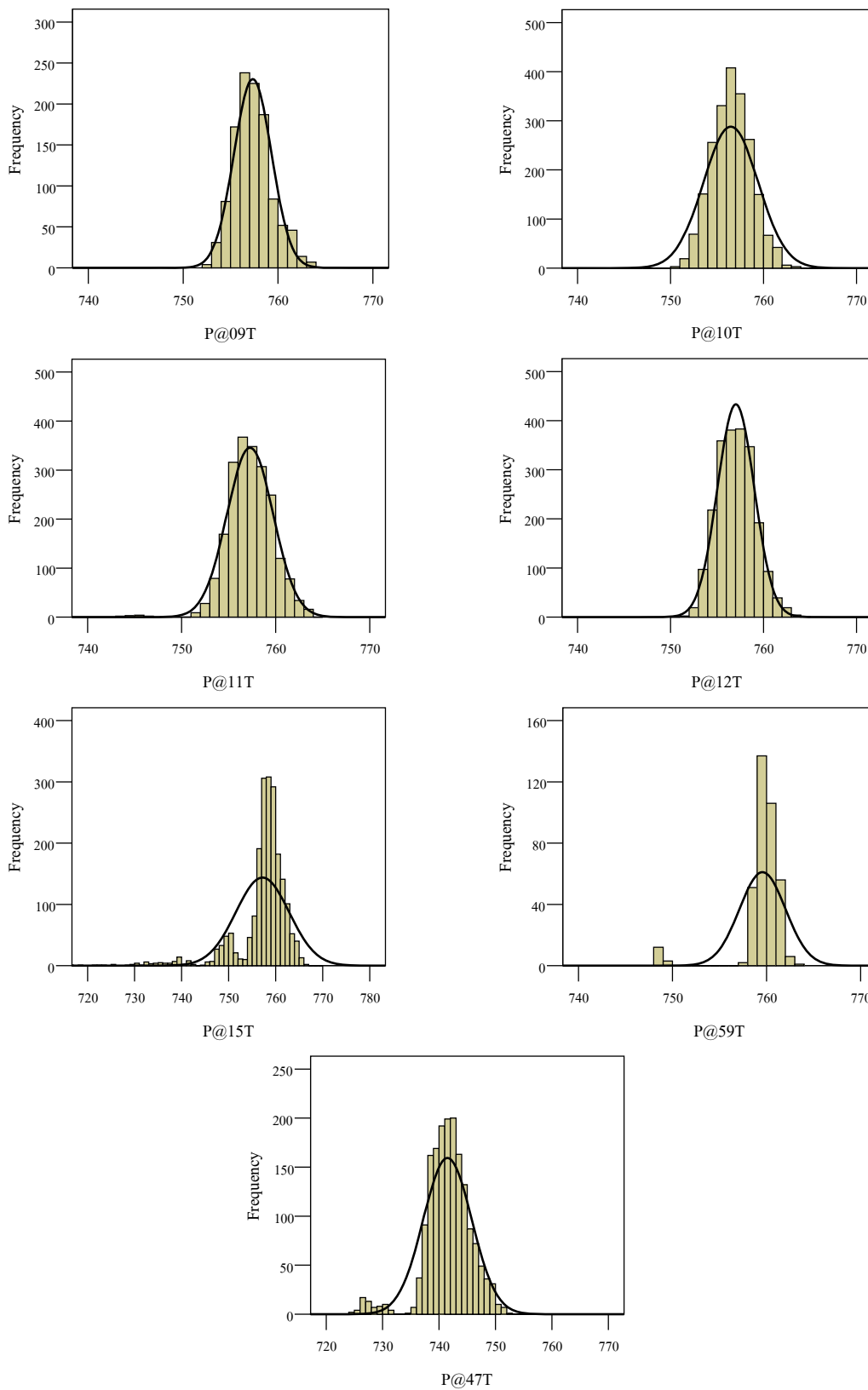


T@59T

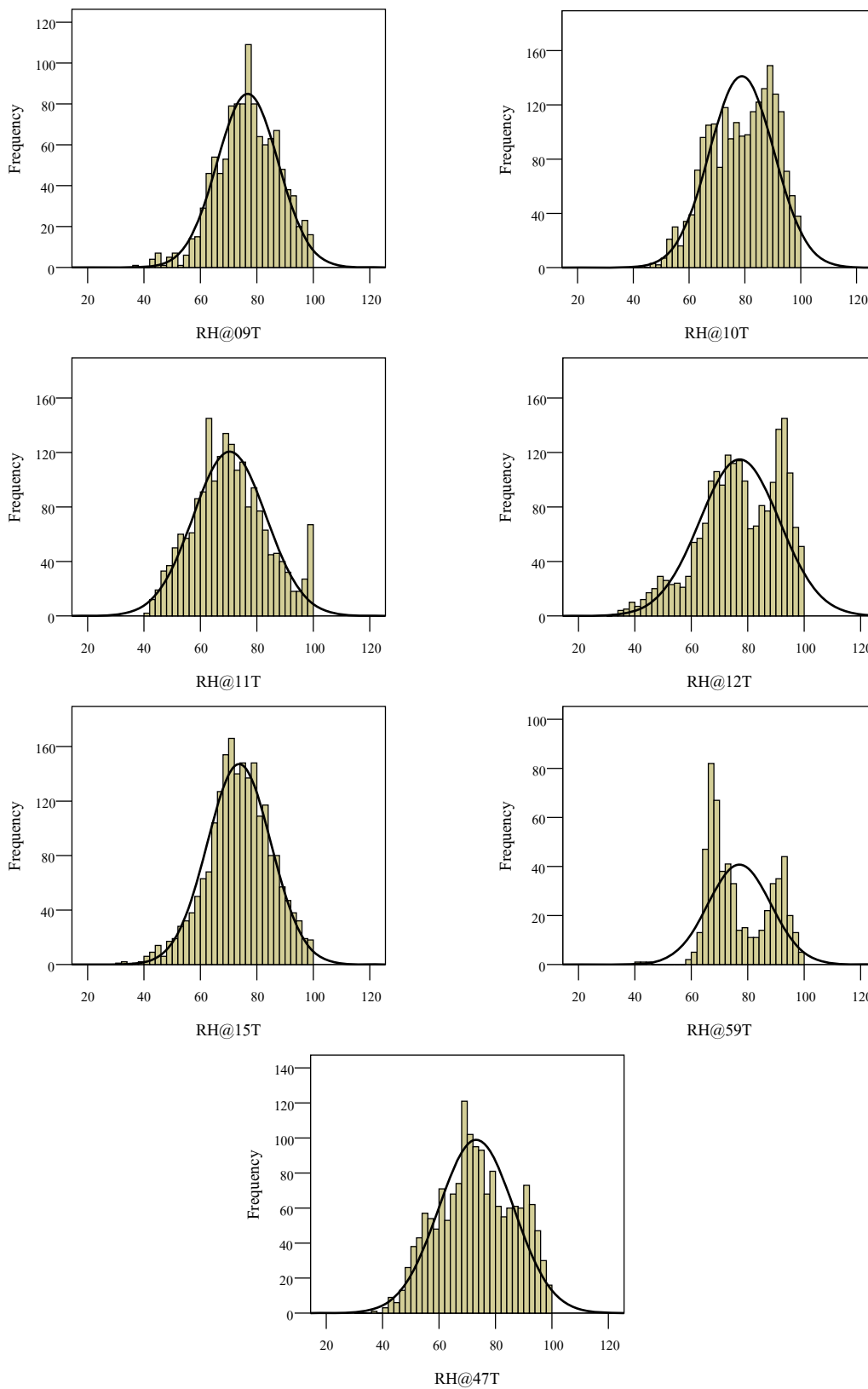


T@47T

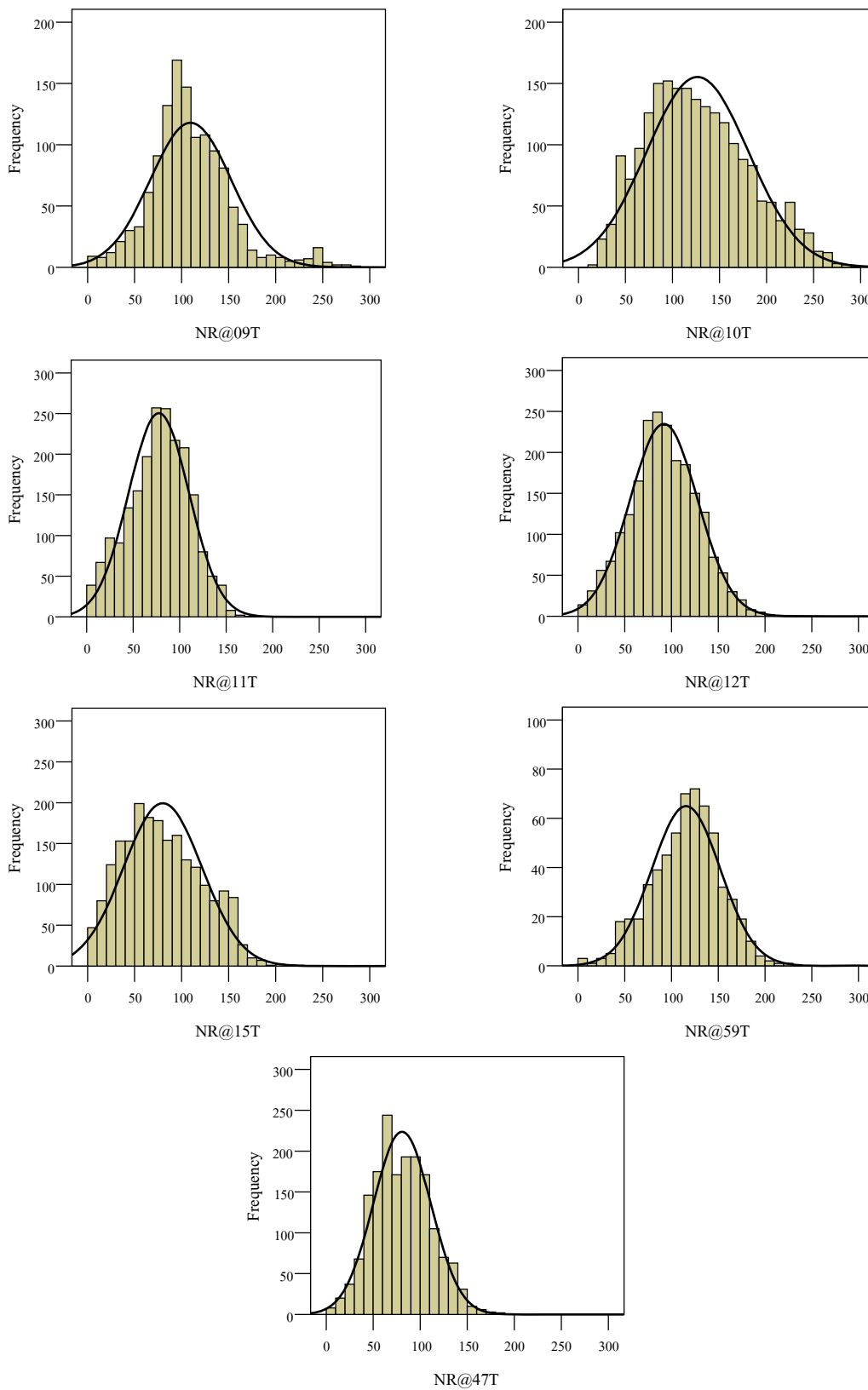
รูปที่ 6 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลอุณหภูมิ



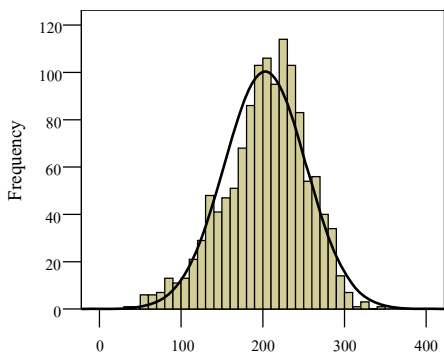
รูปที่ ๗ ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความกดอากาศ



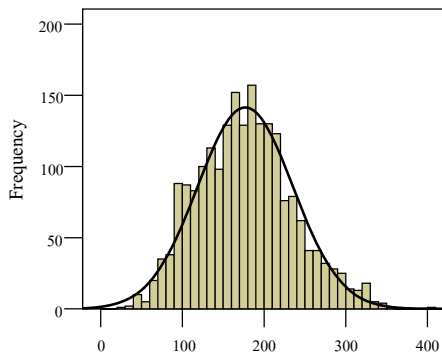
รูปที่ ๓๘ ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์



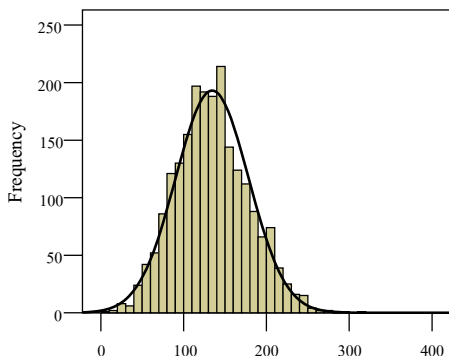
รูปที่ ๑๑ ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลปริมาณรังสีสุทธิ



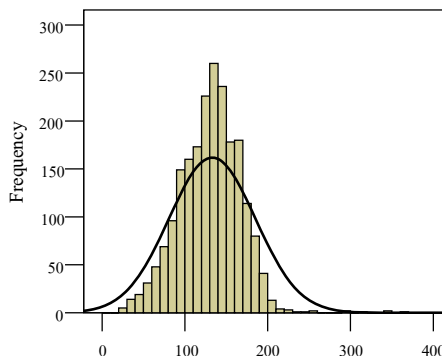
GR@09T



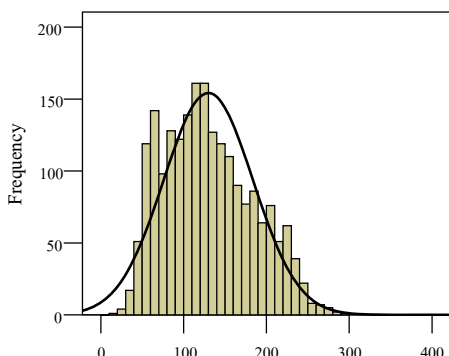
GR@10T



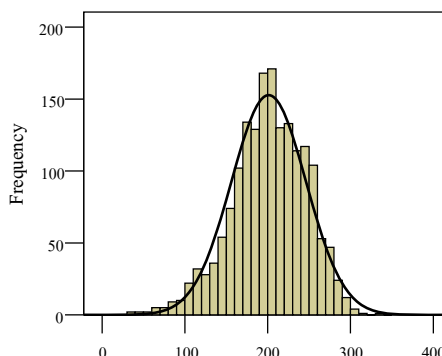
GR@11T



GR@12T

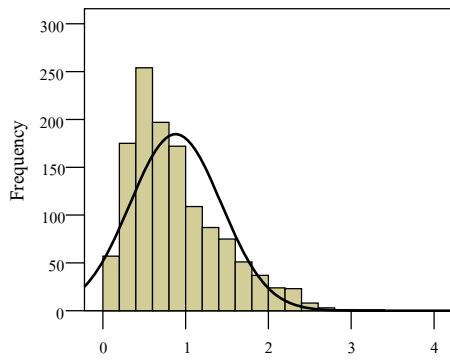


GR@15T

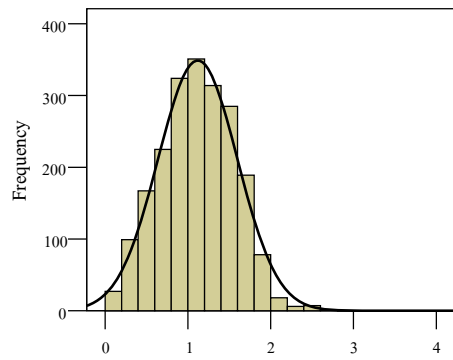


GR@47T

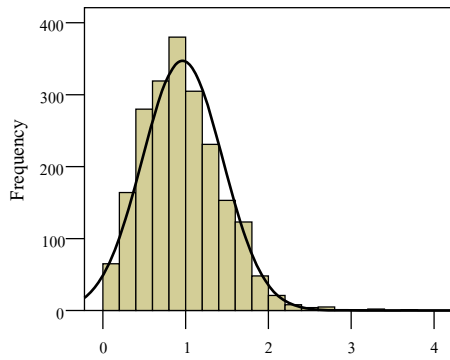
รูปที่ 10 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์



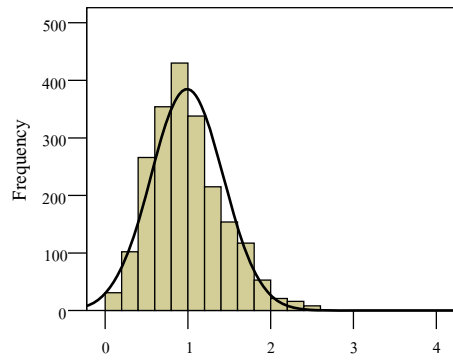
WS@09T



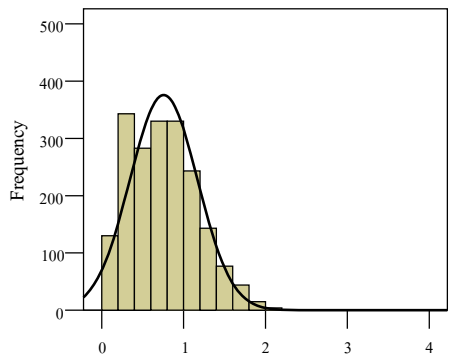
WS@10T



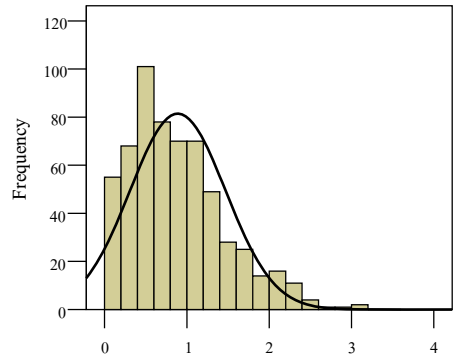
WS@11T



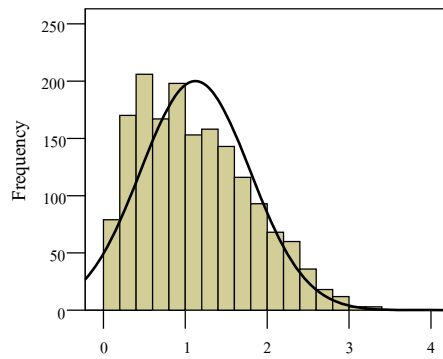
WS@12T



WS@15T

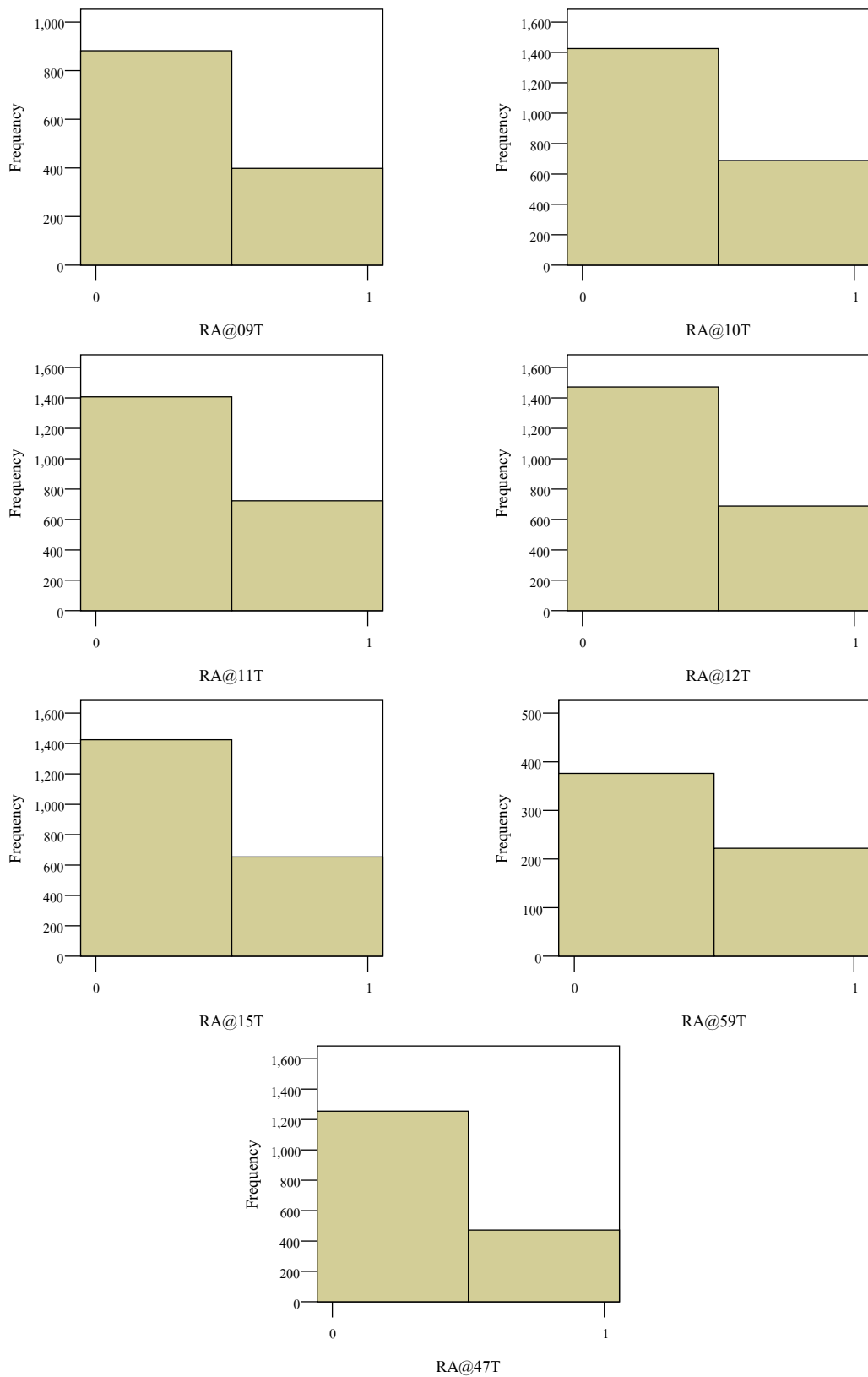


WS@59T



WS@47T

รูปที่ ก11 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลความเร็วลม



รูปที่ ก12 ข้อมูลจำนวนวันที่มีฝนตก (ค่า 0 คือวันที่ไม่มีฝนตก และค่า 1 คือวันที่มีฝนตก)

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ตารางที่ ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
PM10@09T	R	1	0.917*	0.630*	0.905*	0.850*	–
	N	1,234	1,184	1,182	1,155	1,121	–
PM10@10T	R	0.917*	1	0.798*	0.870*	0.863*	0.902*
	N	1,184	2,130	2,071	1,995	2,006	565
PM10@11T	R	0.630*	0.798*	1	0.696*	0.639*	0.887*
	N	1,182	2,071	2,116	1,982	2,003	558
PM10@12T	R	0.905*	0.870*	0.696*	1	0.888*	0.906*
	N	1,155	1,995	1,982	2,047	1,924	540
PM10@15T	R	0.850*	0.863*	0.639*	0.888*	1	0.869*
	N	1,121	2,006	2,003	1,924	2,035	544
PM10@59T	R	–	0.902*	0.887*	0.906*	0.869*	1
	N	–	565	558	540	544	569

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร CO ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		CO@09T	CO@11T	CO@12T	CO@15T	CO@59T	CO@59T
CO@09T	R	1	0.554*	0.303*	0.398*	0.543*	-
	N	1,214	1,157	1,188	1,133	1,104	-
CO@10T	R	0.554*	1	0.259*	0.388*	0.492*	0.403*
	N	1,157	2,104	2,026	1,984	1,976	557
CO@11T	R	0.303*	0.259*	1	0.311*	0.509*	0.379*
	N	1,188	2,026	2,099	1,982	1,976	541
CO@12T	R	0.398*	0.388*	0.311*	1	0.580*	0.374*
	N	1,133	1,984	1,982	2,068	1,919	559
CO@15T	R	0.543*	0.492*	0.509*	0.580*	1	0.397*
	N	1,104	1,976	1,976	1,919	2,031	563
CO@59T	R	-	0.403*	0.379*	0.374*	0.397*	1
	N	-	557	541	559	563	569

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร NO₂ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		NO2@09T	NO2@10T	NO2@11T	NO2@12T	NO2@15T	NO2@59T
NO2@09T	R	1	0.749*	0.540*	0.659*	0.694*	-
	N	1,251	1,139	1,187	1,183	1,135	-
NO2@10T	R	0.749*	1	0.613*	0.633*	0.713*	0.718*
	N	1,139	2,049	1,944	1,918	1,959	583
NO2@11T	R	0.540*	0.613*	1	0.692*	0.544*	0.527*
	N	1,187	1,944	2,062	1,944	1,966	556
NO2@12T	R	0.659*	0.633*	0.692*	1	0.704*	0.673*
	N	1,183	1,918	1,944	2,042	1,907	547
NO2@15T	R	0.694*	0.713*	0.544*	0.704*	1	0.731*
	N	1,135	1,959	1,966	1,907	2,043	586
NO2@59T	R	-	0.718*	0.527*	0.673*	0.731*	1
	N	-	583	556	547	586	592

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร O₃ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		O3@09T	O3@10T	O3@11T	O3@12T	O3@15T
O3@09T	R	1	0.790*	0.518*	0.571*	0.757*
	N	1,257	1,189	1,156	1,197	1,116
O3@10T	R	0.790*	1	0.731*	0.708*	0.737*
	N	1,189	2,102	1,994	2,033	1,979
O3@11T	R	0.518*	0.731*	1	0.727*	0.669*
	N	1,156	1,994	2,067	1,981	1,967
O3@12T	R	0.571*	0.708*	0.727*	1	0.655*
	N	1,197	2,033	1,981	2,101	1,968
O3@15T	R	0.757*	0.737*	0.669*	0.655*	1
	N	1,116	1,979	1,967	1,968	2,034

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ ข5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร SO₂ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		SO2@09T	SO2@10T	SO2@11T	SO2@12T	SO2@15T	SO2@59T
SO2@09T	R	1	0.338*	0.173*	0.155*	0.034	-
	N	1,103	992	1,005	1,013	1,014	-
SO2@10T	R	0.338*	1	0.196*	0.070*	0.162*	0.246*
	N	992	1,990	1,839	1,874	1,865	524
SO2@11T	R	0.173*	0.196*	1	0.224*	0.177*	0.334*
	N	1,005	1,839	1,990	1,873	1,845	515
SO2@12T	R	0.155*	0.070*	0.224*	1	0.254*	0.339*
	N	1,013	1,874	1,873	2,048	1,860	530
SO2@15T	R	0.034	0.162*	0.177*	0.254*	1	0.400*
	N	1,014	1,865	1,845	1,860	2,003	520
SO2@59T	R	-	0.246*	0.334*	0.339*	0.400*	1
	N	-	524	515	530	520	542

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิ (T) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		T@09T	T@10T	T@11T	T@12T	T@15T	T@59T
T@09T	R	1	0.965*	0.542*	0.871*	0.773*	-
	N	1,241	1,164	1,183	1,200	1,146	-
T@10T	R	0.965*	1	0.620*	0.870*	0.872*	0.954*
	N	1,164	2,106	2,057	2,051	2,027	584
T@11T	R	0.542*	0.620*	1	0.500*	0.455*	0.776*
	N	1,183	2,057	2,118	2,061	2,049	585
T@12T	R	0.871*	0.870*	0.500*	1	0.769*	0.789*
	N	1,200	2,051	2,061	2,134	2,027	582
T@15T	R	0.773*	0.872*	0.455*	0.769*	1	0.954*
	N	1,146	2,027	2,049	2,027	2,085	587
T@59T	R	-	0.954*	0.776*	0.789*	0.954*	1
	N	-	584	585	582	587	589

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข7 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความกดอากาศ (P) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		P@09T	P@10T	P@11T	P@12T	P@15T	P@59T
P@09T	R	1	0.496*	0.747*	0.964*	0.495*	-
	N	1,141	1,103	1,100	1,127	1,057	-
P@10T	R	0.496*	1	0.498*	0.566*	0.226*	0.500*
	N	1,103	2,125	2,077	2,090	2,006	370
P@11T	R	0.747*	0.498*	1	0.692*	0.304*	0.348*
	N	1,100	2,077	2,132	2,095	2,026	371
P@12T	R	0.964*	0.566*	0.692*	1	0.310*	0.554*
	N	1,127	2,090	2,095	2,154	2,010	367
P@15T	R	0.495*	0.226*	0.304*	0.310*	1	0.205*
	N	1,057	2,006	2,026	2,010	2,046	373
P@59T	R	-	0.500*	0.348*	0.554*	0.205*	1
	N	-	370	371	367	373	374

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		RH@09T	RH@10T	RH@11T	RH@12T	RH@15T	RH@59T
RH@09T	R	1	0.620*	0.777*	0.782*	0.625*	-
	N	1,151	1,040	1,015	1,099	1,058	-
RH@10T	R	0.620*	1	0.653*	0.780*	0.651*	0.251*
	N	1,040	2,044	1,842	1,933	1,969	564
RH@11T	R	0.777*	0.653*	1	0.813*	0.509*	0.455*
	N	1,015	1,842	1,956	1,836	1,885	564
RH@12T	R	0.782*	0.780*	0.813*	1	0.638*	-0.014
	N	1,099	1,933	1,836	2,040	1,939	561
RH@15T	R	0.625*	0.651*	0.509*	0.638*	1	0.172*
	N	1,058	1,969	1,885	1,939	2,077	568
RH@59T	R	-	0.251*	0.455*	-0.014	0.172*	1
	N	-	564	564	561	568	568

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข9 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณรังสีสุทธิ (NR) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		NR@09T	NR@10T	NR@11T	NR@12T	NR@15T	NR@59T
NR@09T	R	1	0.440*	0.588*	0.617*	0.534*	-
	N	1,270	1,197	1,189	1,231	1,174	-
NR@10T	R	0.440*	1	0.348*	0.372*	0.582*	0.777*
	N	1,197	2,111	1,981	2,047	2,030	591
NR@11T	R	0.588*	0.348*	1	0.542*	0.240*	0.540*
	N	1,189	1,981	2,047	1,993	1,979	571
NR@12T	R	0.617*	0.372*	0.542*	1	0.623*	0.727*
	N	1,231	2,047	1,993	2,124	2,025	587
NR@15T	R	0.534*	0.582*	0.240*	0.623*	1	0.649*
	N	1,174	2,030	1,979	2,025	2,084	595
NR@59T	R	-	0.777*	0.540*	0.727*	0.649*	1
	N	-	591	571	587	595	596

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข10 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		GR@09T	GR@10T	GR@11T	GR@12T	GR@15T
GR@09T	R	1	0.589*	0.815*	0.535*	0.536*
	N	1,263	1,160	1,218	1,219	1,169
GR@10T	R	0.589*	1	0.600*	0.355*	0.500*
	N	1,160	2,070	2,022	2,005	1,994
GR@11T	R	0.815*	0.600*	1	0.499*	0.658*
	N	1,218	2,022	2,131	2,059	2,066
GR@12T	R	0.535*	0.355*	0.499*	1	0.438*
	N	1,219	2,005	2,059	2,119	2,016
GR@15T	R	0.536*	0.500*	0.658*	0.438*	1
	N	1,169	1,994	2,066	2,016	2,089

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ ข11 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็ว (WS) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		WS@09T	WS@10T	WS@11T	WS@12T	WS@15T	WS@59T
WS@09T	R	1	0.581*	0.452*	0.049	0.403*	-
	N	1,275	1,186	1,214	1,215	1,053	-
WS@10T	R	0.581*	1	0.514*	0.250*	0.387*	0.319*
	N	1,186	2,094	2,025	2,012	1,886	589
WS@11T	R	0.452*	0.514*	1	0.390*	0.683*	0.517*
	N	1,214	2,025	2,112	2,026	1,912	587
WS@12T	R	0.049	0.250*	0.390*	1	0.138*	0.335*
	N	1,215	2,012	2,026	2,105	1,915	587
WS@15T	R	0.403*	0.387*	0.683*	0.138*	1	0.191*
	N	1,053	1,886	1,912	1,915	1,943	593
WS@59T	R	-	0.319*	0.517*	0.335*	0.191*	1
	N	-	589	587	587	593	593

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข12 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรวันที่มีฝนตก (RA) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		RA@09T	RA@10T	RA@11T	RA@12T	RA@15T	RA@59T
RA@09T	R	1	0.506*	0.697*	0.667*	0.620*	-
	N	1,280	1,209	1,236	1,265	1,175	-
RA@10T	R	0.506*	1	0.555*	0.507*	0.471*	0.307*
	N	1,209	2,114	2,063	2,090	2,027	594
RA@11T	R	0.697*	0.555*	1	0.646*	0.599*	0.392*
	N	1,236	2,063	2,130	2,099	2,054	591
RA@12T	R	0.667*	0.507*	0.646*	1	0.685*	0.336*
	N	1,265	2,090	2,099	2,160	2,046	591
RA@15T	R	0.620*	0.471*	0.599*	0.685*	1	0.356*
	N	1,175	2,027	2,054	2,046	2,078	598
RA@59T	R	-	0.307*	0.392*	0.336*	0.356*	1
	N	-	594	591	591	598	598

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร CO ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
CO@09T	R	0.463*	0.527*	0.432*	0.435*	0.485*	-
	N	1,160	1,171	1,183	1,141	1,125	-
CO@10T	R	0.421*	0.509*	0.394*	0.447*	0.508*	0.532*
	N	1,165	2,095	2,040	1,965	1,976	559
CO@11T	R	0.168*	0.289*	0.422*	0.224*	0.182*	0.414*
	N	1,180	2,048	2,074	1,978	1,997	545
CO@12T	R	0.342*	0.386*	0.305*	0.401*	0.393*	0.436*
	N	1,140	2,011	1,997	1,969	1,921	560
CO@15T	R	0.335*	0.499*	0.471*	0.447*	0.523*	0.683*
	N	1,094	1,997	1,993	1,898	1,980	562
CO@59T	R	-	0.411*	0.443*	0.430*	0.401*	0.406*
	N	-	565	558	535	540	531

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร NO₂ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
NO2@09T	R	0.728*	0.728*	0.383*	0.709*	0.734*	-
	N	1,195	1,196	1,195	1,174	1,138	-
NO2@10T	R	0.632*	0.681*	0.520*	0.619*	0.677*	0.695*
	N	1,120	2,040	1,995	1,918	1,948	561
NO2@11T	R	0.537*	0.692*	0.624*	0.722*	0.632*	0.740*
	N	1,156	2,011	2,037	1,934	1,945	541
NO2@12T	R	0.674*	0.705*	0.534*	0.756*	0.712*	0.788*
	N	1,163	1,988	1,968	1,959	1,899	537
NO2@15T	R	0.587*	0.692*	0.512*	0.691*	0.819*	0.796*
	N	1,102	2,008	2,007	1,911	1,990	563
NO2@59T	R	-	0.591*	0.574*	0.608*	0.551*	0.691*
	N	-	588	582	559	562	550

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข15 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร SO₂ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
SO2@09T	R	0.269*	0.227*	0.235*	0.196*	0.146*	-
	N	1,059	1,067	1,079	1,039	1,054	-
SO2@10T	R	0.098*	0.103*	0.112*	0.035	0.029	0.131*
	N	1,074	1,981	1,938	1,872	1,883	554
SO2@11T	R	-0.030	0.043	0.157*	0.040	-0.065*	0.139*
	N	1,082	1,943	1,966	1,874	1,879	542
SO2@12T	R	0.042	0.052*	0.227*	0.034	-0.060*	-0.010
	N	1,120	1,990	1,974	1,961	1,897	558
SO2@15T	R	0.132*	0.235*	0.284*	0.157*	0.226*	0.267*
	N	1,079	1,971	1,965	1,875	1,967	545
SO2@59T	R	-	0.412*	0.373*	0.345*	0.312*	0.422*
	N	-	538	532	508	513	500

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข16 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปร O₃ ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T
O3@09T	R	0.364*	0.431*	0.426*	0.366*	0.323*
	N	1,202	1,203	1,200	1,171	1,140
O3@10T	R	0.479*	0.444*	0.347*	0.456*	0.397*
	N	1,166	2,093	2,042	1,963	1,979
O3@11T	R	0.555*	0.488*	0.248*	0.492*	0.491*
	N	1,133	2,016	2,045	1,925	1,969
O3@12T	R	0.553*	0.467*	0.238*	0.442*	0.483*
	N	1,173	2,059	2,027	1,989	1,967
O3@15T	R	0.547*	0.588*	0.527*	0.536*	0.484*
	N	1,092	2,001	1,998	1,891	1,983

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ ข17 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปรอุณหภูมิ (T) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
T@09T	R	-0.185*	-0.242*	-0.251*	-0.242*	-0.271*	-
	N	1,187	1,187	1,184	1,153	1,124	-
T@10T	R	-0.211*	-0.330*	-0.240*	-0.313*	-0.361*	-0.421*
	N	1,156	2,097	2,043	1,983	1,977	564
T@11T	R	-0.133*	-0.064*	0.047*	-0.109*	-0.073*	-0.032
	N	1,175	2,067	2,093	1,985	1,999	565
T@12T	R	-0.201*	-0.290*	-0.136*	-0.329*	-0.347*	-0.407*
	N	1,193	2,074	2,059	2,020	1,977	563
T@15T	R	-0.071*	-0.235*	-0.216*	-0.195*	-0.270*	-0.413*
	N	1,139	2,050	2,047	1,940	2,032	567
T@59T	R	-	-0.243*	-0.241*	-0.260*	-0.230*	-0.335*
	N	-	585	578	554	559	561

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข18 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปรความกดอากาศ (P) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
P@09T	R	0.338*	0.404*	0.306*	0.378*	0.449*	-
	N	1,086	1,109	1,086	1,063	1,067	-
P@10T	R	0.331*	0.293*	0.099*	0.418*	0.322*	0.371*
	N	1,173	2,115	2,061	1,996	1,995	565
P@11T	R	0.348*	0.308*	0.198*	0.333*	0.373*	0.420*
	N	1,191	2,081	2,107	1,989	2,013	564
P@12T	R	0.397*	0.486*	0.436*	0.454*	0.461*	0.589*
	N	1,219	2,094	2,079	2,040	1,998	559
P@15T	R	0.135*	0.162*	-0.037	0.215*	0.207*	0.401*
	N	1,111	2,011	2,009	1,906	1,992	567
P@59T	R	-	0.299*	0.285*	0.299*	0.274*	0.360*
	N	-	370	367	349	352	354

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข19 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
RH@09T	R	-0.414*	-0.370*	-0.078*	-0.386*	-0.471*	-
	N	1,128	1,100	1,097	1,075	1,041	-
RH@10T	R	-0.382*	-0.268*	-0.137*	-0.300*	-0.338*	-0.496*
	N	1,105	2,033	1,982	1,924	1,917	565
RH@11T	R	-0.352*	-0.281*	-0.042	-0.337*	-0.407*	-0.479*
	N	1,064	1,909	1,931	1,830	1,846	565
RH@12T	R	-0.518*	-0.384*	-0.079*	-0.457*	-0.528*	-0.593*
	N	1,163	1,982	1,968	1,939	1,896	563
RH@15T	R	-0.453*	-0.437*	-0.338*	-0.333*	-0.432*	-0.503*
	N	1,134	2,042	2,039	1,934	2,022	569
RH@59T	R	-	0.061	0.124*	0.079	0.104*	-0.118*
	N	-	564	557	534	539	539

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข20 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปรปริมาณรังสีสุททิ (NR) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
NR@09T	R	-0.266*	-0.240*	-0.147*	-0.315*	-0.185*	-
	N	1,215	1,216	1,212	1,182	1,152	-
NR@10T	R	0.029	-0.156*	-0.284*	-0.069*	-0.151*	-0.260*
	N	1,160	2,100	2,047	1,988	1,981	564
NR@11T	R	-0.062*	-0.059*	0.021	-0.122*	-0.113*	0.067
	N	1,148	1,996	2,022	1,913	1,929	545
NR@12T	R	-0.222*	-0.144*	0.080*	-0.247*	-0.253*	-0.191*
	N	1,199	2,064	2,052	2,017	1,974	560
NR@15T	R	-0.284*	-0.353*	-0.179*	-0.384*	-0.435*	-0.460*
	N	1,138	2,049	2,046	1,939	2,029	567
NR@59T	R	-	-0.130*	-0.194*	-0.187*	-0.169*	-0.232*
	N	-	592	585	561	566	563

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข21 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (GR)
ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T
GR@09T	R	0.036	0.062*	0.152*	-0.005	0.043
	N	1,206	1,209	1,205	1,177	1,145
GR@10T	R	0.035	-0.044*	-0.135*	-0.014	-0.053*
	N	1,118	2,059	2,006	1,949	1,940
GR@11T	R	-0.090*	-0.080*	0.060*	-0.175*	-0.148*
	N	1,189	2,080	2,106	1,988	2,012
GR@12T	R	0.003	0.069*	0.170*	0.018	-0.016
	N	1,186	2,059	2,044	2,005	1,962
GR@15T	R	-0.216*	-0.264*	-0.043	-0.342*	-0.391*
	N	1,140	2,054	2,051	1,944	2,034

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ ข22 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM_{10} กับตัวแปรความเร็วลม (WS) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
WS@09T	R	-0.137*	-0.248*	-0.303*	-0.155*	-0.242*	-
	N	1,218	1,221	1,217	1,187	1,157	-
WS@10T	R	-0.230*	-0.100*	-0.096*	-0.030	-0.030	0.104*
	N	1,144	2,083	2,029	1,971	1,964	565
WS@11T	R	-0.189*	-0.156*	-0.105*	-0.230*	-0.243*	-0.206*
	N	1,173	2,061	2,087	1,969	2,000	563
WS@12T	R	-0.123*	-0.091*	-0.118*	-0.236*	-0.092*	-0.132*
	N	1,174	2,045	2,030	2,007	1,948	563
WS@15T	R	-0.312*	-0.078*	0.082*	-0.168*	-0.269*	0.211*
	N	1,013	1,908	1,908	1,821	1,888	569
WS@59T	R	-	-0.502*	-0.525*	-0.559*	-0.556*	-0.478*
	N	-	589	582	559	563	563

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ ข23 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร PM₁₀ กับตัวแปรวันที่มีฝนตก (RA) ในพื้นที่กรุงเทพฯ

ตัวแปร		PM10@09T	PM10@10T	PM10@11T	PM10@12T	PM10@15T	PM10@59T
RA@09T	R	-0.234*	-0.262*	-0.235*	-0.198*	-0.215*	-
	N	1,220	1,226	1,222	1,192	1,162	-
RA@10T	R	-0.191*	-0.297*	-0.317*	-0.217*	-0.234*	-0.319*
	N	1,162	2,103	2,049	1,978	1,984	565
RA@11T	R	-0.224*	-0.297*	-0.280*	-0.219*	-0.230*	-0.322*
	N	1,190	2,079	2,105	1,987	2,011	562
RA@12T	R	-0.243*	-0.287*	-0.257*	-0.220*	-0.222*	-0.300*
	N	1,219	2,100	2,085	2,045	2,003	563
RA@15T	R	-0.262*	-0.305*	-0.258*	-0.226*	-0.211*	-0.263*
	N	1,129	2,045	2,040	1,933	2,023	569
RA@59T	R	-	-0.311*	-0.312*	-0.235*	-0.255*	-0.174*
	N	-	594	587	563	568	564

หมายเหตุ * หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

ภาคผนวก ค

แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว
จากสถานีเดียวกัน

ตารางที่ ๑1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีคลองจั่น (10T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	10T-10T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & -206.104 + 1.112(\text{NO}_2@10T) \\ & + 0.487(\text{O}_3@10T) + 6.858(\text{CO}@10T) \\ & + 0.315(\text{P}@10T) - 0.856(\text{T}@10T) \\ & - 4.891(\text{RA}@10T) - 4.229(\text{Rain}) \end{aligned}$	1710	0.652	10.773	0.00	0.97	ทุกฤดู	358	0.776	0.000	10.730
								ฤดูหนาว	113	0.805	0.000	11.318
								ฤดูร้อน	85	0.444	0.000	11.881
								ฤดูฝน	160	0.598	0.000	9.077
ฤดูหนาว	10T-10T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & -1099.895 + 1.480(\text{NO}_2@10T) \\ & + 0.470(\text{O}_3@10T) - 9.040(\text{CO}@10T) \\ & + 1.457(\text{P}@10T) - 0.033(\text{GR}@10T) \\ & - 6.564(\text{RA}@10T) \end{aligned}$	500	0.725	11.279	-0.02	0.98	ฤดูหนาว	110	0.799	0.000	11.961
ฤดูร้อน	10T-10T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & 114.349 + 0.406(\text{NO}_2@10T) \\ & + 0.719(\text{O}_3@10T) + 4.745(\text{CO}@10T) \\ & - 3.431(\text{T}@10T) + 0.038(\text{NR}@10T) \\ & - 7.897(\text{RA}@10T) \end{aligned}$	418	0.380	11.092	-0.03	0.93	ฤดูร้อน	91	0.673	0.000	9.585
ฤดูฝน	10T-10T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & -28.519 + 0.448(\text{NO}_2@10T) \\ & + 4.438(\text{CO}@10T) + 1.431(\text{T}@10T) \\ & + 0.147(\text{RH}@10T) - 3.375(\text{WS}@10T) \end{aligned}$	755	0.236	7.622	0.00	1.01	ฤดูฝน	162	0.297	0.000	10.938

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 10T-10T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ค2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง (11T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	11T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & 0.973(\text{NO}_2@11T) + 11.085(\text{CO}@11T) \\ & + 0.081(\text{RH}@11T) - 0.098(\text{NR}@11T) \\ & + 0.124(\text{GR}@11T) - 4.868(\text{RA}@11T) \\ & + 3.348(\text{Winter}) - 4.173(\text{Rain}) \end{aligned}$	1698	0.592	11.349	-0.10	0.96	ทุกฤดู	325	0.766	0.000	10.532
								ฤดูหนาว	94	0.783	0.000	11.079
								ฤดูร้อน	82	0.685	0.000	11.028
								ฤดูฝน	149	0.618	0.000	9.880
ฤดูหนาว	11T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -16.363 + 0.750(\text{NO}_2@11T) \\ & + 0.646(\text{O}_3@11T) + 18.633(\text{CO}@11T) \\ & - 0.487(\text{T}@11T) + 0.170(\text{RH}@11T) \\ & - 0.149(\text{NR}@11T) + 0.275(\text{GR}@11T) \end{aligned}$	494	0.661	11.931	-0.08	1.01	ฤดูหนาว	102	0.829	0.000	10.255
ฤดูร้อน	11T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -17.522 + 1.337(\text{NO}_2@11T) \\ & - 0.281(\text{SO}_2@11T) + 0.323(\text{RH}@11T) \\ & - 0.180(\text{NR}@11T) + 0.125(\text{GR}@11T) \\ & + 4.477(\text{WS}@11T) - 7.418(\text{RA}@11T) \end{aligned}$	388	0.562	10.607	-0.04	0.97	ฤดูร้อน	80	0.744	0.000	10.288
ฤดูฝน	11T-11T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -32.462 + 0.517(\text{NO}_2@11T) \\ & + 9.935(\text{CO}@11T) + 0.296(\text{SO}_2@11T) \\ & + 1.787(\text{T}@11T) - 2.884(\text{WS}@11T) \end{aligned}$	791	0.402	9.005	0.02	0.97	ฤดูฝน	186	0.649	0.000	11.045

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 11T-11T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ค3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนนทบุรี (12T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	12T-12T	$PM_{10@12T} = 651.342 + 1.187(NO_{2@12T})$ $+ 0.191(O_{3@12T}) + 3.585(CO@12T)$ $+ 0.459(SO_{2@12T}) - 0.742(P@12T) - 1.750(T@12T)$ $- 0.348(RH@12T) + 0.038(GR@12T) - 3.359(WS@12T)$	1649	0.661	12.424	-0.04	0.91	ทุกฤดู	308	0.819	0.000	12.538
								ฤดูหนาว	74	0.806	0.000	14.874
								ฤดูร้อน	90	0.625	0.000	11.062
								ฤดูฝน	144	0.790	0.000	10.033
ฤดูหนาว	12T-12T	$PM_{10@12T} = 3529.933 + 1.278(NO_{2@12T})$ $+ 0.506(O_{3@12T}) + 7.962(CO@12T)$ $+ 1.100(SO_{2@12T}) - 4.554(P@12T) - 1.968(T@12T)$ $- 0.374(RH@12T) + 0.061(GR@12T)$	475	0.656	14.841	-0.14	0.89	ฤดูหนาว	84	0.818	0.000	14.199
ฤดูร้อน	12T-12T	$PM_{10@12T} = 98.386 + 1.077(NO_{2@12T})$ $+ 0.258(SO_{2@12T}) - 0.324(RH@12T) - 2.028(T@12T)$ $+ 0.043(NR@12T) + 0.029(GR@12T)$	393	0.570	10.396	-0.05	0.90	ฤดูร้อน	89	0.709	0.000	10.081
ฤดูฝน	12T-12T	$PM_{10@12T} = -1020.531 + 1.069(NO_{2@12T})$ $- 2.808(CO@12T) + 0.415(SO_{2@12T})$ $+ 1.512(P@12T) - 2.044(T@12T) - 0.465(RH@12T)$ $- 2.892(WS@12T)$	757	0.598	8.958	0.03	1.02	ฤดูฝน	167	0.795	0.000	10.526

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 12T-12T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ค4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีสิงหราช (15T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	15T-15T	$\begin{aligned} \text{PM10@15T} = & - 60.349 + 1.943(\text{NO2@15T}) \\ & + 0.513(\text{O3@15T}) - 8.874(\text{CO@15T}) \\ & + 2.455(\text{T@15T}) + 2.362(\text{RA@15T}) \end{aligned}$	1623	0.736	12.339	0.02	1.01	ทุกฤดู	352	0.844	0.000	13.768
								ฤดูหนาว	106	0.789	0.000	18.723
								ฤดูร้อน	71	0.665	0.000	11.645
								ฤดูฝน	175	0.794	0.000	11.540
ฤดูหนาว	15T-15T	$\begin{aligned} \text{PM10@15T} = & - 482.443 + 1.793(\text{NO2@15T}) \\ & + 0.632(\text{O3@15T}) - 7.202(\text{CO@15T}) \\ & + 0.598(\text{P@15T}) + 1.872(\text{T@15T}) \\ & - 0.312(\text{NR@15T}) + 0.245(\text{GR@15T}) \\ & - 14.144(\text{WS@15T}) \end{aligned}$	476	0.750	14.967	-0.03	1.01	ฤดูหนาว	105	0.848	0.000	16.297
ฤดูร้อน	15T-15T	$\begin{aligned} \text{PM10@15T} = & - 81.683 + 1.680(\text{NO2@15T}) \\ & + 0.840(\text{O3@15T}) - 8.933(\text{CO@15T}) \\ & + 1.986(\text{T@15T}) + 0.441(\text{RH@15T}) \end{aligned}$	378	0.556	12.135	-0.03	0.91	ฤดูร้อน	80	0.776	0.000	10.134
ฤดูฝน	15T-15T	$\begin{aligned} \text{PM10@15T} = & - 74.053 + 1.861(\text{NO2@15T}) \\ & - 5.136(\text{CO@15T}) + 3.071(\text{T@15T}) \\ & + 3.309(\text{RA@15T}) \end{aligned}$	763	0.563	10.281	0.00	0.99	ฤดูฝน	190	0.798	0.000	12.265

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 15T-15T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ค5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	59T-59T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & -1099.319 + 1.718(\text{NO2@59T}) \\ & + 2.237(\text{SO2@59T}) + 1.359(\text{P@59T}) \\ & + 2.733(\text{T@59T}) - 8.054(\text{WS@59T}) \\ & - 4.691(\text{RA@59T}) \end{aligned}$	443	0.622	14.587	0.11	0.99	ทุกฤดู	64	0.763	0.000	14.699
								ฤดูหนาว	20	0.694	0.000	20.202
								ฤดูร้อน	6	0.435	0.194	20.081
								ฤดูฝน	38	0.694	0.000	9.646
ฤดูหนาว	59T-59T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & -10443.6 + 1.635(\text{NO2@59T}) \\ & + 6.659(\text{SO2@59T}) + 13.713(\text{P@59T}) \end{aligned}$	118	0.765	13.840	0.28	1.04	ฤดูหนาว	16	0.897	0.000	14.357
ฤดูร้อน	59T-59T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & -9055.495 + 2.874(\text{SO2@59T}) \\ & + 11.959(\text{P@59T}) \end{aligned}$	80	0.570	13.805	0.08	1.21	ฤดูร้อน	7	0.668	0.101	7.209
ฤดูฝน	59T-59T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & -570.743 + 0.581(\text{NO2@59T}) \\ & + 14.409(\text{CO@59T}) + 0.665(\text{P@59T}) \\ & + 3.377(\text{T@59T}) - 8.120(\text{WS@59T}) \end{aligned}$	259	0.400	10.827	-0.11	0.72	ฤดูฝน	38	0.668	0.000	11.833

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 59T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๑๖ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนครราชสีมา (47T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	47T-47T	$PM_{10@47T} = 755.876 + 2.395(NO_{2@47T}) + 0.471(O_{3@47T}) + 12.412(CO@47T) - 0.906(P@47T) - 0.783(RH@47T) + 0.203(NR@47T) - 0.161(GR@47T) - 6.534(WS@47T) + 12.261(Winter) + 4.488(Rain)$	1225	0.666	17.142	0.02	1.02	ทุกฤดู	269	0.738	0.000	22.006
								ฤดูหนาว	83	0.701	0.000	26.338
								ฤดูร้อน	62	0.715	0.000	21.012
								ฤดูฝน	124	0.519	0.000	19.341
ฤดูหนาว	47T-47T	$PM_{10@47T} = 85.407 + 2.316(NO_{2@47T}) + 0.630(O_{3@47T}) + 14.044(CO@47T) + 1.875(SO_{2@47T}) - 0.978(RH@47T) - 10.221(WS@47T) + 15.166(RA@47T)$	384	0.581	22.280	-0.09	1.00	ฤดูหนาว	68	0.732	0.000	26.231
ฤดูร้อน	47T-47T	$PM_{10@47T} = -795.217 + 2.846(NO_{2@47T}) - 1.781(SO_{2@47T}) + 1.170(P@47T) - 0.394(RH@47T) - 0.097(GR@47T)$	305	0.576	15.625	0.11	1.01	ฤดูร้อน	36	0.749	0.000	13.715
ฤดูฝน	47T-47T	$PM_{10@47T} = 539.279 + 1.463(NO_{2@47T}) + 9.984(CO@47T) - 0.627(P@47T) - 0.639(RH@47T) - 4.156(WS@47T)$	552	0.312	13.062	0.04	0.94	ฤดูฝน	135	0.734	0.000	15.171

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 47T-47T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ภาคผนวก ง

แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว
จากต่างสถานี

ตารางที่ 31 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีรามคำแหง (09T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	09T-10T	$\begin{aligned} \text{PM10@09T} = & -118.701 + 0.953(\text{PM10@10T}) \\ & + 0.168(\text{O3@10T}) + 0.157(\text{P@10T}) \\ & + 0.034(\text{NR@10T}) + 1.911(\text{RA@10T}) \end{aligned}$	977	0.904	5.863	0.09	0.99	ทุกฤดู	204	0.929	0.000	6.218
								ฤดูหนาว	56	0.957	0.000	5.120
								ฤดูร้อน	54	0.893	0.000	6.669
								ฤดูฝน	94	0.872	0.000	6.559
ฤดูหนาว	09T-10T	$\begin{aligned} \text{PM10@09T} = & -1140.695 + 1.053(\text{PM10@10T}) \\ & - 0.526(\text{NO2@10T}) + 4.815(\text{CO@10T}) \\ & + 0.443(\text{SO2@10T}) + 1.492(\text{P@10T}) \\ & + 0.622(\text{T@10T}) \end{aligned}$	280	0.967	4.021	0.28	1.34	ฤดูหนาว	52	0.968	0.000	4.783
ฤดูร้อน	09T-12T	$\begin{aligned} \text{PM10@09T} = & -1097.380 + 0.713(\text{PM10@12T}) \\ & + 0.540(\text{O3@12T}) + 1.487(\text{P@12T}) \\ & - 0.338(\text{RH@12T}) + 5.152(\text{WS@12T}) \end{aligned}$	281	0.885	5.076	-0.12	1.15	ฤดูร้อน	52	0.853	0.000	6.834
ฤดูฝน	09T-12T	$\begin{aligned} \text{PM10@09T} = & 18.219 + 0.958(\text{PM10@12T}) \\ & - 0.459(\text{NO2@12T}) + 0.604(\text{O3@12T}) \\ & - 4.525(\text{CO@12T}) - 0.193(\text{SO2@12T}) \\ & - 0.124(\text{RH@12T}) \end{aligned}$	419	0.848	5.099	-0.07	1.11	ฤดูฝน	79	0.763	0.000	8.293

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 09T-10T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 09T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๒ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีคลองจั่น (10T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	10T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & -13.088 + 0.635(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 5.355(\text{CO@59T}) + 0.219(\text{RH@59T}) \\ & + 0.037(\text{NR@59T}) - 3.693(\text{RA@59T}) \end{aligned}$	488	0.884	5.859	-0.26	0.93	ทุกฤดู	107	0.906	0.000	6.348
								ฤดูหนาว	33	0.934	0.000	5.925
								ฤดูร้อน	19	0.848	0.000	8.587
								ฤดูฝน	55	0.877	0.000	5.031
ฤดูหนาว	10T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & 46.216 + 0.679(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 8.623(\text{CO@59T}) + 0.455(\text{RH@59T}) \\ & + 0.125(\text{NR@59T}) \end{aligned}$	139	0.921	5.380	-0.41	1.15	ฤดูหนาว	26	0.958	0.000	5.884
ฤดูร้อน	10T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & -1185.661 + 0.752(\text{PM}_{10@12T}) \\ & + 0.537(\text{O}_3@12T) - 3.696(\text{CO@12T}) \\ & + 0.207(\text{SO}_2@12T) + 1.542(\text{P@12T}) \\ & + 0.113(\text{RH@12T}) + 5.673(\text{WS@12T}) \end{aligned}$	415	0.824	6.512	-0.16	0.96	ฤดูร้อน	87	0.859	0.000	6.629
ฤดูฝน	10T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@10T} = & -50.300 + 0.642(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 1.321(\text{T@59T}) + 0.246(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	265	0.865	4.648	-0.10	0.96	ฤดูฝน	56	0.922	0.000	4.733

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 10T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง (11T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -5.831 + 0.599(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 6.240(\text{CO@59T}) + 0.351(\text{RH@59T}) \\ & - 3.765(\text{RA@59T}) - 6.792(\text{Winter}) \\ & - 4.731(\text{Rain}) \end{aligned}$	478	0.897	5.178	-0.33	0.98	ทุกฤดู	106	0.945	0.000	4.740
								ฤดูหนาว	33	0.941	0.000	5.427
								ฤดูร้อน	18	0.968	0.000	3.658
								ฤดูฝน	55	0.915	0.000	4.513
ฤดูหนาว	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & 2416.797 + 0.603(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 9.735(\text{CO@59T}) - 3.174(\text{P@59T}) \\ & - 1.165(\text{T@59T}) + 0.356(\text{RH@59T}) \\ & + 0.135(\text{NR@59T}) \end{aligned}$	138	0.950	3.812	-0.51	1.41	ฤดูหนาว	16	0.943	0.000	5.916
ฤดูร้อน	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -21.692 + 0.728(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 0.497(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	92	0.815	6.418	-0.55	1.18	ฤดูร้อน	15	0.807	0.000	5.146
ฤดูฝน	11T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@11T} = & -45.849 + 0.629(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 1.146(\text{T@59T}) + 0.359(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	268	0.821	5.688	-0.11	0.96	ฤดูฝน	55	0.958	0.000	3.555

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 11T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนนทรี (12T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & -20.840 + 0.939(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 4.865(\text{CO@59T}) + 0.306(\text{RH@59T}) \\ & + 0.047(\text{NR@59T}) - 3.472(\text{WS@59T}) \\ & + 4.130(\text{Winter}) + 5.703(\text{Rain}) \end{aligned}$	459	0.890	8.191	-0.15	0.92	ทุกฤดู	103	0.920	0.000	8.497
								ฤดูหนาว	28	0.876	0.000	13.282
								ฤดูร้อน	19	0.956	0.000	4.735
								ฤดูฝน	56	0.938	0.000	5.445
ฤดูหนาว	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & 8489.694 + 1.192(\text{PM}_{10@59T}) \\ & - 11.255(\text{P@59T}) + 0.626(\text{RH@59T}) \\ & + 0.205(\text{NR@59T}) \end{aligned}$	117	0.918	8.973	-0.48	1.56	ฤดูหนาว	13	0.919	0.000	12.853
ฤดูร้อน	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & 13.686 + 0.553(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 0.535(\text{NO}_2@59T) \end{aligned}$	93	0.859	5.427	-0.09	0.96	ฤดูร้อน	14	0.876	0.000	3.577
ฤดูฝน	12T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10@12T} = & -18.687 + 0.981(\text{PM}_{10@59T}) \\ & + 0.371(\text{RH@59T}) \end{aligned}$	268	0.880	6.459	-0.11	1.04	ฤดูฝน	56	0.942	0.000	6.827

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 12T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีสิงหราช (15T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	15T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@15\text{T} = & -76.933 + 1.025(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 1.843(\text{T}@59\text{T}) + 0.309(\text{RH}@59\text{T}) \\ & - 5.206(\text{WS}@59\text{T}) + 10.009(\text{Winter}) \\ & + 11.60(\text{Rain}) \end{aligned}$	459	0.875	9.422	-0.15	0.90	ทุกฤดู	108	0.899	0.000	9.973
								ฤดูหนาว	30	0.881	0.000	12.515
								ฤดูร้อน	21	0.931	0.000	5.765
								ฤดูฝน	57	0.874	0.000	9.408
ฤดูหนาว	15T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@15\text{T} = & 5071.124 + 1.194(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & - 4.280(\text{SO}_2@59\text{T}) - 6.710(\text{P}@59\text{T}) \\ & + 0.480(\text{RH}@59\text{T}) + 0.219(\text{NR}@59\text{T}) \\ & - 20.523(\text{WS}@59\text{T}) - 8.941(\text{RA}@59\text{T}) \end{aligned}$	115	0.908	9.446	-0.53	1.29	ฤดูหนาว	22	0.693	0.000	22.603
ฤดูร้อน	15T-12T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@15\text{T} = & -22.854 + 0.962(\text{PM}_{10}@12\text{T}) \\ & + 0.784(\text{O}_3@12\text{T}) + 3.668(\text{CO}@12\text{T}) \\ & - 0.020(\text{GR}@12\text{T}) + 11.111(\text{WS}@12\text{T}) \\ & + 2.640(\text{RA}@12\text{T}) \end{aligned}$	378	0.841	7.690	-0.32	1.15	ฤดูร้อน	87	0.837	0.000	8.785
ฤดูฝน	15T-59T	$\begin{aligned} \text{PM}_{10}@15\text{T} = & - 44.299 + 1.165(\text{PM}_{10}@59\text{T}) \\ & + 1.606(\text{T}@59\text{T}) \end{aligned}$	269	0.822	9.180	-0.04	1.00	ฤดูฝน	62	0.870	0.000	10.810

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 15T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	59T-11T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & -889.150 + 1.130(\text{PM10@11T}) \\ & + 0.158(\text{NO2@11T}) + 0.545(\text{O3@11T}) \\ & + 1.195(\text{P@11T}) - 0.436(\text{RH@11T}) \\ & + 0.154(\text{NR@11T}) - 0.176(\text{GR@11T}) \\ & + 4.861(\text{WS@11T}) + 2.104(\text{RA@11T}) \\ & + 3.670(\text{Rain}) \end{aligned}$	431	0.930	6.263	0.30	1.18	ทุกฤดู	106	0.918	0.000	8.972
								ฤดูหนาว	31	0.918	0.000	11.008
								ฤดูร้อน	20	0.972	0.000	4.823
								ฤดูฝน	55	0.869	0.000	6.590
ฤดูหนาว	59T-11T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & 44.111 + 1.406(\text{PM10@11T}) \\ & + 0.903(\text{O3@11T}) - 5.157(\text{CO@11T}) \\ & - 0.363(\text{SO2@11T}) - 0.541(\text{RH@11T}) \\ & + 0.566(\text{NR@11T}) - 0.637(\text{GR@11T}) \end{aligned}$	118	0.956	5.981	0.70	1.59	ฤดูหนาว	21	0.953	0.000	9.740
ฤดูร้อน	59T-11T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & 62.185 + 1.103(\text{PM10@11T}) \\ & - 1.029(\text{RH@11T}) \end{aligned}$	76	0.873	7.459	0.47	1.35	ฤดูร้อน	15	0.669	0.006	6.820
ฤดูฝน	59T-12T	$\begin{aligned} \text{PM10@59T} = & -44.859 + 0.645(\text{PM10@12T}) \\ & + 0.577(\text{NO2@12T}) + 1.252(\text{T@12T}) \\ & + 3.121(\text{WS@12T}) \end{aligned}$	265	0.863	5.847	0.06	0.99	ฤดูฝน	62	0.904	0.000	6.764

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 59T-11T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว
โรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	MST-47T	PM10@MST = 0.438(PM10@47T) + 2.305(NO2@47T)	30	0.748	12.359	-0.40	1.00	ทุกฤดู	6	0.990	0.000	5.487
								ฤดูหนาว	3	0.997	0.046	4.488
								ฤดูร้อน	-	-	-	-
								ฤดูฝน	2	0.999	0.026	1.515
ฤดูหนาว	MST-47T	PM10@MST = 24.512 + 0.487(PM10@47T)	18	0.575	13.575	0.00	0.97	ฤดูหนาว	4	0.817	0.182	31.563
ฤดูร้อน	MST-47T	ไม่มีสมการ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ฤดูฝน	MST-47T	PM10@MST = 22.021 + 0.517(PM10@47T)	12	0.519	8.406	0.00	0.95	ฤดูฝน	3	0.999	0.021	1.246

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น MST-47T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี MST เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว
โรงเรียนอุบลรัตน์ (UST)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	UST-47T	$PM_{10}@UST = 0.355(PM_{10}@47T) + 4.512(NO_2@47T)$	27	0.742	16.375	0.03	0.91	ทุกฤดู	6	0.917	0.010	14.240
								ฤดูหนาว	4	0.819	0.180	19.570
								ฤดูร้อน	-	-	-	-
								ฤดูฝน	2	1.000	0.000	0.000
ฤดูหนาว	UST-47T	$PM_{10}@UST = 38.674 + 0.618(PM_{10}@47T)$	18	0.505	19.568	0.00	0.97	ฤดูหนาว	4	0.707	0.292	26.932
ฤดูร้อน	UST-47T	ไม่มีสมการ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ฤดูฝน	UST-47T	$PM_{10}@UST = 0.509(PM_{10}@47T)$	9	0.419	8.811	0.00	0.94	ฤดูฝน	3	0.804	0.406	12.503

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น UST-47T หมายถึง PM_{10} ของสถานี UST เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ภาคผนวก จ

แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว
จากสถานีเดียวกัน

ตารางที่ จ1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีคลองจั่น (10T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	10T-10T	PM10@10T = 8.124 + 1.679(NO2@10T)	1634	0.560	12.098	-0.01	0.97	ทุกฤดู	381	0.652	0.000	12.911
								ฤดูหนาว	115	0.739	0.000	12.856
								ฤดูร้อน	92	0.292	0.004	12.674
								ฤดูฝน	174	0.508	0.000	9.756
ฤดูหนาว	10T-10T	PM10@10T = 6.360 + 1.916(NO2@10T)	477	0.675	12.440	-0.08	0.96	ฤดูหนาว	124	0.828	0.000	11.166
ฤดูร้อน	10T-10T	PM10@10T = 21.808 + 1.032(NO2@10T)	383	0.257	10.790	0.04	0.99	ฤดูร้อน	96	0.370	0.000	12.036
ฤดูฝน	10T-10T	PM10@10T = 21.300 + 0.663(NO2@10T)	727	0.162	8.055	0.01	1.01	ฤดูฝน	184	0.334	0.000	10.792

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 10T-10T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ จ2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง (11T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	11T-11T	PM10@11T = 15.156 + 1.124(NO2@11T)	1623	0.406	12.916	-0.02	0.99	ทุกฤดู	374	0.595	0.000	13.151
								ฤดูหนาว	101	0.543	0.000	14.950
								ฤดูร้อน	88	0.613	0.000	11.950
								ฤดูฝน	185	0.474	0.000	11.056
ฤดูหนาว	11T-11T	PM10@11T = 24.159 + 1.025(NO2@11T)	465	0.341	16.353	-0.06	1.00	ฤดูหนาว	117	0.655	0.000	13.853
ฤดูร้อน	11T-11T	PM10@11T = 15.977 + 1.199(NO2@11T)	376	0.375	13.040	-0.03	1.01	ฤดูร้อน	94	0.598	0.000	12.326
ฤดูฝน	11T-11T	PM10@11T = 20.923 + 0.764(NO2@11T)	752	0.239	9.442	0.00	1.00	ฤดูฝน	195	0.504	0.000	12.529

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 11T-11T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๑3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนนทรี (12T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	12T-12T	PM10@12T = 14.818 + 1.441(NO2@12T)	1560	0.612	12.761	-0.02	0.94	ทุกฤดู	371	0.746	0.000	14.531
								ฤดูหนาว	101	0.641	0.000	19.240
								ฤดูร้อน	97	0.583	0.000	11.506
								ฤดูฝน	173	0.696	0.000	11.734
ฤดูหนาว	12T-12T	PM10@12T = 7.630 + 1.696(NO2@12T)	446	0.508	17.499	-0.10	0.91	ฤดูหนาว	106	0.709	0.000	17.367
ฤดูร้อน	12T-12T	PM10@12T = 24.464 + 0.994(NO2@12T)	384	0.441	10.418	-0.03	1.00	ฤดูร้อน	94	0.687	0.000	10.507
ฤดูฝน	12T-12T	PM10@12T = 20.006 + 1.205(NO2@12T)	723	0.397	10.604	0.03	0.97	ฤดูฝน	180	0.685	0.000	12.645

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 12T-12T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๑4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีสิงหราช (15T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	15T-15T	PM10@15T = 20.304 + 1.616(NO2@15T)	1599	0.661	14.173	0.04	1.00	ทุกฤดู	369	0.834	0.000	14.167
								ฤดูหนาว	108	0.815	0.000	17.650
								ฤดูร้อน	84	0.635	0.000	12.023
								ฤดูฝน	177	0.758	0.000	12.388
ฤดูหนาว	15T-15T	PM10@15T = 12.535 + 1.918(NO2@15T)	468	0.655	17.491	0.00	1.00	ฤดูหนาว	114	0.805	0.000	18.268
ฤดูร้อน	15T-15T	PM10@15T = 28.211 + 1.343(NO2@15T)	358	0.406	13.683	0.00	0.95	ฤดูร้อน	92	0.646	0.000	12.271
ฤดูฝน	15T-15T	PM10@15T = 20.972 + 1.450(NO2@15T)	746	0.451	10.874	0.00	1.00	ฤดูฝน	190	0.751	0.000	13.445

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 15T-15T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๖5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	59T-59T	PM10@59T = 5.025 + 1.905(NO2@59T)	422	0.558	15.481	0.08	1.00	ทุกฤดู	119	0.644	0.000	17.319
								ฤดูหนาว	35	0.647	0.000	21.150
								ฤดูร้อน	19	0.159	0.516	20.263
								ฤดูฝน	65	0.350	0.004	12.480
ฤดูหนาว	59T-59T	PM10@59T = 2.096(NO2@59T)	114	0.627	16.953	0.17	1.01	ฤดูหนาว	26	0.738	0.000	21.607
ฤดูร้อน	59T-59T	PM10@59T = 22.462 + 1.229(NO2@59T)	64	0.139	17.942	-0.17	0.72	ฤดูร้อน	14	0.340	0.236	8.656
ฤดูฝน	59T-59T	PM10@59T = 20.740 + 0.813(NO2@59T)	251	0.167	9.708	0.00	1.00	ฤดูฝน	64	0.356	0.004	14.776

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 59T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๖6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากสถานีเดียวกัน สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนครราชสีมา (47T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	47T-47T	PM10@47T = 9.294 + 3.873(NO2@47T)	1205	0.514	21.022	-0.03	1.00	ทุกฤดู	336	0.714	0.000	22.839
								ฤดูหนาว	101	0.633	0.000	28.549
								ฤดูร้อน	76	0.813	0.000	17.487
								ฤดูฝน	159	0.343	0.000	21.234
ฤดูหนาว	47T-47T	PM10@47T = 15.134 + 3.747(NO2@47T)	378	0.386	27.486	-0.05	1.01	ฤดูหนาว	101	0.628	0.000	29.880
ฤดูร้อน	47T-47T	PM10@47T = 15.173 + 3.369(NO2@47T)	298	0.505	17.215	-0.01	1.00	ฤดูร้อน	58	0.606	0.000	16.384
ฤดูฝน	47T-47T	PM10@47T = 25.316 + 1.221(NO2@47T)	537	0.049	14.970	-0.02	0.96	ฤดูฝน	154	0.183	0.022	17.004

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 47T-47T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ภาคผนวก ฉ

แบบจำลองกรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียว
จากต่างสถานี

ตารางที่ ๑1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีรามคำแหง (09T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	09T-10T	PM10@09T = 6.835 + 0.969(PM10@10T)	936	0.889	6.327	0.08	1.00	ทุกฤดู	220	0.917	0.000	6.724
								ฤดูหนาว	56	0.958	0.000	5.037
								ฤดูร้อน	59	0.876	0.000	7.157
								ฤดูฝน	105	0.840	0.000	7.269
ฤดูหนาว	09T-10T	PM10@09T = 6.601 + 0.961(PM10@10T)	273	0.947	5.118	0.23	1.02	ฤดูหนาว	57	0.963	0.000	5.149
ฤดูร้อน	09T-12T	PM10@09T = 0.858(PM10@12T)	253	0.778	7.058	-0.10	0.98	ฤดูร้อน	54	0.869	0.000	6.466
ฤดูฝน	09T-12T	PM10@09T = 4.993 + 0.819(PM10@12T)	400	0.729	6.715	-0.02	1.00	ฤดูฝน	106	0.762	0.000	8.288

หมายเหตุ ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 09T-10T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 09T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๑๒ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีคลองจั่น (10T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	10T-59T	PM10@10T = 7.934 + 0.646(PM10@59T)	442	0.839	6.905	-0.21	0.96	ทุกฤดู	120	0.882	0.000	7.059
								ฤดูหนาว	35	0.894	0.000	7.388
								ฤดูร้อน	21	0.853	0.000	8.428
								ฤดูฝน	64	0.811	0.000	6.126
ฤดูหนาว	10T-59T	PM10@10T = 9.910 + 0.608(PM10@59T)	118	0.825	7.993	-0.31	0.94	ฤดูหนาว	26	0.950	0.000	6.459
ฤดูร้อน	10T-12T	PM10@10T = 0.753(PM10@12T)	379	0.714	7.672	-0.14	0.94	ฤดูร้อน	94	0.803	0.000	7.712
ฤดูฝน	10T-59T	PM10@10T = 4.978 + 0.702(PM10@59T)	262	0.795	5.918	-0.03	1.00	ฤดูฝน	63	0.872	0.000	6.003

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 10T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 10T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๓3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีห้วยขวาง (11T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	11T-59T	PM10@11T = 17.322 + 0.601(PM10@59T)	434	0.806	7.206	-0.27	0.95	ทุกฤดู	119	0.904	0.000	6.181
								ฤดูหนาว	35	0.924	0.000	6.095
								ฤดูร้อน	20	0.978	0.000	3.011
								ฤดูฝน	64	0.824	0.000	6.324
ฤดูหนาว	11T-59T	PM10@11T = 18.256 + 0.555(PM10@59T)	117	0.857	6.471	-0.32	0.94	ฤดูหนาว	26	0.933	0.000	6.315
ฤดูร้อน	11T-59T	PM10@11T = 20.984 + 0.587(PM10@59T)	76	0.684	8.377	-0.43	0.92	ฤดูร้อน	15	0.758	0.002	5.676
ฤดูฝน	11T-59T	PM10@11T = 12.912 + 0.687(PM10@59T)	259	0.747	6.652	-0.03	1.00	ฤดูฝน	62	0.866	0.000	6.164

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 11T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๓4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีนนทรี (12T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	12T-59T	PM10@12T = 10.089 + 0.961(PM10@59T)	419	0.839	9.870	-0.14	0.92	ทุกฤดู	116	0.893	0.000	9.762
								ฤดูหนาว	30	0.842	0.000	14.858
								ฤดูร้อน	21	0.948	0.000	5.126
								ฤดูฝน	65	0.893	0.000	7.049
ฤดูหนาว	12T-59T	PM10@12T = 8.598 + 1.004(PM10@59T)	98	0.809	13.710	-0.36	0.90	ฤดูหนาว	22	0.932	0.000	11.586
ฤดูร้อน	12T-59T	PM10@12T = 20.261 + 0.626(PM10@59T)	78	0.825	6.048	-0.20	1.00	ฤดูร้อน	15	0.840	0.000	4.008
ฤดูฝน	12T-59T	PM10@12T = 8.528 + 1.030(PM10@59T)	260	0.846	7.304	-0.07	1.00	ฤดูฝน	63	0.903	0.000	8.693

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 12T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 12T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๑5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีสิงหราช (15T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	15T-59T	PM10@15T = 4.762 + 1.008(PM10@59T)	419	0.794	11.887	-0.10	0.93	ทุกฤดู	116	0.839	0.000	12.389
								ฤดูหนาว	30	0.872	0.000	12.983
								ฤดูร้อน	21	0.945	0.000	5.178
								ฤดูฝน	65	0.818	0.000	11.100
ฤดูหนาว	15T-59T	PM10@15T = 0.957(PM10@59T)	98	0.754	15.394	-0.33	0.90	ฤดูหนาว	22	0.946	0.000	10.205
ฤดูร้อน	15T-12T	PM10@15T = -8.758 + 1.051(PM10@12T)	342	0.752	9.639	-0.34	0.94	ฤดูร้อน	90	0.820	0.000	9.191
ฤดูฝน	15T-59T	PM10@15T = 1.186(PM10@59T)	263	0.812	9.416	-0.03	1.00	ฤดูฝน	63	0.861	0.000	11.162

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 15T-59T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 15T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๑๖ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM₁₀ ณ สถานีกรมประชาสัมพันธ์ (59T)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	59T-11T	PM10@59T = -12.952 + 1.310(PM10@11T)	431	0.804	10.535	0.25	1.00	ทุกฤดู	119	0.904	0.000	9.661
								ฤดูหนาว	35	0.924	0.000	10.581
								ฤดูร้อน	20	0.978	0.000	4.262
								ฤดูฝน	64	0.824	0.000	7.558
ฤดูหนาว	59T-11T	PM10@59T = -18.705 + 1.546(PM10@11T)	117	0.857	10.800	0.29	1.02	ฤดูหนาว	26	0.933	0.000	11.514
ฤดูร้อน	59T-11T	PM10@59T = -11.409 + 1.187(PM10@11T)	75	0.711	11.276	0.40	1.00	ฤดูร้อน	15	0.758	0.000	5.981
ฤดูฝน	59T-12T	PM10@59T = 0.793(PM10@12T)	259	0.831	6.440	0.07	1.00	ฤดูฝน	63	0.903	0.000	6.788

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น 59T-11T หมายถึง PM₁₀ ของสถานี 59T เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 11T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๗ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว
โรงเรียนเมืองนครราชสีมา (MST)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R^2	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	MST-47T	$PM_{10}@MST = 0.636(PM_{10}@47T)$	30	0.619	15.920	-0.26	0.91	ทุกฤดู	7	0.918	0.004	7.802
								ฤดูหนาว	4	1.000	0.00	0.523
								ฤดูร้อน	-	-	-	-
								ฤดูฝน	3	0.730	0.478	11.159
ฤดูหนาว	MST-47T	$PM_{10}@MST = 24.512 + 0.487(PM_{10}@47T)$	18	0.571	13.632	0.00	0.97	ฤดูหนาว	4	0.817	0.182	31.563
ฤดูร้อน	MST-47T	ไม่มีสมการ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ฤดูฝน	MST-47T	$PM_{10}@MST = 22.021 + 0.517(PM_{10}@47T)$	12	0.519	8.406	0.00	0.95	ฤดูฝน	3	0.999	0.021	1.246

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น MST-47T หมายถึง PM_{10} ของสถานี MST เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ๘8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระตัวเดียวจากต่างสถานี สำหรับทำนาย PM_{10} ณ สถานีตรวจวัดชั่วคราว
โรงเรียนอุบลรัตน์ (UST)

กรณี	เลขที่ ¹	สมการ	N	Adjusted R ²	RMSE	St. Residual		Validation				
						Mean	S.D.	ข้อมูล ช่วงฤดู	N	Correlation		MSPR
										R	P-value	
ทุกฤดู	UST-47T	$PM_{10}@UST = 0.761(PM_{10}@47T)$	27	0.555	21.628	-0.15	0.95	ทุกฤดู	7	0.906	0.004	14.431
								ฤดูหนาว	4	0.823	0.178	19.399
								ฤดูร้อน	-	-	-	-
								ฤดูฝน	3	0.993	0.074	0.571
ฤดูหนาว	UST-47T	$PM_{10}@UST = 38.674 + 0.618(PM_{10}@47T)$	18	0.505	19.568	0.00	0.97	ฤดูหนาว	4	0.707	0.292	26.932
ฤดูร้อน	UST-47T	ไม่มีสมการ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ฤดูฝน	UST-47T	$PM_{10}@UST = 0.509(PM_{10}@47T)$	9	0.419	8.811	0.00	0.94	ฤดูฝน	3	0.804	0.406	12.503

หมายเหตุ¹ เลขที่ในตารางแสดง ชื่อสถานีของตัวแปรตาม – ชื่อของสถานีของตัวแปรอิสระ

เช่น UST-47T หมายถึง PM_{10} ของสถานี UST เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอื่น ๆ ของสถานี 47T เป็นตัวแปรอิสระ

ประวัติผู้เขียน

นายเฉลิมพล จิงตระกูลวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2519 เริ่มศึกษาชั้นประถมที่โรงเรียนเงงกวง ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5-6 ที่โรงเรียนบ้านระแงง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนศรีชมภูพิสัย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2543 โดยหลังจากสำเร็จการศึกษาได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมระดับภาคีวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา และเริ่มทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำแหน่งวิศวกรในโครงการเตาเผาขยะขนาดเล็กสำหรับชุมชน โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทด้านจราจรและขนส่งในเมืองภูมิภาคจังหวัดสระแก้ว โครงการจัดทำแผนสร้างทางจักรยานและรณรงค์การใช้จักรยาน โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง และโครงการหน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาและบริการวิชาการด้านวิศวกรรมโยธา และเป็นผู้ช่วยสอนและวิจัยสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปี พ.ศ.2546 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนและวิจัยสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และเป็นผู้ช่วยวิจัยโครงการวิจัย เรื่อง Fate of cadmium in wastewater effluents treated in construction wetland และโครงการวิจัย เรื่องสถานการณ์และการประมาณค่าระดับฝุ่นขนาดเล็กบริเวณโรงเรียนในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา และเป็นผู้ร่วมวิจัยในโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 3 โครงการ คือ โครงการวิจัย เรื่องการพัฒนามาตรฐานการออกแบบทางจักรยาน โครงการวิจัย เรื่องการศึกษาระบบการขนส่งในการผลิตและส่งออกของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง และโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนาระบบเฝ้าระวังระดับฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการเพื่อสนับสนุนการจัดการคุณภาพอากาศ

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 6 ประจำปี พ.ศ.2550 เรื่องอิทธิพลของระยะทางและฤดูกาลต่อความสามารถในการทำนายระดับ PM₁₀ ระหว่างสถานีตรวจวัดในกรุงเทพมหานคร