

การทำนายมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษในกรุงเทพมหานคร
ด้วยแบบจำลองเชิงสถิติและการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

นายนิรันดร์ คงฤทธิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-533-552-5

**PREDICTION OF AIR POLLUTANTS FROM
EXPRESSWAY IN BANGKOK USING STATISTICAL
MODELS AND MONTE CARLO SIMULATION**

Nirun Kongritti

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

Academic Year 2005

ISBN 974-533-552-5

การทำนายมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษในกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลองเชิงสถิติ
และการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



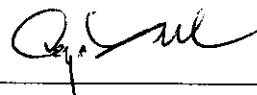
(อ. ดร. วุฒิ คำนกิตติกุล)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. สุจิต คุรุจิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร. วราวุธ เสือดี)

กรรมการ



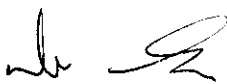
(ผศ. ดร. จงจันต์ ผลประเสริฐ)

กรรมการ



(ผศ. ดร. สมประสงค์ สัตยวุฒิ)

กรรมการ



(รศ. ดร. เสาวณีย์ รัตนพานิ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

นิรันดร์ คงฤทธิ์ : การทำนายมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษในกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลอง
เชิงสถิติและการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (PREDICTION OF AIR
POLLUTANTS FROM EXPRESSWAY IN BANGKOK USING STATISTICAL
MODELS AND MONTE CARLO SIMULATION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.สุจิตต์ กรุจิต, 186 หน้า. ISBN 974 – 533 – 552 – 5

การทำนายระดับมลพิษทางอากาศมีความสำคัญต่อการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศ
ในเมือง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติของมลพิษทางอากาศริมทางพิเศษ
ในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ CO NO₂ O₃ SO₂ PM₁₀ และ TSP กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ และพัฒนา
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติสำหรับทำนายค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจาก
ทางพิเศษโดยวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและ
ความอ่อนไหวโดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล และเสนอตัวอย่างการประยุกต์
ใช้ประโยชน์

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า มลพิษทางอากาศ มีความสัมพันธ์ในทิศทาง
เดียวกันกับตัวแปรปริมาณจราจรแต่ละประเภทเป็นส่วนใหญ่ และเป็นความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้น
สมการที่ดีที่สุดในการทำนายระดับความเข้มข้นของ CO NO₂ และ O₃ ที่ได้มีค่า R² ในช่วง 0.444-
0.797 และพบว่าตัวแปรจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษในพื้นที่ใกล้เคียงสามารถช่วย
อธิบายการเปลี่ยนแปลงของมลพิษทางอากาศริมทางพิเศษได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความ
ไม่แน่นอนและความอ่อนไหวพบว่าสมการการทำนายมลพิษ NO₂ มีความไม่แน่นอนสูงกว่าการ
ทำนาย O₃ และ CO ส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่าปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า
ของ 3 มลพิษ คือ ความเร็วรถ จำนวนรถยนต์นั่ง 4 ล้อ ระดับความเข้มข้นของ NO₂ จากสถานี
ตรวจวัดใกล้เคียง ระยะห่างจากทางพิเศษ และอุณหภูมิ

กระบวนการการพัฒนาแบบจำลองและการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถนำไปใช้
ในการศึกษามลพิษทางอากาศในโครงการทางพิเศษสายอื่นๆ หรือการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม
ของโครงการลักษณะที่ใกล้เคียงกันได้

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนักศึกษา Emt mpf

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สมชาย

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Dr. Suk

NIRUN KONGRITTI : PREDICTION OF AIR POLLUTANTS FROM EXPRESSWAY IN BANGKOK USING STATISTICAL MODELS AND MONTE CARLO SIMULATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUDJIT KARUCHIT, Ph.D. 186 PP. ISBN 974-533-552-5

AIR POLLUTANTS / EXPRESSWAY / STATISTICAL MODELS / MONTE CARLO SIMULATION

Air pollutant level prediction is necessary for planning urban air quality management. This research is a study of statistical relationship among air pollutants nearby an expressway in Bangkok, namely CO, NO₂, O₃, SO₂, PM10 and TSP, and others relevant factors. This study used regression analysis method to develop statistical models for predicting air pollutant concentration from the expressway. It further analyzed the uncertainty and sensitivity of each model via the Monte Carlo simulation and proposed application examples.

The study results show that the air pollutants correlate in the same direction with most of the traffic volume variables; and the relationships are nonlinear. The best equations for predicting the concentration of CO, NO₂, and O₃ have the coefficient of determination, R² in the range of 0.444-0.797. It was found that the variables from the adjacent Department of Pollution Control monitoring station help explaining the variance of pollutant levels near the expressway. Furthermore, the results of the uncertainty and sensitivity analysis indicate that the NO₂ prediction models have higher uncertainty than the prediction models of O₃ and CO. The sensitivity analysis identifies the co-factors that have high influence on the prediction of three pollutants;

they are: vehicle speed, number of car, NO₂ concentration from nearby monitoring station, distance from the expressway, and temperature.

The process of model development and analysis of this study can be used in other expressway pollutant studies or environmental impact assessment of similar projects.

School of Environmental Engineering

Academic Year 2005

Student's Signature N. Kunguithi

Advisor's Signature [Signature]

Co-advisor's Signature Wend Gwadee

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วุฒิ ด้านกิตติคุณ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ สัตย์มัลลิก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ เสือดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุรุจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความเมตตาและเสียสละเวลาในการสั่งสอนให้ความรู้และคำปรึกษาในการศึกษาจัดทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์ ที่ได้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

- คุณเผชิญ ไพโรจน์ศักดิ์ ผู้ว่าการการทางพิเศษแห่งประเทศไทย คุณสินธพ สิริสิงห รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ที่กรุณาอนุญาตให้ลาศึกษาต่อในครั้งนี้ ตลอดจนผู้บริหาร ผู้บังคับบัญชา และเพื่อนพนักงาน/ลูกจ้างกองวางแผนและวิเคราะห์โครงการ ฝ่ายนโยบายและแผน ที่เป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอดโดยเฉพาะ คุณอัญชติ ฤกษ์นันท์ คุณจุฑามาศ เย็นสุดใจ คุณณัฐยา วานิชสมบัติ คุณรัชดาพร พิระพจนารถ คุณณัฐนันท์ เบ็ญจสิงห์ คุณวุฒิเลิศ มณีจันทร์ และคุณพรพิมล พุ่มพวง

- คุณบรรณภัทร คุณพวงพริ้ม วิริยะ คุณปิยะมาศ สุรภพพิศิษฐ์ ดร.ไกรชาติ ดันตระการอากาศ ดร.บุษกร ทองใบ และเพื่อนบัณฑิตศึกษาศาสาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

- ดร. ภูริภัท คุณวัชร ว่องพิพัฒนานนท์ คุณพรทิพย์ พงศ์พัชราดร.พันธุ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก ดร.จันทวรรณ วรรณนะพงษ์ และผศ. สุคจยา ฤทธิศร เพื่อนนิสิตปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

- ครอบครัววงฤทธิ์ ครอบครัวจิวจินานนท์ ครอบครัววิริยะ และครอบครัวบุญเหมือน ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ได้ให้การเลี้ยงดู อบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี รวมทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

นิรันดร์ คงฤทธิ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
2 ปรัชญาวัฒนธรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ.....	6
2.1.1 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ.....	6
2.1.2 สถานการณ์คุณภาพอากาศในประเทศไทย.....	10
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	13
2.2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	13
2.2.2 กระบวนการและขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	15
2.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติ.....	18
2.2.4 การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง.....	20
2.2.5 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	21
2.3 แบบจำลองความน่าจะเป็น.....	22
2.4 การจำลองเหตุการณ์ของแบบจำลองความน่าจะเป็น.....	23

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.1 การจำลองเหตุการณ์ (Simulation).....	23
2.4.2 ตัวแปรสุ่ม (Random Variation) ที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์.....	24
2.4.3 ฟังก์ชันความน่าจะเป็น.....	25
2.4.4 การทดสอบลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็น.....	28
2.5 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลอง.....	28
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับปริมาณจราจร.....	31
2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับตัวแปรอื่นๆ.....	32
2.6.3 การใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหว.....	34
3 วิธีการศึกษา.....	39
3.1 การรวบรวมข้อมูลและศึกษาสถิติพรรณนา.....	39
3.2 การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสม.....	47
3.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	50
3.4 การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน.....	51
3.5 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	51
3.6 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหว.....	53
3.7 การนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานและการสรุปผลการศึกษา.....	55
4 การศึกษาสถิติพรรณนาและการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	57
4.1 สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศ.....	57
4.1.1 ข้อมูลมลพิษทางอากาศที่มีค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง.....	57
4.1.2 ข้อมูลมลพิษทางอากาศที่มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง.....	61
4.2 สถิติพรรณนาของข้อมูลปริมาณจราจร ข้อมูลความเร็วรถ และข้อมูลอุณหภูมิตามวัน.....	61
4.1.1 ข้อมูลปริมาณจราจร.....	61
4.1.2 ข้อมูลความเร็วรถ.....	63
4.1.3 ข้อมูลอุณหภูมิตามวัน.....	66

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	68
5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	73
5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น.....	80
5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดของ กรมควบคุมมลพิษช่วยในการพยากรณ์.....	83
5.3 แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด.....	83
5.3.1 ผลการศึกษาแบบจำลองที่ดีที่สุดของ CO.....	83
5.3.2 ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ NO ₂	83
5.3.3 ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ O ₃	85
5.3.4 ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ O ₃ ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 1-6 ชั่วโมง.....	85
6 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว.....	87
6.1 สมมติฐานและขอบเขตการวิเคราะห์.....	87
6.2 ผลการจำลองเหตุการณ์.....	89
6.2.1 สถิติพรรณนาของผลการจำลองเหตุการณ์.....	89
6.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงของผลการจำลองเหตุการณ์.....	96
6.3 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว.....	100
6.3.1 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของสมการแต่ละกรณีศึกษา.....	100
6.3.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการทำนายค่าแต่ละมลพิษ.....	103
6.4 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลองและผลการจำลองเหตุการณ์.....	110
6.4.1 ตัวอย่างการคำนวณหาโอกาสที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าเกิน ค่ามาตรฐาน.....	110
6.4.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าความเป็นไปได้ที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษ มีค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการทราบ.....	112
6.4.3 ตัวอย่างการคำนวณการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษ.....	114
6.4.4 ตัวอย่างการคำนวณการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษบริเวณริมทางพิเศษ.....	117

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	120
7.1 สรุปผลการศึกษา.....	120
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	124
รายการอ้างอิง.....	125
ภาคผนวก.....	130
ภาคผนวก ก.....	130
ภาคผนวก ข.....	136
ภาคผนวก ค.....	161
ประวัติผู้เขียน.....	186

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	รูปแบบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นทางด้านสิ่งแวดล้อมและชีววิทยา..... 26
2.2	สรุปข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรอื่นๆ..... 35
3.1	สถานีตรวจวัดทั้ง 6 สถานีของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย..... 42
3.2	ตัวแปรมลพิษทางอากาศที่ศึกษา วิธีการตรวจวัด วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล..... 42
3.3	สัญลักษณ์ของชนิดยานพาหนะแต่ละชนิด และสัญลักษณ์ของพื้นที่ศึกษา..... 43
3.4	สรุปข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด..... 46
4.1	การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง..... 58
4.2	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 69
4.3	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรที่ศึกษาภายหลังการปล่อย มลพิษตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95%..... 71
5.1	สมการถดถอยเชิงพหุของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมงและใช้ตัวแปรจาก พื้นที่ศึกษาเท่านั้น..... 75
5.2	การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของตัวแปรปี 2546..... 76
5.3	การตรวจสอบความถูกต้องของสมการของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง และใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น..... 77
5.4	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ CO กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น..... 78
5.5	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ NO ₂ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น..... 78
5.6	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O ₃ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น..... 79
5.7	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O ₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษา..... 79
5.8	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ CO กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ช่วยในการคาดการณ์..... 80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.9	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ NO_2 กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ช่วยในการคาดการณ์..... 81
5.10	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O_3 กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ช่วยในการคาดการณ์..... 81
5.11	สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O_3 ภายหลังจากปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์..... 82
5.12	สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ CO 84
5.13	สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ NO_2 84
5.14	สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ O_3 86
5.15	สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภายหลังจากปล่อยมลพิษ 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง..... 86
6.1	สมการแต่ละมลพิษตามช่วงเวลา..... 88
6.2	รายละเอียดรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงของข้อมูลและขอบเขตการสุ่มตัวอย่าง..... 88
6.3	การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลมลพิษที่จำลองเหตุการณ์..... 94
6.4	ผลการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลจากการจำลองเหตุการณ์..... 100
6.5	การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของการทำนายระดับมลพิษ..... 101
6.6	การศึกษาความอ่อนไหวของสมการด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์..... 104
6.7	ผลการจำลองเหตุการณ์ตามระยะห่างจากทางพิเศษ..... 117
6.8	ผลการจำลองเหตุการณ์ตามความเร็วรถ CV1 ที่เพิ่มและลดลง..... 118
ข1	สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ ศึกษาเท่านั้นของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง..... 137
ข2	สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ ศึกษาเท่านั้นของ NO_2 กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง..... 138
ข3	สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ ศึกษาเท่านั้นของ O_3 กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง..... 139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค19 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานี ตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O ₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 1 ชั่วโมง	180
ค20 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานี ตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O ₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชั่วโมง	181
ค21 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานี ตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O ₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 3 ชั่วโมง	182
ค22 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานี ตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O ₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 4 ชั่วโมง	183
ค23 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานี ตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O ₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 5 ชั่วโมง	184
ค24 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานี ตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O ₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 6 ชั่วโมง	185

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แผนภูมิการพัฒนาแบบจำลองมลพิษทางอากาศ..... 5
2.1	แผนภูมิการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์.....11
2.2	ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์..... 16
2.3	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 19
2.4	ขั้นตอนการพยากรณ์ค่า Y ด้วยวิธีแบบจำลองที่แน่นอน..... 22
2.5	ขั้นตอนการพยากรณ์ค่า Y ด้วยวิธีแบบจำลองความน่าจะเป็น..... 23
2.6	แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม...27
2.7	แสดงกระบวนการของ Monte Carlo Simulation Process..... 30
3.1	ขั้นตอนการศึกษา..... 40
3.2	รายละเอียดแผนที่สถานีตรวจวัดอากาศ และอุตุนิยมวิทยา..... 41
3.3	แสดงการปรับแก้ทิศทางลม..... 44
3.4	กรณีศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์..... 49
3.5	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 51
3.6	ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้อง..... 52
3.7	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Crystal Ball ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว ของแบบจำลอง..... 53
4.1	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ NO ₂ 54
4.2	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CO 59
4.3	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ SO ₂ 59
4.4	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ O ₃ 60
4.5	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ PM10 60
4.6	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ TSP 62
4.7	ปริมาณจราจรบนทางพิเศษคลองรัชและถนนประดิษฐ์มนูธรรม 63
4.8	ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CV1 64

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CV2	64
4.10 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CV3	65
4.11 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ T	66
4.12 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ WS	67
4.13 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ WD	67
6.1 ฮิสโตแกรมของตัวแปร WD	90
6.2 ฮิสโตแกรมของตัวแปร LOG(LB1)	90
6.3 ฮิสโตแกรมของตัวแปร CV1	91
6.4 ฮิสโตแกรมของตัวแปร CO _{pcd}	91
6.5 ฮิสโตแกรมของตัวแปร LOG(CO _{pcd})	92
6.6 ฮิสโตแกรมของตัวแปร SO ₂ pcd.....	92
6.7 ฮิสโตแกรมของตัวแปร LOG(SO ₂ pcd).....	93
6.8 ฮิสโตแกรมของตัวแปร O ₃ pcd	93
6.9 ฮิสโตแกรมของตัวแปร CO 24 ชั่วโมง.....	94
6.10 ฮิสโตแกรมของตัวแปร CO 24 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า.....	95
6.11 ฮิสโตแกรมของตัวแปร CO 24 ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย.....	95
6.12 ฮิสโตแกรมของตัวแปร NO ₂ 24 ชั่วโมง.....	97
6.13 ฮิสโตแกรมของตัวแปร NO ₂ 24 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า.....	97
6.14 ฮิสโตแกรมของตัวแปร NO ₂ 24 ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย.....	98
6.15 ฮิสโตแกรมของตัวแปร O ₃ 24 ชั่วโมง.....	98
6.16 ฮิสโตแกรมของตัวแปร O ₃ 24 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า.....	99
6.17 ฮิสโตแกรมของตัวแปร O ₃ 24 ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย.....	99
6.18 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ CO 24 ชั่วโมง.....	105
6.19 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ CO ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า.....	105
6.20 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ CO ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย.....	106
6.21 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ NO ₂ 24 ชั่วโมง.....	106

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.22 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ NO_2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า.....	107
6.23 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ NO_2 ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย.....	107
6.24 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ O_3 24 ชั่วโมง.....	108
6.25 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ O_3 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า.....	108
6.26 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ O_3 ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย.....	109
6.27 ระดับ CO เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100%.....	115
6.28 ระดับ NO_2 เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100%.....	116
6.29 ระดับ O_3 เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100%.....	116
6.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรถ CV1 และระดับความเข้มข้นของ O_3	119

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหามลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญของหลาย ๆ ประเทศ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีปัญหามลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครที่มีการขยายพื้นที่เมืองอย่างรวดเร็ว มีการอพยพย้ายถิ่นเข้าสู่เมือง จึงทำให้ต้องมีการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่รองรับการขยายตัวของเมือง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมามากมาย โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางอากาศ ที่มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการจราจร การก่อสร้าง และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็วโดยในปี 2513 กรุงเทพมหานครมีประชากร 3.11 ล้านคน เพิ่มขึ้นเป็น 4.75 ล้านคนในปี 2523 และในปี 2548 มีประชากร 6 ล้านคน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2549) นอกจากนี้ยานพาหนะในกรุงเทพมหานคร ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจปริมาณยานพาหนะที่จดทะเบียนในปี 2523 พบว่ามีจำนวนยานพาหนะที่จดทะเบียน 600,000 คัน ในปี 2544 เพิ่มขึ้นเป็น 18,125,027 คัน และปี 2548 เพิ่มขึ้นเป็น 25,506,940 คัน (กรมการขนส่งทางบก, 2549) ในขณะที่ปริมาณถนนไม่ได้เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณยานพาหนะ จึงทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้เกิดปัญหาตามมาอย่างมากมาย โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางอากาศ ที่มาจากการจราจร ซึ่งมลพิษดังกล่าวประกอบไปด้วย ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) 80% คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 75% ฝุ่น (TSP) 54% และไฮโดรคาร์บอน (HC) ใกล้เคียง 100% (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) และจากรายงานของกรมการขนส่งทางบก พบว่ารถบรรทุกขนาดใหญ่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 79% และไฮโดรคาร์บอน (HC) 64% ในขณะที่ยานยนต์ขนาดใหญ่ และรถมอเตอร์ไซด์ ปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) 61% และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) 48%

การจัดทำแผนการควบคุมมลพิษเป็นกลไกหนึ่งที่ใช้ในการแก้ไขปรับปรุงการปล่อยมลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ (de Nevers, 2000) การใช้วิธีการทำนายหรือการพยากรณ์ระดับมลพิษเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการวางแผนเพื่อลดปริมาณของมลพิษที่ปล่อยออกมาในช่วงเวลาต่าง ๆ และช่วงเวลาวิกฤต รวมถึงสามารถใช้ในการตัดสินใจในการดำเนินโครงการหรือกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งการคาดการณ์หรือการพยากรณ์สามารถที่จะพัฒนาโดยอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษทางอากาศ และตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศ โดยความน่าเชื่อถือ

ของการคาดการณ์หรือการพยากรณ์จะขึ้นอยู่กับความละเอียดหรือความถูกต้องของการคาดการณ์หรือการพยากรณ์ที่ใช้

ในการศึกษานี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติในการคาดการณ์ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษในกรุงเทพมหานคร โดยเลือกทางพิเศษฉลองรัชเป็นตัวแทนกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานหลัก 2 หน่วยงาน ได้แก่ ข้อมูลการติดตามตรวจสอบมลพิษทางอากาศ ข้อมูลปริมาณจราจร จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และข้อมูลมลพิษทางอากาศ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จากกรมควบคุมมลพิษ และนำมาศึกษาสถิติพรรณนา ศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ศึกษาความถดถอยเชิงพหุ เพื่อจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับคาดการณ์มลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ประเด็นหลักของงานวิจัยนี้คือการนำเสนอแนวทางในการพัฒนาและการใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะของแบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model) ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าแบบจำลองทั่วไป โดยเฉพาะการที่แบบจำลองสามารถรองรับการศึกษาวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) และความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของแบบจำลองที่ได้เพื่อทดสอบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อความคลาดเคลื่อนของการทำนายและแบบจำลองทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภายนอกที่เป็นตัวแปรนำเข้า โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวใช้การจำลองเหตุการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ซึ่งเป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้หลักความน่าจะเป็นมาช่วยในการกำหนดค่าให้กับตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาในหลายสาขาวิชา เช่น เศรษฐศาสตร์ การบริหารความเสี่ยง การศึกษาทางด้านฟิสิกส์ เคมี และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น แต่มีการนำวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาแบบจำลองในการพยากรณ์มลพิษทางอากาศน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในลักษณะดังกล่าว ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นตัวแบบในการวางแผนการศึกษาเพื่อจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโครงการ ที่มีลักษณะคล้ายกันของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และอาจสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษามลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่อื่นๆ ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างมลพิษทางอากาศบริเวณริมทางพิเศษได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) โอโซน (O_3) และฝุ่นรวม (TSP) กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยา ปริมาณจราจร และตัวแปรอื่น ๆ

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติในลักษณะของแบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model) สำหรับทำนายค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษของประเทศไทย โดยเลือกทางพิเศษฉลองรัชเป็นตัวแทนการศึกษา

1.2.3 เพื่อศึกษาความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษของประเทศไทยที่ได้ โดยใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo) และเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ประโยชน์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 พื้นที่ทางพิเศษที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ทางพิเศษฉลองรัช โดยมีสถานีตรวจวัดมลพิษทางอากาศ 6 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีเป็นตัวแทนของพื้นที่อ่อนไหวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Sensitive Area) และเป็นสถานีที่รายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ของโครงการทางพิเศษฉลองรัช กำหนดว่าเป็นสถานีที่ต้องมีการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 5 ปี ต่อเนื่องกัน

1.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ใช้ข้อมูลจากการศึกษาและติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี 2544 และ ปี 2546 ของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และข้อมูลมลพิษทางอากาศและอุตุนิยมวิทยา ปี 2544 และ ปี 2546 ของกรมควบคุมมลพิษ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานอื่น ๆ มาประกอบการศึกษาด้วย

1.3.3 ทำการศึกษาพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ โดยใช้เทคนิควิธีทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ทั้งสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) แบบสมการถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression) โดยทำการเลือกตัวแปรเข้าสมการความถดถอยเชิงพหุด้วยวิธี Stepwise Regression และ Backward Regression ซึ่งการศึกษาทางสถิติทั้งหมดจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows 11.5 ทำการวิเคราะห์

1.3.4 ทำการศึกษวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) และความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของแบบจำลองที่ได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Crystal Ball

1.3.5 จากวัตถุประสงค์ข้อที่หนึ่ง ซึ่งต้องการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างมลพิษอากาศริมทางพิเศษกับปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาและหาคำตอบไว้เป็น 9 ประเด็นย่อย ดังต่อไปนี้

1.3.5.1 ปริมาณจราจรจากถนนหรือทางพิเศษมีผลต่อมลพิษทางอากาศใกล้บริเวณที่ถนนและทางพิเศษพาดผ่าน

1.3.5.2 ตัวแปรมลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ทั้งในแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและแบบไม่เชิงเส้นตรง

1.3.5.3 มลพิษทางอากาศจากทางพิเศษจะลดลงตามระยะห่างจากทางพิเศษที่เพิ่มขึ้น

1.3.5.4 ตัวแปรอุณหภูมิตามเวลา เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิและตัวแปรความเร็วรถ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษ

1.3.5.5 มลพิษทางอากาศจากทางพิเศษมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน

1.3.5.6 ปริมาณไอโซนมีความสัมพันธ์กับการเกิดมลพิษตั้งต้น โดยไอโซนจะเพิ่มหรือลดตามระดับมลพิษตั้งต้นในช่วงเวลาที่ผ่านมา

1.3.5.7 มลพิษทางอากาศจากทางพิเศษหรือถนนแปรผันตามมลพิษทางอากาศทั่วไปในพื้นที่

1.3.5.8 ถนนหรือทางพิเศษที่มีปริมาณจราจรมากจะส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศมากกว่าถนนหรือทางพิเศษที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า

1.3.5.9 ปริมาณจราจรรวมและปริมาณยานพาหนะแยกตามประเภทพาหนะจากทางพิเศษมีผลต่อการนำไปใช้สร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณมลพิษทางอากาศแตกต่างกัน

1.3.6 การพัฒนาแบบจำลองมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดจะพิจารณาแยกกรณีออกเป็นหลายกลุ่มและหลายกรณีย่อย เพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดจากข้อมูลที่มีค่อนข้างจำกัด โดยได้ทำการแบ่งกลุ่มและกรณีย่อยของการสร้างแบบจำลองดังต่อไปนี้

1.3.6.1 กลุ่มพื้นที่แหล่งกำเนิด แบ่งเป็น 3 กรณีย่อยได้แก่

1. กรณีพิจารณาแหล่งกำเนิดจากยานพาหนะบนทางพิเศษเท่านั้น (Express)
2. กรณีพิจารณาแหล่งกำเนิดบนถนนเลียบทางพิเศษเท่านั้น (Road)
3. กรณีพิจารณาแหล่งกำเนิดทั้งบนทางพิเศษและบนถนนรวมกัน (All)

1.3.6.2 กลุ่มประเภทแหล่งกำเนิด

1. กรณีพิจารณาตัวแปรแยกตามประเภทรถ คือแยกเป็น รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถปิคอัพ/ รถตู้ รถบรรทุกขนาดเล็ก รถบรรทุกขนาดใหญ่ และ รถจักรยานยนต์ (Separated)

2. กรณีพิจารณาตัวแปรที่เป็นตัวแทนของปริมาณรถทุกประเภทรวมกัน (Combined)

1.3.6.3 กลุ่มเวลาการเกิดมลพิษ

1. กรณีพิจารณาข้อมูลมลพิษรายชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมง (24 hr.)
2. กรณีพิจารณาข้อมูลมลพิษรายชั่วโมง เฉพาะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (07.00-10.00 น.) เท่านั้น (Morning)

3. กรณีพิจารณาข้อมูลมลพิษรายชั่วโมง เฉพาะช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย (16.00-19.00 น.) เท่านั้น (Evening)

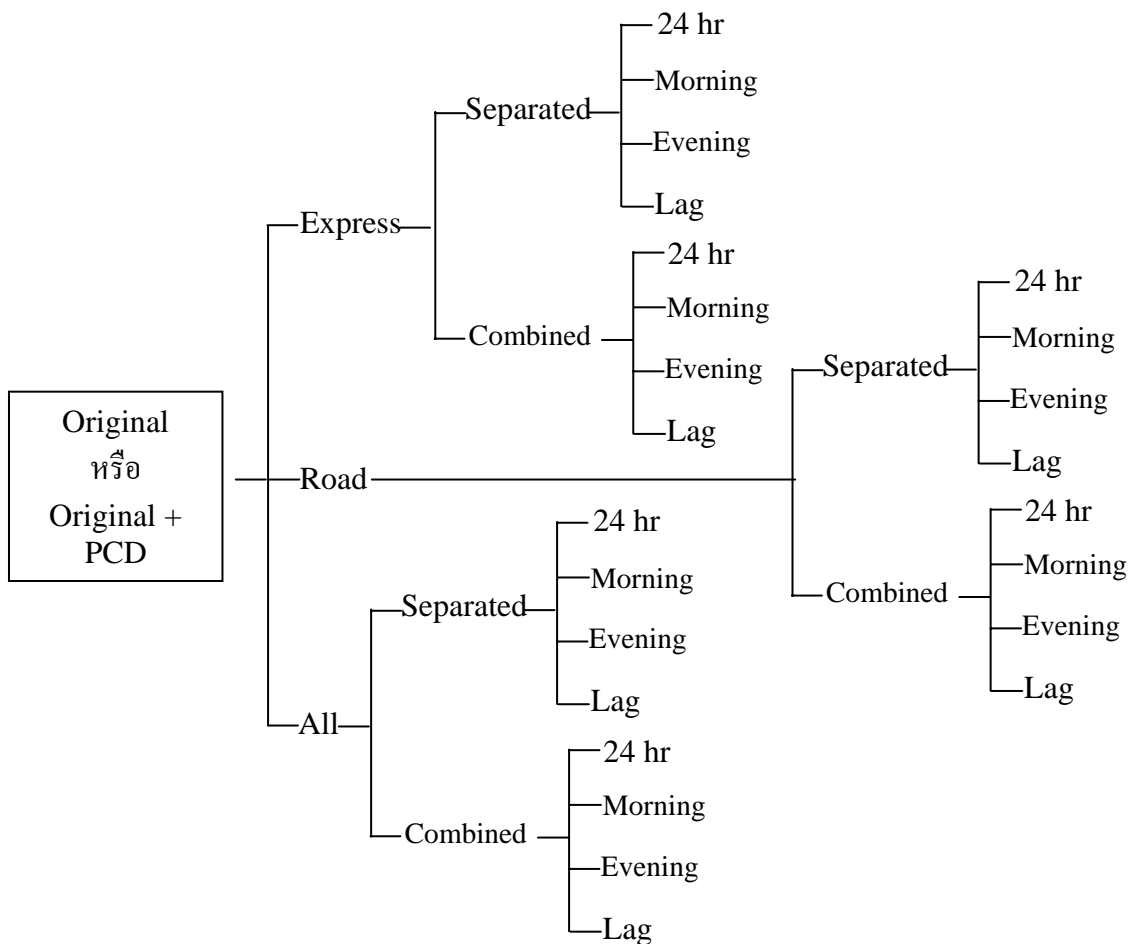
4. กรณีพิจารณาข้อมูลมลพิษรายชั่วโมงหลังการเกิดมลพิษตั้งแต่ 1-6 ชั่วโมง เฉพาะมลพิษประเภทโอโซน (Lag)

1.3.6.4 กลุ่มตัวแปรอิสระที่ช่วยในการทำนายค่ามลพิษ

1. กรณีพิจารณาตัวแปรอิสระจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น (Original)

2. กรณีพิจารณาตัวแปรอิสระจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษมาช่วยในการทำนาย (Original+PCD)

จากกลุ่มและกรณีย่อยของการพิจารณาสร้างแบบจำลองข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภูมิการพัฒนาแบบจำลองมลพิษทางอากาศ

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ

ภาวะมลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศซึ่งมีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอเป็นระยะเวลาที่นานพอที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพของคน สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ สารที่กล่าวถึงอาจเป็นธาตุ หรือสารประกอบ อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ และอาจอยู่ในรูปของก๊าซ ของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษหลักที่สำคัญ คือ ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ตะกั่ว และก๊าซโอโซน

ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ (Air Pollution System) ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ (Emission Source) บรรยากาศ (Atmosphere) และผู้รับผลกระทบ (Receptor) นอกจากนี้ส่วนประกอบของภาวะมลพิษทางอากาศสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) จะเป็นตัวกำหนดชนิดและปริมาณหรือความเข้มข้นของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในอากาศ ซึ่งคุณภาพอากาศในแต่ละพื้นที่จะเป็นตัวกำหนดถึงลักษณะความรุนแรงของผลเสียที่เกิดขึ้น (Air Pollution Effects)

มลสารที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งได้หลายวิธี เช่นการแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนไหลของแหล่งกำเนิดแบ่งได้ 2 ประเภทคือ แหล่งที่ไม่เคลื่อนที่ (Stationary source) ได้แก่ การประกอบกิจการอุตสาหกรรมโรงงาน การเผาไหม้เชื้อเพลิงในบ้านพักอาศัย เป็นต้น และแหล่งที่เคลื่อนที่ (Mobile source) ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์ เรือยนต์หรือเครื่องบิน หรือการแบ่งตามตัวการที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งคือแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made source) และแหล่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ (Natural source)

2.1.1 ประเภทของสารมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศที่เกิดจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและแหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์ส่วนใหญ่เราจะเรียกว่าสารพิษทางอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) และมลพิษทางอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีเราเรียกว่า สารพิษทางอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1.1 สารพิษทางอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) เป็นสารมลพิษทางอากาศที่เกิดและถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรง มลพิษที่สำคัญได้แก่

1. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide, SO₂) เป็นก๊าซไม่ติดไฟ (Nonflammable) ไม่มีสี ถ้ามีความเข้มข้นประมาณ 0.3–1 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้มีรสชาติเกิดขึ้น มีกลิ่นฉุนชวนสำลัก ทำความระคายเคือง มีความเป็นพิษ มีจุดเดือดต่ำมากคือที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ดีประมาณ 11.3 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร กลายเป็นกรดซัลฟูรัส (Sulfurous Acid) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ภายในระยะเวลาครึ่งวันถึง 2 วันเมื่อมีแสงแดด แต่ถ้าบรรยากาศที่สะอาดจะถูกออกซิไดซ์อย่างช้าๆ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าสิ่งที่ตรวจพบว่าเป็นบรรยากาศที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในปริมาณน้อยไม่ได้หมายความว่าบรรยากาศจะปราศจากมลพิษอื่นเนื่องจากออกไซด์ของซัลเฟอร์ อาจเป็นเพราะซัลเฟอร์ไดออกไซด์เปลี่ยนรูปเป็นกรดซัลฟูริกหรือเกลือซัลเฟตอื่นๆ และถ้าในบรรยากาศมีไฮโดรคาร์บอนและออกไซด์ของไนโตรเจนอยู่ด้วยอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลขึ้นได้ (ศิริกัลยา สุวจินตานนท์ พัฒนา มูลพฤษฯ และธำรงค์รัตน์ มุ่งเจริญ , 2541)

2. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbonmonoxide, CO) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีแทบจะไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ติดไฟได้ เบากว่าอากาศเล็กน้อย ไม่เกิดการระคายเคือง แต่เป็นก๊าซที่มีอันตรายต่อสุขภาพมาก เพราะเมื่อหายใจเข้าไปในร่างกายจะถูกปอดดูดซับและทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) หรือฮีโมโพรตีนในเลือดกลายเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhaemoglobin, COHb) โดยปกติแล้วถ้ามนุษย์หายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายในปริมาณไม่มากนักร่างกายจะทำการขับเพื่อให้เกิดความสมดุล ถ้ามีปริมาณมากกว่า 100 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ (ร้อยละ 0.01) จะมีความเป็นพิษสูง ซึ่งอัตราการดูดซับคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ปอดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ ระยะเวลาที่สัมผัส และอัตราการหายใจของมนุษย์นั้นๆ อาการของผู้ที่หายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายมีตั้งแต่ระดับอ่อนจนถึงขั้นทำให้ตายได้ คือตั้งแต่มีอาการเครียด หายใจเร็วกว่าปกติ เวียนศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อนเพลีย อาเจียน มีนศีรษะ หน้ามืด พูดจาและเลื้อน มีอาการเป็นลม ปวดชกกระดูก หมดสติเข้าขั้น โคม่า จนถึงตาย การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศมีแหล่งกำเนิดทั้งธรรมชาติได้แก่ ทะเล มหาสมุทร การออกซิเดชันของก๊าซมีเทนในบรรยากาศ ภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า ไฟแลบ ไฟรื่อง และอาจเกิดจากมนุษย์เป็นผู้สร้าง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากเครื่องยนต์ของยานพาหนะต่างๆ นอกจากนี้ก็อาจเกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม และกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมต่างๆ

3. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of Nitrogen) ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เจือปนอยู่ในอากาศ ได้แก่ ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ไนโตรเจนไตรออกไซด์ (NO₃) ไดไนโตรเจนออกไซด์ (N₂O₃) ไดไนโตรเจนเตตรออกไซด์ (N₂O₄)

และไดไนโตรเจนเพนทอกไซด์ (N_2O_5) ออกไซด์ของไนโตรเจนที่พบมากที่สุดคือ ไนตริก ออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งได้รวมเอาก๊าซทั้งสองเข้าด้วยกันและใช้สัญลักษณ์แทนว่า NO_x (Nitrogen Oxide) และไนโตรเจนออกไซด์นี้ยังแบ่งออกเป็น 2 พวกตามกระบวนการที่ทำให้เกิดคือ พวกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสารไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เรียกพวก “Fuel Nitrogen Oxide” และพวกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้ไนโตรเจนจากอากาศถูกออกซิไดส์โดยก๊าซออกซิเจน เกิดเป็นไนโตรเจนออกไซด์ เรียก “Thermal Nitrogen Oxide” โดยทั่วไปแล้วที่อุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดไนตริกออกไซด์ (NO) มากที่สุดถึงร้อยละ 90 หรือมากกว่านี้ แต่อย่างไรก็ตามในทุกๆ โมเลกุลของไนตริกออกไซด์ที่ออกสู่บรรยากาศก็มีแนวโน้มที่จะถูกออกซิไดส์เป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็วจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้ไปพร้อมกันในเวลาเดียวกันเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการวิเคราะห์และประเมิน เพื่อผลในการป้องกันและควบคุมอันตรายที่อาจจะเกิดจากก๊าซดังกล่าว แหล่งที่ทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่สำคัญคือ การใช้เชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันและถ่านหิน กระบวนการผลิตดินประสิวและสารประกอบของดินประสิว หรืออาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

- ไนตริสออกไซด์ หรือไดไนตริสออกไซด์ (Nitrous Oxide หรือ Dinitrous Oxide, N_2O) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี รสหวานเล็กน้อย มีกลิ่นอ่อนๆ ละลายน้ำได้ 1.3 ปริมาตรต่อ 1 ปริมาตรน้ำที่ 0 องศาเซลเซียส ละลายในแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าน้ำ สลายตัวช้า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 520 องศาเซลเซียส ให้ไนโตรเจนและออกซิเจน ไม่เป็นพิษ บางครั้งเรียกว่าก๊าซหัวเราะ ใช้เป็นยาสลบในทางทันตกรรม มักเกิดจากปฏิกิริยาชีวภาพ จะทำปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลที่บรรยากาศชั้นบนจึงมักไม่ทำอันตรายต่อมนุษย์หรือพื้นผิวโลก ถือเป็นก๊าซเฉื่อยที่อุณหภูมิปกติ

- ไนตริกออกไซด์ (Nitric Oxide หรือ Nitrogen Monoxide, NO) เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ มีความเป็นพิษแต่ละลายได้ในสารละลายที่มีไอออนของเหล็ก ที่มีวาเลนซ์ 2 เพราะเกิดไอออนเชิงซ้อน $[FeNO]^{2+}$ ซึ่งเมื่อเผาจะให้ NO ออกมามีความเสถียรต่อความร้อนมากที่สุด จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิปกติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ในโตรเจนไดออกไซด์ การเกิดไนตริกออกไซด์ (NO) อาจเกิดจากปฏิกิริยาชีวภาพและการสันดาปเชื้อเพลิงที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหรือเมื่อสันดาปที่อุณหภูมิสูงมากๆ คือสูงเกิน 1,100 องศาเซลเซียส รวมตัวกับ O_3 ได้รวดเร็วมาก

- ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide, NO_2) เป็นก๊าซสีน้ำตาลแดง มีกลิ่นฉุนระคายเคือง มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน ถ้ามีสารประกอบอินทรีย์ปนอยู่ด้วยจะทำให้มีกลิ่นคล้ายปลาเน่ามีคุณสมบัติในการดูดซับแสงที่มีคลื่นสั้น (Short Wavelength) ได้แก่ แสงของ blue violet ซึ่งเป็นแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ถือเป็นสารมลพิษ เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือไอน้ำจะกลายเป็น

กรดไนตริก (Nitrous Acid) และกรดไนตริก (Nitric Acid) ซึ่งจะอยู่ในรูปของละอองไอนิเตรต (Nitrate Mist) หรือทำปฏิกิริยากับเกลือของโลหะกลายเป็นอนุภาคไนเตรต (Particulate Nitrate) ซึ่งมีความเป็นพิษ ไนโตรเจนไดออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาการแตกตัวของไนโตรเจนเพทรอกไซด์ การแตกตัวจะสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ NO_2 จะสลายตัวให้ไนโตรเจนมอนอกไซด์และออกซิเจน

4. ฝุ่นละออง (Particulate Matter) มีความหมายรวมถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่และมีสีดำจนมองเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง สำหรับในประเทศไทย US.EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้กำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่น PM_{10} แต่เนื่องจากฝุ่นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนใน และมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US.EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ชนิดคือ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$

- PM_{10} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบคืออนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง จากการขนส่งวัสดุ ฝุ่นจากกิจกรรมบดขยี้หิน เป็นต้น

- $\text{PM}_{2.5}$ ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึงฝุ่นละเอียดคืออนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ก๊าซ SO_2 NO_x และสาร VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละเอียดได้

ในประเทศไทยได้ให้ความหมายของคำว่าฝุ่นละอองไว้ดังนี้ ฝุ่นละอองหมายถึงฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) ซึ่งเป็นฝุ่นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก PM_{10} หมายถึงฝุ่นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา ซึ่งฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษที่สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร

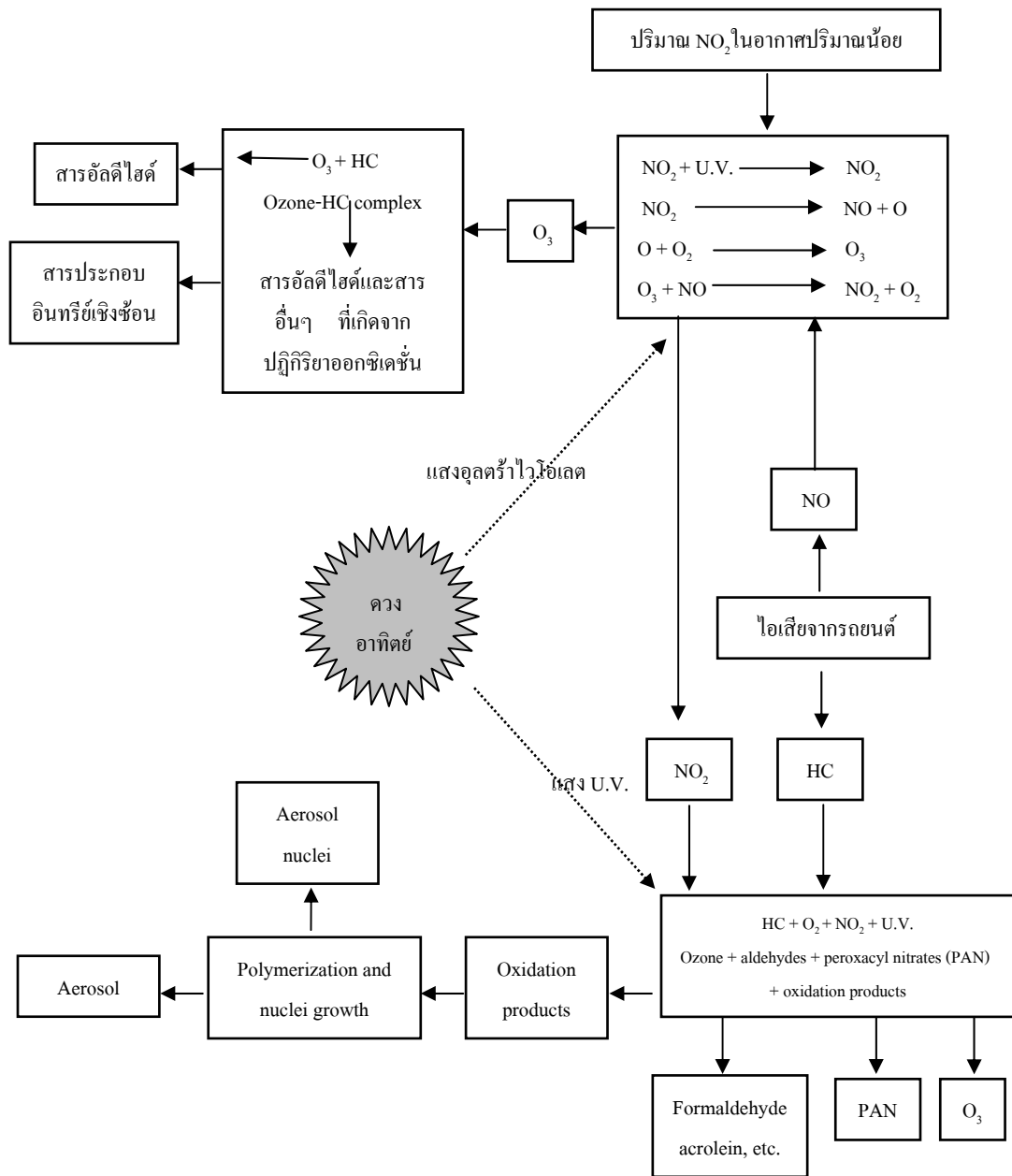
2.1.1.2 สารพิษทางอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) เป็นสารพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในบรรยากาศจากปฏิกิริยาเคมี ระหว่างสารมลพิษทางอากาศปฐมภูมิด้วยตัวเอง หรือปฏิกิริยาระหว่างสารมลพิษทางอากาศปฐมภูมิกับสารประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่มีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเรียกว่า Photochemical Oxidation รายละเอียดดังรูปที่ 2.1 ในกระบวนการ

เกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นแรก NO_2 จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตลิซิส (Photolysis) ทำให้เกิดอะตอมออกซิเจน (O) ซึ่งต่อมา อะตอมออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) ทำให้เกิดโอโซน (O_3) และ O_3 ก็จะทำปฏิกิริยากับ ไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ทำให้เกิด NO_2 แล้วกลับไปเริ่มต้นปฏิกิริยาโฟโตลิซิสอีก ซึ่งก๊าซโอโซน (O_3) เป็น Triatomic Asotope ของก๊าซออกซิเจน มีสีน้ำเงินจาง มีกลิ่นฉุนแสบจมูก เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีปฏิกิริยาไวมาก มีความเป็นพิษสูง อาจเกิดจากธรรมชาติโดยเฉพาะในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) ซึ่งอยู่สูงจากผิวโลกประมาณ 20 กิโลเมตร โอโซนมีความสามารถในการดูดซับแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นประมาณ 2,000–3,000 แองสตรอม ทำให้ช่วยสกัดกั้นไม่ให้แสงอุลตราไวโอเล็ตแผ่กระจายมายังพื้นผิวโลกมาก จนอาจทำให้เกิดการเผาไหม้เนื้อเยื่อของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต อาจเกิดจากการปล่อยประจุไฟฟ้าในบรรยากาศ เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง เป็นต้น นอกจากนี้แหล่งกำเนิดโอโซนยังเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ได้แก่ การเชื่อมโลหะ การผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องฟอกอากาศ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ในสภาวะที่เกิดมลพิษทางอากาศโดยมีแสงอาทิตย์ รวมถึงมีไฮโดรคาร์บอนด์ และออกไซด์ของไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลทำให้เกิดมีสารใหม่ขึ้นหลายอย่าง แต่จะเกิดโอโซนขึ้นถึงประมาณร้อยละ 90 ของทั้งหมด นอกจากนี้จะเกิดไนโตรเจนไดออกไซด์ และเปอร์ออกซิอะซิไตนไตรต (Peroxy Acetyl Nitrate, PAN) ซึ่งออกซิแดนส์ที่เกิดขึ้นนี้มีคุณสมบัติในการฆ่าแบคทีเรีย (bacteriostatic) เป็นสารที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์ได้สูงมาก

2.1.2 สถานการณ์คุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

จากรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมปี 2544-2547 พบว่าปัญหาคุณภาพอากาศของประเทศไทย ปัญหาหลักได้แก่ ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งมีปริมาณสูงเกินมาตรฐานในหลายพื้นที่และมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยส่วนใหญ่เป็นปัญหาในพื้นที่ จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร (บริเวณริมถนน) และตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี เป็นต้น รองลงมาคือ ก๊าซโอโซน (O_3) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าเกินมาตรฐานเป็นครั้งคราวในบางพื้นที่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544-2547)

คุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร : มลสารที่เป็นปัญหามลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี 2544-2547 พบว่า ฝุ่นขนาดเล็ก ฝุ่นรวม และก๊าซโอโซน เป็นปัญหาหลัก โดยในปี 2547 สารมลพิษดังกล่าวพบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมาพบว่า ฝุ่นขนาดเล็กและฝุ่นรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจน ส่วนสารมลพิษอื่นยังมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาฝุ่นละอองคือ ยานพาหนะที่สัญจรไปมาบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้นทุกปีทำให้การจราจรหนาแน่นและติดขัด ข้อมูลสถิติของกรมการขนส่งทางบกพบว่า มีรถยนต์ทุกประเภทที่จดทะเบียนในกรุงเทพมหานครสะสมจนถึงปี 2546 มีจำนวนถึง 5.5 ล้านคัน และในปี 2547 มีรถใหม่ที่จดทะเบียนจำนวน 657,592 คัน นอกจากนี้กิจกรรมการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้



รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชั่น

(ดัดแปลงจาก นภาพร พานิช และคณะ, 2547)

บริเวณริมถนนจะมีปัญหามลพิษทางอากาศส่วนใหญ่รุนแรงกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไปซึ่งเป็นชุมชนหรือที่พักอาศัย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

- คุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไป พบว่าฝุ่นขนาดเล็ก และก๊าซโอโซน ยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่พบเกินมาตรฐานและมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมา ส่วนสารพิษและ

สารอื่นๆ ได้แก่ ฝุ่นรวม สารตะกั่ว ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมาและยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในปี 2547 ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 19.3-219.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบเกินมาตรฐานทั้งสิ้น 82 ครั้ง จากการตรวจวัดทั้งหมด 1,873 ครั้ง หรือร้อยละ 4.4 ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับปี 2544-2546 (พบเกินมาตรฐานร้อยละ 2.1) และก๊าซโอโซนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 0-173 ส่วนในพันล้านส่วน ตรวจพบเกินมาตรฐาน 102 ครั้งจากการตรวจวัดทั้งสิ้น 58,081 ครั้งหรือร้อยละ 0.18 และพบว่าจำนวนครั้งที่เกินมาตรฐานลดลงเมื่อเทียบกับปี 2546 (พบเกินมาตรฐานร้อยละ 0.25) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

- คุณภาพอากาศบริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานครพบว่าปัญหาหลักในบริเวณริมถนน ได้แก่ ฝุ่นขนาดเล็ก และฝุ่นรวม นอกจากนี้ยังพบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซโอโซน เกินมาตรฐานเป็นครั้งคราวบริเวณริมถนนบางสาย ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารตะกั่วยังมีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยผลการตรวจวัดในปี 2547 พบว่าฝุ่นขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 21.5-224.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากยานพาหนะเป็นหลัก ฝุ่นรวมเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0.01-0.77 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0-15.1 ส่วนในล้านส่วน และค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0-10.6 ส่วนในล้านส่วน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เฉลี่ย 1 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 0-172 ส่วนในพันล้านส่วน และก๊าซโอโซน เฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 0-143 ส่วนในพันล้านส่วน สำหรับมลสารอื่นๆ

- คุณภาพอากาศบริเวณริมทางพิเศษ จากรายงานการศึกษาและติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2546) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสิ่งแวดล้อมสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (TSP) ช่วงปี พ.ศ. 2534-2538 ค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าเข้าใกล้มาตรฐานมาก แต่ช่วงปี พ.ศ. 2541-2546 พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 30% ของค่ามาตรฐาน และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยปี พ.ศ. 2546 ค่าที่ตรวจวัดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.048-0.143 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้ค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.330 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในปี พ.ศ. 2546 มีค่าใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2544 โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงจากปี พ.ศ. 2543 โดยปี พ.ศ. 2546 ค่าตรวจวัดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.023-0.073 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ภายใต้ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.120 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ในปี พ.ศ. 2546 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2544 โดยปี พ.ศ. 2546 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดพบว่ามีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.040-0.109 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.320 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักไม่มี

แนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงและค่าความเข้มข้นก็ยังคงอยู่ภายใต้มาตรฐาน โดยปี พ.ศ. 2546 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดพบว่ามีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.53-3.78 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 30.0 ส่วนในล้านส่วน และโอโซน (O₃) ในปี พ.ศ. 2546 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ในปี พ.ศ. 2544 โดยในปี พ.ศ. 2546 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดพบว่ามีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.004-0.028 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.10 ส่วนในล้านส่วน

คุณภาพอากาศในเขตปริมณฑล : จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ สมุทรสาคร ปทุมธานี และนนทบุรี พบว่าฝุ่นขนาดเล็ก และก๊าซโอโซนเป็นปัญหาหลัก โดยพบว่าฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเป็นปัญหาในทุกพื้นที่ บริเวณที่มีปัญหามากที่สุดคือจังหวัดสมุทรปราการ มีค่าอยู่ในช่วง 8.8-331 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบข้อมูลที่เกินมาตรฐาน 702 ครั้งจากการตรวจวัดทั้งหมด 1,672 ครั้ง หรือร้อยละ 42 สูงกว่าปี 2546 ซึ่งพบจำนวนข้อมูลที่เกินมาตรฐานร้อยละ 29.9 สำหรับโอโซนพบว่าโอโซนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง มีค่าสูงเกินมาตรฐานหลายครั้ง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-192 ส่วนในล้านส่วนพบเกินมาตรฐาน 112 ครั้ง จากการตรวจวัด 41,038 ครั้งหรือร้อยละ 0.27 ลดลงเมื่อเทียบกับปี 2546 ซึ่งเกินมาตรฐานร้อยละ 0.39 บริเวณที่พบเกินมาตรฐานได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร นนทบุรี และปทุมธานี

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองคือตัวแทนของสรรพสิ่งอันใดอันหนึ่ง เช่น วัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ ระบบ โดยแบบจำลองมักจะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการคาดการณ์ (Prediction) และควบคุมสรรพสิ่งนั้นๆ แบบจำลองนั้นทำหน้าที่อธิบายถึงลักษณะของวัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ หรือระบบมากกว่าที่จะใช้บรรยายว่าสิ่งเหล่านั้นเป็นอย่างไร หรือเกิดขึ้นอย่างไร แบบจำลองมักจะถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้หรือทำให้มองเห็นว่าถ้าหากสิ่งนั้นหรือระบบถูกเปลี่ยนแปลงไปทางใดทางหนึ่งหรือหลายทางจะมีองค์ประกอบอื่นๆ ของสิ่งนั้นหรือระบบนั้นๆ อย่างไร (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2544)

โดยทั่วไปแบบจำลองเปรียบเสมือนสิ่งที่แสดงถึงโครงสร้าง (Structure) หรือลักษณะการทำงาน (function) ของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง รูปแบบที่ใช้เป็นตัวแทนจะแตกต่างกันออกไป แบบจำลองอาจเป็นรูปของมโนภาพหรือความคิด (Mental Model) เป็นแผนภาพ (Pictorial Model) หรือเป็นรูปแบบคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยที่แบบจำลองชนิดหลังนี้สามารถจะอธิบายสมมุติฐานของการทำงานของระบบได้ในรูปแบบของตัวเลขของปริมาณของสิ่งที่ต้องการรู้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มักจะพบบ่อยๆ จะอยู่ในรูปแบบของแบบจำลองเชิงทฤษฎี

(Theoretical Model) และแบบจำลองเชิงการทดลอง (Empirical Model) ซึ่งแบบหลังนี้มักจะอยู่ในรูปของแบบจำลองเชิงสถิติ (Statistical Model) ที่สร้างขึ้นจากสมการถดถอย (Regression Models) ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อใช้คาดคะเนตัวแปรตาม (Dependent variables) เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอิสระ (independent variables) เปลี่ยนแปลงไปในปริมาณต่างๆ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีนั้น จะต้องสามารถใช้คาดหมายผลกระทบต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการกำหนดให้มีนโยบายในการจัดการรูปแบบต่างๆ ได้ โดยมีความเสี่ยงต่อความผิดพลาดน้อยที่สุด และไม่จำเป็นต้องประกอบด้วยสมการคณิตศาสตร์หรือกระบวนการเชื่อมโยงที่สลับซับซ้อนจนเกินไป แต่ต้องครอบคลุมการคาดหมายสิ่งต่างๆ ที่ต้องการรู้ได้กว้างขวาง (Comprehensible) แบบจำลองที่ดีว่าดีนั้นจะต้องประหยัดเวลาในการทำงาน และแบบจำลองที่ดีจะต้องเป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการเข้าใจของผู้ที่อยู่ในวงการ โดยทั่วไป และชี้ให้เห็นข้อเท็จจริงของพฤติกรรมที่ใช้แบบจำลองแทนได้อย่างเด่นชัด สามารถตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่คาดคะเนออกมาได้หรือสามารถหาข้อผิดพลาดจากการใช้ข้อมูลได้อย่างคล่องตัว แบบจำลองที่ดีสลับซับซ้อนนั้นไม่ได้หมายความว่าใช้คาดหมายเหตุการณ์ออกมาได้ดีกว่าแบบจำลองง่ายๆ เสมอไป ทั้งนี้เมื่อมีตัวแปร (Variable) เพิ่มมากขึ้น แบบจำลองก็จะต้องมีข้อสมมุติฐานกำกับเพิ่มมากขึ้นไปด้วย แบบจำลองที่ดีจะต้องมีความสมเหตุสมผล (Logical) ความแน่นอนของความสมจริง (Logical consistency) และความกระจ่างชัด (Clarity) ของการอธิบายพฤติกรรมของระบบเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเท่าเทียมกับการที่จะคาดหมายให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำทีเดียว

วราวุธ เสือดี (2543) อธิบายถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ว่ามีบทบาทสำคัญในการจัดการคุณภาพอากาศในหลายขั้นตอน ขั้นตอนที่สำคัญคือขั้นตอนในการทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ เมื่อสารมลพิษทางอากาศถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปพิจารณาวางแผนและกำหนดมาตรการที่เหมาะสมสำหรับการลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น พื้นฐานทางทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมลพิษทางอากาศ มีหลักการที่สำคัญ 2 ประเภท คือแบบจำลองแบบกล่อง (Box-Model Approach) และแบบจำลองการฟุ้งกระจายสารมลพิษทางอากาศ (Air Quality Dispersion Modeling) หรือแบบจำลองเกาส์เซียน (Gaussian) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประโยชน์มากในการพัฒนาโครงการใหม่ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ทางหลวง ทางพิเศษ เป็นต้น โดยเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบ การประเมินความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากสารมลพิษทางอากาศ โดยหลักการในการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ การพยายามที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ที่เคลื่อนที่และฟุ้งกระจายไปตามอิทธิพลของสภาพทางอุตุนิยมวิทยา กับการปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประโยชน์มากที่สุด ถ้านำไปใช้เป็นเครื่องมือ

สำหรับการจัดการเรื่องมลพิษทางอากาศเพื่อพิจารณาวางแผน แทนที่จะใช้เป็นเพียงเพื่อจัดทำรายงานเพื่อประกอบการขออนุญาตจัดตั้งหรือขยายกำลังการผลิตเท่านั้น

2.2.2 กระบวนการและขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ว่าจะใช้กับระบบง่ายๆ หรือระบบที่สลับซับซ้อนกระบวนการในการสร้างหลักๆ จะคล้ายคลึงกัน ซึ่งในที่นี้จะนำเสนอขั้นตอนของ Jorgensen (1988) และ John Neter et al., (1996)

Jorgensen (1988) ได้อธิบายถึงขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่างๆ ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปัญหาที่ต้องแก้ไขเพื่อใช้กำหนดรูปแบบและทิศทางของแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดกรอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time) และตามพื้นที่ (space)

ขั้นตอนที่ 3 ความต้องการในข้อมูล ซึ่งจะมากน้อยเพียงไร และต้องการแบบจำลองที่มีคุณภาพมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของแบบจำลองที่จะสร้าง ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในกรณีที่มีข้อมูลมีข้อจำกัดก็อาจจำเป็นต้องลดความซับซ้อนของแบบจำลอง หรือกำหนดกรอบของปัญหาให้เล็กลงไป

ขั้นตอนที่ 4 เขียนโครงสร้างของแบบจำลองจากมโนทัศน์ที่ผู้สร้างมีอยู่ หรือจากกลุ่มผู้สร้าง ขั้นตอนนี้อาจทำก่อนขั้นตอนรวบรวมข้อมูล แต่มักจะถูกจำกัดด้วยข้อมูลที่มีอยู่ การเขียนโครงข่ายของแบบจำลองจึงมักทำภายหลังจากที่ทราบปริมาณและคุณภาพของข้อมูลแล้ว

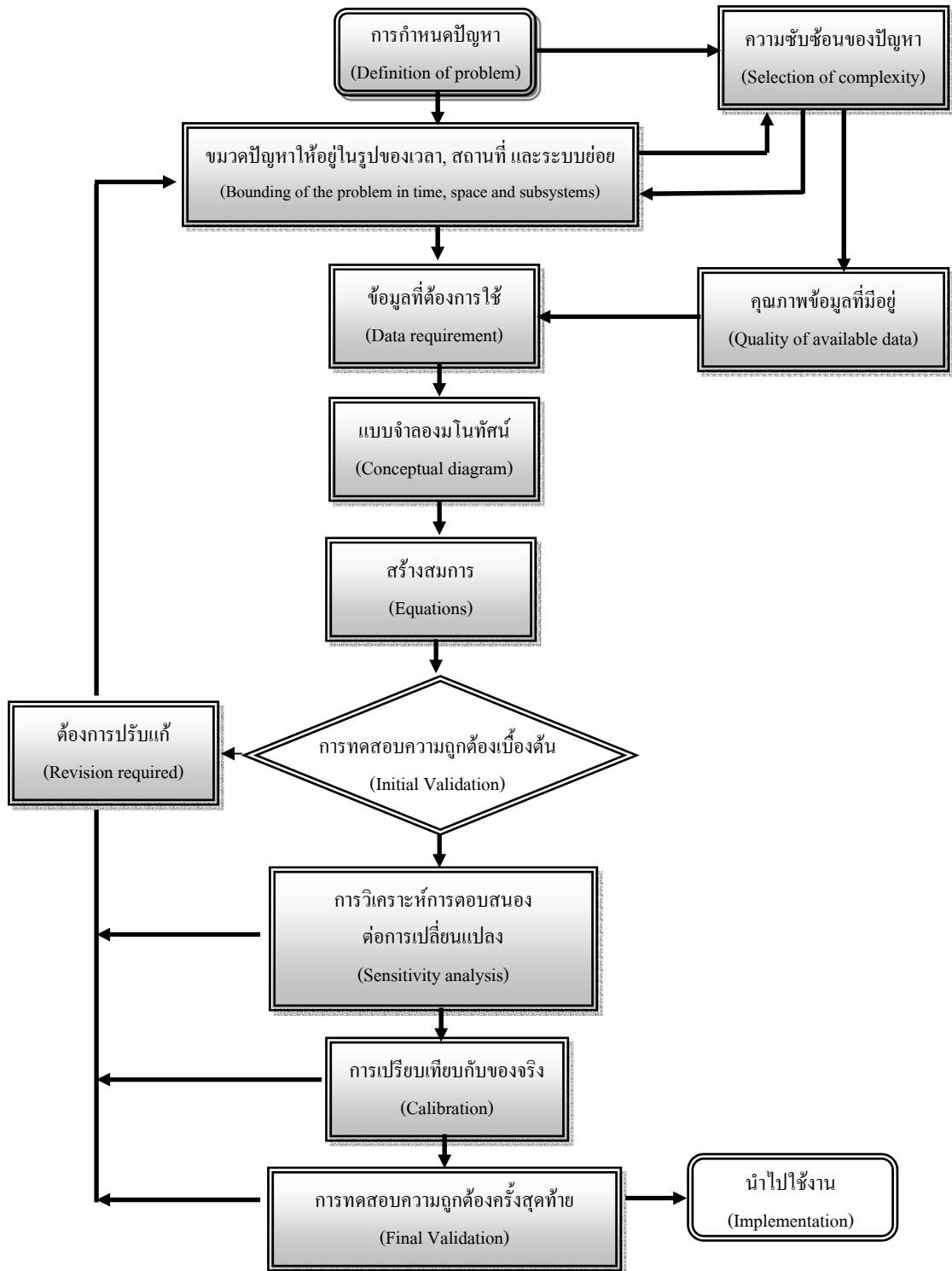
ขั้นตอนที่ 5 สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ และความสัมพันธ์ของระบบที่เชื่อมโยงกัน การหาคำตอบของปัญหาที่กำหนดไว้ ในขั้นตอนที่ 1 และที่ 2 ในขั้นตอนนี้ต้องคำนึงถึงคือ

- จะให้แบบจำลองช่วยตัดสินใจแก้ปัญหา ให้คำตอบเรื่องอะไร ในระดับใด
- กำหนดตัวแปรของแบบจำลองที่จะเป็นตัวกำหนด (Regulate) และตัวให้ผลลัพธ์ให้ครบถ้วน

- สร้างความสัมพันธ์เชื่อมโยงตัวแปรต่างๆ โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยผลงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นหลัก หากไม่มีจึงต้องใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ

- กำหนดพารามิเตอร์ที่จะเป็นผลลัพธ์ (Outputs) และดัชนีผลกระทบ (Indicators) และกำหนดช่วงเวลา (Time Interval) และระยะเวลา (Time Span) ที่จะให้แบบจำลองหาคำตอบให้

- ผนวกแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ และมีระเบียบสอดคล้องกับพฤติกรรมธรรมชาติ(หรือที่ควรเป็น)



รูปที่ 2.2. ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ (ดัดแปลงจาก Jorgensen, 1988)

ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบการทำงานของแบบจำลองและความถูกต้องของผลลัพธ์เมื่อเชื่อมโยงสมการหรือแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ถ้าเป็นขั้นการทดสอบว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ มีความถูกต้องตามหลักตรรกะและอธิบายความเป็นไปได้ตามที่คิด (Conceptualize) ไว้หรือไม่ ขั้นตอนนี้ส่วนมากจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีตเป็นตัวทดสอบ

ขั้นตอนที่ 7 ทบทวนแบบจำลอง กรณีที่การทำงานยังไม่ดีพอ ซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองย่อยๆ ยังไม่สมบูรณ์ หรือการเชื่อมต่อกันไม่เป็นไปตามตรรกะ หรือรายละเอียดในแบบจำลองย่อยยังไม่เพียงพอ หรือตั้งวัตถุประสงค์ไว้มากเกินไปกว่าข้อมูลที่มีอยู่จะหาคำตอบให้ได้ ก็จะต้องมีการทบทวน (Revise) กันใหม่ โดยกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ก็จะทำได้ แบบจำลองที่ให้ความพอใจได้

ขั้นตอนที่ 8 ในกรณีที่แบบจำลองใช้ได้ดีแล้วมีความถูกต้องแม่นยำตามที่ตั้งเกณฑ์ไว้แล้ว ก็คงต้องมีการทดสอบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ภายในแบบจำลอง (Sensitivity Analysis) ว่าเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆ คงที่ แล้วการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ตัวหนึ่งไปในระดับต่างๆ จะทำให้มีผลลัพธ์ ออกมาแตกต่างไปจากเดิมอย่างมีตรรกะ และระดับการเปลี่ยนแปลงยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายังไม่ตอบสนองในระดับที่ดีพอ ก็จะต้องกลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 7 คือทบทวนแบบจำลองกันใหม่อีก จนเป็นที่พอใจ

ขั้นตอนที่ 9 การปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ขั้นตอนนี้มักจะทำกันเสมอในเกือบทุกแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าตรง (หรือใกล้เคียง) กับค่าที่ตรวจวัดได้จริง หรือค่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองนั้นมีโอกาสเลียนแบบของจริงได้ร้อยละเปอร์เซ็นต์ ค่าที่ได้จึงมักเพี้ยนไปจากค่าจริง จึงมีการปรับค่าคงที่ต่างๆ ให้เกิดผลลัพธ์ให้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด เรื่องปรับค่าพารามิเตอร์ (Calibration)

ขั้นตอนที่ 10 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองครั้งสุดท้าย (Final Validation) เป็นการทดสอบว่า แบบจำลองทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใดเมื่อกำหนดสถานะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนการตรวจประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของแบบจำลองว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภายนอกที่เป็นตัวแปรนำเข้า (Input Data) แล้วแบบจำลองจะทำงานได้ถูกต้องสมเหตุสมผล หรือไม่ ซึ่งถ้ามาถึงขั้นตอนนี้แล้วแบบจำลองให้ผลลัพธ์ถูกต้องแน่นอนและมีตรรกะในทุกกรณีแล้วก็จะสามารถนำไปประยุกต์ในพื้นที่อื่นเพื่อหาคำตอบที่ชี้แนะในการกำหนดนโยบายการจัดการได้เป็นอย่างดี

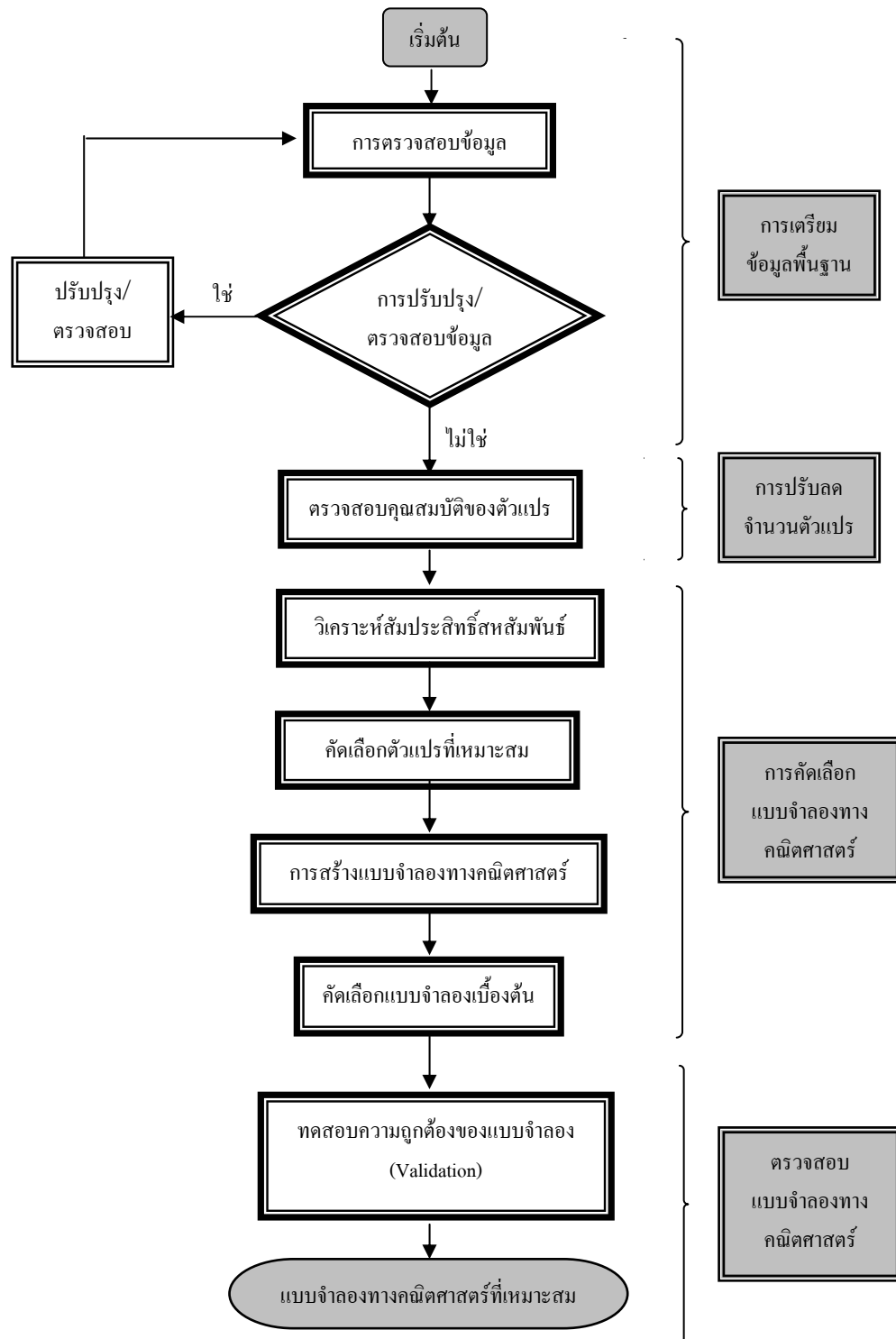
John Neter et al., (1996) ได้แบ่งขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการความถดถอย ออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูลเบื้องต้น (Data Collection and Preparation) ขั้นตอนนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้น หากพบว่าข้อมูลมี

ความผิดพลาดจากการรวบรวม หรือความไม่สมบูรณ์ของการเก็บข้อมูล ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุง ตรวจสอบเพื่อแก้ไขก่อน ถ้าหากพบว่าข้อมูลมีความสมบูรณ์ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 การปรับลดจำนวน ตัวแปร (Reduction of Number of Explanatory Variable) ขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติของตัวแปรและคัดเลือกตัวแปรที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Refinement and Selection) ขั้นตอนนี้จะทำการนำตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกตาม ขั้นตอนที่ 2 มาทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และทำการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมจาก สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ศึกษาหรือตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อสร้างแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์จากสมการความถดถอยสหสัมพันธ์ แล้วจึงทำการคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เบื้องต้น ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Validation) ขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงไรเมื่อนำไปใช้ งาน รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2.3

จากกระบวนการและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Jorgensen (1988) และ John Neter et al., (1996) พบว่าขั้นตอนหลักๆ ของการสร้างแบบจำลองมีความ เหมือนกันคือ การเตรียมข้อมูล การสร้างแบบจำลอง การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ส่วนประเด็นที่แตกต่างกันคือ Jorgensen (1988) จะมีรายละเอียดของขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ ละเอียดกว่าโดยจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดปัญหา การกำหนดความต้องการของข้อมูล แล้วจึงทำการ ตรวจสอบข้อมูล ต่อจากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลอง นอกจากนี้ยังมีการทดสอบความถูกต้องของ แบบจำลอง (validation) และการเปรียบเทียบกับของจริง (Calibration) ในขณะที่ของ John Neter et al., (1996) มีเพียงขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องเพียงอย่างเดียว และจากการเปรียบเทียบ ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดัดแปลงจาก Jorgensen (1988) และภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดัดแปลงจาก John Neter et al., (1996) พบว่า ขั้นตอนของ Jorgensen (1988) ภายหลังจากขั้นตอนการสร้างสมการแล้วสามารถปรับแก้ได้ทุก ขั้นตอน ในขณะที่ของ John Neter et al., (1996) นั้นจะมีการแก้ไขช่วงการปรับปรุงหรือตรวจสอบ ข้อมูลเพียงขั้นตอนเดียว

2.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติหมายถึงสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการ วิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากสมการความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรที่นิยมใช้และถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แบบจำลองจากสมการความถดถอย(Regression Model) หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร อิสระและตัวแปรตาม ที่แสดงออกมาในรูปเชิงคณิตศาสตร์ ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว คือ x เรียกว่าการถดถอยของ y บน x หรือเรียกว่าการถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) และ



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
(ดัดแปลงจาก John Neter et al., 1996)

ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปเรียกว่า การถดถอยของ y บน $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ หรือเราเรียกว่าการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการหาฟังก์ชันหรือรูปแบบความสัมพันธ์หรือสมการ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามที่ต้องการศึกษาโดยอาศัยความรู้หรือมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับค่าของตัวแปรอิสระตัวเดียวหรือหลายตัว ซึ่งสมการที่ต้องการนั้นควรมีสมการที่ค่อนข้างง่าย และสามารถประมาณความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้นให้ได้ใกล้เคียงมากที่สุดด้วย พร้อมทั้งวัดค่าของความคลาดเคลื่อนที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการของการประมาณด้วย รายละเอียดพื้นฐานของการวิเคราะห์การถดถอยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

2.2.4 การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน (Residual Analysis) ปกติในการวิเคราะห์การถดถอยจะพิจารณาความแตกต่างของค่าที่ทำนายกับค่าจริงที่ได้โดยผลของความแตกต่างดังกล่าวคือค่าคลาดเคลื่อน (Residual) ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนจะช่วยให้ผู้ที่แนะนำแบบจำลองไปใช้งานมีความมั่นใจมากยิ่งขึ้นดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อน โดยในการตรวจสอบมี 4 ประเด็นหลักๆ คือ

2.2.4.1 ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนจะต้องเท่ากับเท่ากับศูนย์

2.2.4.2 การตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนโดยการพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่า Y ซึ่งหากพบว่า

1. ค่าคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบ ๆ ศูนย์หรือค่าคลาดเคลื่อนมีค่าช่วงใดช่วงหนึ่งแคบๆไม่ว่า Y จะเปลี่ยนไปอย่างไรในกรณีนี้ถือว่าค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่และมีความสัมพันธ์กับ Y แบบจำลองที่ได้จึงมีความเหมาะสม

2. กรณีที่ค่า Y เพิ่มขึ้นหรือลดลงค่าความคลาดเคลื่อนก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วยแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนมากหรือค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จึงไม่เหมาะสม

2.2.4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระกัน

2.2.4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

โดยในการวิเคราะห์การถดถอย สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนได้หลายวิธี เช่น

1. Unstandardised Residuals หรือ Raw Residuals (RESID) เป็น Residual คะแนนดิบที่ตรวจพบได้ในเบื้องต้น ได้แก่ ความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายและค่าจริง

2. Standardised Residuals (ZRESID) ในการหาค่า Residual หากไม่รู้สเกลของตัวแปรจะยากต่อการแปลความหมายของ residuals ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการทำให้เป็นคะแนนมาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ย 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1

3. Studentised Residuals (SRESID) Residuals สองชนิดแรกเป็น Residuals ที่สมมติว่ามีความแปรปรวนเท่ากันในทุกค่าของตัวแปรทำนาย ส่วน SRESID จะทำการปรับแก้การประมาณค่าความแปรปรวนของ Residuals

4. Deleted Residuals (DRESID) และ Studentised Deleted Residuals (SDRESID) ในการวิเคราะห์การถดถอยจะพิจารณาความแตกต่างค่าที่ทำนายกับค่าจริงที่ได้ ซึ่งผลต่างก็คือ residual ในการคำนวณเพื่อหาค่าทำนายนั้น ได้รวมค่าผิดปกติ (Outlier) เข้าไปด้วย ซึ่งค่าผิดปกตินี้มีผลต่อค่าที่ทำนาย แต่ถ้าหากคำนวณโดยปราศจากค่าผิดปกติแล้วผลต่างระหว่างค่าที่ทำนายกับค่าจริงจะลดลง Deleted Residual และ Studentised Deleted Residual จะคำนวณอยู่บนพื้นฐานของค่าทำนายที่ไม่รวมค่าผิดปกติในการวิเคราะห์

2.2.5 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2537) อธิบายถึงการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่าเป็นกระบวนการในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลองว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นควรจะเป็นผลที่ถูกต้องนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง ความถูกต้องคือความมั่นใจว่ามันเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องใช้งานได้ ซึ่งสอดคล้องกับการอธิบายของ Law and Kelton (1991) อ้างถึงใน ศิวพันธ์ ชูอินทร์ (2544) ที่อธิบายว่าการทดสอบความถูกต้องเป็นการพิสูจน์ถึงความเชื่อมั่นของแบบจำลอง และปัญหาที่พบในการวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น หรือพัฒนาขึ้น โดยนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาทำการเปรียบเทียบกับระบบที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งวิธีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้มีอยู่หลายวิธี อาทิ

2.2.5.1 การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) เป็นการทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมอย่างที่คุณสร้างต้องการหรือตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้เช่นการถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญหรือการทดสอบทางสถิติ เป็นต้น

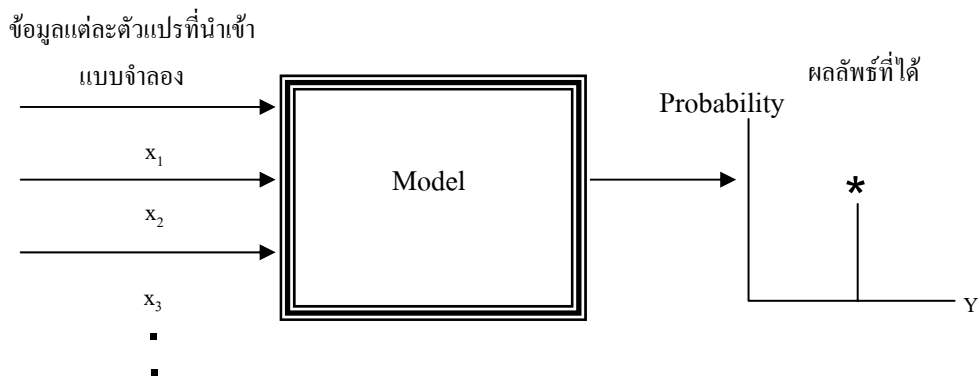
2.2.5.2 การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของข้อมูลจริง โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลในอดีต การวิเคราะห์อาจใช้เทคนิคทางสถิติเช่น การทดสอบสมมติฐาน ในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับข้อมูลจริงว่าผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากงานจริงเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร หรือการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์ในแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

2.3 แบบจำลองความน่าจะเป็น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังอาจแบ่งตามลักษณะการใช้งานและผลลัพธ์ที่ได้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองที่แน่นอน (Deterministic Model) และแบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model) (ธีรศักดิ์ อัจฉานนท์, 2546)

2.3.1 แบบจำลองที่แน่นอน (Deterministic Model) หมายถึงแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างตัวแปร ใช้สำหรับพยากรณ์ค่าของตัวแปรที่สนใจได้แน่นอนค่าเดียว เช่น $y = \alpha + \beta x$ เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง x กับ y โดยที่เมื่อกำหนดค่าของ x ได้ แบบจำลองนี้จะสามารถพยากรณ์ค่า y ได้ค่าเดียวแน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.3.2 แบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model) หมายถึงแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใช้สำหรับอธิบายความแปรผันของตัวแปร y เมื่อได้กำหนดค่าของตัวแปร x ตัวหนึ่งหรือมากกว่ามาให้ โดยมีรูปแบบสมการคือ $y = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n$ ในการคำนวณเพื่อหาค่า y นั้นจะทำการสุ่มตัวอย่างจากการแจกแจงของตัวแปรอิสระแต่ละตัวในแบบจำลองโดยตัวแปรอิสระจะมีความน่าจะเป็นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (รูปที่ 2.5) ความน่าจะเป็นคือตัวเลขที่แสดงถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจสำหรับการทดลองหนึ่งๆ โดยปกติความน่าจะเป็นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าเท่ากับ 0 แสดงว่าเหตุการณ์นั้นไม่มีโอกาสเกิดขึ้น ถ้าเท่ากับ 1 แสดงว่าเหตุการณ์นั้น

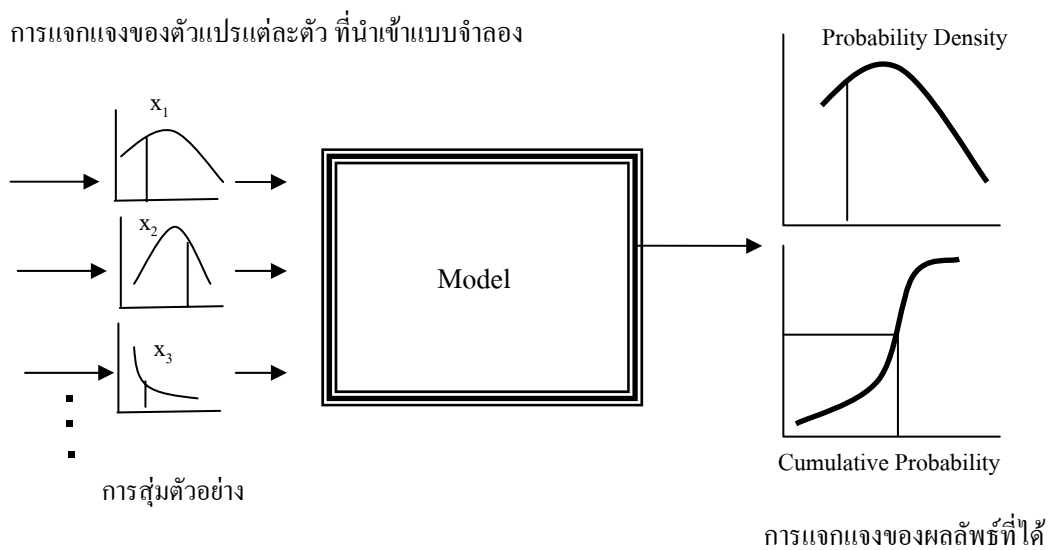


รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการพยากรณ์ค่า Y ด้วยวิธีแบบจำลองที่แน่นอน (Deterministic Model)

ต้องเกิดขึ้น ความน่าจะเป็นอาจหาได้จากประสบการณ์หรือผลลัพธ์ก่อนหน้า (การทดลองที่ทำซ้ำๆ และความถี่ของเหตุการณ์ที่สนใจ) การวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆ ของการทดลอง และการสันนิษฐาน การจำลองเชิงความน่าจะเป็นสามารถแบ่งประเภทย่อยออกได้ดังนี้

2.3.2.1 การจำลองเหตุการณ์ที่ตัวแปรอิสระมีการกระจายแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete distributions) เป็นการจำลองเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่มีเหตุการณ์หรือตัวแปรจำกัด

2.3.3.2 การจำลองเหตุการณ์ที่ตัวแปรอิสระมีการกระจายแบบต่อเนื่อง (Continuous distributions) เป็นการจำลอง เหตุการณ์ที่ เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่มีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้หรือจำนวนตัวแปรไม่จำกัด



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการพยากรณ์ค่า Y ด้วยวิธีแบบจำลองความน่าจะเป็น (Probabilistic Model)

2.4 การจำลองเหตุการณ์ของแบบจำลองความน่าจะเป็น

2.4.1 การจำลองเหตุการณ์ (Simulation)

เกศินี วิฑูรชาติ ชเนตร นรภูมิพิทักษ์ สุกกิจ ศรีกาญจนา และศรีสมรภัค อินทุจันทร์ยัง (2543) กล่าวว่า การจำลอง หมายถึง การสร้างภาพของเหตุการณ์ หรือสถานการณ์ โดยมีคุณลักษณะของความเป็นจริงปรากฏอยู่เสมือนเหตุการณ์หรือสถานการณ์นั้นเกิดขึ้นจริงเป็นการแทนความเข้าใจเหตุการณ์หรือสถานการณ์นั้นๆ เพื่อทำการศึกษาหรือทดลองหาคำตอบที่ต้องการการจำลองเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบรรยายหรือพรรณาคูณสมบัติหรือองค์ประกอบของเหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกัน จำนวนการจำลอง จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละการศึกษา โดยจำนวนการจำลองเหตุการณ์ที่มากจะยิ่งเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งจำนวนการจำลองที่เพียงพอต้องมากกว่า 100 ครั้ง (Hanna et al., 2001) และขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์นั้น Turban (1998) อ้างถึง

ในกรณีนี้ วิชุงุรชาติ, ธเนตร นรภูมิพิภษณ์, สุภกิจ ศรีภกาญญา และศรีสมรภัก อินทุจันทรย์ง (2543) แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนั้

2.4.1.1 กำหนดปัญหาที่สนใจจะทำการจำลอง

2.4.1.2 สร้างตัวแบบการจำลอง ขั้นตอนนั้เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ขององค์ประกอบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีคือ องค์ประกอบที่สามารถกำหนดค่าได้อย่างชัดเจน และองค์ประกอบที่ไม่มีควมแน่นอนจะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็น โดยต้องการแจกแจงความน่าจะเป็น ขององค์ประกอบนั้นๆ ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเก็บข้อมูลในอดีตมาทำการแจกแจงความน่าจะเป็น หรืออาจเทียบเคียงได้จากสิ่งทีคล้ายๆ กับที่ผู้อื่นทำอยู่ในปัจจุบัน ในการศึกษานั้ตัวแบบจำลองคือแบบจำลองความน่าจะเป็น และองค์ประกอบคือตัวแปรอิสระในแบบจำลอง

2.4.1.3 ทดสอบและตรวจสอบควมถูกต้องของแบบจำลอง

2.4.1.4 กำหนดจำนวนครั้งที่จะทำการจำลองโดยมีปัจจัย 2 ประการที่ต้งนำมาพิจารณาร่วมกันคือ ความถูกต้องของผลการทดลอง และค่าใช้จ่าย ผู้ที่ทำการจำลองจะต้องกำหนดจำนวนครั้งที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องเพียงพอนำไปใช้ต่อไป

2.4.1.5 ทำการจำลองตามที่ได้ออกแบบไว้

2.4.1.6 ประเมินผลที่ได้ ในขั้นตอนนั้จะเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ซึ่งอาจจะมีกรนำเครื่องมือทางสถิติอื่นๆ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุด มาใช้ในการวิเคราะห์ผล

2.4.1.7 นำผลที่ได้ไปใช้งาน

การจำลองเหตุการณ์ในการศึกษานั้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกาวิเคราะห์ควมไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ควมถดถอบเชิงพหุ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในหัวข้อที่ 2.5

2.4.2 ตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์

ตัวแปรสุ่ม คือ ตัวแปรที่กำหนดขึ้นแทนเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่สนใจ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถแปรได้หลายค่า ตัวแปรสุ่มมี 2 ชนิดคือ

2.4.2.1 ตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง(Discrete Random Variable) หมายถึง ตัวแปรสุ่มที่มีเรนจ์เสปซ เป็นจำนวนที่นับได้ถ้วน นั่นคือตัวแปรสุ่ม X อาจแสดงเป็นค่าตัวเลข $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ เป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องกัน หรือ X มีค่าเป็นจำนวนที่จัดกลุ่มแบบ 1 ต่อ1 กับจำนวนเต็มบวกทั้งหมดได้ เช่น จำนวนเหรียญที่ขึ้นหัว จำนวนครั้งที่ยิงถูกเป้า เป็นต้น โดยฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Probability Function) ในการทดลองสุ่มใด ๆ ค่าของตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่องแต่ละค่าจะมีความน่าจะเป็นเท่ากับค่าคงที่เสมอ และแต่ละค่าจะเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นแตกต่างกัน ฟังก์ชันที่แสดงว่าตัวแปรสุ่มตัวหนึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าใด ด้วยความน่าจะเป็นเท่าใดนั้น

เรียกว่า ฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Probability Function) หรือการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Distribution) ของตัวแปรสุ่มนั้น

2.4.2.2 ตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่อง หมายถึง ตัวแปรสุ่มที่มีเรนจ์เลขเป็นจำนวนที่ต่อเนื่องกันไม่จำกัด หรือ X มีค่าต่อเนื่องกันได้หลายค่านับไม่ถ้วน เช่น ระยะเวลาสูง น้ำหนัก อุณหภูมิ ช่วงเวลา เป็นต้น ซึ่งความน่าจะเป็นที่ X จะมีค่าเท่ากับเลขจำนวนใดจำนวนหนึ่งที่กำหนด จะมีค่าน้อยมากจนถือว่าไม่มีค่าเป็นศูนย์ แต่ความน่าจะเป็นที่ X จะมีค่าอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งนั้น สามารถหาค่าได้ ตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่องจะมีความน่าจะเป็นที่จุด ๆ เดียวเท่ากับศูนย์ ซึ่งทำให้การแจกแจงความน่าจะเป็นไม่สามารถแสดงในรูปของตารางได้ จึงต้องแสดงในรูปของสูตร เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $f(x)$ เราเรียกว่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ย่อว่า p.d.f.

2.4.3 ฟังก์ชันความน่าจะเป็น

ปกตินิยมเรียกฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรไม่ต่อเนื่องว่าฟังก์ชันมวลสารน่าจะเป็น (Probability Mass Function, pmf) และเรียกฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรต่อเนื่องว่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probabilistic Density Function, p.d.f) ซึ่งรูปแบบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น มีหลายรูปแบบ ซึ่งที่พบได้ในการศึกษาความไม่แน่นอนที่เกี่ยวกับแบบจำลองทางด้านสิ่งแวดล้อม และชีววิทยา (EPA, 2001) แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงพารามิเตอร์และสมมติฐาน ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น และสมการในการคำนวณค่าทางสถิติของการแจกแจงแต่ละรูปแบบ

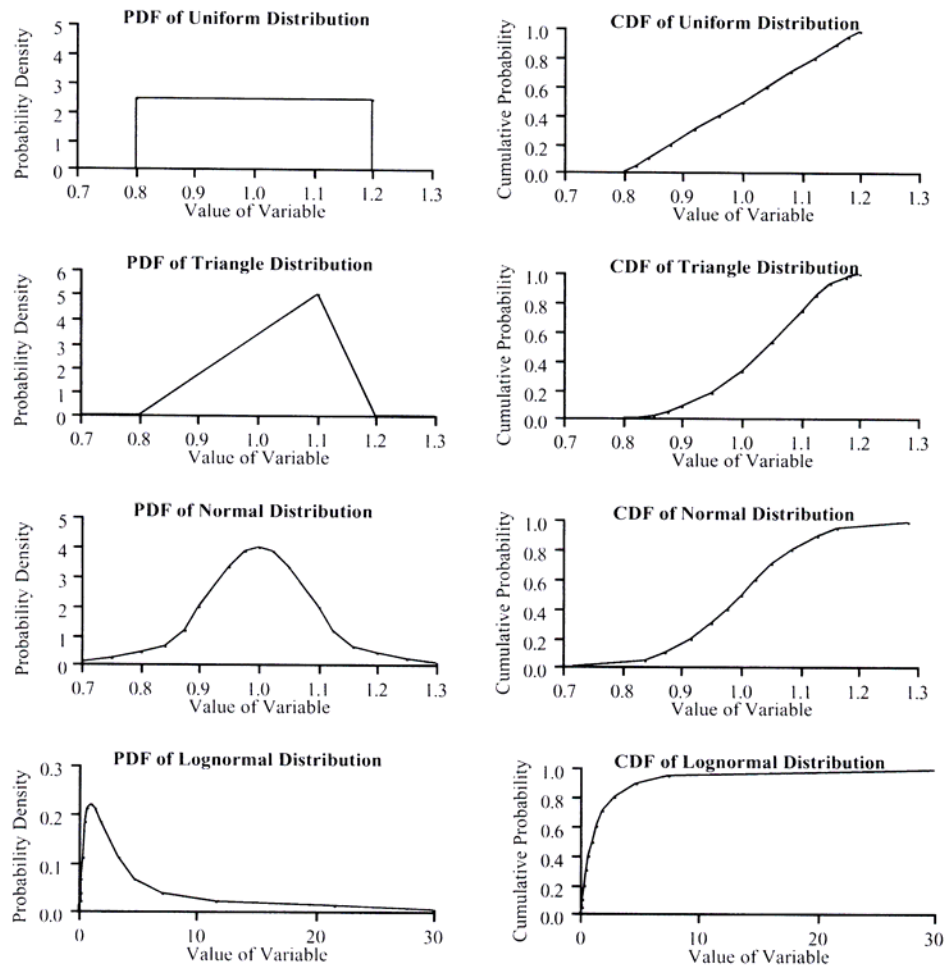
ตัวอย่างชนิดของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมแสดงในรูปที่ 2.6 โดยมีรายละเอียดของแต่ละรูปแบบดังนี้

2.4.3.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์ม เป็นการแสดงค่าระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูล ซึ่งสามารถระบุขอบเขตของความเป็นไปได้แต่จะมีข้อจำกัดคือหากระบุค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลคลาดเคลื่อนจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของตัวแปรได้ ในการสุ่มตัวอย่างจากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์มมีหลักการคือกำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องซึ่งมีค่าได้ทุกค่าจริงในช่วงใดช่วงหนึ่งด้วยความน่าจะเป็นเท่าๆ กัน

2.4.3.2 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบ Triangle จะมีลักษณะคล้ายกับการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มคือสามารถที่จะกำหนดหรือระบุขอบเขตของความเป็นไปได้ของข้อมูล การแจกแจงแบบ Triangle อาจมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ เบ้ซ้าย หรือเบ้ขวา

ตารางที่ 2.1 รูปแบบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นทางด้านสิ่งแวดล้อมและชีววิทยา

Distribution	Parameter	Probability density Function	Moment
Uniform	a=Location b-a = Scale	$\frac{1}{b-a}$	Mean = $\frac{a+b}{2}$ S.D. = $\sqrt{\frac{(b-a)^2}{12}}$
Normal	μ = Location σ = Scale	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	Mean = μ S.D. = σ
Lognormal	σ = Shape θ = Location m = Scale	$\frac{e^{-((\ln((x-\theta)/m))^2/(2\sigma^2))}}{(x-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}}$	Mean = $e^{(0.5\sigma^2)}$ S.D. = $\sqrt{e^{\sigma^2}(e^{\sigma^2}-1)}$
Gamma	γ = Shape μ = Location Γ = Gamma	$\frac{(x-\mu)^{\gamma-1} \exp(-\frac{(x-\mu)}{\beta})}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$	Mean = γ S.D. = $\sqrt{\gamma}$
Exponential	μ = Location β = Scale	$\frac{1}{\beta} e^{-(x-\mu)/\beta}$	Mean = β S.D. = β
Weibull	γ = Shape μ = Location α = Scale	$\frac{\gamma}{\alpha} \left[\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right]^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right)^\gamma\right]$	Mean = $\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right)$ S.D. = $\sqrt{\Gamma\left(\frac{\gamma+2}{\gamma}\right) - \left(\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right)\right)^2}$
Extreme Value	μ = Location β = Scale	$\frac{1}{\beta} e^{-\frac{(x-\mu)}{\beta}} e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\beta}}}$	Mean = $\mu + 0.5772\beta$ S.D. = $\frac{\beta\pi}{\sqrt{6}}$
Beta	p,q = Shape B(p,Q) = beta b-a = Scale a,b = Location	$\frac{(x-a)^{p-1} (b-x)^{q-1}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}}$	Mean = $\frac{p}{p+q}$ S.D. = $\sqrt{\frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)}}$



รูปที่ 2.6 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม (คัดแปลงจาก H. Christopher Frey, 1992)

2.4.3.3 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบปกติจะมีค่าเฉลี่ย โหมด และ ค่ามัธยฐาน เท่ากัน การแจกแจงแบบปกติมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความสมมาตรรูปทรงระฆังคว่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็นจุดกึ่งกลางซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน โดย 99 เปอร์เซ็นต์ของค่าทั้งหมดสามารถหาได้จากเส้นโค้งปกติ หรือ $\bar{x} \pm 3\sigma$ ซึ่งความไม่แน่นอนของข้อมูลส่วนใหญ่มากกว่าศูนย์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะต้องไม่มากกว่า 20 หรือ 30 เปอร์เซ็นต์จากค่าเฉลี่ย

2.4.3.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบ Lognormal การแจกแจงของข้อมูลจะมีลักษณะความเบ้เป็นบวก โดยมีหางของการแจกแจงไปทางขวา การแจกแจงลักษณะนี้ปกติจะแสดงความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยดูจากลักษณะความเบ้ว่าเป็นบวกหรือลบ

2.4.4 การทดสอบลักษณะการแจกแจงของความเป็น

ในการจำลองเหตุการณ์ในแบบจำลองความน่าจะเป็นจำเป็นต้องทราบลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปร โดยเฉพาะต้องการทราบว่าลักษณะการแจกแจงนั้นมีรูปแบบที่เหมือนกับรูปแบบซึ่งมีฟังก์ชันคณิตศาสตร์สำเร็จรูปอยู่แล้วหรือไม่ ขั้นตอนปกติในการทดสอบลักษณะการแจกแจงของความเป็นนั้นต้องมีการสร้างกราฟเพื่อดูลักษณะการแจกแจงของความน่าจะเป็นของข้อมูล จากนั้นจึงตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบว่าลักษณะของการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับการแจกแจงฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่คิดไว้มีความใกล้เคียงกันอย่างไร มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงใด วิธีการทดสอบที่นิยมใช้เรียกว่าการทดสอบ Goodness-of-Fit Test ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่

2.4.4.1 วิธี Chi-Square Test : (Snedecor and Cochran, 1989) ใช้ในการทดสอบการแจกแจงของประชากรว่าเป็นไปตามที่คาดไว้หรือไม่ นิยมใช้สำหรับตัวแปรชนิด Category เช่น ความคิดเห็น ลักษณะสินค้า ช่วงของรายได้ เป็นต้น นอกจากนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการทดสอบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง เช่น การแจกแจงทวินาม และการแจกแจงปัวส์ซอง

2.4.4.2 วิธี Kolmogorov-Smirnov (K-S) Test : (Chakravarti, Laha and Roy, 1967) ใช้ในการตัดสินใจการทดสอบการแจกแจงของประชากรที่มีการกระจายแบบใด หลักการของการทดสอบนี้คือการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของข้อมูลตัวอย่างกับค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของข้อมูลภายใต้สมมติฐานว่าประชากร/ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ถ้าค่าความแตกต่างต่ำแสดงว่าการแจกแจงเป็นแบบปกติ

2.4.4.3 วิธี Anderson-Darling (A-D) Test : (Stephens, 1974) ใช้ในตัดสินใจว่าลักษณะของข้อมูลมีการกระจายแบบใด ซึ่งเป็นสถิติทดสอบที่ดัดแปลงมาจากวิธี K-S Test โดยสถิติทดสอบ A-D Test จะทำการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงของตัวแปร โดยการคำนวณจากค่าวิกฤต

2.5 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหวของแบบจำลอง

ความไม่แน่นอน (Uncertainty) เป็นคุณสมบัติที่บอกลถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง การเกิดความไม่แน่นอนจากแบบจำลองนั้นมาจากหลายสาเหตุ (EPA, 1992) ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของความไม่แน่นอนออกได้ 3 แบบคือ

2.5.1 ความไม่แน่นอนของสถานการณ์ (Scenario Uncertainty) ความไม่แน่นอนของสถานการณ์มีสาเหตุจากความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลที่ใช้หรือความสูญหายของข้อมูลบางส่วนซึ่งจะส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนในการคาดการณ์ นอกจากนี้ความไม่แน่นอนของสถานการณ์อาจมี

สาเหตุจากความคลาดเคลื่อนจากการรวบรวมข้อมูล ความคลาดเคลื่อนจากการเลือกแบบจำลองที่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น

2.5.2 ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ (Parameter Uncertainty) ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ มีสาเหตุจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูล เช่น การที่มีจำนวนข้อมูลน้อยเกินไป หรือความผิดพลาดจากการสุ่มตัวอย่าง เกิดจากการตรวจวัด เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ ซึ่งพิจารณาจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล ด้วยการพิจารณาความแปรปรวน (variance) หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ในข้อมูลนำเข้า

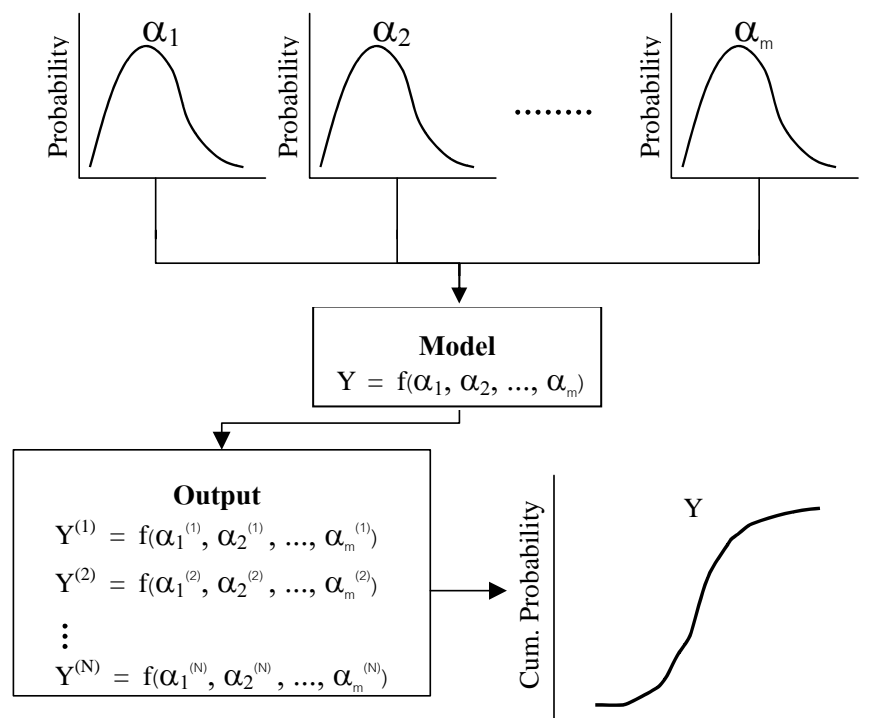
2.5.3 ความไม่แน่นอนของแบบจำลอง (Model Uncertainty) ความไม่แน่นอนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักเกิดขึ้นจากโครงสร้างของแบบจำลองเนื่องจากแบบจำลองแต่ละแบบจำลองจะมีขอบเขตจำกัดของการคาดการณ์หรือพยากรณ์ตามสมมติฐานของแบบจำลองนั้นๆ จึงทำให้การคาดการณ์ไม่สามารถคาดการณ์ได้เท่ากับความเป็นจริง ความไม่แน่นอนของแบบจำลองอาจมีสาเหตุจาก โครงสร้างของแบบจำลอง (Model Structure) รายละเอียดของแบบจำลอง (Model Detail) ความถูกต้อง (Validation) การประเมินหรือคาดการณ์ (Extrapolation) เป็นต้น

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เป็นการวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรและพารามิเตอร์ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองอย่างไร ถ้าผลที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงหรืออ่อนไหวต่อค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ใดก็เป็นเครื่องแสดงให้รู้ว่าจะต้องระมัดระวังให้มากต่อการนำค่าตัวแปรและพารามิเตอร์เหล่านั้นมาใช้

วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวคือการจำลองเหตุการณ์โดยใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) (Beven and Binley, 1992) โดยการพิจารณาความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ซึ่งหมายถึงตัวแปรอิสระในแบบจำลองที่ส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการคาดการณ์ค่าตัวแปรตาม (Morgan and Henrion, 1990) และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง ด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าแบบจำลองของตัวแปรอิสระแต่ละตัว และผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง (Helton, 1993) วิธีมอนติคาร์โลเป็นวิธีการจำลองที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากนำเอาความไม่แน่นอนในการเกิดค่าตัวแปรอิสระนั้นๆ เข้ามาร่วมพิจารณา โดยการใช้หลักความน่าจะเป็นมาช่วยในการกำหนดค่าให้กับตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรนั้น วิธีมอนติคาร์โลจะทำการจำลองเหตุการณ์ซ้ำๆ กันเพื่อให้เกิดค่าของตัวแปรตามที่แตกต่างกันไป โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งที่แน่นอนว่าต้องทำการจำลองกี่ครั้งจึงจะถือว่ามากเพียงพอ

กระบวนการของมอนติคาร์โลแสดงในรูปที่ 2.7 (Sudjit Karuchit, 2001) Cox and Baybutt (1981) Sargent and Wainwright (1996) และ Cox et al (2001) ได้แบ่งกระบวนการประเมินความไม่แน่นอนโดยใช้วิธีมอนติคาร์โลออกเป็น 2 ชั้น คือชั้นแรกกำหนดการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ชั้นที่สองทำการเลือกสุ่มตัวอย่างจากตัวแปรที่มีการแจกแจง

ตามที่กำหนดซึ่งขั้นตอนนี้จะทำซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้ง โดยความน่าเชื่อถือของการสุ่มตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนการทำซ้ำ (Schmitt, 1977) ผลที่ได้คือ ชุดของค่า $N(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ เมื่อ $i = 1$ ถึง N ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างจำลอง และ $Y^{(i)}$ เมื่อ $i = 1$ ถึง N ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง โดยที่การกระจายของ Y ที่ได้จะแสดงให้เห็นในรูปการแจกแจงความน่าจะเป็น โดยความไม่แน่นอนสามารถจะตรวจสอบด้วยวิธีทางสถิติ คือการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย และช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยหรือค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์



รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการของ Monte Carlo Simulation Process

(ที่มา Sudjit Karuchit, 2001)

นอกจากนี้ยังมีหลักการสุ่มตัวอย่างแบบ Latin hypercube sampling (LHS) ซึ่งเป็นที่นิยมและใช้หลักการเดียวกับการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลแต่จะเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนในการสุ่มตัวอย่าง โดยลดค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง ทำให้การสุ่มตัวอย่างในแต่ละชุดข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งจะทำให้การแบ่งพื้นที่ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงความน่าจะเป็นออกเป็นส่วนๆ ที่เท่ากันตามที่กำหนด และทำการสุ่มตัวอย่างจากส่วนที่ได้แบ่งไว้ (Avramidis and Wilson, 1996 และ Owen, 1998)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับปริมาณจราจร

A. Karppinen et al. (2000) พบว่าสัดส่วนค่าเฉลี่ยรายปีของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ในถนนที่รถไม่ติดจะมีปริมาณมลพิษน้อยกว่าถนนที่มีการจราจรคับคั่งถึง 50% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Brechler (2000) ที่ศึกษาแบบจำลองในการประเมินมลพิษทางอากาศในกรุงปราก โดยใช้แบบจำลองเกาส์เลียนสำหรับคาดการณ์ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) พบว่าปริมาณ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะเพิ่มขึ้นถ้าปริมาณจราจรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Mäkelä et al., (1996) อ้างถึงใน Karppinen A. et al., (2000) กล่าวว่ามลพิษที่ปล่อยจากการจราจรจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของปริมาณจราจรและความเร็วรถ โดยเฉพาะ NO_x และ NO_2 จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเร็วของรถเพิ่มขึ้นจาก 40-120 กม./ชม. และจากการศึกษาของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549) โดยใช้แบบจำลอง CALINE ทำการศึกษาปริมาณจราจรบนทางพิเศษกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และไฮโดรคาร์บอน พบว่าปริมาณมลพิษทางอากาศจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณจราจรบนทางพิเศษที่เพิ่มขึ้น

Mirjam et al. (1998) ได้ทำการศึกษามลพิษทางอากาศจากการจราจรในเมืองที่อยู่ใกล้ทางพิเศษ โดยทำการตรวจวัดมลพิษทั้งภายในและภายนอกอาคารของโรงเรียน 13 แห่งมีพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ PM_{10} และ NO_2 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของรถบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์และในส่วนของความเข้มข้นของ NO_2 ในห้องเรียนจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับรถยนต์และความหนาแน่นของปริมาณจราจร นอกจากนี้ Rene, (1996) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและปริมาณจราจรโดยใช้วิธีสังเกตในเมือง Metro-Manila โดยศึกษาการปริมาณของยานพาหนะกับมลพิษทางอากาศ ซึ่งผลจากการศึกษาความอ่อนไหวพบว่าปริมาณยานพาหนะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณมลสาร นอกจากนี้ Magne A. and Ingrid Hobæk H. (2005) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศกับปริมาณจราจรโดยมลพิษที่ทำการศึกษาประกอบด้วย PM_{10} $\text{PM}_{2.5}$ NO_2 และ NO_x โดยใช้ข้อมูลจาก Norwegian Public Roads Administration ช่วงปี 2001-2003 ต่อจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณจราจรมีผลต่อมลพิษทางอากาศที่ศึกษาโดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือหากปริมาณจราจรเพิ่มมากขึ้นมลพิษทางอากาศจะเพิ่มขึ้นด้วย

Liping Xia and Yaping Shao (2005) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการปล่อยมลพิษทางอากาศคือ CO NO_x และ PM_{10} โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจากแบบจำลอง

Lagrangian และนำผลของมลพิษทางอากาศดังกล่าวเปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งพบว่าปริมาณความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงเชิงเส้นตรงกับสัดส่วนการปล่อยมลพิษทางอากาศที่ได้จากการคำนวณปริมาณจากรูปแบบจำลอง โดย CO ที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่ Causeway Bay และ Central มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากการคำนวณปริมาณจากรูปแบบจำลองเท่ากับ 0.8 และ 0.84 ตามลำดับ ในขณะที่ NO_x ที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่ Causeway Bay Central และ Central/Western มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของ NO_x ที่ได้จากการคำนวณปริมาณจากรูปแบบจำลองเท่ากับ 0.78 0.86 และ 0.74 ตามลำดับ และ PM₁₀ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่อ่าว Causeway Bay Central และ Central/Western มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่ได้จากการคำนวณปริมาณจากรูปแบบจำลองเท่ากับ 0.83 0.85 และ 0.82 ตามลำดับ

Chan L.Y. and Helen W.Y. Wu (1992) ได้ทำการศึกษามลพิษทางอากาศได้แก่ NO, NO₂, CO และ SO₂ กับปริมาณจากรูปแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณ NO และ NO₂ จะมีความสัมพันธ์สูงสุดกับปริมาณจากรูปแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับ CO และ SO₂ โดยมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.517-0.658 ปริมาณ CO จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณจากรูปแบบจำลองน้อยกว่า โดยมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.053-0.134 ในขณะที่ปริมาณ SO₂ มีความสัมพันธ์กับปริมาณจากรูปแบบจำลองโดยมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.218-0.413 โดยมลพิษดังกล่าวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจากรูปแบบจำลองคือหากปริมาณจากรูปแบบจำลองเพิ่มขึ้นจะทำให้มลพิษทางอากาศที่กล่าวมาเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ Roorda-Knape et al., (1999) อ้างถึงใน Nicolas Gillbert et al., (2003) ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ NO₂ ในทิศทางพิเศษในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งพบว่าปริมาณความเข้มข้นของ NO₂ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจากรูปแบบจำลอง

2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับตัวแปรอื่นๆ

2.6.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับระยะห่างจากทางพิเศษทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549) ได้ทำการศึกษารูปแบบมลพิษทางอากาศ กับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และไฮโดรคาร์บอนที่ระยะห่างจากทางพิเศษ 20 50 100 และ 300 เมตร ซึ่งพบว่าปริมาณมลพิษทางอากาศดังกล่าว จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mirjam et al. (1998) ที่พบว่าความเข้มข้นของ NO₂ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับระยะห่างจากทางพิเศษโดยมีค่า r เท่ากับ -0.83 คือหากระยะห่างจากทางพิเศษเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณ NO₂ ลดลง และ PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากทางพิเศษโดยมีค่า r เท่ากับ -0.39 ในขณะที่ Nicolas L. Gillbert et al., (2003)

ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ NO_2 ในบรรยากาศกับระยะห่างจากทางพิเศษในเมือง Montreal ประเทศแคนาดา ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ NO_2 จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะห่างจากทางพิเศษที่เพิ่มขึ้น ($P < 0.0001$) และ Roorda-Knape et al., (1999) อ้างถึงใน Nicolas Gillbert et al., (2003) ที่ทำการศึกษากวามเข้มข้นของ NO_2 ใกล้ทางพิเศษในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งพบว่าปริมาณความเข้มข้นของ NO_2 มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับระยะห่างจากทางพิเศษ

2.6.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับความเร็วรถ กรมควบคุมมลพิษ (2543) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษจากถนนพบว่าความเร็วรถแต่ละประเภทมีผลต่ออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะมีการปล่อยสูงเมื่อรถมีความเร็วต่ำ แต่ในกรณีก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อัตราการปล่อยจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นแต่เมื่อถึงความเร็วคงที่ อัตราการปล่อยจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผลของอุณหภูมในการเผาไหม้ และปริมาณอากาศที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในขณะที่เกิดการสันดาป

2.6.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและตัวแปรอุตุณิยมวิทยาโดย Rene, (1996) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและความเร็วลม พบว่าความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณมลสารอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ Magne A. amd Ingrid Hobaek H. (2005) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศกับข้อมูลอุตุณิยมวิทยาโดยมลพิษที่ทำการศึกษาประกอบด้วย PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 และ NO_x และข้อมูลอุตุณิยมวิทยาประกอบด้วย อุณหภูมิ ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้ข้อมูลจาก Norwegian Public Roads Administration ช่วงปี 2001-2003 ต่อจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ต่ำลงจะมีผลทำให้ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (ที่ระดับความสูง 2-25 เมตรจากพื้นดิน) ทำให้ NO_2 และ NO_x เพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ (Keary et al., 1998) ในขณะที่ทิศทางลมและความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงมลพิษทางอากาศคือความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มลพิษทางอากาศลดลงสอดคล้องกับการศึกษาของ Slimi TH. Et al., (2002) ได้ทำการศึกษารววิเคราะห์ความถดถอยสหสัมพันธ์ในการคาดการณ์คุณภาพอากาศในเมืองเอเธน ประเทศกรีซ โดยใช้ข้อมูลที่ศึกษาคือโอโซนซึ่งใช้ข้อมูลสิบปีย้อนหลัง (1990-1999) ข้อมูลอุณหภูมิใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและเฉลี่ยรายวัน และข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย หลังจากรวบรวมข้อมูลได้แล้วทำการศึกษาความถดถอยสหสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าปริมาณโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิสูงสุดแต่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วลม โดยสมการที่ได้มีค่า R^2 เท่ากับ 0.593

งานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.6.1–2.6.2 สามารถสรุปข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศที่ศึกษากับตัวแปรอื่นๆ ที่มีการศึกษาแล้วดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.6.3 การใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว

Andrias et al., 1993 ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ COPERT III ซึ่งพัฒนาโดย Aristotal University of Tessaloniki ในการประเมินผลความไม่แน่นอนในการคาดการณ์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) จากการจราจรในกรีซ โดยความไม่แน่นอนของตัวแปรที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วย ความเร็วรถมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ $\pm 20\%$ ระยะการเดินทางเฉลี่ยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ $\pm 30\%$ และปัจจัยการปล่อยมลพิษซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของรถมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 9-49% และ Frey and Burmaster. (1999) ได้ทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน ที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองทางสถิติ โดยการใช้เทคนิควิธีมอนติคาร์โลและ Bootstrap สำหรับวิเคราะห์หาอิทธิพลจากปัจจัยการปล่อยมลพิษประกอบด้วย ความเร็วรถ เชื้อเพลิงที่ใช้ อุณหภูมิ และวงรอบการเดินทาง ซึ่งผลที่ได้พบว่าในปัจจัยการปล่อยมลพิษดังกล่าวมีความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่คาดการณ์ประมาณ 20-40%

Dabberdt and Miller (2000) ใช้วิธีความน่าจะเป็นสำหรับหาความไม่แน่นอนของแบบจำลองในการคาดการณ์ใช้ชุดของข้อมูล 162 ชุดในการจำลองเหตุการณ์โดยการกำหนดค่าประมาณที่ดีจำนวน 2 ค่า ขึ้นมาเป็นขอบเขตซึ่งคล้ายกับช่วงความไม่แน่นอนของตัวแปรนำเข้า ในการศึกษานี้มีตัวแปรนำเข้า 4 ตัวแปรคือ ความเร็วลม ทิศทางลม มลพิษจากแหล่งกำเนิด และ plume rise โดยรูปแบบเส้นความเข้มข้น (ทั้งแบบจำลองที่แน่นอนและแบบจำลองความน่าจะเป็น) และฮิสโตแกรมของความน่าจะเป็นของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นที่ผู้รับผลกระทบจะแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของการคาดการณ์

Freeman et al. (1986) ได้พัฒนาสมการในการคำนวณความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองการแพร่กระจาย ซึ่งผลของสมการที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมสำหรับสภาวะอากาศที่ไม่แน่นอนซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนด้วยวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งผลแสดงให้เห็นถึงความไม่แน่นอนเพียงเล็กน้อยของข้อมูลนำเข้าสมการสามารถส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ได้มาก นอกจากนี้ S. Vardoulakis et al (2002) ได้วิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองจากการจราจร 3 แบบจำลอง ได้แก่ STREET OSPM และ AEOLIUS โดยใช้ข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศจากถนน ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ความอ่อนไหว และความแน่นอนของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองส่งผลต่อการพยากรณ์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนในแบบจำลองการแพร่กระจายของ Yegnan et al (2002) ที่ใช้แบบจำลอง Industrial Source Complex Shot Term (ISCST) ในการศึกษาและวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองด้วยวิธีการประเมิน First และ Second-order Taylor series ผลการศึกษาความไม่แน่นอนของแบบจำลอง ISCST พบว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่ใช้ซึ่ง ได้แก่ ความเร็วลม และอุณหภูมิ มีผลต่อความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลอง และจากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองด้วยวิธี First และ

Second order Taylor series ด้วยเทคนิควิธีมอนติคาร์โล พบว่า First-order Taylor series มีความเหมาะสมกับตัวแปรอุณหภูมิ ในขณะที่ Second-order Taylor series มีความเหมาะสมกับ ตัวแปรความเร็วลม

ตารางที่ 2.2 สรุปข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรอื่น ๆ

มลพิษ	การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549)		Liping Xia & Yaping Shao (2005)	Magne A. & Ingrid Hobaek H. (2005)	
	ปริมาณจราจร	ระยะห่างจากทางพิเศษ	มลพิษทางอากาศจากการตรวจวัดจริง	ปริมาณจราจร	อุณหภูมิ
CO	ระดับ CO เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	ระดับ CO จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น	ระดับ CO คำนวณได้มีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกับ CO จากการตรวจวัดจริงโดยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น	-	-
NO ₂	ระดับ NO ₂ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	ระดับ NO ₂ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น	-	ระดับ NO ₂ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากระดับพื้นดิน 2-25 เมตรทำให้ระดับ NO ₂ เพิ่มขึ้นด้วย
SO ₂	ระดับ SO ₂ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	-	-	-	-
O ₃	ระดับ O ₃ เพิ่มขึ้นตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	-	-	-	-
PM ₁₀	ระดับ PM ₁₀ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	-	มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ PM ₁₀ จากการตรวจวัดจริง	ระดับ PM ₁₀ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	อุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะทำให้ระดับ PM ₁₀ เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 สรุปข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรอื่น ๆ (ต่อ)

มลพิษ	Nicolas L. Gillbert et al. (2003)	Slini TH. et al. (2002)		กรมควบคุมมลพิษ (2543)	A. Karppinen et al. (2000)
	ระยะห่างจากทางพิเศษ	อุณหภูมิ	ความเร็วลม	ความเร็วรถ	ปริมาณจราจร
CO	-	-	-	ความเร็วรถที่ต่ำลงส่งผลให้ระดับ CO เพิ่มขึ้น	-
NO ₂	ระดับ NO ₂ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น	-	-	ระดับ NO ₂ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นแต่เมื่อถึงความเร็วคงที่ระดับ NO ₂ จะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้	ถนนที่มีปริมาณจราจรที่คับคั่งจะมีระดับ NO ₂ มากกว่าถนนที่มีปริมาณจราจรน้อยประมาณ 50%
SO ₂	-	-	-	-	-
O ₃	-	ระดับ O ₃ เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	ระดับ O ₃ เพิ่มขึ้นหากความเร็วลมลดลง	-	-
PM ₁₀	-	-	-	-	-

ตารางที่ 2.2 สรุปข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรอื่น ๆ (ต่อ)

มลพิษ	Roorda-Knape et al. (1999)		Keary et al. (1998)	Mirjam et al. (1998)	
	ปริมาณจราจร	ระยะห่างจากทางพิเศษ	อุณหภูมิ	ปริมาณจราจร	ระยะห่างจากทางพิเศษ
CO	-	-	-	-	-
NO ₂	ระดับ NO ₂ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	ระดับ NO ₂ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ NO ₂ เพิ่มขึ้นด้วย	ระดับ NO ₂ ในห้องเรียนมีความสัมพันธ์ทางเดียวกันกับรถยนต์และความหนาแน่นของปริมาณจราจร	ระดับ NO ₂ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น
SO ₂	-	-	-	-	-
O ₃	-	-	-	-	-
PM ₁₀	-	-	-	ระดับ PM ₁₀ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับรถบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญ	ระดับ PM ₁₀ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 สรุปข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรอื่น ๆ (ต่อ)

มลพิษ	Mäkelä et al. (1996)		Chan L.Y. & Helen W.Y. Wu (1992)
	ปริมาณจราจร	ความเร็วรถ	ปริมาณจราจร
CO	-	-	ระดับ CO มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจราจร โดยมีค่า R ระหว่าง 0.053-0.134
NO ₂	ระดับ NO ₂ ที่ปล่อยจากการจราจรจะขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น	ระดับ NO ₂ จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเร็วรถเพิ่มขึ้นจาก 40-120 กม./ชม.	ระดับ NO ₂ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจราจร โดยมีค่า R ระหว่าง 0.517-0.658
SO ₂	-	-	ระดับ SO ₂ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจราจร โดยมีค่า R ระหว่าง 0.218-0.413
O ₃	-	-	-
PM ₁₀	-	-	-

บทที่ 3

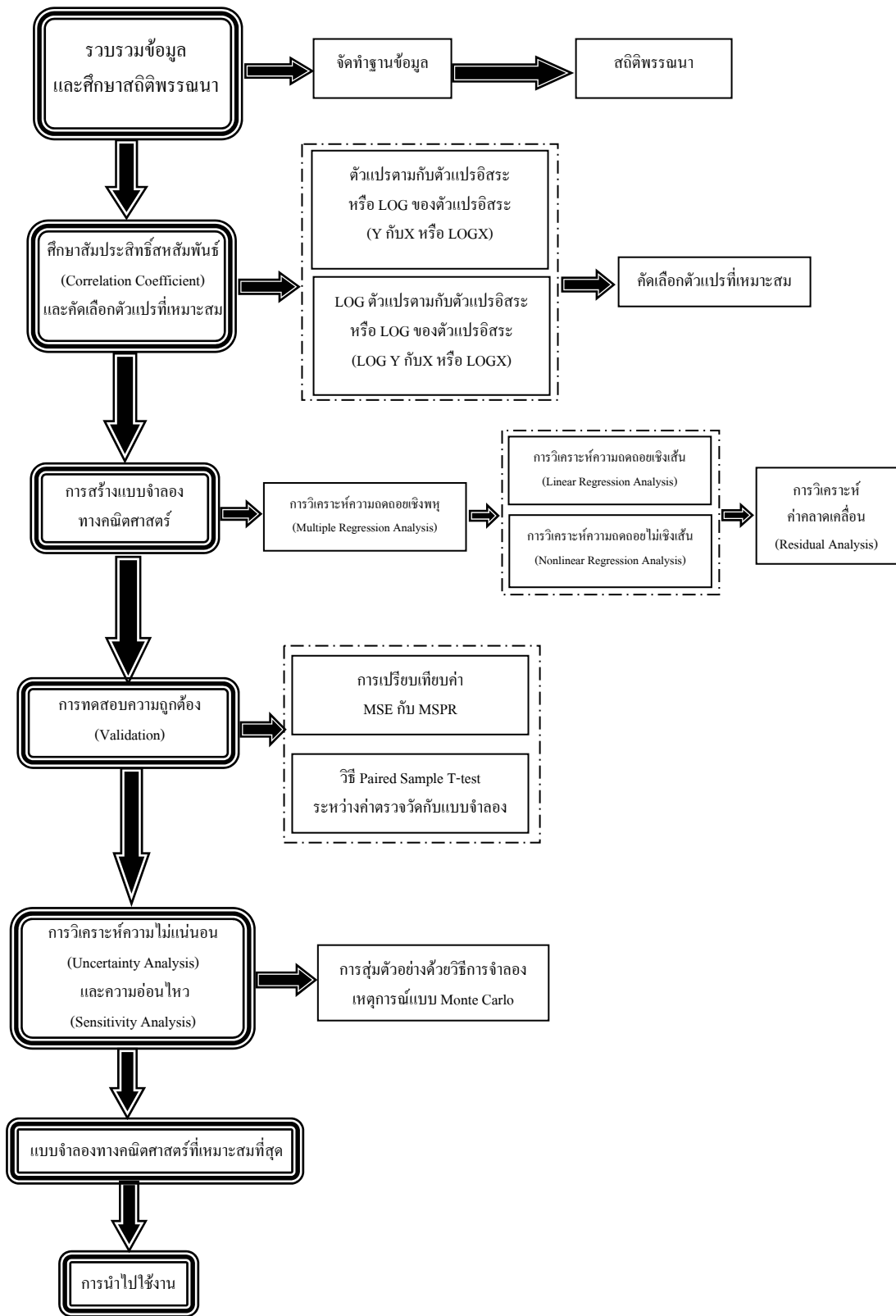
วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาเป็นออกเป็นขั้นตอนหลักดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูลและศึกษาสถิติพรรณนา

3.1.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย เป็นข้อมูลจากรายงานผลการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากทางพิเศษ เป็นรายงานที่จัดทำขึ้นตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 โดยการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นเจ้าของโครงการทางพิเศษจะต้องจัดทำรายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยทำการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการทางพิเศษที่เปิดดำเนินการแล้ว ได้แก่ ทางพิเศษศรีรัช ทางพิเศษฉลองรัช และทางพิเศษบูรพาวิถี โดยทำการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 5 ปีต่อเนื่องกัน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา จะใช้ข้อมูลจากรายงานผลการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากทางพิเศษปี 2544 และปี 2546 ของการทางพิเศษฯ และจากรายงานการตรวจสอบคุณภาพอากาศและอุตุนิยมวิทยาปี 2544 และ 2546 ของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทางพิเศษฯ ประกอบด้วยระดับมลพิษทางอากาศ ปริมาณจราจร ชนิดของยานพาหนะ ระยะห่างจากทางพิเศษ โดยมีสถานีตรวจวัดทั้งสิ้น 6 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งทั้ง 6 สถานี เป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางหรือไวต่อการได้รับผลกระทบ (Sensitive Areas) จากทางพิเศษ และเป็นสถานที่รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ของโครงการทางพิเศษฉลองรัชกำหนดไว้เป็นสถานีตรวจวัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และข้อมูลที่ได้จากกรมควบคุมมลพิษ ประกอบด้วย ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิ จากสถานีตรวจวัดห้วยขวาง ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้ทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด รายละเอียดแผนที่สถานีตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา



รูปที่ 3.2 รายละเอียดแผนที่สถานีตรวจวัดอากาศ และอูดุณิมวิทยา
(ที่มา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2544)

ตารางที่ 3.1 สถานีตรวจวัดทั้ง 6 สถานีของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย

สถานี	ชื่อ	ระยะห่างจากทางพิเศษ (เมตร)
1	ซอยอยู่เย็น	40
2	โรงเรียนคลองทรงกระเทียม	180
3	หมู่บ้านออร์คิดวิลล่า	35
4	หมู่บ้านธารารมณ	150
5	โรงเรียนสวนรั้ววิทยาคม	195
6	ถนนโยธิน	25

3.1.2 กระบวนการเก็บและรวบรวมข้อมูลจากการทางพิเศษฯ และกรมควบคุมมลพิษ

3.1.2.1 ข้อมูลจากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย

- ลักษณะข้อมูลมลพิษทางอากาศจากรายงานการตรวจติดตามผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางพิเศษของรัฐ จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มตัวแปร กลุ่มตัวแปรที่ 1 ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และโอโซน (O₃) ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ตลอด 3 วันต่อเนื่องกันทั้งวันทำการและวันหยุดราชการ และกลุ่มตัวแปรที่ 2 ได้แก่ ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) และปริมาณฝุ่นทั้งหมด (TSP) เป็นข้อมูลเฉลี่ยทุก 24 ชั่วโมง ตลอด 3 วันต่อเนื่องกันทั้งวันทำการและวันหยุดราชการ รายละเอียดวิธีการเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ของมลพิษทางอากาศทั้ง 2 กลุ่มตัวแปร แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรมลพิษทางอากาศที่ศึกษา วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล*

ตัวแปรที่ศึกษา	หน่วย	วิธีการเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์ข้อมูล
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)	มก./ลบ.ม.	Automatic Sampling	Chemiluminescence
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	ppm.	Automatic Sampling	Nondispersive Infrared
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	มก./ลบ.ม.	Automatic Sampling	UV-Fluorescence
โอโซน (O ₃)	ppm.	Automatic Sampling	Chemiluminescence
ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM ₁₀)	มก./ลบ.ม.	High Volume Air Sampler, Size Selection	Gravimetric
ฝุ่นทั้งหมด (TSP)	มก./ลบ.ม.	High Volume Air Sampler	Gravimetric

หมายเหตุ *วิธีการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูลอ้างอิงจาก การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2544)

- ข้อมูลปริมาณจราจรและความเร็วรถ ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากทางพิเศษ
 ฉลองรัช และถนนประดิษฐ์มุนุธรรม(ถนนเลียบทางพิเศษ) โดยในการรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรจะ
 แบ่งชนิดของยานพาหนะออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่ รถยนต์นั่ง 4 ล้อ รถปิคอัพและรถตู้ รถบรรทุก 6 ล้อ
 และรถโดยสารขนาดกลาง รถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไป รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถพ่วง และรถจักรยานยนต์
 การศึกษานี้แบ่งพื้นที่และแหล่งกำเนิดที่ศึกษาออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 แหล่งกำเนิด
 จากการจราจรบนทางพิเศษฉลองรัช กรณีที่ 2 แหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนประดิษฐ์มุนุธรรม ซึ่งเป็น
 ถนนระดับดินเลียบทางพิเศษ และกรณีที่ 3 แหล่งกำเนิดจากการจราจรบนทางพิเศษฉลองรัชร่วมกับถนน
 ประดิษฐ์มุนุธรรม และจะกำหนดสัญลักษณ์ของชนิดยานพาหนะแต่ละชนิด และสัญลักษณ์ของพื้นที่
 ศึกษาแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งการเก็บข้อมูลจะนับจำนวนรถทุกชั่วโมงอย่างต่อเนื่องโดยแยกเป็นแต่ละ
 ประเภทยานพาหนะ และทำการวัดความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะแต่ละประเภทโดยวิธี spot speed โดยวัด
 ช่วงห่างของเสาไฟฟ้าที่รถวิ่งผ่าน แล้วจึงทำการจับเวลาในขณะที่รถวิ่งผ่านช่วงเสาไฟฟ้า จากนั้นคำนวณหา
 ความเร็วรถ โดยนำระยะห่างของช่วงเสาไฟฟ้าที่รถวิ่งผ่านหารด้วยเวลาที่รถวิ่งผ่านช่วงเสาไฟฟ้า

3.1.2.2 ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ

- ข้อมูลมลพิษทางอากาศ ได้แก่ NO₂ CO O₃ SO₂ PM₁₀ และ TSP รวบรวมจากสถานี
 ตรวจวัดมลพิษทางอากาศห้วยขวาง ซึ่งเป็นสถานีของกรมควบคุมมลพิษ
- ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาประกอบไปด้วย ความเร็วลม ทิศทางลม และ
 อุณหภูมิ จะทำการรวบรวมจากสถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้พื้นที่ศึกษา ได้แก่ สถานีตรวจวัดห้วยขวาง ซึ่งเป็น
 สถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จะเป็นข้อมูลเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.3 สัญลักษณ์ของชนิดยานพาหนะแต่ละชนิด และสัญลักษณ์ของพื้นที่ศึกษา

สัญลักษณ์ชนิดรถ*	รายละเอียด	ชื่อย่อ
C1, C2, C3	รถยนต์นั่ง 4 ล้อ	รถยนต์นั่งส่วนบุคคล
LB1, LB2, LB3	รถปิคอัพและรถตู้	รถปิคอัพ/รถตู้
HB1, HB2, HB3	รถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง	รถบรรทุกขนาดเล็ก
HT1, HT2, HT3	รถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไป รถโดยสารขนาดใหญ่และรถพ่วง	รถบรรทุกขนาดใหญ่
MC1, MC2, MC3	รถจักรยานยนต์	รถจักรยานยนต์
TF1, TF2, TF3	รวมปริมาณรถทุกประเภท	รถทุกประเภท

หมายเหตุ *ตัวเลขแสดงถึงกลุ่มของแหล่งกำเนิดมลพิษ โดย

1 หมายถึง ทางพิเศษ 2 หมายถึง ถนน 3 หมายถึง ทางพิเศษและถนนรวมกัน

- การปรับแก้ข้อมูลทิศทางลม เนื่องจากการศึกษานี้ทำการศึกษามลพิษทางอากาศจากทางพิเศษและถนน ซึ่งทิศทางลมมีผลต่อการพัฒมลพิษทางอากาศไปสู่แหล่งรับมลพิษ แต่ทิศทางลมที่ได้จากการตรวจวัดไม่ได้เป็นทิศทางลมที่พัฒมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษและถนนมาสู่แหล่งรับมลพิษโดยตรงจึงทำให้ทิศทางลมที่ได้มีผลกระทบต่อความถูกต้องในการนำไปใช้ในการคาดการณ์ ดังนั้นจึงทำการปรับแก้ข้อมูลทิศทางลมเพื่อให้ได้ทิศทางลมที่พัฒมลพิษทางอากาศจากการจราจรในพื้นที่ศึกษาออกไปสู่แหล่งรับมลพิษ โดยมีแนวทางในการปรับแก้มีอยู่ 4 วิธี ดังแสดงทิศทางการปรับแก้ข้อมูลทิศทางลมในรูปที่ 3.3 รายละเอียดวิธีการปรับแก้ทิศทางลมดังนี้

$$\text{ทิศทางลมที่มาจากทางพิเศษ} = 0^\circ$$

$$\text{ทิศทางลมขนานทางพิเศษ} = 90^\circ$$

$$\text{ทิศทางลมตรงข้ามทางพิเศษ} = 180^\circ$$

มุม α หาจากแบบรายละเอียดแนวสายทางของทางพิเศษตลอดรั้ง

แนวทางการปรับแก้ทิศทางลม

1. วิธี A: $\theta = 180^\circ - \alpha - 90^\circ$

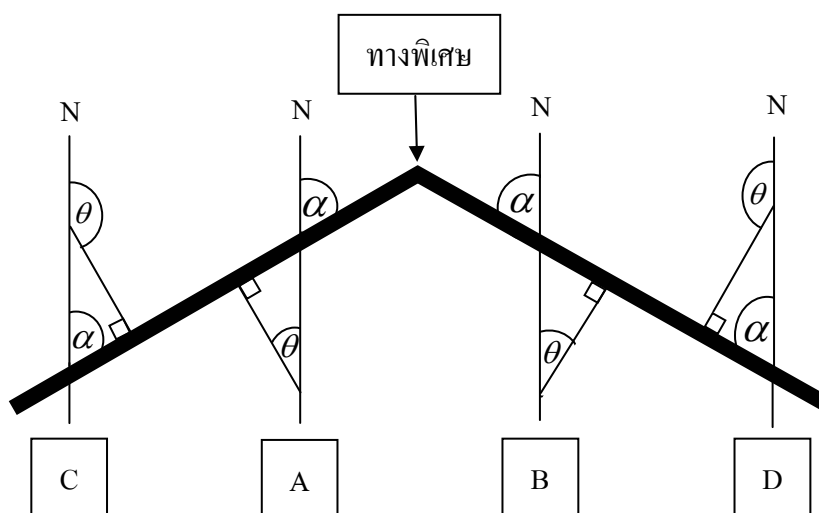
$$WD1 = WD + \theta$$

ถ้า $WD1 > 360^\circ$, $WD2 = WD1 - 360^\circ$

เมื่อ : $WD =$ ทิศทางลมจากการตรวจวัด

$WD1 =$ ทิศทางลมจากการปรับแก้ครั้งที่ 1

$WD2 =$ ทิศทางลมจากการปรับแก้ครั้งที่ 2



รูปที่ 3.3 การปรับแก้ทิศทางลม

$$2. \text{ วิธี B: } \theta = 180^\circ - \alpha - 90^\circ$$

$$WD1 = WD - \theta$$

$$\text{ถ้า } WD1 < 0^\circ, \quad WD2 = WD1 + 360^\circ$$

$$3. \text{ วิธี C: } \theta = 90^\circ + \alpha$$

$$WD1 = WD - \theta$$

$$\text{ถ้า } WD1 < 0^\circ, \quad WD2 = WD1 + 360^\circ$$

$$4. \text{ วิธี D: } \theta = 90^\circ + \alpha$$

$$WD1 = WD + \theta$$

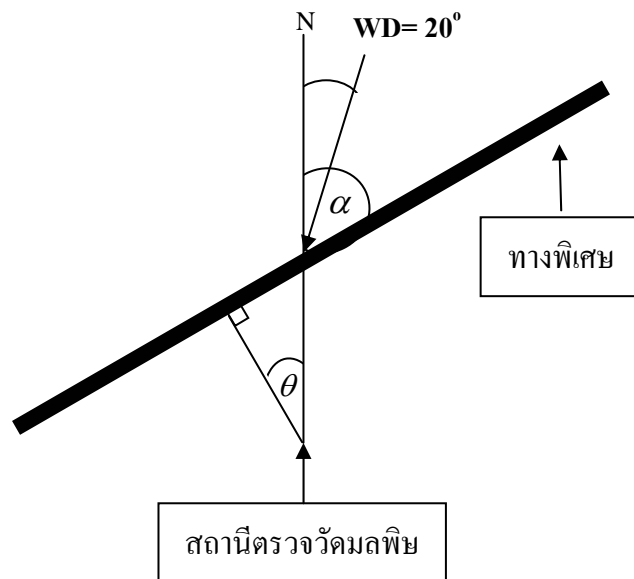
$$\text{ถ้า } WD1 > 360^\circ, \quad WD2 = WD1 - 360^\circ$$

จากการปรับแก้ถ้า WD ในวิธี A, B, C, และ D > 180° แล้ว $WD = 360^\circ - WD2$

ตัวอย่างการปรับแก้ทิศทางลม

กำหนดให้จุดตรวจวัดอยู่ในกรณี A_ทิศทางลมจากการตรวจวัด (WD) = 20°

ค่ามุม α จากแบบรายละเอียดแนวสายทางของทางพิเศษฉลองรัช = 60°



$$\begin{aligned} \therefore \theta &= 180^\circ - \alpha - 90^\circ \\ &= 180^\circ - 60^\circ - 90^\circ \\ &= 30^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{WD1} &= \text{WD} + \theta \\
 &= 20^\circ + 30^\circ \\
 &= 50^\circ
 \end{aligned}$$

เนื่องจาก WD1 น้อยกว่า 360° ไม่ต้องคำนวณหา WD2

$$\therefore \text{มุมที่ปรับแก้} = 50^\circ$$

3.1.2.3 สรุปรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

สรุปข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด

ตัวแปรที่ศึกษา	รายละเอียด	หน่วย	ชนิดของข้อมูล	แหล่งข้อมูล
NO ₂	ไนโตรเจนไดออกไซด์	มก./ลบ.ม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์	ppm	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
SO ₂	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	มก./ลบ.ม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
PM ₁₀	ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	มก./ลบ.ม.	24 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
O ₃	โอโซน	ppm	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
TSP	ฝุ่นทั้งหมด	มก./ลบ.ม.	24 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
NO ₂ pcd	ไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัด ณ สถานี ค.พ.	มก./ลบ.ม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	ค.พ.
COpcd	คาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัด ณ สถานี ค.พ.	ppm	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	ค.พ.
SO ₂ pcd	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วัด ณ สถานี ค.พ.	มก./ลบ.ม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	ค.พ.
PM ₁₀ pcd	ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่วัด ณ สถานี ค.พ.	มก./ลบ.ม.	24 ชม. (ตลอด 3 วัน)	ค.พ.
O ₃ pcd	โอโซนที่วัด ณ สถานี ค.พ.	ppm	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	ค.พ.
TSPpcd	ฝุ่นทั้งหมดที่วัด ณ สถานี ค.พ.	มก./ลบ.ม.	24 ชม. (ตลอด 3 วัน)	ค.พ.
C1, LB1, HB1, HT1, MC1, TF1	ชนิดรถบนทางพิเศษฉลองรัช (ตารางที่ 3.3)	คัน/ชม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
C2, LB2, HB2, HT2, MC2, TF2	ชนิดรถบนถนนประดิษฐ์มุนรธรรม (ตารางที่ 3.3)	คัน/ชม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.

ตารางที่ 3.4 สรุปข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด (ต่อ)

ตัวแปรที่ศึกษา	รายละเอียด	หน่วย	ชนิดของข้อมูล	แหล่งข้อมูล
C3, LB3, HB3, HT3, MC3, TF3	ชนิดรถบนทางพิเศษคลองรัชและถนนประดิษฐ์มูธรรม (ตารางที่ 3-3)	คัน/ชม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
CV1	ความเร็วรถบนทางพิเศษคลองรัช	กม./ชม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
CV2	ความเร็วรถบนถนนประดิษฐ์มูธรรม	กม./ชม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
CV3	ความเร็วรถบนทางพิเศษคลองรัชและถนนประดิษฐ์มูธรรม	กม./ชม.	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	กทพ.
WS	ความเร็วลม	เมตร/วินาที	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	คพ.
WD	ทิศทางลม	องศา	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	คพ.
T	อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	1 ชม. (ตลอด 3 วัน)	คพ.
DFE	ระยะห่างจากทางพิเศษ	เมตร		กทพ.

หมายเหตุ กทพ. = การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

คพ. = กรมควบคุมมลพิษ

3.1.2 สถิติพรรณนา (Descriptive Statistic)

การศึกษาสถิติพรรณนาเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวแปร โดยจะแบ่งการศึกษาเป็น 2 ลักษณะได้แก่ ข้อมูลของตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง มีทั้งสิ้น 33 ตัวแปร และข้อมูลของตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีทั้งสิ้น 25 ตัวแปร ซึ่งการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์สถิติพรรณนา ดังนี้ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าพิสัย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ฮิสโตแกรม และสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูล โดยทดสอบ Test of Normality ด้วย Kolmogorvo-Smirnov (K-S) test

3.2 การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสม

ในการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับมลพิษทางอากาศ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 7 กรณี คือ

1. กรณีแยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)
2. กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (07.00-10.00 น.)
3. กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย (16.00-19.00 น.)

4. ทัศนียภาพรวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)
5. ทัศนียภาพรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (07.00-10.00 น.)
6. ทัศนียภาพรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย (16.00-19.00 น.)
7. ทัศนียภาพ O_3 ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง

โดยนำผลการศึกษาที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีแยกประเภทพาหนะและกรณีรวมปริมาณจราจร โดยทั้ง 7 กรณีดังกล่าวจะทำการศึกษา 4 กรณีย่อย คือ

1. ทัศนียภาพระหว่างมลพิษทางอากาศกับตัวแปรอื่นๆ
2. ทัศนียภาพระหว่างมลพิษทางอากาศกับLogของตัวแปรอื่นๆ
3. ทัศนียภาพระหว่างLogของมลพิษทางอากาศกับLogของตัวแปรอื่นๆ
4. ทัศนียภาพระหว่างLogของมลพิษทางอากาศกับตัวแปรอื่นๆ

โดยแสดงกรณีต่างๆ ที่ทำการศึกษาดังรูปที่ 3.4 เมื่อทำการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระดังกล่าวข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จะทำการคัดเลือกตัวแปรต่างๆ ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป โดยรายละเอียดการแบ่งชุดของข้อมูลที่คัดเลือกจะแบ่งเป็น 2 ชุดข้อมูลดังนี้

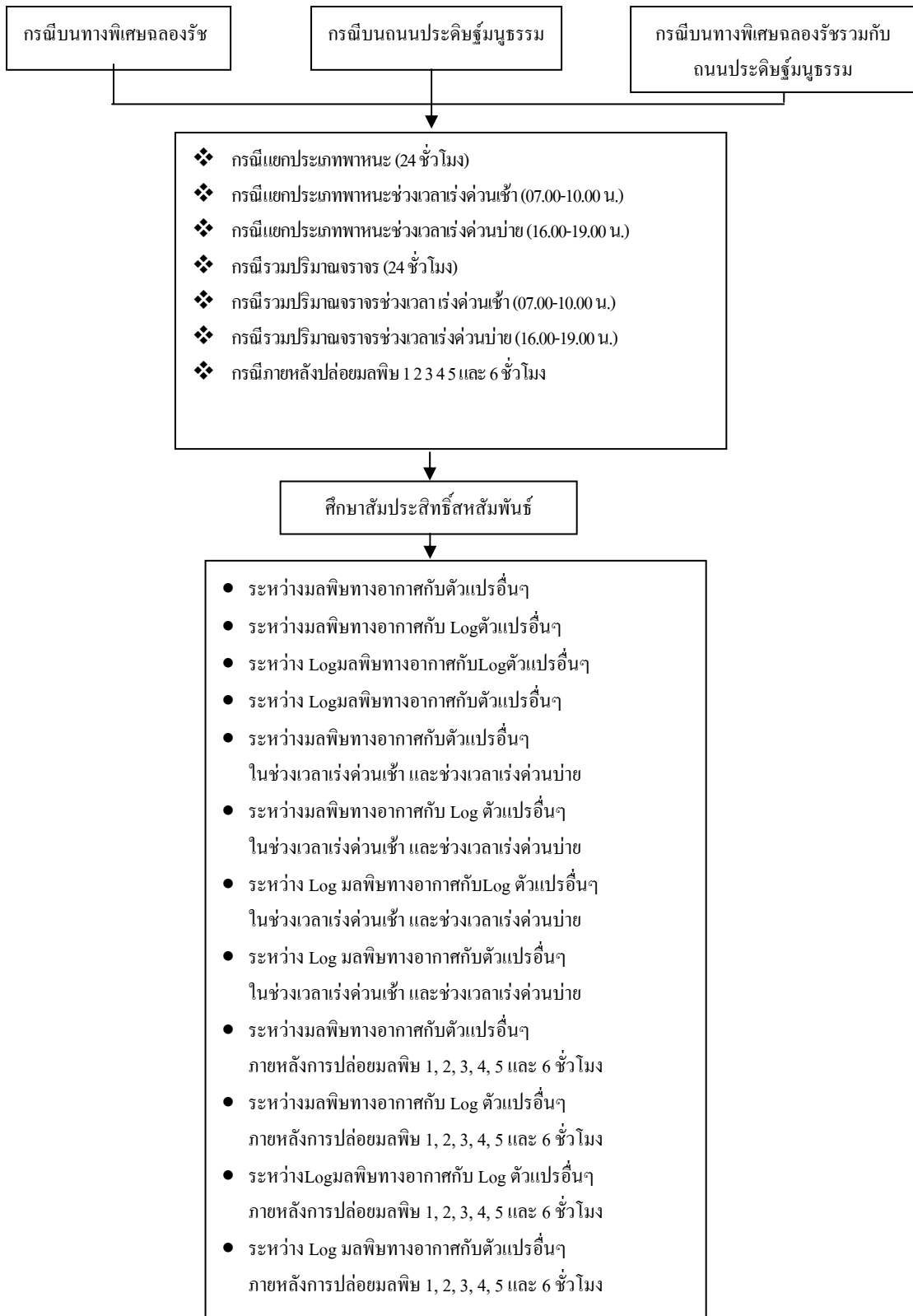
1. การคัดเลือกตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสม ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ หรือ Log ของตัวแปรอิสระ (Y กับ X หรือ LogX) ซึ่งมีรายละเอียดการคัดเลือกตัวแปรดังนี้

1.1 กรณีที่ตัวแปร Y มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับทั้ง X และ Log(X) จะเลือกตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงกว่ามาใช้

1.2 กรณีที่ตัวแปร Y ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับทั้ง X และ Log(X) จะเลือกตัวแปรอิสระที่มีค่า P-value ที่ต่ำ ยกเว้นตัวแปรปริมาณจราจรจะเลือกจากตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือมีเครื่องหมาย (+) และมีค่า P-value ที่ต่ำ เนื่องจากมลพิษมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณจราจรเพิ่ม

2. การคัดเลือกตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสม ระหว่าง Log ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ หรือ Log ของตัวแปรอิสระ (LogY กับ X หรือ LogX) ซึ่งมีรายละเอียดการคัดเลือกตัวแปรเช่นเดียวกับข้อ 1.

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว การศึกษานี้ยังได้พิจารณาแบ่งชุดของตัวแปรอิสระที่ใช้สร้างแบบจำลองเป็น 2 กรณี คือกรณีตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น และกรณีใช้ข้อมูลมลพิษจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษที่อยู่ใกล้เคียงมาเป็นตัวแปรอิสระเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบว่าแบบจำลองที่ได้ในกรณีหลังมีความสามารถในการทำนายดีกว่ากรณีแรกหรือไม่



รูปที่ 3.4 กรณีศึกษาสัมประสิทธิ์สัมพันธ

3.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุหลังจากที่คัดเลือกตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมตามข้อ 3.2 เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะใช้เทคนิควิธีทางสถิติทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร Y กับตัวแปรอิสระ X หลายๆ ตัว โดยมีรายละเอียดการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และการศึกษานี้จะแบ่งการวิเคราะห์ความถดถอยออกเป็น 2 แบบ คือ

1. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้นโดยที่ Y คือตัวแปรตาม (Dependent Variable) X คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และ e คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (random error)

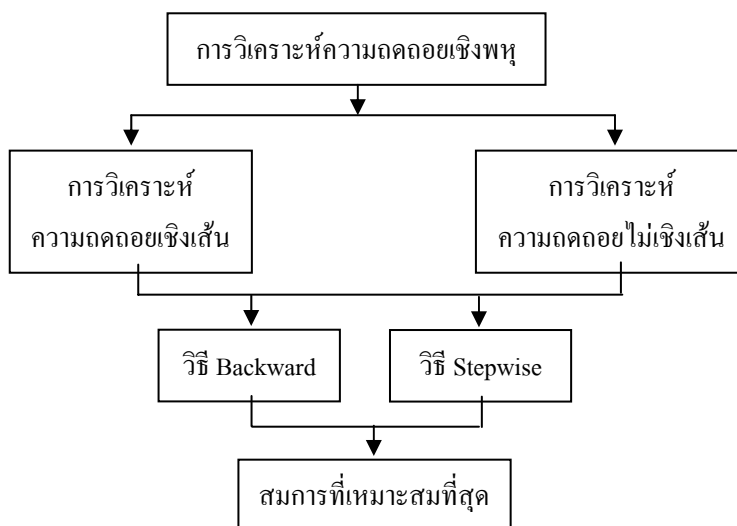
2. การวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Analysis) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เมื่อตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในรูปไม่เชิงเส้นแต่สามารถวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นได้ตามปกติ และเมื่อตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในรูปไม่เชิงเส้นและไม่สามารถวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นได้ ซึ่งสมการลักษณะนี้ต้องทำการแปลง (Transform) ให้ความสัมพันธ์ของ Y และ β อยู่ในรูปเชิงเส้นก่อนจึงทำการวิเคราะห์ ในการศึกษาี้เลือกใช้วิธีการแปลงด้วยการเปลี่ยนค่าข้อมูลเป็นค่า Log ของข้อมูลที่ศึกษา

ในการวิเคราะห์ความถดถอยทั้งสองแบบดังกล่าว จะมีวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย 2 วิธี ได้แก่

1. Backward เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยโดยให้สมการถดถอยประกอบด้วยตัวแปรอิสระ k ตัว ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y แล้วใช้สถิติทดสอบ T ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X ทีละตัว โดยมีสมมติฐาน $H_0: \beta_i = 0$ และ $H_1: \beta_i \neq 0$ ผลการทดสอบจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $\text{Sig. T} > \alpha$ จะตัดตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับ Y ออกไปทีละตัว โดยจะตัดตัวแปรอิสระ X ที่มีค่าสถิติทดสอบ T มากที่สุดออกไปจากสมการจนไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดถูกตัดออก และในการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม SPSS for Windows 11.5 ในการคัดเลือกสมการโดยมีสถิติทดสอบในการตัดตัวแปรอิสระ X ที่ระดับนัยสำคัญ $\text{Sig. T} = 0.05$ หรือที่ความเชื่อมั่น 95% (ในโปรแกรม SPSS for Windows จะเลือกเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยโดยมีระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้เพื่อนำตัวแปรอิสระเข้าสมการคือ 0.05 และเกณฑ์การนำตัวแปรอิสระออกจากสมการคือ 0.1)

2. Stepwise เป็นวิธีการนำตัวแปรอิสระตัวแรกเข้าสมการครั้งละ 1 ตัว โดยเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าสมการซึ่งจะต้องผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ การคำนวณจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_i ทีละตัว (r_{yxi}) แล้วเลือกตัวแปร X_i ที่มีค่า (r_{yxi}) สูงสุดโดยการพิจารณาจากสถิติทดสอบ F หรือสถิติทดสอบ T โดยมีสมมติฐาน $H_0: \beta_i = 0$ และ $H_1: \beta_i \neq 0$

ผลการทดสอบจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $\text{Sig. } T > \alpha$ หากการทดสอบพบว่าไม่มีตัวแปรใดผ่านเกณฑ์จะหยุด และถือว่าไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามและในการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม SPSS for Windows ในการคัดเลือกสมการโดยมีสถิติทดสอบในการตัดตัวแปรอิสระ X ที่ระดับนัยสำคัญ $\text{Sig. } T = 0.05$ หรือที่ความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกับวิธี Backward



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.4 การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Residual Analysis) ในการวิเคราะห์การถดถอย สามารถคำนวณได้หลายวิธีโดย Residual มีหลายชนิดในการพิจารณาในการศึกษานี้จะเลือกใช้การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนด้วยชนิด Standardized Residuals ดังนั้นในการคัดเลือกสมการจะใช้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานนี้ในการเปรียบเทียบกับ โดยเลือกสมการที่มีค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0 มากที่สุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 มากที่สุด

3.5 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

หลังจากที่ได้สมการถดถอยที่เหมาะสมแล้วจะทำการทดสอบความถูกต้อง (Validation) โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.6 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการตรวจสอบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภายนอกที่เป็นตัวแปรนำเข้า (Input data) ชุดใหม่แล้วแบบจำลองจะทำงานได้ถูกต้องเพียงใด โดยในการศึกษาจะนำข้อมูลตัวแปรปี 2546 ซึ่งเป็นข้อมูลชุดใหม่มาแทนค่าในแบบจำลอง และ

เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการตรวจวัดของปี 2546 โดยการทดสอบความถูกต้อง ใน การศึกษานี้ใช้ 2 วิธี คือ

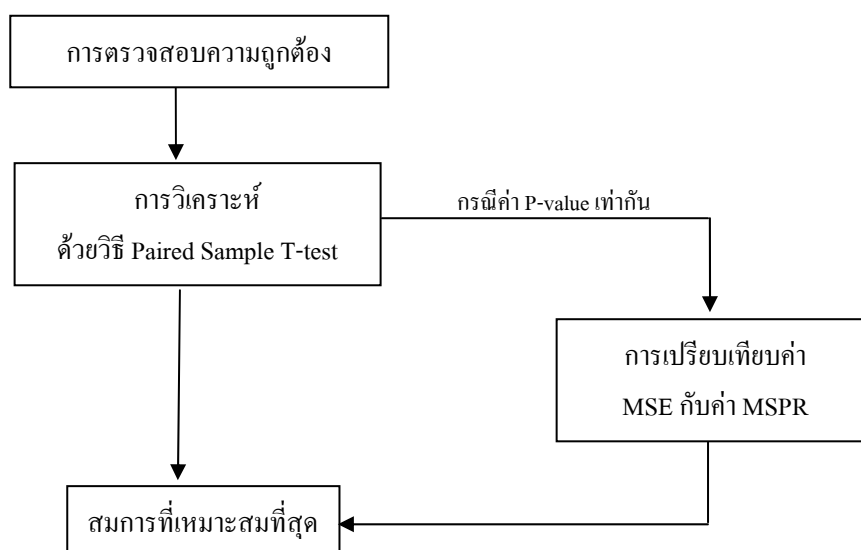
1. ใช้หลักการทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test) เพื่อทดสอบความแตกต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง และข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองว่าข้อมูลทั้งสอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ Sig T เท่ากับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Yadav and Sharan, 1996)

2. การเปรียบเทียบระหว่างค่า MSE ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการกับค่า MSPR ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้อง โดยสมการที่มีค่า MSPR ใกล้เคียงกับค่า MSE มากที่สุดจะเป็นสมการที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหรือมีค่าความถูกต้องมากที่สุด

เมื่อทำการทดสอบความถูกต้องของทุกสมการที่ได้ศึกษาเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปทำ การคัดเลือกสมการที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจาก

1. คัดเลือกจากการทดสอบทางสถิติ T-test (Paired Sample Test) โดยจะเลือกจาก สมการที่มีค่า P-value ที่สูงที่สุด และมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

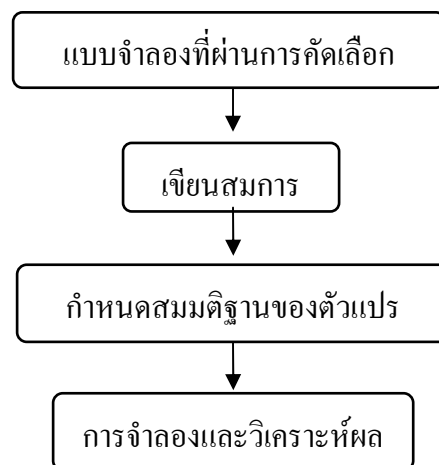
2. กรณีที่ค่า P-value เท่ากันเลือกสมการที่มีความแตกต่างระหว่างค่า MSE กับ MSPR น้อยที่สุด



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้อง

3.6 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหว

การศึกษาความอ่อนไหว และความไม่แน่นอนของแบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกใช้โปรแกรม Crystal Ball ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ด้วยการจำลองเหตุการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน รายละเอียดดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Crystal Ball ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหวของแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 1 แบบจำลองที่ผ่านการคัดเลือกที่ดีที่สุดที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 2 เขียนสมการจากแบบจำลองที่ได้ลงในแผ่นงาน Excel

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดสมมติฐานของตัวแปรนำข้อมูลของแต่ละตัวแปรมาพิจารณาเพื่อกำหนดฟังก์ชันความน่าจะเป็นโดยทำการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจง (Goodness-of-Fit Test)

ในการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม Crystal Ball ในการเลือกรูปแบบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลโดยจะเลือกวิธีการทดสอบสมมติฐานของตัวแปรตามที่ Saltelli et al. (2000) แนะนำตามลำดับดังนี้

1. การทดสอบแบบ A-D Test ถ้าผลการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลมีค่าระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 1.5 จะใช้รูปแบบตามที่โปรแกรมคัดเลือก (ถ้าน้อยกว่าหลายรูปแบบจะเลือกค่าน้อยที่สุด) แต่ถ้าระดับนัยสำคัญที่ได้ทุกรูปแบบมีค่ามากกว่า 1.5 จะทำการทดสอบโดยวิธี K-S Test ต่อไป

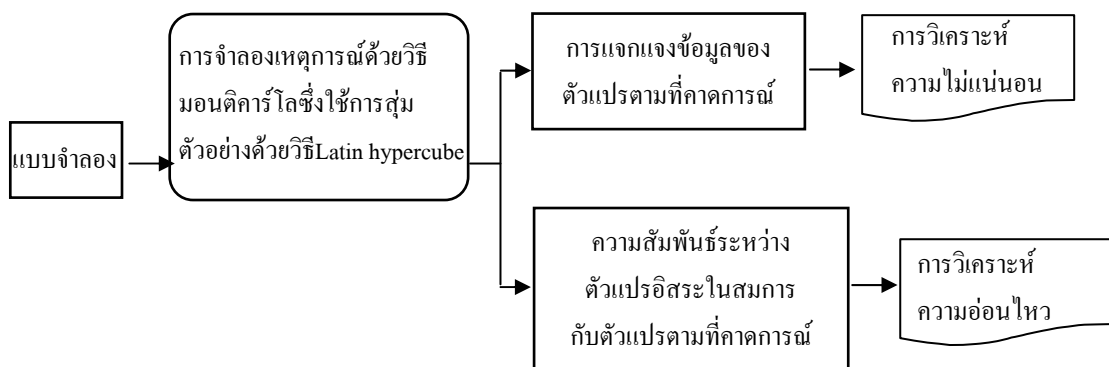
2. การทดสอบแบบ K-S Test ถ้าผลการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลมีค่าระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.03 จะใช้รูปแบบตามที่โปรแกรมคัดเลือก (ถ้าน้อยกว่าหลายรูปแบบจะเลือกค่าน้อยที่สุด) แต่ถ้าระดับนัยสำคัญที่ได้ทุกรูปแบบมีค่ามากกว่า 0.03 จะทำการทดสอบโดยวิธี Chi-Square Test ต่อไป

3. การทดสอบแบบ Chi-Square Test ถ้าผลการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลมีค่าระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.5 จะใช้รูปแบบตามที่โปรแกรมคัดเลือก (ถ้ามากกว่าหลายรูปแบบจะเลือกค่าที่มากที่สุด) แต่ถ้าระดับนัยสำคัญที่ได้ทุกรูปแบบมีค่าน้อยกว่า 0.5 ใช้วิธีโปรแกรม แทนการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงข้อมูล

ขั้นตอนที่ 4 การจำลองเหตุการณ์ และวิเคราะห์ผล

1. ทำการจำลองเหตุการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งใช้หลักการของการสุ่มตัวอย่างจากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระเข้าแทนค่าในแบบจำลองโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างในการจำลองที่ใช้คือวิธี Latin Hypercube Sampling (LHS) และเลือกจำนวนครั้งของการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 10,000 ครั้ง ซึ่งถือว่ามากเพียงพอเนื่องจาก จากการศึกษาเปรียบเทียบจำนวนการจำลองที่จำนวนมากกว่า 10,000 ครั้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหวแสดงในรูปที่ 3.8

2. การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน พิจารณาจากช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ของผลทางสถิติจากการจำลองเหตุการณ์ ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยบวกและลบด้วย 1.96 เท่าของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยหรือ $\bar{X} \pm 1.96(S.E.of \bar{X})$ และพิจารณาจาก ค่า Tolerance Limit ที่ 95% ซึ่งแสดงถึงช่วงที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของค่าระดับมลพิษที่ทำนายได้ทั้งหมดโดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยบวกและลบด้วย 1.96 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ $\bar{X} \pm 1.96(S.D.)$



รูปที่ 3.8 รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว

3. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวพิจารณาจาก

- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และทิศทางของความสัมพันธ์ ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามในสมการ (Sargent and Wainwright, 1996) โดยตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงแสดงว่ามีอิทธิพลต่อการทำนายค่าตัวแปรตามสูงด้วย ในขณะที่ตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำลงมากจะมีอิทธิพลต่อการทำนายค่าตัวแปรตามต่ำลงมาด้วยตามลำดับ

- วิเคราะห์ด้วยวิธี Tornado ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยจะแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เนื่องจากในขณะทำการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอิสระตัวที่หนึ่งจะทำการตรึงค่าตัวแปรอิสระตัวอื่นไว้ที่ค่ามัธยฐานซึ่งเป็นค่ากลางของแต่ละตัวแปร แล้วสุ่มตัวอย่างจากตัวแปรที่กำลังพิจารณาจากค่าสูงสุดไปถึงค่าต่ำสุดเพื่อใส่ในแบบจำลองและคำนวณช่วงค่าตัวแปรตามที่เกิดขึ้นจากนั้นทำลักษณะเดียวกันกับตัวแปรอิสระที่เหลือแล้วนำช่วงค่าตัวแปรตามที่ได้ในแต่ละครั้งมาเรียงในแนวตั้งจากมากไปน้อยและสร้างเป็นกราฟที่เรียกว่า “Tornado Chart” ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อค่าตัวแปรตามมากที่สุดจะอยู่ลำดับบนสุดใน Tornado Chart และตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลน้อยกว่าจะอยู่ลำดับถัดลงมาตามลำดับ และในส่วนของทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามนั้นจะมีวิธีการพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีที่ค่าสูงสุดอยู่ทางขวาและค่าต่ำสุดอยู่ทางซ้ายของเส้นมัธยฐาน นั่นคือมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลการพยากรณ์ตัวแปรตามเพิ่มขึ้นและหากตัวแปรอิสระลดลงทำให้ผลการพยากรณ์ตัวแปรตามลดลงด้วยเช่นกัน ในทางกลับกัน กรณีค่าสูงสุดอยู่ทางซ้ายและค่าต่ำสุดอยู่ทางขวาของเส้นมัธยฐาน นั่นคือมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน คือมีการเพิ่มขึ้นของตัวแปรอิสระจะส่งผลให้ผลการพยากรณ์ ตัวแปรตามลดลง ในขณะที่ตัวแปรอิสระลดลงจะส่งผลให้ผลการพยากรณ์ตัวแปรตามเพิ่มขึ้น

3.7 การนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานและการสรุปผลการศึกษา

ทำการพิจารณานำผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองและวิธีการจำลองเหตุการณ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ โดยจะเสนอแนวทางของการประยุกต์ใช้งานดังนี้

1. การคำนวณหาโอกาสที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าเกินมาตรฐาน
2. การคำนวณหาความเป็นไปได้ที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการทราบ
3. การคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษกรณีที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น
4. การกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษ บริเวณริมทางพิเศษ

ภายหลังจากที่ทำการศึกษาครบทุกชั้นตอนที่กล่าวมาแล้ว จะทำการวิเคราะห์และสรุปผล การศึกษาโดยนำผลที่ได้ทั้งหมดประกอบกับข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาและ หาคำตอบสำหรับสมมติฐานของการศึกษาที่ได้ตั้งไว้

บทที่ 4

การศึกษาสถิติพรรณนาและการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การศึกษาสถิติพรรณนา เป็นประโยชน์โดยช่วยให้การตัดสินใจสำหรับการศึกษาในขั้นสูง มีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยมลพิษทางอากาศ แบ่งเป็น 2 กลุ่มตัวแปร ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และโอโซน (O₃) ซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง วัดตลอด 3 วันต่อเนื่องกันในแต่ละสถานี และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) และปริมาณฝุ่นทั้งหมด (TSP) ซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยทุก 24 ชั่วโมง วัดตลอด 3 วันต่อเนื่องกันในแต่ละสถานี ข้อมูลปริมาณจราจรเป็นข้อมูลของยานพาหนะ 5 ประเภท ได้แก่ รถยนต์นั่ง 4 ล้อ รถปิคอัพและรถตู้ รถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง รถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไปรถโดยสารขนาดใหญ่และรถพ่วง และรถจักรยานยนต์ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลความเร็วรถ และข้อมูลอุบัติเหตุ ซึ่งทั้งหมดเป็นข้อมูลในแต่ละชั่วโมง ตามวันและเวลาเดียวกับข้อมูลมลพิษทางอากาศ

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใช้ข้อมูลเฉพาะที่เป็นรายชั่วโมงเท่านั้นและมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด โดยภายหลังจากได้ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระแล้วจะทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมไปใช้ในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

4.1 สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษทางอากาศ

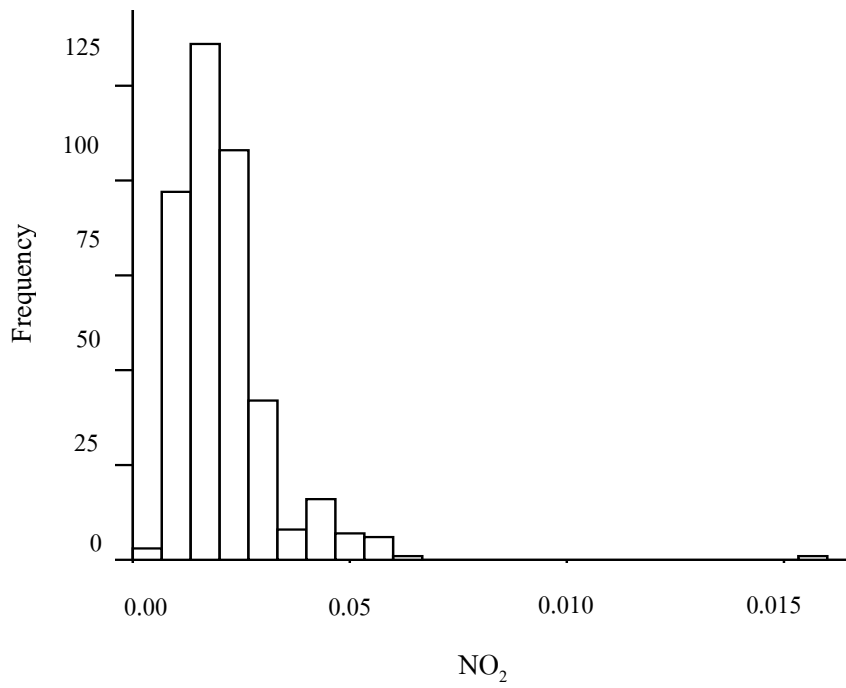
4.1.1 ข้อมูลมลพิษทางอากาศที่มีค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

ข้อมูลมลพิษทางอากาศเฉลี่ย 1 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.1 มีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ NO₂, CO, SO₂ และ O₃ มีจำนวนข้อมูล 430 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแต่ละตัวแปรเท่ากับ 0.021 มก./ลบ.ม., 0.945 ppm, 0.009 มก./ลบ.ม. และ 0.006 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ โดยทั้งหมดอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและจากการศึกษาลักษณะการแจกแจงข้อมูลโดยใช้ฮิสโตแกรม (Histogram) รายละเอียดแสดงในรูปที่ 4.1-4.4

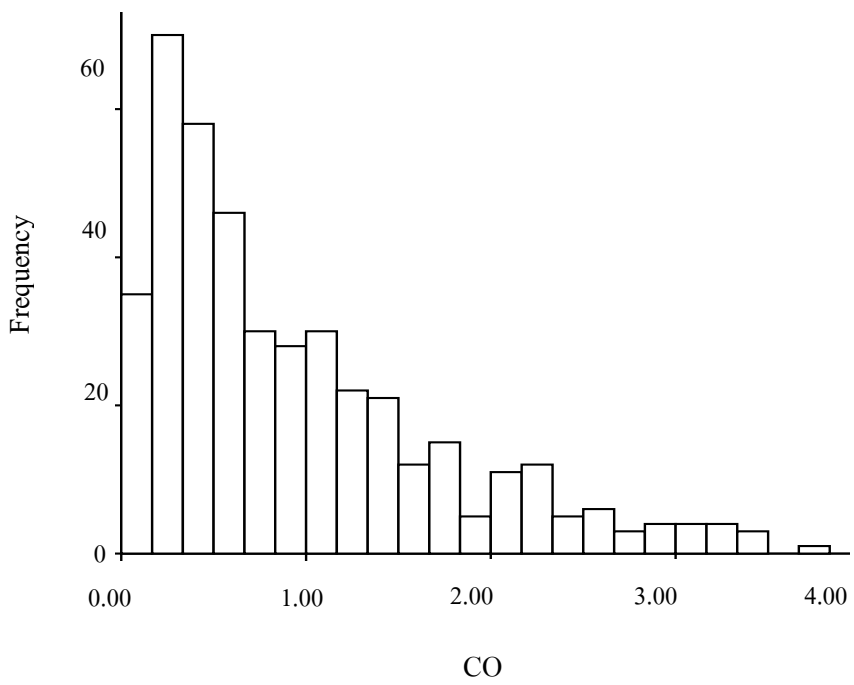
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

ตัวแปร	หน่วย	จำนวนข้อมูล	จำนวนข้อมูลที่ขาดหาย	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าพิสัย
NO ₂	มก./ลบ.ม.	430	2	0.021	0.018	0.012	0.005	0.061	0.056
CO	ppm	430	2	0.945	0.680	0.779	0.100	3.710	3.610
SO ₂	มก./ลบ.ม.	430	2	0.009	0.009	0.003	0.001	0.028	0.027
O ₃	ppm	430	2	0.006	0.005	0.004	0.001	0.030	0.029
NO ₂ pcd	มก./ลบ.ม.	409	23	0.023	0.022	0.009	0.006	0.060	0.054
CO pcd	ppm	414	18	0.848	0.799	0.524	0.000	3.7	3.7
SO ₂ pcd	มก./ลบ.ม.	372	60	0.005	0.005	0.003	0.000	0.013	0.013
O ₃ pcd	ppm	406	26	0.006	0.003	0.007	0.000	0.040	0.040
C1	กัณ/ ชม.	165	0	759	576	711.379	21	3384	3363
LB1	กัณ/ ชม.	165	0	547	492	456.228	24	2184	2160
HB1	กัณ/ ชม.	165	0	14	5	17.380	0	84	84
HT1	กัณ/ ชม.	165	0	12	7	15.089	0	72	72
MC1	กัณ/ ชม.	165	0	2	0	3.625	0	24	24
C2	กัณ/ ชม.	165	0	2896	3096	1499.980	100	8312	8212
LB2	กัณ/ ชม.	165	0	1695	1656	1165.563	125	7356	7231
HB2	กัณ/ ชม.	165	0	60	44	65.227	0	532	532
HT2	กัณ/ ชม.	165	0	56	40	73.541	0	418	418
MC2	กัณ/ ชม.	165	0	747	672	595.900	4	2616	2612
C3	กัณ/ ชม.	165	0	3654	3840	1986.480	184	10820	10636
LB3	กัณ/ ชม.	165	0	2242	2232	1511.531	179	8848	8669
HB3	กัณ/ ชม.	165	0	74	52	74.417	0	540	540
HT3	กัณ/ ชม.	165	0	67	48	80.808	0	436	436
MC3	กัณ/ ชม.	165	0	749	676	596	8	2616	2608
TF1	กัณ/ ชม.	165	0	1334	1120	1145.522	52	5092	5040
TF2	กัณ/ ชม.	165	0	5453	237	3037.937	303	17236	16933
TF3	กัณ/ ชม.	165	0	6787	303	3894.585	511	21252	20741
CV1	กม./ชม.	165	0	108	114	26.35	48	160	112
CV2	กม./ชม.	165	0	71	69.50	11.00	48	115	67
CV3	กม./ชม.	165	0	97	97.50	9.62	69	121	52
T	องศาเซลเซียส	432	0	31.432	30.60	2.723	27	38.4	11.4
WD	องศา	431	1	103.603	111	48.690	0	179	179
WS	เมตร/วินาที	432	0	1.424	1.400	0.586	0	3.6	3.6
DFE	เมตร	432	0	104	40	72.244	25	195	170

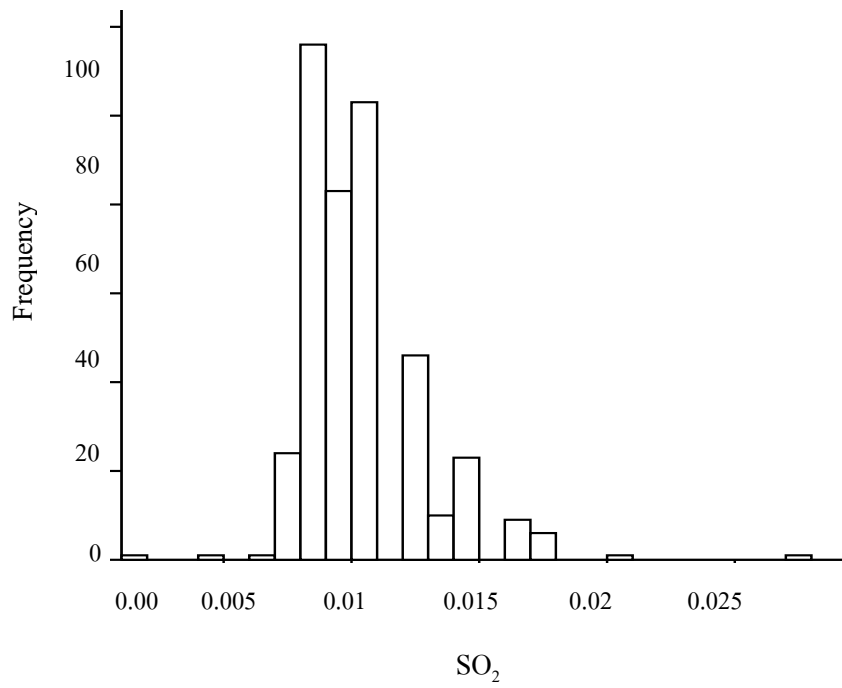
หมายเหตุ : * รายละเอียดของตัวแปรแสดงไว้ในบทที่ 3



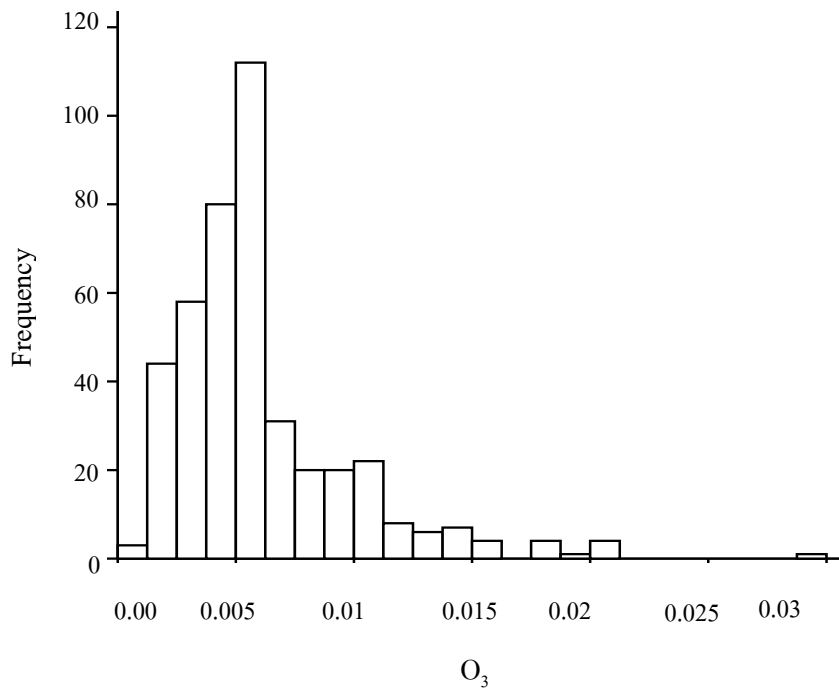
รูปที่ 4.1 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ NO₂



รูปที่ 4.2 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CO



รูปที่ 4.3 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ SO₂



รูปที่ 4.4 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ O₃

พบว่า ในกรณีของ NO_2 , CO และ O_3 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐานเนื่องจากข้อมูลบางตัวมีค่าสูงมาก ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา ในขณะที่ SO_2 มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงแบบปกติมากที่สุด และในการศึกษาสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูลพบว่า เป็นแบบปกติหรือไม่โดยทดสอบ Test of Normality สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorov-Smirnov (K-S) Test โดยมีสมมติฐานของการทดสอบคือ H_0 : มีการแจกแจงแบบปกติ และ H_1 : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ซึ่งพบว่าค่า P-value ของสถิติทดสอบ K-S Test ของมลพิษทางอากาศทุกตัวแปรและ LOG ของมลพิษทางอากาศทุกตัวแปร มีค่า P-value ระหว่าง 0.000-0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรมลพิษทางอากาศทุกตัวแปร ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ หรือ Lognormal

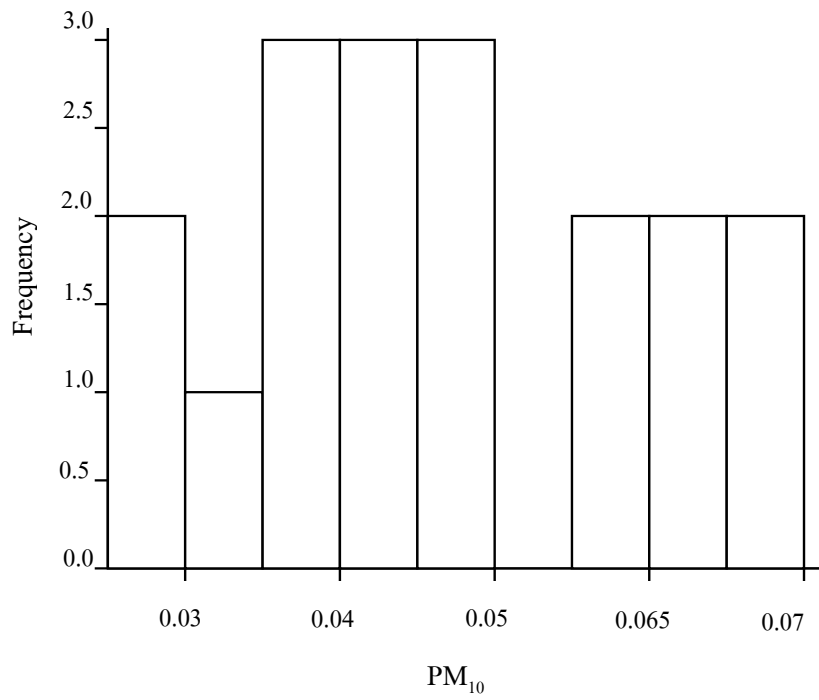
4.1.2 ข้อมูลมลพิษทางอากาศที่มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ข้อมูลมลพิษทางอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ PM_{10} และ TSP มีจำนวนข้อมูล 18 ตัวอย่าง โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแต่ละตัวแปรเท่ากับ 0.047 และ 0.085 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐาน และลักษณะการแจกแจงข้อมูลโดยใช้ฮิสโตแกรม(รูปที่ 4.5-4.6) พบว่า PM_{10} และ TSP มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่ามัธยฐานมาก ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลจึงมีค่าเกือบสมมาตรมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติทดสอบ Test of Normality โดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test (จำนวนตัวแปรน้อยกว่า 50) ผลการศึกษาพบว่าค่าระดับนัยสำคัญ (P-value) ของสถิติทดสอบของ PM_{10} และ TSP มีค่า 0.652 และ 0.084 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรทั้งหมดมีการแจกแจงแบบปกติ

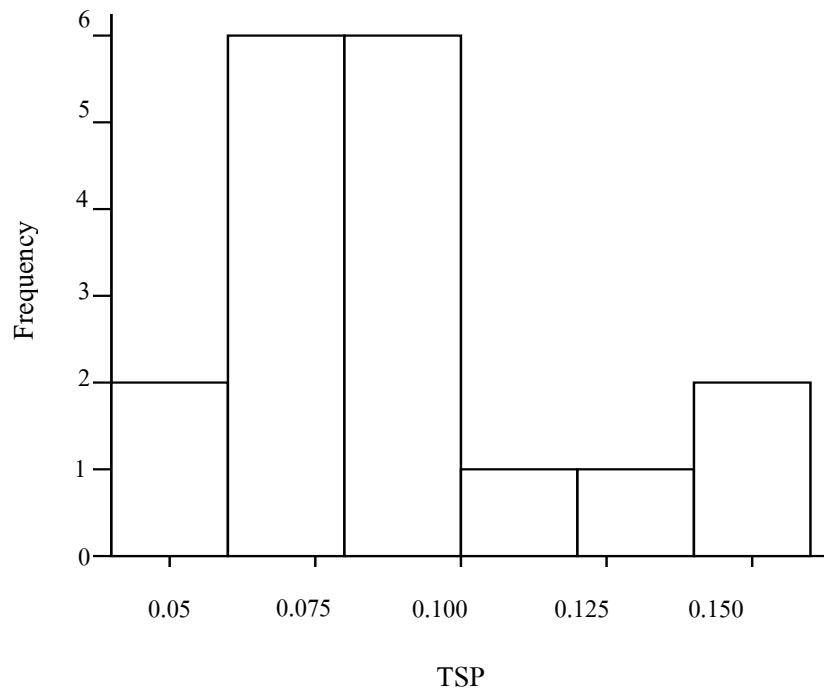
4.2 สถิติพรรณนาของข้อมูลปริมาณจราจร ข้อมูลความเร็วรถ และข้อมูลอุบัติเหตุ

4.2.1 ข้อมูลปริมาณจราจร

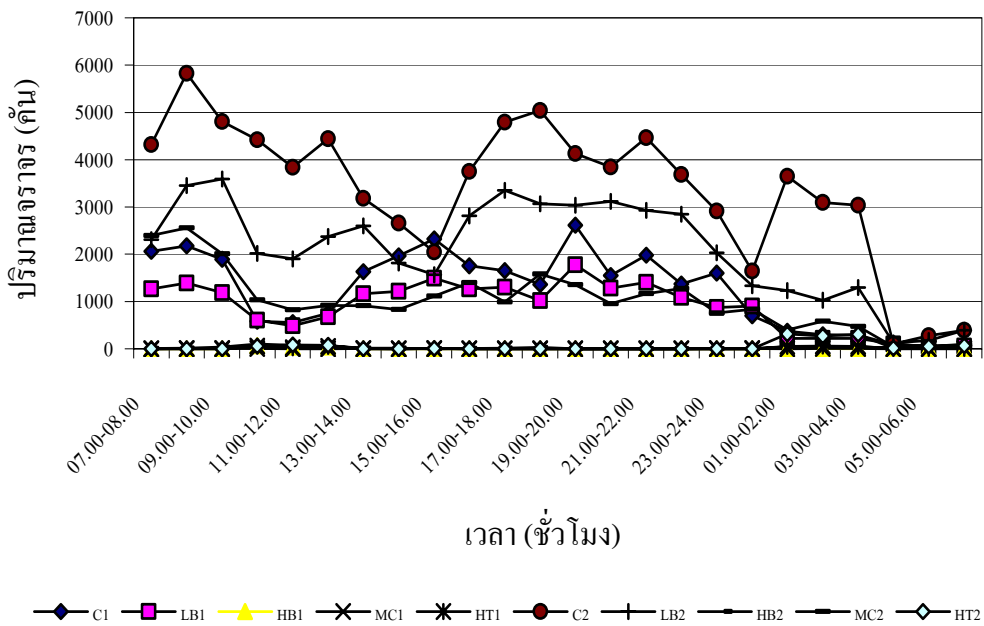
ข้อมูลปริมาณจราจร ทั้ง 5 ประเภท แสดงในตารางที่ 4.1 ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถปิคอัพ/รถตู้ รถบรรทุกขนาดเล็ก รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถจักรยานยนต์ ของทั้ง 3 กรณีศึกษา คือบนทางพิเศษ บนถนน และบนทางพิเศษร่วมกับถนน มีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 165 ตัวอย่าง และปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ทั้ง 3 กรณีศึกษา มีปริมาณมากที่สุดรองลงมาก็คือรถปิคอัพ/รถตู้ และปริมาณรถน้อยที่สุดกรณีบนทางพิเศษ ได้แก่ รถจักรยานยนต์ และกรณีบนถนน ได้แก่ รถบรรทุกขนาดใหญ่ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณรถในเวลาต่างๆ ของวันบนทางพิเศษ และบนถนน โดยใช้กราฟในรูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณจราจรสูงสุดช่วงเช้าจะอยู่ที่ช่วงเวลา 08.00-09.00 น. ทั้งสองกรณี ในขณะที่ช่วงเย็นอยู่ที่ช่วงเวลา 19.00-20.00 น. และปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีมากที่สุดทั้งสองกรณี และรองลงมาก็คือ รถปิคอัพ/รถตู้ และปริมาณรถน้อยที่สุดบนทางพิเศษ ได้แก่ รถจักรยานยนต์ และบนถนนได้แก่รถบรรทุกขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรถบนทางพิเศษ และบนถนน พบว่า



รูปที่ 4.5 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ PM₁₀



รูปที่ 4.6 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ TSP

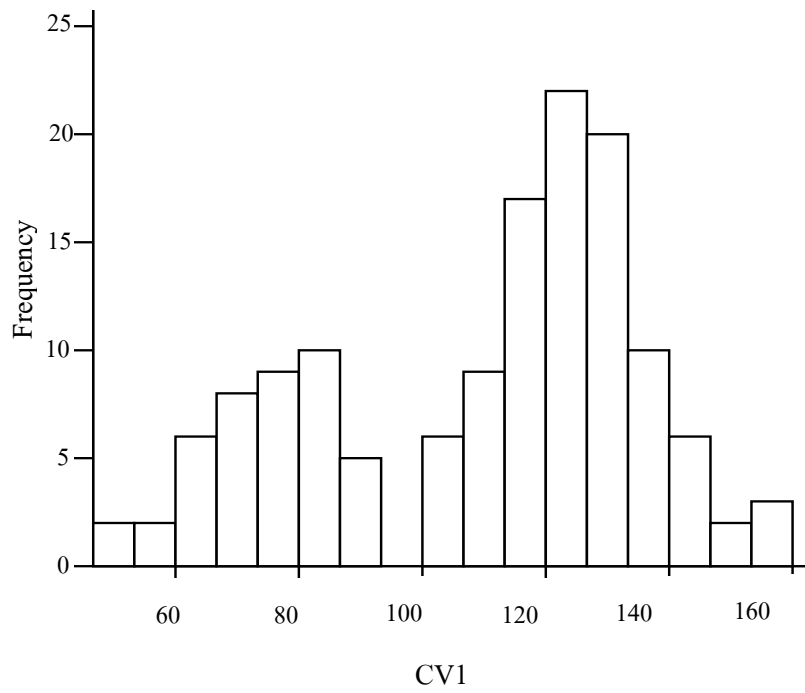


รูปที่ 4.7 ปริมาณจราจรบนทางพิเศษคลองรัช และถนนประดิษฐ์มนูธรรม

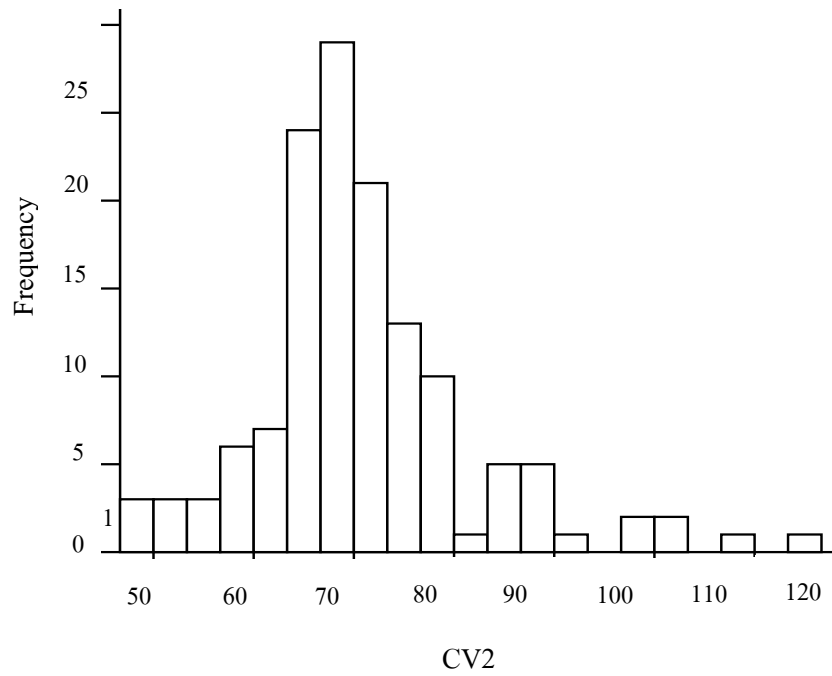
ปริมาณรถเฉลี่ยทั้ง 5 ประเภท บนถนนมีมากกว่า บนทางพิเศษ ประมาณ 3.5-4 เท่า ยกเว้นรถจักรยานยนต์ ที่มีค่ามากกว่า 300 เท่า เนื่องจากบนทางพิเศษ ไม่อนุญาตให้รถจักรยานยนต์ ขึ้นใช้บริการ ยกเว้นรถตำรวจ/เจ้าหน้าที่จราจร หรือรถที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น จึงทำให้รถจักรยานยนต์บนทางพิเศษมีปริมาณน้อยกว่ามาก จากการศึกษาลักษณะการแจกแจงข้อมูล โดยใช้ฮิสโตแกรมยังพบว่า ข้อมูลปริมาณรถยนต์นั้นส่วนบุคคลบนทางพิเศษ บนถนน และบนทางพิเศษรวมกับถนน มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐานแสดงว่าข้อมูลบางค่าของทั้ง 3 กรณี มีค่าต่ำมากจึงทำให้ค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ามัธยฐาน ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ซ้าย ส่วนตัวแปรอื่นๆ จากภาพฮิสโตแกรมลักษณะการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบเบ้ขวา และมีค่าเฉลี่ยตัวอย่างมากกว่าค่ามัธยฐาน และการศึกษาสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่โดยใช้ K-S Test โดยทดสอบตัวแปรข้อมูลปริมาณจราจรและ LOG ของข้อมูลปริมาณจราจร พบว่าข้อมูลรถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนน มีค่า P-value ของสถิติทดสอบ K-S Test เท่ากับ 0.056 ส่วนตัวแปรอื่นๆ มีค่าระหว่าง 0.000-0.001 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรรถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนนมีการแจกแจงแบบปกติ ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติหรือLognormal

4.2.2 ข้อมูลความเร็วรถ

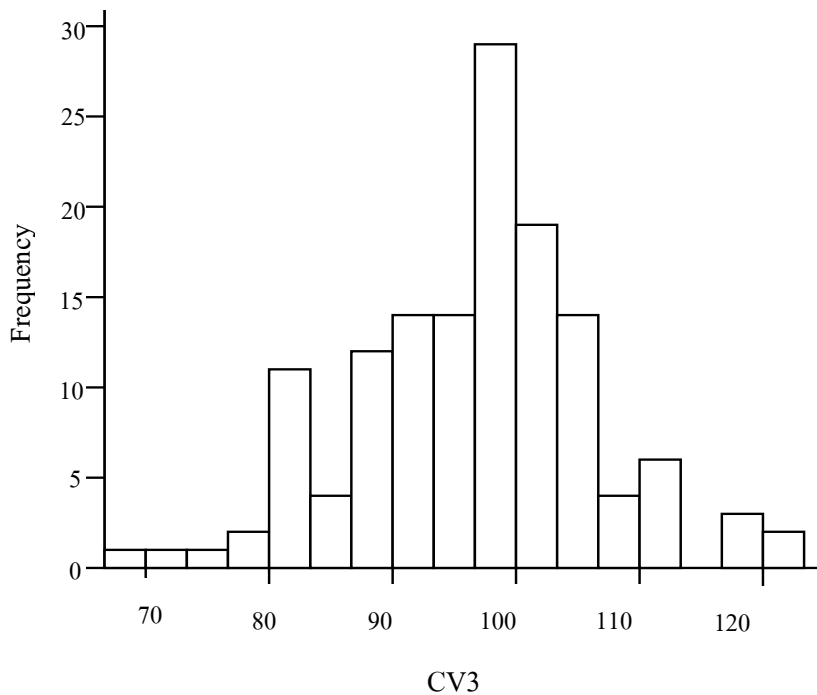
ข้อมูลความเร็วรถเฉลี่ยของทั้ง 3 กรณีศึกษาแสดงในรูปที่ 4.8-4.10 มีจำนวนข้อมูล 165 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรเท่ากับ 108 71 และ 91 กม./ชม. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเร็วรถเฉลี่ยบนทางพิเศษ มีค่าสูงกว่าความเร็วรถเฉลี่ยบนถนน เนื่องจากปริมาณการจราจรบนทางพิเศษ



รูปที่ 4.8 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CV1



รูปที่ 4.9 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CV2



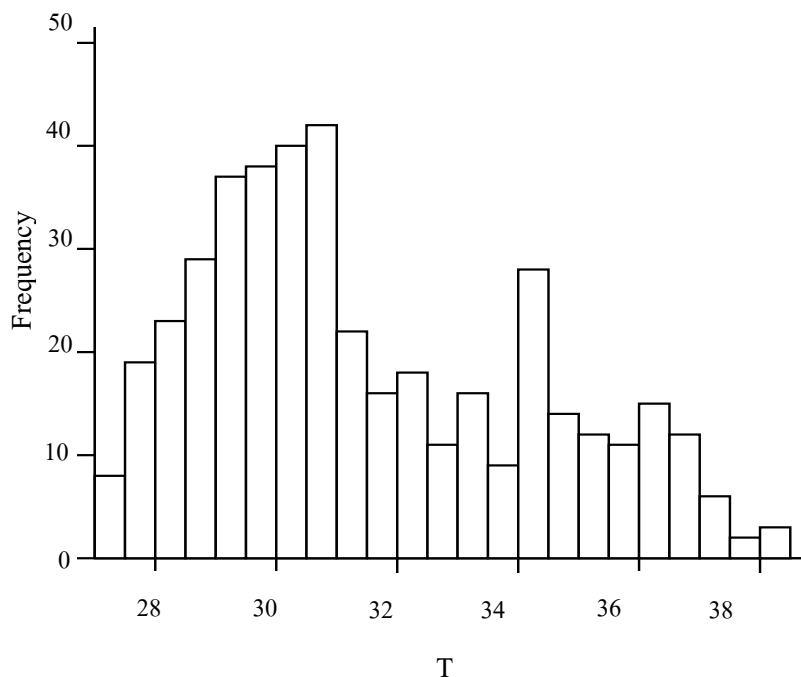
รูปที่ 4.10 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ CV3

มีปริมาณน้อยกว่าจึงทำให้ใช้ความเร็วในการขับเคลื่อนได้สูงกว่า บนถนนโดยมีค่าความเร็วสูงสุดบนทางพิเศษ เท่ากับ 160 กม./ชม. และความเร็วสูงสุดบนถนนมีค่าเท่ากับ 115 กม./ชม. ในขณะที่ความเร็วต่ำสุดของทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากันคือ 48 กม./ชม. และจากการศึกษาลักษณะ การแจกแจงของข้อมูลโดยใช้ฮิสโตแกรมพบว่าความเร็วรถบนทางพิเศษ และบนทางพิเศษรวมกับถนนมีลักษณะใกล้เคียงสมมาตรมากที่สุด ในขณะที่ความเร็วรถบนถนน มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบเบ้ขวาซึ่งมีค่ามัธยฐานน้อยกว่าค่าเฉลี่ย และความเร็วรถบนทางพิเศษมีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลแบบ Bimodal ก็จะมีจุดสูงสุด 2 จุด เนื่องจากการจราจรบนทางพิเศษจะต่างจากการจราจรบนถนนปกติที่มีความเร็วเฉลี่ยไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักโดยจะแตกต่างกันเพียงช่วงเวลากลางวันกับกลางคืน แต่บนทางพิเศษช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่นเช้าและเย็น ความเร็วรถจะต่ำกว่าช่วงเวลาที่มีการจราจรเบาบาง และบางกรณีที่มีการจราจรติดขัดหรือเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษจะทำให้ความเร็วรถต่ำมากกว่าปกติหรืออาจไม่มีความเร็วเลย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้กราฟของความเร็วรถบนทางพิเศษมีลักษณะ Bimodal ที่มีจุด peak 2 จุด รายละเอียดดังรูปที่ 4.4 และจากการศึกษาสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้ K-S Test พบว่าค่า P-value ของความเร็วรถบนทางพิเศษ และบนทางพิเศษรวมกับถนน มีค่าเท่ากับ 0.200 และ 0.078 ซึ่งมีความมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 แสดงว่าลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ ส่วนตัวแปรอื่นๆ มีค่าน้อยกว่า 0.05

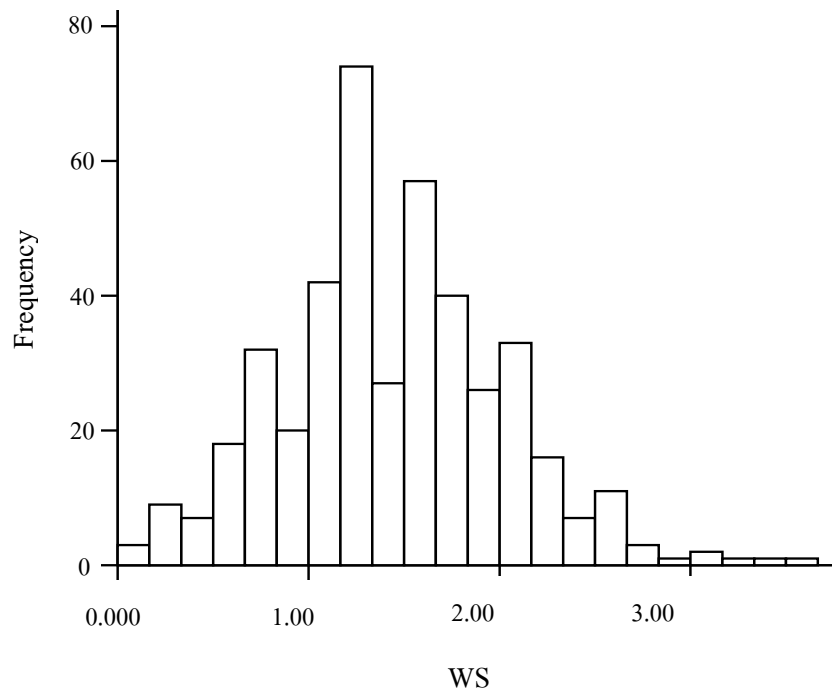
ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด แสดงว่าลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบไม่ปกติหรือLognormal

4.2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

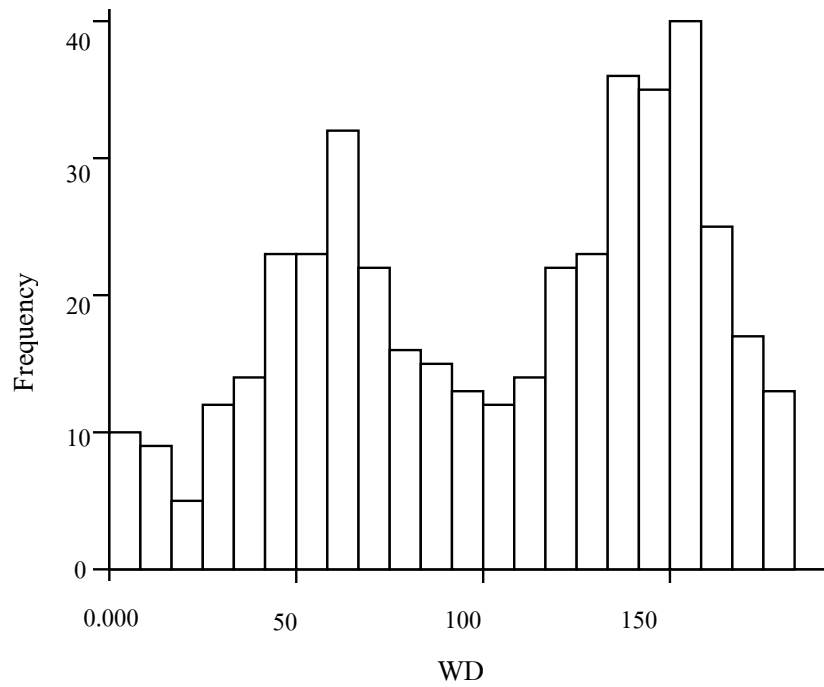
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ทิศทางลม ความเร็วลม และระยะห่างจาก ทางพิเศษ มีจำนวนข้อมูล 432 ตัวอย่าง ยกเว้นทิศทางลมที่มีข้อมูล 431 ตัวอย่าง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.43 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 38.40 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 103.60 เมตร/วินาที และความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 179 เมตร/วินาที ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้ฮิสโตแกรมในรูปที่ 4.11-4.13 พบว่า อุณหภูมิ และระยะห่างจากทางพิเศษ มีลักษณะเป็นแบบเบ้ขวาในขณะที่ ความเร็วลมมีลักษณะเบ้ซ้าย มีเพียงทิศทางลมที่มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงแบบสมมาตรมากที่สุด จากการศึกษาสถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้ K-S Test พบว่าค่า P-value ของสถิติทดสอบ K-S Test ของทุกตัวแปร มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดเท่ากับ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและระยะห่างจากทางพิเศษไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติหรือLognormal



รูปที่ 4.11 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ T



รูปที่ 4.12 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ WS



รูปที่ 4.13 ลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ WD

4.3 การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับมลพิษทางอากาศ ประเภทแก๊สทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ใช้เทคนิควิธีทางสถิติในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร และเป็นการทดสอบว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นหรือไม่ รวมถึงการทดสอบว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันหรือไม่ ในการศึกษาใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows ในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้นำมาคัดเลือกตัวแปร โดยทำการคัดเลือกจากตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสม ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2

ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมการการถดถอย ซึ่งสามารถสรุปสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์ กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยแบ่งการศึกษา 4 กรณีเวลาคือ กรณี 24 ชั่วโมง กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1-6 ชั่วโมง โดยแต่ละกรณีแบ่งวิธีการศึกษาเป็น 2 วิธีคือ Y กับ X หรือ LOG(X) และ LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X) ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. กรณี 24 ชั่วโมง มลพิษทางอากาศซึ่งประกอบด้วย NO₂ CO SO₂ และ O₃ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณจราจรแต่ละประเภทเป็นส่วนใหญ่โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือเมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจะทำให้มลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้นด้วย โดยตัวแปรปริมาณจราจรที่มีความสัมพันธ์กับมลพิษทางอากาศที่ศึกษาเป็นตัวแปรแบบ LOG ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าลักษณะความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศกับตัวแปรปริมาณจราจรมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้น นอกจากนี้ NO₂ SO₂ และ O₃ จะเพิ่มขึ้นตามข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และในทางตรงข้ามมลพิษทางอากาศทั้ง 4 มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับข้อมูลอนุษิมวิทยาและระยะห่างจากทางพิเศษหรือถนน โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรข้อมูลแบบ LOG และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า กรณี Y กับ X หรือ LOG(X) ตัวแปร NO₂ CO SO₂ และ O₃ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตัวแปร LOG(TF2) MC1 LOG(C1) และ O₃pcd ตามลำดับ โดยตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรอื่นๆ ที่ศึกษาซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.444 0.163 0.301 และ 0.603 และตัวแปร NO₂ CO SO₂ และ O₃ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับตัวแปร LOG(DFE) LOG(DFE) CV2 และ LOG(T) ตามลำดับและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.418 0.368 0.208 และ 0.307 ส่วนกรณี LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X) ตัวแปร LOG(NO₂) LOG(CO) LOG(SO₂) และ LOG(O₃) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์กัน
อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

กรณีศึกษา	ตัวแปร	ความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน*	ความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกัน*
กรณี 24 ชั่วโมง Y กับ X หรือLOG(X)	NO ₂	TF1/0.167, LOG(TF2)/0.444, LOG(TF3)/0.443, LOG(C1)/0.310, LOG(LB1)/0.321, LOG(HB1)/0.265, LOG(C2)/0.335, LOG(LB2)/0.356, LOG(HB2)/0.248, MC2/0.232, LOG(C3)/0.337, LOG(LB3)/0.356, LOG(HB3)/0.231, MC3/0.233, CV1/0.328, NO ₂ pcd/0.335, LOG(O ₃ pcd)/0.312	LOG(CV2)/0.223, LOG(CV3)/0.198, LOG(WD)/0.188, WS/0.130, LOG(DFE)/0.418, LOG(COpcd)/0.118, LOG(SO ₂ pcd)/0.149
	CO	MC1/0.163	LOG(DFE)/0.368, CV2/0.208
	SO ₂	TF1/0.189, LOG(TF2)/0.208, LOG(TF3)/0.210, LOG(C1)/0.301, LOG(LB1)/0.268, LOG(C2)/0.269, LOG(LB3)/0.279, LOG(MC2)/0.250, LOG(C3)/0.289, LOG(LB3)/0.282, LOG(MC3)/0.254, LOG(T)/0.114, LOG(NO ₂ pcd)/0.218, LOG(COpcd)/0.114	CV2/0.208, LOG(WS)/0.096
	O ₃	TF1/0.377, LOG(TF2)/0.394, LOG(TF3)/0.396, LOG(C1)/0.321, LOG(LB1)/0.404, LOG(HB1)/0.516, LOG(HT1)/0.295, LOG(C2)/0.329, LOG(LB2)/0.447, LOG(MC2)/0.407, LOG(C3)/0.338, LOG(LB3)/0.443, LOG(HB3)/0.232, LOG(MC3)/0.412, NO ₂ pcd/0.445, O ₃ pcd/0.603	LOG(T)/0.307, WS/0.244, LOG(CV3)/0.213
กรณี 24 ชั่วโมง LOG(Y) กับX หรือLOG(X)	LOG(NO ₂)	LOG(TF1)/0.394, LOG(TF2)/0.434, LOG(TF3)/0.437, LOG(C1)/0.362, LOG(LB1)/0.371, LOG(HB1)/0.281, MC1/0.052, LOG(C2)/0.371, LOG(LB2)/0.406, LOG(HB2)/0.270, MC2/0.288, LOG(C3)/0.382, LOG(LB3)/0.406, LOG(HB3)/0.250, MC3/0.289, CV1/0.374, LOG(NO ₂ pcd)/0.431, LOG(O ₃ pcd)/0.315	CV2/0.267, CV3/0.206, LOG(WD)/0.171, LOG(WS)/0.108, LOG(DFE)/0.449, LOG(SO ₂ pcd)/0.143
	LOG(CO)	MC1/0.187, LOG(NO ₂ pcd)/0.184	LOG(DFE)/0.296, CV2/0.241
	LOG(SO ₂)	TF1/0.194, LOG(TF2)/0.231, LOG(TF3)/0.223, LOG(C1)/0.313, LOG(LB1)/0.278, LOG(C2)/0.289, LOG(LB2)/0.298, LOG(MC2)/0.257, LOG(C3)/0.308, LOG(LB3)/0.299, LOG(MC3)/0.261, LOG(NO ₂ pcd)/0.228, LOG(COpcd)/0.106, LOG(O ₃ pcd)/0.103	CV3/0.213
	LOG(O ₃)	LOG(TF1)/0.457, LOG(TF2)/0.470, LOG(TF3)/0.475, LOG(C1)/0.407, LOG(LB1)/0.498, LOG(HB1)/0.572, LOG(HT1)/0.325, LOG(C2)/0.396, LOG(LB2)/0.541, LOG(HB2)/0.187, LOG(MC2)/0.471, LOG(C3)/0.421, LOG(LB3)/0.542, LOG(MC3)/0.477 LOG(NO ₂ pcd)/0.482, LOG(O ₃ pcd)/0.565	CV2/0.237, CV3/0.267, T/0.273, WS/0.203

หมายเหตุ * ความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน และความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกัน ในตารางแสดง ตัวแปร/ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศและตัวแปรที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์กัน
อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ต่อ)

กรณีศึกษา	ตัวแปร	ความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน	ความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกัน
กรณีเร่งด่วนเช้า Y กับ XหรือLOG(X)	NO ₂	MC1/0.434, NO ₂ pcd/0.287, LOG(O ₃ pcd)/0.280	LOG(CV2)/0.526, WS/0.284, LOG(DFE)/0.392, COpcd/0.341
	CO	MC1/0.445, HT2/0.441	LOG(DFE)/0.389, O ₃ pcd/0.425
	SO ₂	-	LOG(CV2)/0.458
	O ₃	LOG(C1)/0.541, LOG(LB1)/0.531, LB2/0.444, LOG(LB3)/0.600, O ₃ pcd//0.278	-
กรณีเร่งด่วนเช้า LOG(Y) กับX หรือLOG(X)	LOG(NO ₂)	MC1/0.450, NO ₂ pcd/0.294, O ₃ pcd/0.292	LOG(CV2)/0.487, LOG(DFE)/0.344, COpcd/0.309
	LOG(CO)	-	LOG(DFE)/0.266, O ₃ pcd/0.429
	LOG(SO ₂)	-	-
	LOG(O ₃)	LOG(TF1)/0.658, LOG(TF3)/0.572, LOG(C1)/0.605, LOG(LB1)/0.594, LOG(LB3)/0.594, O ₃ pcd/0.326	LOG(SO ₂ pcd)/0.296
กรณีเร่งด่วนบ่าย Y กับ XหรือLOG(X)	NO ₂	LOG(C2)/0.514, LOG(LB2)/0.544, LOG(LB3)/0.522, LOG(CV1)/0.611, NO ₂ pcd//0.397, O ₃ pcd/0.452	LOG(CV3)/0.516, LOG(WD)/0.510, LOG(DFE)/0.681, LOG(COpcd)/0.342
	CO	LOG(NO ₂ pcd)/0.382	LOG(DFE)/0.318
	SO ₂	CV3/0.554	LOG(T)/0.275
	O ₃	HT1/0.530, LOG(MC1)/0.654, NO ₂ pcd/0.374, LOG(SO ₂ pcd)/0.395	LOG(T)/0.334
กรณีเร่งด่วนบ่าย LOG(Y) กับX หรือLOG(X)	LOG(NO ₂)	TF2/0.501, LOG(C2)/0.552, LOG(LB2)/0.580, LOG(C3)/0.508, LOG(LB3)/0.572, LOG(CV1)/0.673, NO ₂ pcd/0.410, O ₃ pcd/0.340	LOG(WD)/0.416, LOG(DFE)/0.718, LOG COpcd/0.339
	LOG(CO)	LOG(NO ₂ pcd)/0.352	LOG(DFE)/0.281
	LOG(SO ₂)	CV3/0.585	LOG(T)/0.282, LOG(SO ₂ pcd)/0.309
	LOG(O ₃)	LOG(MC1)/0.655, NO ₂ pcd/0.283, LOG(SO ₂ pcd)/0.397	LOG(T)/0.347

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของไอโซนกับตัวแปรที่ศึกษาภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง ที่มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

กรณีศึกษา	ชั่วโมงที่	ความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน*	ความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกัน*
Y กับ X หรือ LOG(X)	1	LOG(C1)/0.303, LOG(LB1)/0.386, HB1/0.506, LOG(C2)/0.283, LOG(LB2)/0.420, LOG(HB2)/0.189, LOG(MC2)/0.353, LOG(C3)/0.294, LOG(LB3)/0.416, LOG(HB3)/0.247, LOG(MC3)/0.361, WD/0.117, O ₃ pcd/0.602	CV3/0.173, LOG(T)/0.399, WS/0.300
	2	LOG(C1)/0.256, LOG(LB1)/0.343, HB1/0.525, LOG(HT1)/0.120, LOG(C2)/0.242, LOG(LB2)/0.372, LOG(HB2)/0.191, LOG(MC2)/0.309, LOG(C3)/0.246, LOG(LB3)/0.386, HB3/0.251, LOG(MC3)/0.320, W/0.151, O ₃ pcd/0.605	CV3/0.171, LOG(T)/0.458, LOG(WS)/0.337
	3	LOG(LB1)/0.226, HB1/0.427, LOG(HT1)/0.182, LOG(LB2)/0.262, LOG(HB2)/0.167, LOG(MC2)/0.210, LOG(LB3)/0.254, HB3/0.215, LOG(MC3)/0.220, WD/0.128, O ₃ pcd/0.607	LOG(T)/0.504, LOG(WS)/0.360
	4	HB1/0.334, LOG(HB3)/0.181, WD/0.099, O ₃ pcd/0.611	T/0.508, WS/0.301
	5	HB1/0.202, O ₃ pcd/0.615	T/0.489, WD/0.237
	6	O ₃ pcd/0.616	T/0.441, LOG(WS)/0.177
LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X)	1	LOG(C1)/0.361, LOG(LB1)/0.450, HB1/0.509, LOG(C2)/0.314, LOG(LB2)/0.475, LOG(HB2)/0.206, LOG(MC2)/0.389, LOG(C3)/0.334, HB3/0.268, LOG(MC3)/0.400, WD/0.116, O ₃ pcd/0.545	CV2/0.227, CV3/0.233, LOG(T)/0.385, WS/0.308
	2	LOG(C1)/0.263, LB1/0.197, HB1/0.517, LOG(HT1)/0.162, LOG(MC1)/0.367, LOG(C2)/0.227, LOG(LB2)/0.389, LOG(HB2)/0.218, LOG(MC2)/0.311, LOG(C3)/0.238, HB3/0.274, LOG(MC3)/0.324, WD/0.147, O ₃ pcd/0.548	CV2/0.221, CV3/0.223, LOG(T)/0.468, LOG(WS)/0.343
	3	LOG(LB1)/0.197, HB1/0.440, LOG(HT1)/0.203, LOG(MC1)/0.161, LOG(LB2)/0.228, LOG(HB2)/0.214, LOG(MC2)/0.176, LOG(HB3)/0.259, LOG(MC3)/0.187, WD/0.113, LOG(O ₃ pcd)/0.259	CV2/0.195, CV3/0.204, LOG(T)/0.554, WS/0.398
	4	HB1/0.357, LOG(HB2)/0.205, LOG(HB3)/0.236, LOG(O ₃ pcd)/0.573	CV3/0.214, T/0.596, WS/0.359
	5	HB1/0.256, HB3/0.166, O ₃ pcd/0.556	T/0.599, WS/0.309
	6	LOG(O ₃ pcd)/0.246	T/0.554, LOG(WS)/0.240

หมายเหตุ * ความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน และความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกัน ในตารางแสดง ตัวแปร/ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตัวแปร LOG(TF3) MC1 LOG(C1) และ LOG(HB1) ตามลำดับ โดยเป็นตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 0.437 0.187 0.313 และ 0.572 และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับตัวแปร LOG(DFE) LOG(DFE) CV3 และ T ตามลำดับและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.449 0.296 0.213 และ 0.273

2. กรณีเร่งด่วนเข้า กรณีศึกษา Y กับ X หรือ LOG(X) พบว่า NO₂ และ CO มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตัวแปร MC1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 0.434 และ 0.445 ตามลำดับ ในขณะที่ O₃ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันสูงสุดกับตัวแปร LOG(LB3) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.600 ในขณะที่ NO₂ และ SO₂ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามสูงสุดกับตัวแปร LOG(CV2) คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.526 และ 0.458 ในขณะที่ CO มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามสูงสุดกับตัวแปร O₃pcd โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.458 และกรณีศึกษา LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X) พบว่า LOG(NO₂) และ LOG(O₃) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันสูงสุดกับตัวแปร MC และ TF1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.450 และ 0.658 ตามลำดับ ในขณะที่ LOG(NO₂) LOG(CO) และ LOG(O₃) มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามสูงสุดกับตัวแปร LOG(CV2) O₃pcd และ LOG(SO₂pcd) คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.487 0.429 และ 0.296

3. กรณีโอโซนภายหลังปล่อยมลพิษตั้งต้น 1-6 ชั่วโมง ทั้งกรณี Y กับ X หรือ LOG(X) และกรณี LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X) ชั่วโมงที่ 1-6 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันสูงสุดกับ O₃pcd รองลงมาคือตัวแปร HB1 ทั้ง 1-6 ชั่วโมง คือปริมาณ O₃pcd และ HB1 เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่กรณีศึกษา Y กับ X หรือ LOG(X) และกรณี LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X) ชั่วโมงที่ 1-6 มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามสูงสุดกับ ตัวแปร LOG(T) และ T คือหากอุณหภูมิลดลงจะทำให้ปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำโดยนำตัวแปรที่ได้จากการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมมาทำการศึกษารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุตามกรณีศึกษาต่างๆ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการต่อจากนั้นทำการคัดเลือกสมการที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป โดยชุดตัวแปรอิสระที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลองแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษา และกรณีใช้ตัวแปรมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษช่วยในการคาดการณ์ ต่อจากนั้นทำการคัดเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุดจากสมการที่เหมาะสมจากทั้งสองกรณีอีกครั้งหนึ่ง เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

มลพิษที่เลือกมาสร้างแบบจำลองเพื่อการทำนายจะพิจารณาจากตัวแปรที่มีจำนวนข้อมูลมากเพียงพอในการศึกษาโดยตัวแปรที่มีจำนวนมาก 4 ตัวแปร ได้แก่ CO NO₂ SO₂ และ O₃ ก็มีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 430 ส่วนตัวแปรที่ไม่ได้เลือกมาสร้างแบบจำลอง 2 ตัวแปร ได้แก่ PM₁₀ และ TSP เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลน้อยมากมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 18 ประกอบกับในปี 2546 ไม่มีข้อมูลของตัวแปรทั้งสอง ดังนั้นจึงไม่มีข้อมูลชุดใหม่ในการตรวจสอบความถูกต้อง

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 ตัวแปรพบว่าตัวแปร SO₂ มีสมการที่ผ่านการคัดเลือกตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ น้อยเกินกว่าที่จะนำไปทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบงานวิจัยเกี่ยวกับ SO₂ ที่เกิดจากการจราจรในลักษณะเชิงสถิติที่พบการรายงานผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์หรือการทำนายค่าน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจึงตัด SO₂ ออกและเหลือตัวแปรที่จะทำการศึกษารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพียง 3 ตัวแปร ได้แก่ CO NO₂ และ O₃ เท่านั้น

5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

สมการถดถอยเชิงพหุและการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละมลพิษแบ่งเป็นกรณีที่ศึกษาต่างๆ ได้แก่ กรณีแยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง) ตารางที่ ข1-ข3 กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

ตารางที่ ข4-ข6 กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนป้ายตารางที่ ข7-ข9 กรณีรวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง) ตารางที่ ข10-ข12 กรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าตารางที่ ข13-ข15 กรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนป้ายตารางที่ ข16-ข18 และกรณี O_3 ภายหลังจากปล่อยมลพิษ ตั้งต้น 1-6 ชั่วโมงตารางที่ ข19-ข24 ตามลำดับ ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างผลการสร้างสมการการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน และการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองกรณี CO แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง) มาอภิปรายเป็นตัวอย่าง

สมการถดถอยเชิงพหุและการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกจากขั้นตอนการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของ CO แยกประเภทพาหนะ ซึ่งศึกษาสมการถดถอยเชิงพหุจาก 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 บนทางพิเศษ กรณีที่ 2 บนถนน และกรณีที่ 3 บนทางพิเศษร่วมกับถนน โดยแต่ละกรณีแบ่งการศึกษาเป็น 2 กรณีย่อยคือ กรณีย่อยที่หนึ่ง Y กับ X หรือ LOG(X) และกรณีย่อยที่สองคือ LOG(Y) กับ X หรือ LOG(X) และทุกกรณีศึกษาทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ 2 วิธีคือ Stepwise และ Backward โดยสมการในการศึกษาของ CO แยกประเภทพาหนะมีจำนวนทั้งสิ้น 12 สมการ ตารางที่ 1x ในภาคผนวก ข และจากการพิจารณาพบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มี 10 สมการที่มีค่า Sig. น้อยกว่า 0.05 ดังตารางที่ 5.1

สมการทั้ง 10 สมการของ CO มีค่า Adjusted R^2 อยู่ระหว่าง 0.182 – 0.353 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวในสมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ 18.20 – 35.30 % และจากการตรวจสอบการคลาดเคลื่อนระหว่างค่าของตัวแปรตามที่พยากรณ์ได้กับค่าสังเกตด้วยการพิจารณาจากค่า RMSE โดยสมการที่มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุดเป็นสมการที่มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งจากตารางพบว่าทั้ง 10 สมการมีค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.319-0.677 โดยสมการลำดับที่ 3 กรณีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.319 ในขณะที่สมการลำดับที่ 1 กรณีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 0.677

จากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนด้วยการใช้ค่า Standardized Residual โดยการพิจารณาจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Standardized Residual พบว่า สมการลำดับที่ 2 กรณีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของค่า Standardized Residual ใกล้ 0 มากที่สุด และสมการลำดับที่ 1 กรณีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานมากที่สุด ในขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของทุกสมการมีค่าอยู่ระหว่าง 0.989-1.232 ซึ่งถือว่ายอมรับได้

การตรวจสอบความถูกต้องทำโดยการนำข้อมูลตัวแปรปี 2546 ซึ่งเป็นข้อมูลชุดใหม่ของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ได้แก่ ในโตรเจนไดออกไซด์(NO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2) และโอโซน(O_3) ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ตลอด 3 วันต่อเนื่องกันและข้อมูลปริมาณจราจรและความเร็วรถ จากทางพิเศษฉลองรัช และถนนประดิษฐ์มนูธรรม รวมทั้งข้อมูล

ตารางที่ 5.1 สมการถดถอยเชิงพหุของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)และใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

ลำดับที่	กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual	
								Mean	S.D
1	1	Stepwise	CO = 7.910 - 1.212LOG(DFE) + 1.465E-02(CV1) - 4.386LOG(T)	201	0.321	0.034	0.677	0.465	1.232
2	1	Backward	CO = 10.025 - 6.333LOG(T) - 1.056LOG(DFE) + 1.107LOG(C1) - 0.892LOG(LB1) + 1.344E-02(CV1)	132	0.353	0.006	0.661	-0.030	1.011
3	1	Stepwise	LOG(CO) = 3.376 - 0.343LOG(DFE) + 0.197LOG(C1) - 2.298LOG(T)	164	0.222	0.006	0.319	-0.053	1.052
4	2	Stepwise	CO = 11.102 - 0.829LOG(DFE) - 1.86E-02(CV2) - 4.953LOG(T)	135	0.271	0.006	0.665	0.123	1.033
5	2	Backward	CO = 11.950 - 6.33LOG(T) - 0.779LOG(DFE) + 0.577LOG(C2) - 0.303LOG(MC2) - 1.90E-02(CV2)	131	0.291	0.005	0.656	0.109	1.042
6	2	Stepwise	LOG(CO) = 3.556 - 0.341LOG(DFE) - 7.14E-03(CV2) - 1.737LOG(T)	135	0.190	0.036	0.327	0.219	0.989
7	2	Backward	LOG(CO) = 3.556 - 0.341LOG(DFE) - 7.14E-03(CV2) - 1.737LOG(T)	135	0.190	0.019	0.327	0.029	0.989
8	3	Stepwise	CO = 10.245 - 0.887LOG(DFE) - 5.173LOG(T)	430	0.224	0.005	0.680	0.139	1.097
9	3	Stepwise	LOG(CO) = 3.048 - 0.348LOG(DFE) - 2.168LOG(T) + 0.191LOG(C3)	164	0.182	0.040	0.329	-0.037	1.033
10	3	Backward	LOG(CO) = 3.048 - 0.348LOG(DFE) - 2.168LOG(T) + 0.191LOG(C3)	164	0.182	0.040	0.329	-0.037	1.033

หมายเหตุ กรณีที่ 1 = ทางพิเศษ
 กรณีที่ 2 = ถนน
 กรณีที่ 3 = ทางพิเศษรวมและถนนรวมกัน

อุตุนิยมหาวิทยาลัยในช่วงเวลาเดียวกับข้อมูลมลพิษทางอากาศเพิ่มลงในฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของตัวแปรอิสระปี 2546 แสดงในตารางที่ 5.2

การตรวจสอบความถูกต้องของสมการ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง) ที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 10 สมการดังตารางที่ 5.3 พบว่าสมการที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 มีเพียงสมการเดียวคือสมการ CO กรณีบนทางพิเศษที่คัดเลือกตัวแปรด้วยวิธี Backward มีค่า P-value เท่ากับ 0.864 ซึ่งแสดงว่าผลการคาดการณ์จากแบบจำลองมีค่าไม่แตกต่างจากผลการตรวจวัดจริงในปี 2546 ดังนั้นสมการดังกล่าว จึงเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดของกรณีนี้

สำหรับสมการอื่นๆ ที่เหลือทั้งหมดการตรวจสอบความถูกต้องของ CO NO₂ O₃ และ O₃ ภายหลังจากปล่อยมลพิษตั้งแต่ต้น 1-6 ชั่วโมงทุกกรณี มีวิธีการสร้างสมการ วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน ทดสอบความถูกต้องและคัดเลือกสมการที่เหมาะสมเช่นเดียวกับที่อธิบายเป็นตัวอย่างข้างต้น ในกรณี CO แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง) โดยสมการที่ผ่านการคัดเลือกของแต่ละมลพิษแสดง

ในตารางที่ 5.4-5.7 ซึ่งพบว่าสมการ CO ทุกกรณีมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.234-0.564 โดย CO จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับอุณหภูมิและระยะห่างจากทางพิเศษเกือบทุกสมการนั่นคือ หากอุณหภูมิและระยะห่างจากทางพิเศษเพิ่มขึ้นจะทำให้ CO ลดลง และสมการ NO₂ ทุกกรณีมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.297-0.571 โดย NO₂ จะมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับระยะห่างจากทางพิเศษเกือบทุกสมการแต่จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางลมเกือบทุกสมการ ในขณะที่ O₃ มีสมการที่ผ่านการคัดเลือกเพียง 3 สมการคือ

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของตัวแปรปี 2546

ตัวแปร	หน่วย	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างที่ไม่มีข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าพิสัย
NO ₂	มก./ลบ.ม.	60	0	0.026	0.024	0.009	0.000	0.05	0.04
CO	ppm	60	0	0.929	0.765	0.546	0.16	2.77	2.61
SO ₂	มก./ลบ.ม.	47	13	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
O ₃	ppm	43	17	0.004	0.003	0.004	0.000	0.020	0.020
C1	กัม/24 ชม.	72	0	1137	906	1030	48	1334	4286
LB1	กัม/24 ชม.	72	0	593	588	448	35	2034	1999
HB1	กัม/24 ชม.	71	1	14	10	12	0	41	41
HT1	กัม/24 ชม.	72	0	17	16	10	0	50	50
MC1	กัม/24 ชม.	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	กัม/24 ชม.	72	0	3465	4024	1655	293	5965	5672
LB2	กัม/24 ชม.	72	0	1681	1836	868	202	3053	2851
HB2	กัม/24 ชม.	72	0	79	61	49	20	235	215
HT2	กัม/24 ชม.	72	0	69	63	41	12	200	188
MC2	กัม/24 ชม.	72	0	948	942	625	114	2659	2545
C3	กัม/24 ชม.	72	0	4602	5007	2447	342	9254	8912
LB3	กัม/24 ชม.	72	0	2734	2411	1235	237	4385	4148
HB3	กัม/24 ชม.	72	0	92	67	58	27	266	239
HT3	กัม/24 ชม.	72	0	86	80	47	13	212	199
MC3	กัม/24 ชม.	72	0	948	942	625	114	2659	2545
TF1	กัม/24 ชม.	72	0	1743	1569	1407	92	6027	5935
TF2	กัม/24 ชม.	72	0	6242	7173	2893	842	11767	10925
TF3	กัม/24 ชม.	72	0	8003	9420	4007	945	15552	14607
CV1	กัม/24 ชม.	71	1	90	90	7.47	71	118	47
CV2	กัม/24 ชม.	72	0	59	59	5.98	46	81	35
CV3	กัม/24 ชม.	72	0	75	75	4.215	63	90	27
T	องศาเซลเซียส	72	0	31	31	3.46	25.4	38.3	12.9
WS	เมตร/วินาที	71	1	1.47	1.5	0.545	0.10	2.5	2.4
WD	องศา	71	1	47.25	28	44.476	1.00	168	167
DFE	เมตร	72	0	35	35	0.000	35	35	0.00

ตารางที่ 5.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการของ CO กรณีแยกประเภทพาหะ (24 ชั่วโมง) และใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

กรณีศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	สมการ	Validation			
			Paired T-test	Compare		N
				MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 7.910 - 1.212LOG(DFE) + 1.465E-02(CV1) - 4.386LOG(T)	0.042	0.458	0.349	60
1	Backward	CO = 10.025 - 6.333LOG(T) - 1.056LOG(DFE) + 1.107LOG(C1) - 0.892LOG(LB1) + 1.344E-02(CV1)	0.864	0.437	0.343	60
1	Stepwise	LOG(CO) = 3.376 - 0.343LOG(DFE) + 0.197LOG(C1) - 2.298LOG(T)	0.000	0.102	1.221	60
2	Stepwise	CO = 11.102 - 0.829LOG(DFE) - 1.86E-02(CV2) - 4.953LOG(T)	0.000	0.442	0.461	60
2	Backward	CO = 11.950 - 6.333LOG(T) - 0.779LOG(DFE) + 0.577LOG(C2) - 0.303LOG(MC2) - 1.90E-02(CV2)	0.000	0.430	0.479	60
2	Stepwise	LOG(CO) = 3.556 - 0.341LOG(DFE) - 7.14E-03(CV2) - 1.737LOG(T)	0.000	0.107	1.102	60
2	Backward	LOG(CO) = 3.556 - 0.341LOG(DFE) - 7.14E-03(CV2) - 1.737LOG(T)	0.000	0.107	1.102	60
3	Stepwise	CO = 10.245 - 0.887LOG(DFE) - 5.173LOG(T)	0.022	0.463	0.373	60
3	Stepwise	LOG(CO) = 3.048 - 0.348LOG(DFE) - 2.168LOG(T) + 0.191LOG(C3)	0.000	0.108	1.273	60
3	Backward	LOG(CO) = 3.048 - 0.348LOG(DFE) - 2.168LOG(T) + 0.191LOG(C3)	0.000	0.108	3.515	60

ตารางที่ 5.4 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ CO กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	CO = 10.025 – 6.333LOG(T) – 1.056LOG(DFE) + 1.107LOG(C1) – 0.892LOG(LB1) + 1.344E-02(CV1)	0.353
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	CO = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	CO = 28.451 – 20.450LOG(T) + 1.215LOG(LB1)	0.388
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	CO = 7.604 – 4.105LOG(T) – 0.986LOG(DFE) + 1.039E-02(CV1)	0.234
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	CO = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	CO = 42.418 – 27.670LOG(T) + 2.647E-04(TF1)	0.564

ตารางที่ 5.5 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ NO₂ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	NO ₂ = 0.291 – 1.35E-02LOG(DFE) – 0.181LOG(T) + 9.931E-03LOG(C1)	0.403
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	NO ₂ = 5.538E-02 – 2.18E-02LOG(DFE) + 1.202E-04(WD)	0.490
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	NO ₂ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	NO ₂ = -7.08E-05 + 7.739E-03LOG(TF3) – 3.92E-03LOG(DFE)	0.297
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	NO ₂ = 5.536E-02 + 1.177E-04(WD) – 2.16E-02LOG(DFE)	0.571
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	NO ₂ = 1.164E-02 + 1.360E-02LOG(WD) – 6.43E-03LOG(DFE)	0.407

ตารางที่ 5.6 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O₃ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	$O_3 = -3.36E-03 + 2.366E-05(WD) - 5.21E-03(WS) + 3.031E-05(DFE) + 4.545E-03LOG(C1)$	0.549
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$O_3 = 3.724E-03 + 2.257E-05(WD)$	0.185
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	

ตารางที่ 5.7 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O₃ ภายหลังจากปล่อยมลพิษตั้งต้น 12 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 1 ชม.	$O_3 = 4.127E-03 + 1.677E-05(WD) - 2.45E-03(WS) + 1.551E-05(DFE) + 1.306E-04(HB1)$	0.632
2	ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 2 ชม.	$O_3 = 7.378E-02 - 5.51E-02LOG(T) + 1.470E-05(WD) - 2.69E-03LOG(WS) - 1.645E-05(DFE) - 4.27E-03LOG(C2) + 8.749E-03LOG(LB2)$	0.584
3	ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 3 ชม.	$O_3 = 9.109E-02 - 6.44E-02LOG(T) + 1.277E-05(WD) + 1.631E-05(DFE) - 5.90E-03LOG(C3) + 9.022E-03LOG(LB3)$	0.519
4	ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 4 ชม.	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 5 ชม.	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	ภายหลังจากปล่อยมลพิษ 6 ชม.	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	

กรณีแยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง) แยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และรวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย โดยมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.185-0.976 ซึ่งตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ O₃ ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรอุณหภูมิตามฤดูกาล สำหรับ O₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษ 1-6 ชั่วโมงพบว่าภายหลังการปล่อยมลพิษ O₃ ชั่วโมงที่ 4-6 ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก โดยสมการที่ผ่านการคัดเลือกมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.519-0.632 ซึ่งตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ O₃ ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรอุณหภูมิตามฤดูกาล และตัวแปรปริมาณจราจรซึ่งได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถปิคอัพ/รถตู้ และรถบรรทุกขนาดเล็ก

5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ช่วยในการคาดการณ์

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้ตัวแปรมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษช่วยในการคาดการณ์ มีขั้นตอนและวิธีการเช่นเดียวกับการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีใช้ตัวแปรจากพื้นที่ศึกษาแต่ต่างกันตรงที่ชุดตัวแปรอิสระที่ใช้สร้างแบบจำลองมีตัวแปรเพิ่มเติมคือตัวแปรมลพิษ NO₂ CO และ O₃ ผลการศึกษาในกรณีต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก และสมการที่ผ่านการคัดเลือกของแต่ละมลพิษแสดงในตารางที่ 5.8-5.11

ตารางที่ 5.8 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ CO กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ช่วยในการคาดการณ์

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	$CO = 9.019 + 0.702\text{LOG}(C1) + 0.163\text{LOG}(LB1) - 0.139\text{LOG}(HT1) - 5.209E-04(MC1) + 1.451E-02(CV1) - 6.621\text{LOG}(T) - 4.215E-04(WD) - 2.620E-02(WS) - 0.842\text{LOG}(DFE) - 1.711\text{LOG}(NO_2\text{pcd})$	0.441
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$CO = 2.124 - 93.078(O_3\text{pcd})$	0.238
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	$CO = 17.791 - 9.372\text{LOG}(CV2)$	0.308
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	= ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$\text{LOG}(CO) = -0.663 + 1.335E-02(WD) + 2.606\text{LOG}(DFE) - 2.947\text{LOG}(NO_2\text{pcd}) + 0.832(CO\text{pcd})$	0.621
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	$CO = 17.791 - 9.372\text{LOG}(CV2)$	0.308

ตารางที่ 5.9 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ NO₂ กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด
ช่วยในการคาดการณ์

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	$NO_2 = 0.465 - 0.290\text{LOG}(T) - 0.442(\text{NO}_2\text{pcd}) + 2.625\text{E-}02\text{LOG}(\text{SO}_2\text{pcd}) + 2.306\text{E-}02\text{LOG}(C1)$	0.583
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	$NO_2 = 6.206\text{E-}02 - 2.70\text{E-}02\text{LOG}(\text{DFE}) + 1.537\text{E-}04(\text{WD})$	0.599
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	= ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	$NO_2 = 6.872\text{E-}02 + 1.026\text{E-}02\text{LOG}(\text{TF2}) - 1.221\text{E-}02\text{LOG}(\text{COpcd}) - 3.342\text{E-}02\text{LOG}(\text{CV2}) - 5.297\text{E-}03\text{LOG}(\text{DFE}) + 5.082\text{E-}03\text{LOG}(\text{SO}_2\text{pcd})$	0.455
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	$NO_2 = 0.117 - 2.886\text{E-}02\text{LOG}(\text{DFE}) + 1.684\text{E-}04(\text{WD}) - 0.653(\text{NO}_2\text{pcd}) + 1.519\text{E-}02\text{LOG}(\text{SO}_2\text{pcd})$	0.797
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	$NO_2 = -0.396 + 0.286\text{LOG}(T) - 2.027\text{E-}02\text{LOG}(\text{WD}) + 1.572(\text{NO}_2\text{pcd}) - 4.251\text{E-}02\text{LOG}(\text{COpcd}) - 2.699(\text{SO}_2\text{pcd}) - 2.138(\text{O}_3\text{pcd})$	0.762

ตารางที่ 5.10 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O₃ กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด
ช่วยในการคาดการณ์

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	$O_3 = 1.519\text{E-}03 + 0.272(\text{O}_3\text{pcd}) + 3.968\text{E-}05(\text{WD}) - 2.818\text{E-}03(\text{WS}) + 2.018\text{E-}03\text{LOG}(\text{HB1})$	0.716
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	$O_3 = 3.783\text{E-}03 + 1.24\text{E-}03(T) - 0.177(\text{NO}_2\text{pcd}) + 0.286(\text{O}_3\text{pcd}) - 7.33\text{E-}05(\text{CV1}) + 5.858\text{E-}03\text{LOG}(C1)$	0.771
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	$O_3 = 2.273\text{E-}02 + 6.259\text{E-}03\text{LOG}(\text{SO}_2\text{pcd})$	0.565
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	= ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	= ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	$O_3 = 3.623\text{E-}03 + 7.216\text{E-}03\text{LOG}(\text{WS}) + 0.274(\text{NO}_2\text{pcd}) - 1.309\text{E-}02\text{LOG}(\text{COpcd}) + 2.340\text{E-}03\text{LOG}(\text{SO}_2\text{pcd})$	0.770

ตารางที่ 5.11 สมการถดถอยเชิงพหุที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับ O₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 1 ชม.	O ₃ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
2	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชม.	O ₃ = 5.772E-02 - 4.004E-02LOG(T) + 1.803E-05(WD) - 3.44E-03LOG(WS) + 1.776E-05(DFE) + 0.119(O ₃ pcd) - 5.467E-05(CV3) - 4.953E-03LOG(C3) + 8.603E-03LOG(LB3)	0.640
3	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 3 ชม.	O ₃ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
4	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 4 ชม.	O ₃ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 5 ชม.	O ₃ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 6 ชม.	O ₃ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	

จากผลการคัดเลือกพบว่าสมการ CO ทุกกรณีมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.224-0.441 โดย CO จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณจราจร และระยะห่างจากทางพิเศษ เป็นส่วนใหญ่ และสมการ NO₂ ทุกกรณีมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.455-0.797 โดย NO₂ จะมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับระยะห่างจากทางพิเศษเกือบทุกสมการ และมีความสัมพันธ์กับข้อมูลมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษเกือบทุกสมการ ส่วนกรณี O₃ มีสมการที่ไม่ผ่านการคัดเลือกเพียง 2 สมการคือ กรณีรวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง) และกรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า โดยสมการที่ผ่านการคัดเลือกมีค่า Adjusted R² อยู่ระหว่าง 0.565-0.771 และ O₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษ 1-6 ชั่วโมงพบว่ามีเพียงกรณีเดียวคือภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชั่วโมงที่ผ่านการคัดเลือกโดยมีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.640 ตามลำดับ ซึ่งตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ O₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชั่วโมงคือ ตัวแปรอุณหภูมิอากาศ ตัวแปรปริมาณจราจร และตัวแปร O₃ จากสถานีตรวจวัด

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ผ่านการคัดเลือกในกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น และกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษช่วยในการทำนายพบว่าสมการ CO ทั้งสองกรณีมีค่า Adjusted R² ใกล้เคียงกัน ส่วนสมการ NO₂ และ O₃ กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษช่วยในการทำนายมีค่า Adjusted R² สูงกว่ากรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น แสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีตัวแปรจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษในสมการสามารถช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ศึกษาได้ดีกว่ากรณีที่ไม่มีตัวแปรจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษหรือกล่าวได้ว่าระดับมลพิษบริเวณสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษที่อยู่ใกล้เคียงมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ CO NO₂ และ O₃ บริเวณริมทางพิเศษและเหมาะกับการนำมาใช้ในการช่วยทำนายระดับมลพิษทางอากาศริมทางพิเศษ

5.3 แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด

ภายหลังจากการคัดเลือกสมการในกรณีใช้ตัวแปรในพื้นที่ศึกษาและกรณีใช้ตัวแปรมลพิษทางอากาศของกรมควบคุมมลพิษช่วยในการคาดการณ์ ต่อจากนั้นจึงทำการคัดเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุดจากทั้ง 2 กรณีเหลือเพียงสมการเดียวโดยคัดเลือกจากสมการที่มีค่า Adjusted R² สูงที่สุดและได้ผลสรุปแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดคือ

5.3.1 ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ CO

สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดของ CO แสดงในตารางที่ 5.12 ซึ่งมีรายละเอียดของแบบจำลองแต่ละช่วงเวลาคือ

1. สมการช่วงเวลา 24 ชั่วโมง กรณีแยกประเภทยานพาหนะมีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.441 ซึ่งสูงกว่ากรณีรวมปริมาณจราจร เนื่องจากกรณีแยกประเภทยานพาหนะมีตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการมากกว่าอาจเป็นสาเหตุให้มีค่า Adjusted R² มากกว่า โดยมีตัวแปรปริมาณจราจร ความเร็วรถ และความเร็วลม เพิ่มเข้ามาในสมการ

2. สมการช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า กรณีรวมปริมาณจราจรมีค่า Adjusted R² สูงกว่ากรณีแยกประเภทพาหนะ มีค่าเท่ากับ 0.621 โดยทั้งสองกรณีมีตัวแปรระยะห่างจากทางพิเศษ และทิศทางลมในสมการ ในขณะที่กรณีรวมปริมาณจราจรมีตัวแปรมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษในสมการด้วย

3. สมการช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย กรณีรวมปริมาณจราจรมีค่า Adjusted R² สูงกว่ากรณีแยกประเภทพาหนะ มีค่าเท่ากับ 0.564 ซึ่งมีตัวแปร LOG ของอุณหภูมิและตัวแปรรวมปริมาณจราจรบนทางพิเศษในสมการ โดยเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ความเข้มข้นของ CO เพิ่มมากขึ้นและในทางตรงข้ามกันหากปริมาณจราจรบนทางพิเศษเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณ CO เพิ่มขึ้นด้วย

5.3.2 ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ NO₂

สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดของ NO₂ แสดงในตารางที่ 5.13 ซึ่งมีรายละเอียดของแบบจำลองแต่ละช่วงเวลาคือ

1. สมการช่วงเวลา 24 ชั่วโมง กรณีแยกประเภทยานพาหนะ มีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.583 ซึ่งสูงกว่ากรณีรวมปริมาณจราจร โดยทั้งสองกรณีเป็นสมการที่ได้จากกรณีใช้ตัวแปรมลพิษทางอากาศจากกรมควบคุมมลพิษช่วยในการคาดการณ์

2. สมการช่วงเร่งด่วนเช้า กรณีรวมปริมาณจราจรมีค่า Adjusted R² สูงกว่ากรณีรวมปริมาณจราจร มีค่าเท่ากับ 0.797 โดยทั้งสองกรณีมีตัวแปรระยะห่างจากทางพิเศษ และทิศทางลมในสมการ ในขณะที่กรณีรวมปริมาณจราจรมีตัวแปรมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ NO₂ และ SO₂ ช่วยในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO₂ ด้วย

ตารางที่ 5.12 สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ CO

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	CO = 9.019 + 0.702LOG(C1) + 0.163LOG(LB1) - 0.139LOG(HT1) - 5.209E-04(MC1) + 1.451E-02(CV1) - 6.621LOG(T) - 4.215E-04 (WD) - 2.620E-02(WS) - 0.842LOG(DFE) - 1.711LOG(NO ₂ pcd)	0.441
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	CO = 2.124 - 93.078(O ₃ pcd)	0.238
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	CO = 28.451 - 20.450LOG(T) + 1.215LOG(LB1)	0.388
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	CO = 7.604 - 4.105LOG(T) - 0.986LOG(DFE) + 1.039E-02(CV1)	0.234
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	CO = -0.663 + 1.335E-02(WD) + 2.606LOG(DFE) - 2.947LOG(NO ₂ pcd) + 0.832(COpcd)	0.621
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	CO = 42.418 - 27.670LOG(T) + 2.647E-04(TF1)	0.564

ตารางที่ 5.13 สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ NO₂

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	NO ₂ = 0.465 - 0.290LOG(T) - 0.442(NO ₂ pcd) + 2.625E-2LOG(SO ₂ pcd) + 2.306E-02LOG(C1)	0.583
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	NO ₂ = 6.206E-02 - 2.70E-02LOG(DFE) + 1.537E-04(WD)	0.599
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	NO ₂ = ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	NO ₂ = 6.872E-02 + 1.026E-02LOG(TF2) - 1.221E-02LOG(COpcd) - 3.342E-02LOG(CV2) - 5.297E-03LOG(DFE) + 5.082E-03LOG(SO ₂ pcd)	0.455
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	NO ₂ = 0.117 - 2.886E-02LOG(DFE) + 1.684E-04(WD) - 0.653(NO ₂ pcd) + 1.519E-02LOG(SO ₂ pcd)	0.797
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	NO ₂ = -0.396 + 0.286LOG(T) - 2.027E-02LOG(WD) + 1.572(NO ₂ pcd) - 4.251E-02LOG(COpcd) - 2.699(SO ₂ pcd) - 2.138(O ₃ pcd)	0.762

3. สมการช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย กรณีแยกประเภทพาหนะ ไม่มีสมการที่เหมาะสมผ่านการคัดเลือก ในขณะที่กรณีรวมปริมาณจราจรมีสมการที่ผ่านการคัดเลือกโดยมีค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.762 ซึ่งความเข้มข้นของ NO_2 จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่จะลดลงหากทิศทางลมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีตัวแปรมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ NO_2 CO O_3 และ SO_2 ช่วยในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO_2 ด้วย

5.3.3 ผลการศึกษาสมการที่ผ่านการคัดเลือกของ O_3

สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดของ O_3 แสดงในตารางที่ 5.14 ซึ่งมีรายละเอียดของแบบจำลองแต่ละช่วงเวลาคือ

1. สมการช่วงเวลา 24 ชั่วโมง กรณีแยกประเภทพาหนะมีค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.716 ในขณะที่กรณีรวมปริมาณจราจรไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก โดย O_3 จะเพิ่มขึ้นตามทิศทางลม รดปีดอ์/รดตู้ และปริมาณ โอโซนจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ และจะลดลงหากความเร็วลมเพิ่มขึ้น

2. สมการช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า กรณีแยกประเภทพาหนะมีค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.771 ในขณะที่กรณีรวมปริมาณจราจรไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก โดยสมการกรณีแยกประเภทพาหนะเป็นสมการที่ได้จากกรณีใช้ตัวแปรจากกรมควบคุมมลพิษช่วยในการคาดการณ์ โดยความเข้มข้นของ O_3 จะเพิ่มขึ้นเมื่อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและความเข้มข้นของ โอโซนจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิ ความเร็วรถ และไนโตรเจนไดออกไซด์จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษเพิ่มขึ้น

3. สมการช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย กรณีรวมปริมาณจราจรมีค่า Adjusted R^2 สูงกว่ากรณีแยกประเภทพาหนะ โดยความเข้มข้นของ O_3 กรณีรวมปริมาณจราจรจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมและระดับความเข้มข้นของ NO_2 และ SO_2 จากสถานีตรวจวัดที่เพิ่มขึ้น และทั้ง 2 กรณีเป็นสมการที่ได้จากกรณีใช้ตัวแปรจากกรมควบคุมมลพิษช่วยในการคาดการณ์

5.3.4 ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ O_3 ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1-6 ชั่วโมง

แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของ O_3 ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1-6 ชั่วโมง ดังตารางที่ 5.15 พบว่ากรณีภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 4 5 และ 6 ชั่วโมงไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนกรณีภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 2 และ 3 ชั่วโมง สมการที่ผ่านการคัดเลือกภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชั่วโมง มีค่า Adjusted R^2 สูงที่สุด และ 3 ชั่วโมง มีค่า Adjusted R^2 ต่ำสุด โดยความเข้มข้นของ O_3 ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 2 และ 3 ชั่วโมง จะเพิ่มขึ้นตามทิศทางลม และระยะห่างจากทางพิเศษที่เพิ่มขึ้น และจะลดลงหากความเร็วลมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 1 ชั่วโมง O_3 จะเพิ่มขึ้นตามรถบรรทุกเล็กบนทาง

พิเศษกรณีภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 2 ชั่วโมง O₃ จะเพิ่มขึ้นตามรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถจักรยาน/รถจักรยานยนต์ และกรณีภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งต้น 3 ชั่วโมง O₃ จะเพิ่มขึ้นตามรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถจักรยาน/รถจักรยานยนต์ บนทางพิเศษร่วมกับถนน

ตารางที่ 5.14 สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ O₃

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	แยกประเภทพาหนะ (24 ชั่วโมง)	$O_3 = 1.519E-03 + 0.272(O_3pcd) + 3.968E-05(WD) - 2.818E-03(WS) + 2.018E-03LOG(HB1)$	0.716
2	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$O_3 = 3.783E-03 + 1.24E-03(T) - 0.177(NO_2pcd) + 0.286(O_3pcd) - 7.33E-05(CV1) + 5.858E-03LOG(C1)$	0.771
3	แยกประเภทพาหนะ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	$O_3 = 2.273E-02 + 6.259E-03LOG(SO_2pcd)$	0.565
4	รวมปริมาณจราจร (24 ชั่วโมง)	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	รวมปริมาณจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	$O_3 = 3.623E-03 + 7.216E-03LOG(WS) + 0.274(NO_2pcd) - 1.309E-02LOG(COpcd) + 2.340E-03LOG(SO_2pcd)$	0.770

ตารางที่ 5.15 สมการถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภายหลังการปล่อยมลพิษ 12 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง

ลำดับที่	กรณี	สมการ	Adjusted R ²
1	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 1 ชม.	$O_3 = 4.127E-03 + 1.677E-05(WD) - 2.45E-03(WS) + 1.551E-05(DFE) + 1.306E-04(HB1)$	0.632
2	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชม.	$O_3 = 5.772E-02 - 4.004E-02LOG(T) + 1.803E-05(WD) - 3.44E-03LOG(WS) + 1.776E-05(DFE) + 0.119(O_3pcd) - 5.467E-05(CV3) - 4.953E-03LOG(C3) + 8.603E-03LOG(LB3)$	0.640
3	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 3 ชม.	$O_3 = 9.109E-02 - 6.44E-02LOG(T) + 1.277E-05(WD) + 1.631E-05(DFE) - 5.90E-03LOG(C3) + 9.022E-03LOG(LB3)$	0.519
4	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 4 ชม.	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
5	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 5 ชม.	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	
6	ภายหลังการปล่อยมลพิษ 6 ชม.	$O_3 =$ ไม่มีสมการที่ผ่านการคัดเลือก	

บทที่ 6

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน และความอ่อนไหว

6.1 สมมติฐานและขอบเขตการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) และการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ในการศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานและขอบเขตการวิเคราะห์ดังนี้

1. เลือกสมการมาทำการศึกษาโดยเลือกจากสมการ 2 กรณีคือกรณีแยกประเภทพาหนะ และกรณีรวมปริมาณจราจร ตามช่วงเวลาคือ ช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย เพื่อให้ได้สมการในการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละช่วงเวลาที่ยังสมการเดียว โดยพิจารณาจากสมการที่มีค่า R^2 สูงที่สุดมาทำการศึกษา ซึ่งผลการคัดเลือกดังตารางที่ 6.1 และทำการเขียนสมการในแผ่นงาน Excel

2. ใช้โปรแกรม Crystal Ball กำหนดสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระ โดยวิธีทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจง (Goodness-of-Fit Test) ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 คือ วิธีแรกทดสอบโดย A-D Test ถ้าผลการทดสอบรูปแบบที่มีความเหมาะสมจะใช้รูปแบบตามที่โปรแกรมคัดเลือก แต่ถ้าไม่มีรูปแบบที่ผ่านการทดสอบจะทำการทดสอบโดยวิธี K-S Test และวิธี Chi-Square Test ตามลำดับ และถ้าหากทั้ง 3 วิธีไม่ได้รูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมจะใช้ฮิสโตแกรมแทนฟังก์ชันการแจกแจงข้อมูล และจะทำการจำลองเหตุการณ์ด้วยการสุ่มตัวอย่างจากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ Latin hypercube sampling (LHS) มีจำนวนครั้งในการสุ่มตัวอย่างที่ 10,000 ครั้ง

จากการทดสอบสารูปสถิติหรือความเหมาะสมของการแจกแจง และขอบเขตของการสุ่มตัวอย่างแสดงในตารางที่ 6.2 พบว่าตัวแปรที่ได้รูปแบบที่เหมาะสมจากการทดสอบ โดยวิธี A-D Test มี 8 ตัวแปรได้แก่ WS TF1 LOG(HT1) LOG(HB1) LOG(C1) LOG(WS) NO_{2pcd} และ LOG(NO_{2pcd}) โดยมีรูปแบบการแจกแจงคือ Gamma Beta Weibull และ Extreme Value distribution นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้ตัวแปร DFE และ LOG(DFE) มีรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบ Uniform โดยมีช่วงการจำลองเหตุการณ์ระหว่าง 25-195 เมตรตามค่าระยะห่างจากสถานีตรวจวัดต่ำสุดและสูงสุด และ MC1 มีรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบ Uniform โดยมีช่วงการจำลองเหตุการณ์ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0-24 คัน เนื่องจากบนทางพิเศษไม่อนุญาตให้

ตารางที่ 6.1 สมการแต่ละมลพิษตามช่วงเวลา

ลำดับที่	สมการ	กรณี	Adjusted R ²
1	CO = 9.019 + 0.702LOG(C1) + 0.163LOG(LB1) - 0.139LOG(HT1) - 5.209E-04(MC1) + 1.451E-02(CV1) - 6.621LOG(T) - 4.215E-04 (WD) - 2.620E-02(WS) - 0.842LOG(DFE) - 1.711LOG(NO ₂ pcd)	24 ชั่วโมง	0.441
2	CO = -0.663 + 1.335E-02(WD) + 2.606LOG(DFE) - 2.947LOG(NO ₂ pcd) + 0.832(COpcd)	ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	0.621
3	CO = 42.418 - 27.670LOG(T) + 2.647E-04(TF1)	ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	0.564
4	NO ₂ = 0.465 - 0.290LOG(T) - 0.442(NO ₂ pcd) + 2.625E-02LOG(SO ₂ pcd) + 2.306E-02LOG(C1)	24 ชั่วโมง	0.583
5	NO ₂ = 0.117 - 2.886E-02LOG(DFE) + 1.684E-04(WD) - 0.653(NO ₂ pcd) + 1.519E-02LOG(SO ₂ pcd)	ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	0.797
6	NO ₂ = -0.396 + 0.286LOG(T) - 2.027E-02LOG(WD) + 0.572(NO ₂ pcd) - 4.251E-02LOG(COpcd) - 2.699(SO ₂ pcd) - 2.138(O ₃ pcd)	ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	0.762
7	O ₃ = 1.519E-03 + 0.272(O ₃ pcd) + 3.968E-05(WD) - 2.818E-03(WS) + 2.018E-03LOG(HB1)	24 ชั่วโมง	0.716
8	O ₃ = 3.783E-03 + 1.24E-03(T) - 0.177(NO ₂ pcd) + 0.286(O ₃ pcd) - 7.33E-05(CV1) + 5.858E-03LOG(C1)	ช่วงเวลารุ่งสว่างเช้า	0.771
9	O ₃ = 3.623E-03 + 7.216E-03LOG(WS) + 0.274(NO ₂ pcd) - 1.309E-02LOG(COpcd) + 2.340E-03LOG(SO ₂ pcd)	ช่วงเวลารุ่งสว่างบ่าย	0.770

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงของข้อมูล และขอบเขตของการสุ่มตัวอย่าง

ตัวแปร	จำนวนตัวอย่าง	ฟังก์ชันการแจกแจงของข้อมูล	พารามิเตอร์ของฟังก์ชัน*	ขอบเขตการสุ่มตัวอย่าง	วิธีทดสอบสมมติฐาน
WS	432	Gamma	(-2.88, 0.08, 54.04)	(0 - 3.6)	A-D Test
TF1	165	Beta	(6.71, 1.95, 3.75)	(52 - 5,092)	A-D Test
LOG(C1)	165	Extreme Value	(2.89, 0.41)	(1.32 - 3.53)	A-D Test
LOG(HT1)	165	Weibull	(-0.41, 1.59, 3.757)	(0 - 1.86)	A-D Test
LOG(HB1)	165	Extreme Value	(1.28, 0.42)	(0 - 1.92)	A-D Test
NO ₂ pcd	432	Gamma	(0.00, 0.00, 4.10)	(0.006 - 0.06)	A-D Test
LOG(NO ₂ pcd)	432	Weibull	(-2.43, 0.82, 4.67)	(-2.22) - (-1.22)	A-D Test
LOG(WS)	432	Extreme Value	(0.21, 0.16)	(0 - 0.57)	A-D Test
MC1	165	Uniform	(0, 24)	(0 - 24)	กำหนดเอง
DFE	432	Uniform	(25, 195)	(25, 195)	กำหนดเอง
LOG(DFE)	432	Uniform	(1.49, 2.30)	(1.49, 2.30)	กำหนดเอง

หมายเหตุ * พารามิเตอร์ Gamma(Loc, Scale, Shape), Extreme Value(Loc, Scale), Beta(Alpha, Beta, Scale) Weibull(Loc, Scale, Shape)

รถจักรยานยนต์ขึ้นใช้บริการแต่จะมีรถจักรยานยนต์ของพนักงานจัดการจราจรเพียงบางส่วนที่สามารถขึ้นใช้บริการได้ซึ่งมีจำนวนไม่มาก

ตัวแปรที่เหลือตัวอื่นๆ ที่ไม่พบรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงที่เหมาะสม และต้องใช้ฮิสโตแกรมมี 8 ตัวแปรได้แก่ WD CV1 LOG(LB1) O₃pcd SO₂pcd LOG(SO₂pcd) COpcd และ LOG(COpcd) โดยขอบเขตการสุ่มตัวอย่างทั้ง 8 ตัวแปร จะทำการสุ่มตัวอย่างระหว่างค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของแต่ละตัวแปร รายละเอียดดังรูปที่ 6.1-6.8 ซึ่งพบว่าตัวแปร WD LOG(LB1) และ CV1 มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบ Bimodal คือจะมีจุดสูงสุด 2 จุด ในขณะที่ตัวแปร LOG(T) COpcd SO₂pcd และ O₃pcd มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลแบบเบ้ขวาหรือข้อมูลส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำ ส่วนตัวแปร LOG(SO₂pcd) และ LOG(COpcd) จะมีลักษณะเบ้ซ้ายหรือข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าสูง

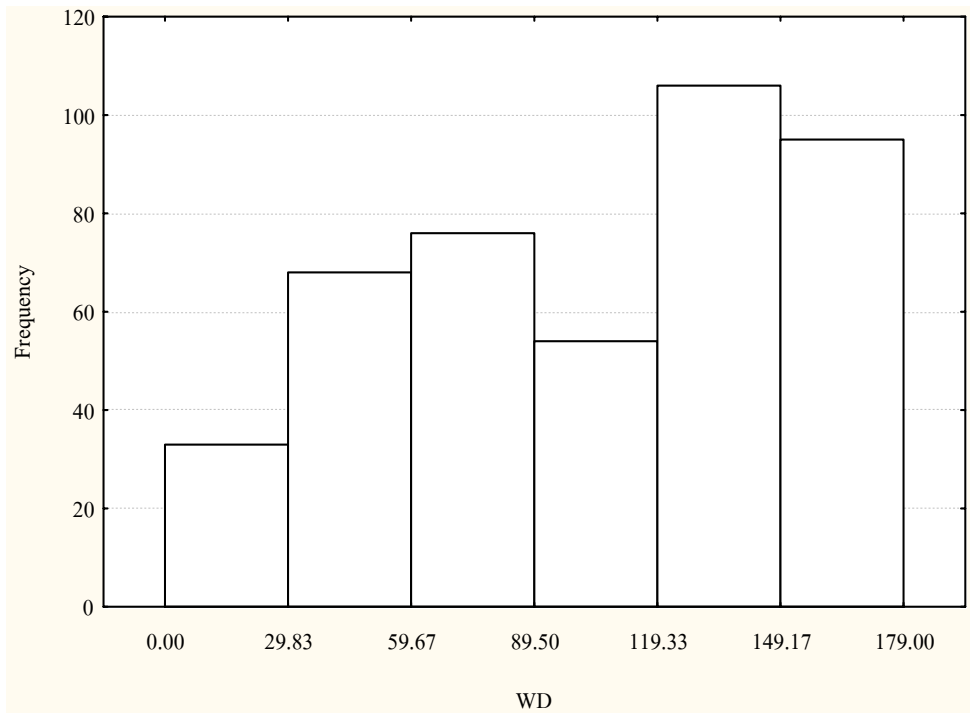
6.2 ผลการจำลองเหตุการณ์

6.2.1 สถิติพรรณนาของผลการจำลองเหตุการณ์

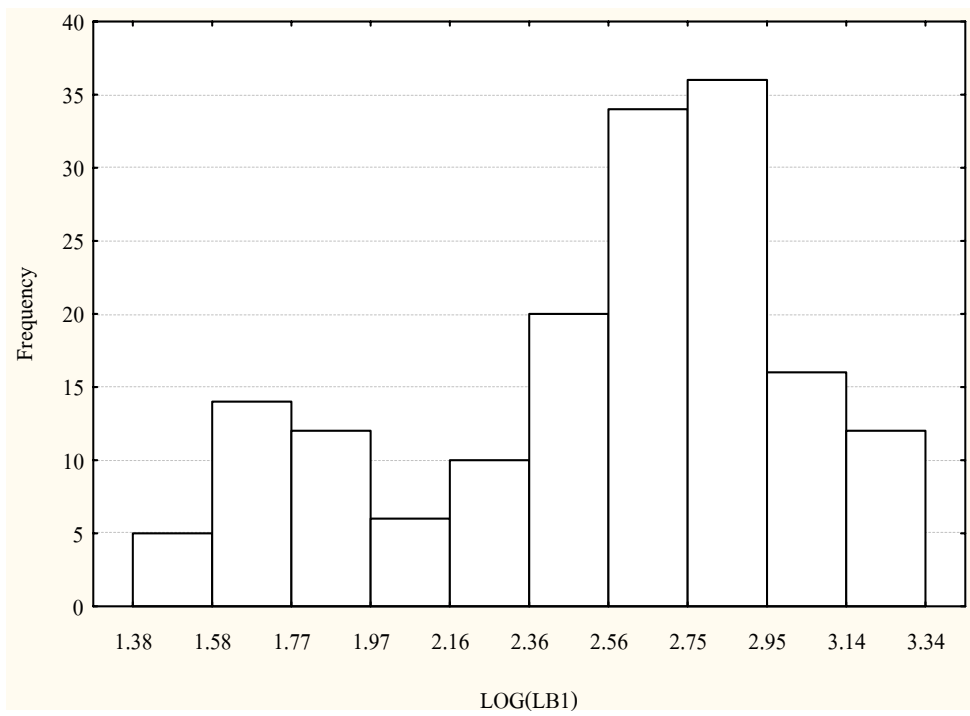
ผลการศึกษาสถิติพรรณนาของมลพิษต่างๆ ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์จำนวน 10,000 ครั้ง มีรายละเอียดดังตารางที่ 6.3 ซึ่งพบว่า

1. ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ทั้ง 3 สมการมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.678 - 3.932 ppm. มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.499 - 0.733 ppm. จากค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 พบว่าร้อยละ 99 ของข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่พยากรณ์ได้จากสมการกรณี 24 ชั่วโมง กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย มีค่าน้อยกว่า 5.368 6.544 และ 2.833 ppm. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ CO ในบรรยากาศทั่วไปหรือกล่าวได้ว่า CO บริเวณริมทางพิเศษมีโอกาสน้อยมากที่จะเกินค่ามาตรฐาน

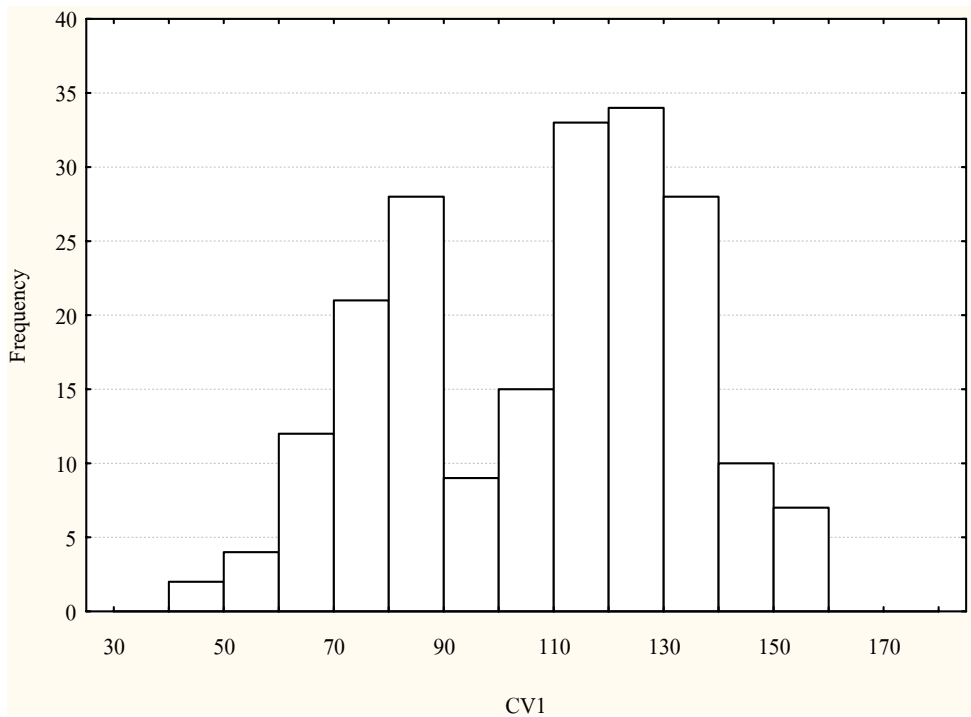
จากฮิสโตแกรมดังรูปที่ 6.9-6.11 พบว่าสมการกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีลักษณะเบ้ขวา และกรณี 24 ชั่วโมง และกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีลักษณะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ และการทดสอบความเบ้ (Skewness) เพื่อวัดลักษณะของข้อมูลว่าเบ้หรือไม่ โดยเส้นโค้งปกติจะมีความเบ้เป็นศูนย์หรือมีการแจกแจงแบบปกติ ถ้าความเบ้เป็นบวกแสดงว่าเบ้ขวา และถ้าความเบ้เป็นลบแสดงว่าเบ้ซ้าย จากการศึกษาพบว่า กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและบ่าย มีลักษณะเบ้ขวา ส่วนกรณี 24 ชั่วโมง มีลักษณะเบ้ซ้าย และจากการทดสอบความโด่ง (Kurtosis) ของกราฟโดยมีหลักการพิจารณาคือหากค่าความโด่งเท่ากับศูนย์ กราฟจะเป็น Normal ถ้าค่าความโด่งเป็นลบแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่ค่อนข้างป้าน และถ้าค่าความโด่งเป็นบวกแสดงว่าข้อมูล มีการแจกแจงที่มียอดสูง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ทั้ง 3 กรณี ข้อมูลมีการแจกแจงที่ป้านเล็กน้อย



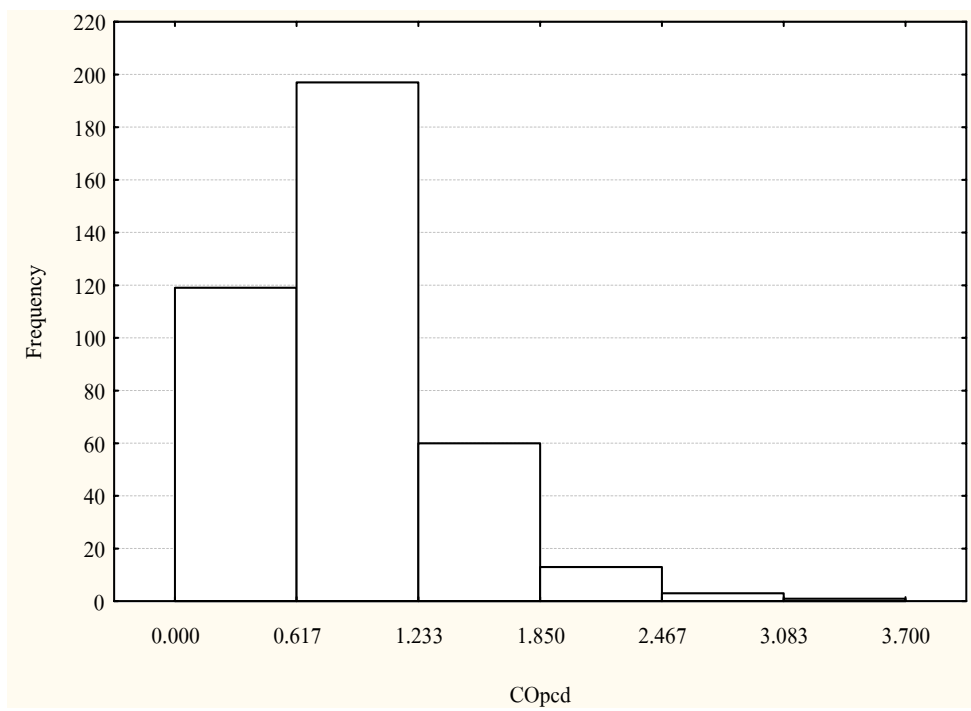
รูปที่ 6.1 ฮิสโตแกรมของตัวแปร WD



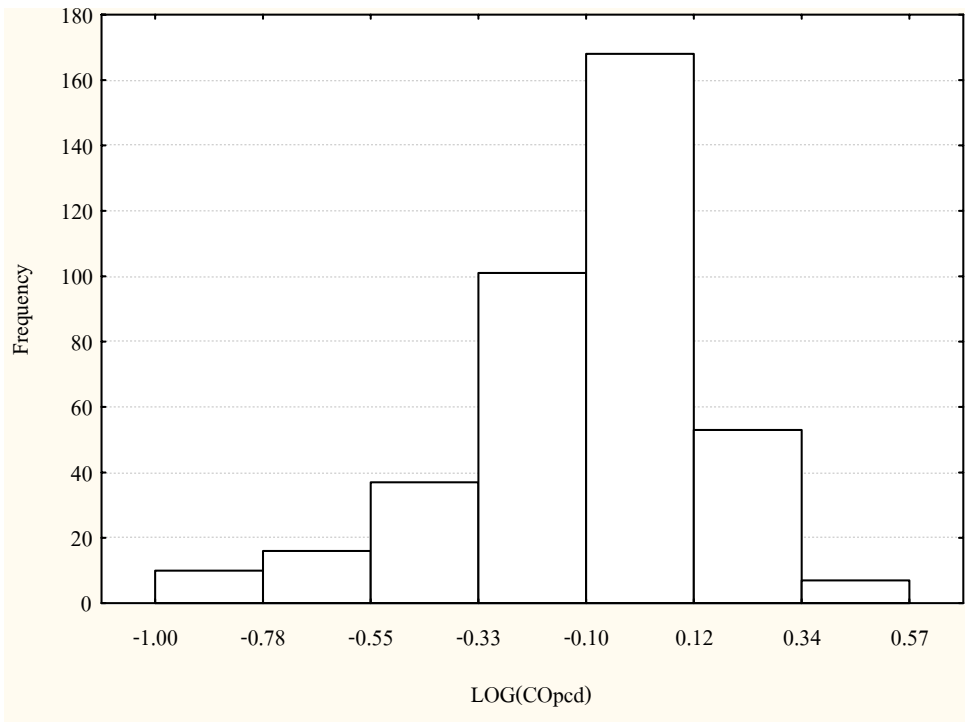
รูปที่ 6.2 ฮิสโตแกรมของตัวแปร LOG(LB1)



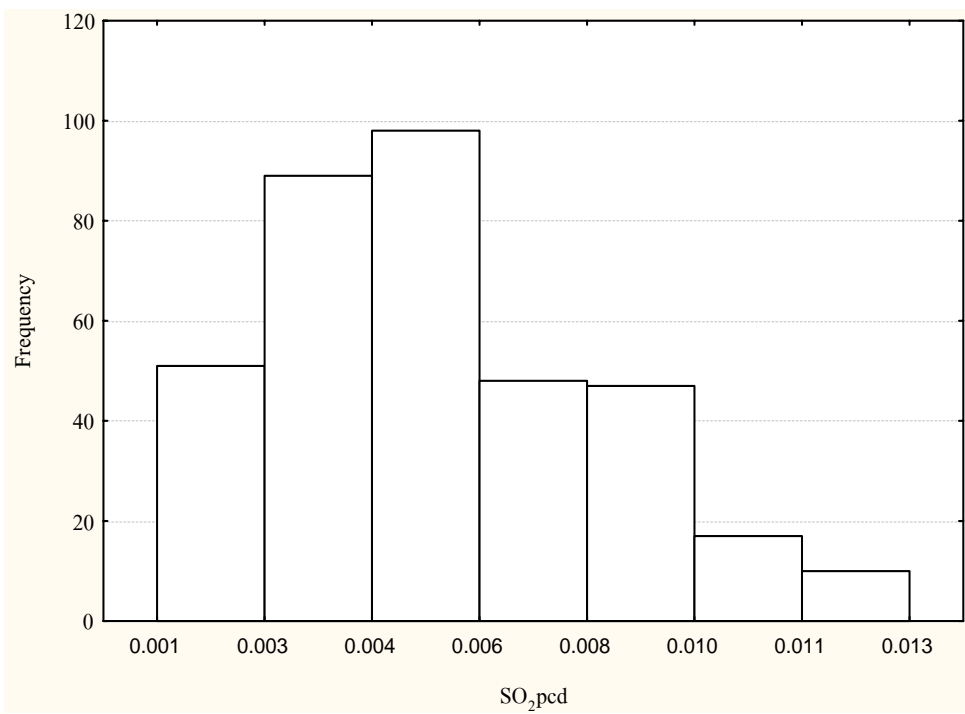
รูปที่ 6.3 ฮิสโตแกรมของตัวแปรCV1



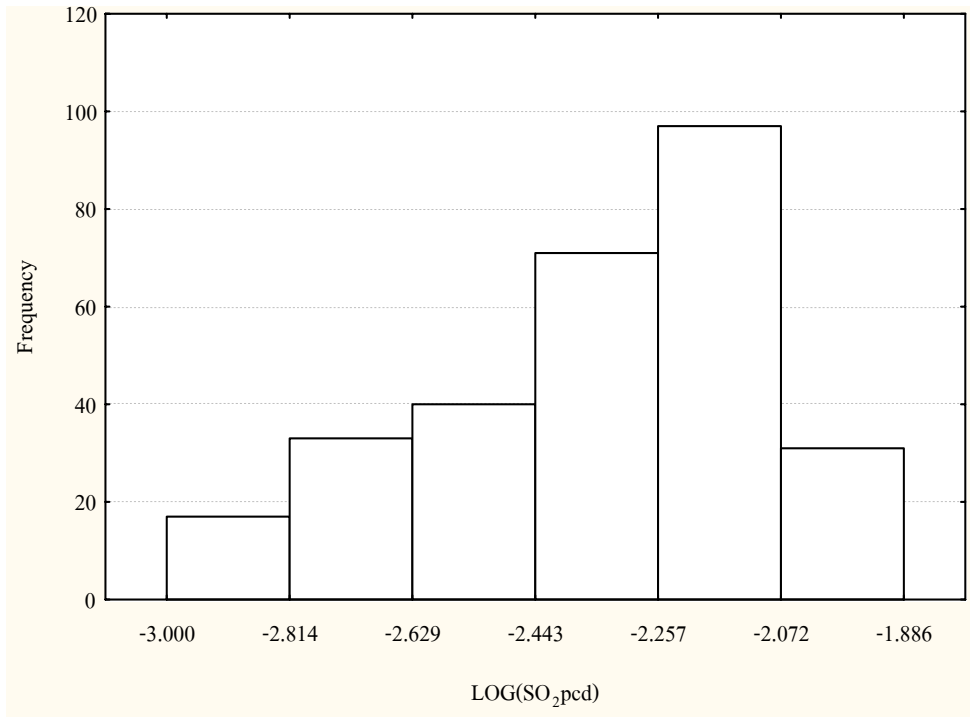
รูปที่ 6.4 ฮิสโตแกรมของตัวแปรCOpcd



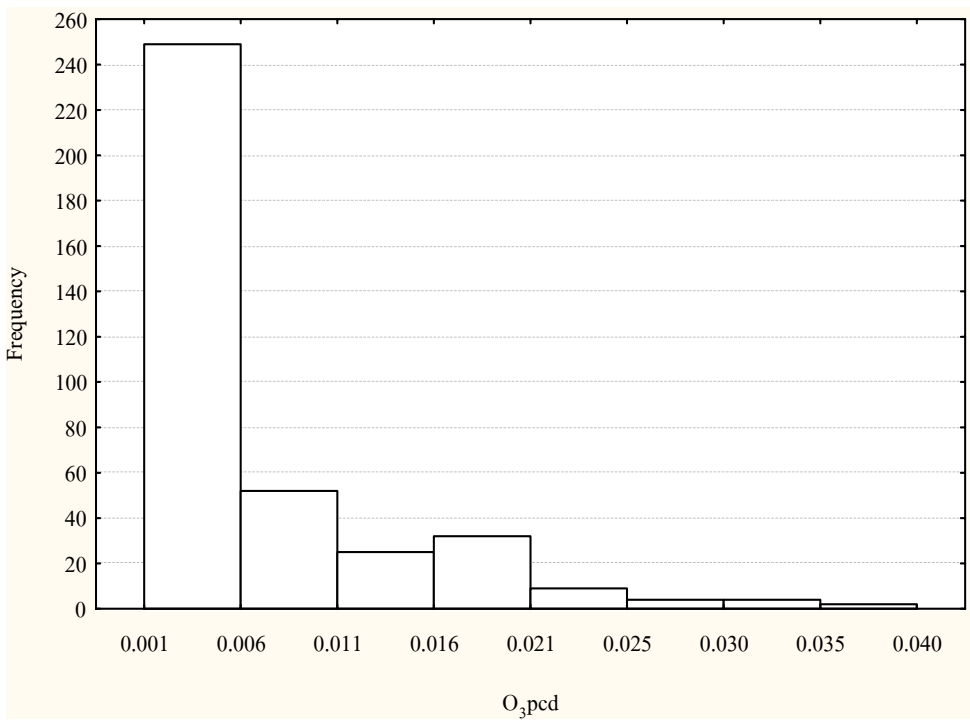
รูปที่ 6.5 ฮิสโตแกรมของตัวแปรLOG(COpcd)



รูปที่ 6.6 ฮิสโตแกรมของตัวแปรSO₂pcd



รูปที่ 6.7 ฮิสโตแกรมของตัวแปรLOG(SO₂_pcd)

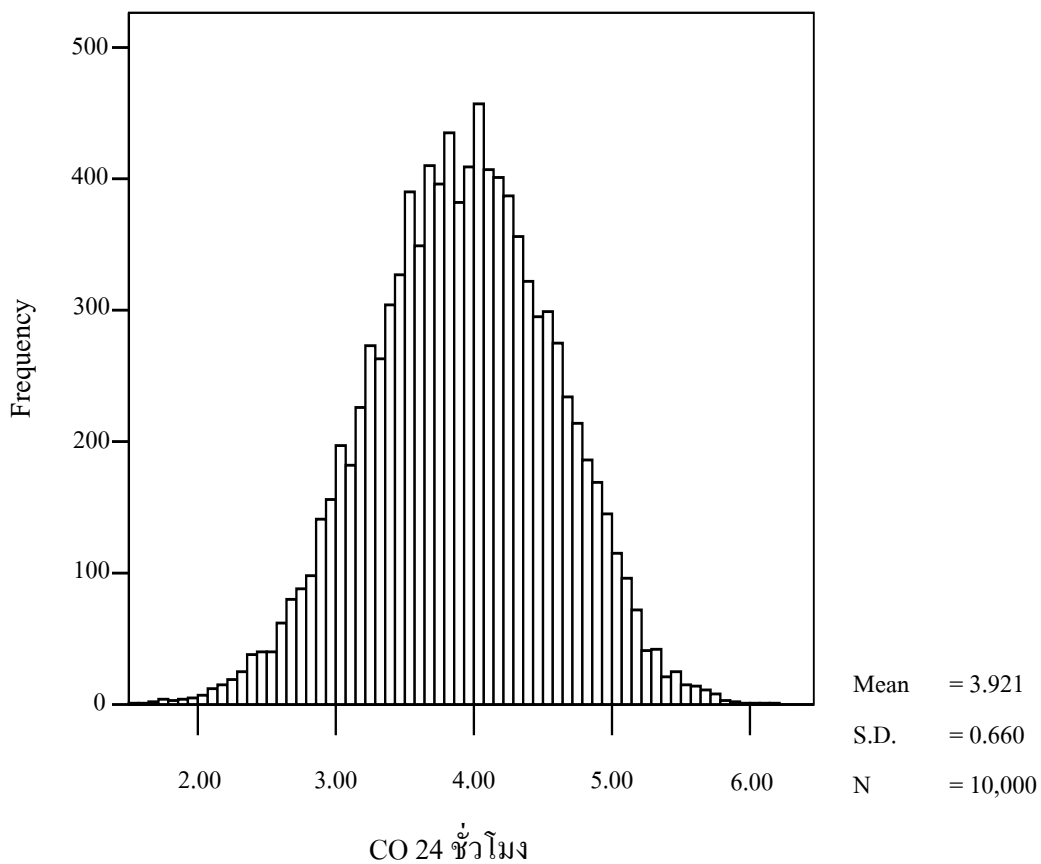


รูปที่ 6.8 ฮิสโตแกรมของตัวแปรO₃_pcd

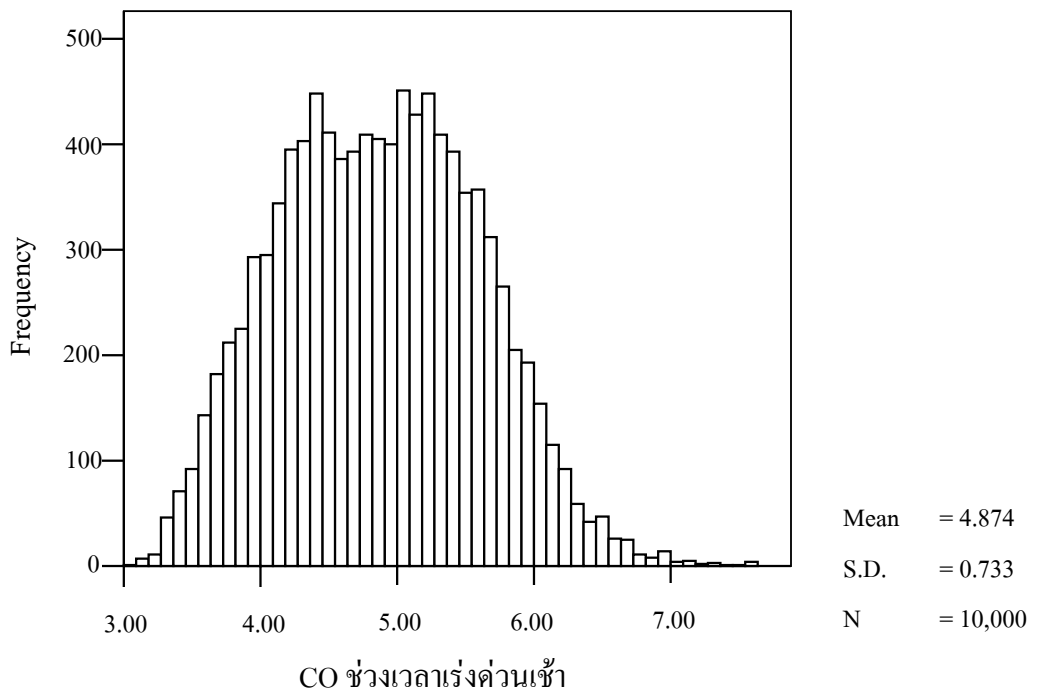
ตารางที่ 6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้นของข้อมูลมลพิษที่จำลองเหตุการณ์

มลพิษที่พยากรณ์ จากสมการแต่ละกรณี	หน่วย	จำนวน ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปอร์เซนไทล์ ที่ 99	Skewness	Kurtosis	K-S test
CO 24 ชั่วโมง	ppm.	10,000	3.932	3.933	0.660	5.368	-0.095	-0.144	0.038
CO ช่วงเวลา เร่งด่วนเช้า	ppm.	10,000	4.874	4.873	0.733	6.544	0.146	-0.452	0.000
CO ช่วงเวลา เร่งด่วนบ่าย	ppm.	10,000	1.678	1.639	0.499	2.833	0.227	-0.711	0.000
NO ₂ 24 ชั่วโมง	มก./ลบ.ม.	10,000	0.049	4.866×10^{-2}	0.026	0.102	-0.096	-0.473	0.000
NO ₂ ช่วงเวลา เร่งด่วนเช้า	มก./ลบ.ม.	10,000	0.028	2.787×10^{-2}	0.015	0.059	-0.072	-0.538	0.000
NO ₂ ช่วงเวลา เร่งด่วนบ่าย	มก./ลบ.ม.	10,000	0.099	9.325×10^{-2}	0.061	0.270	0.576	0.427	0.000
O ₃ 24 ชั่วโมง	ppm.	10,000	0.005	4.820×10^{-2}	0.003	0.010	-0.209	-0.239	0.000
O ₃ ช่วงเวลา เร่งด่วนเช้า	ppm.	10,000	0.048	4.755×10^{-2}	0.005	0.060	0.077	-0.161	0.000
O ₃ ช่วงเวลา เร่งด่วนบ่าย	ppm.	10,000	0.008	7.02×10^{-3}	0.005	0.021	0.607	0.534	0.000

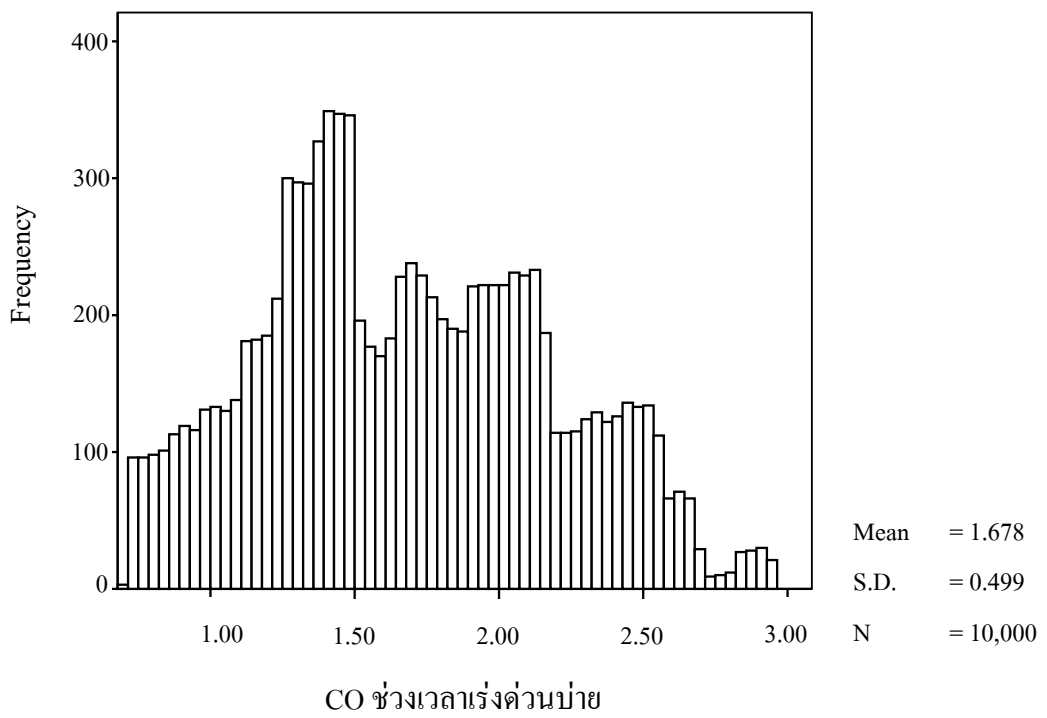
หมายเหตุ ค่ามาตรฐานของ CO = 30 ppm, NO₂ = 0.32 มก./ลบ.ม., O₃ = 0.10 ppm.



รูปที่ 6.9 ฮิสโตแกรม CO 24 ชั่วโมง



รูปที่ 6.10 ฮิสโตแกรม CO ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า



รูปที่ 6.11 ฮิสโตแกรม CO ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย

2.ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ทั้ง 3 สมการมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.028 - 0.099 มก./ลบ.ม. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.061 - 0.026 มก./ลบ.ม. จากการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 พบว่าร้อยละ 99 ของข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่พยากรณ์ได้จากกรณี 24 ชั่วโมง กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย มีค่าน้อยกว่า 0.102 0.059 และ 0.270 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ NO_2 ในบรรยากาศทั่วไปหรือกล่าวได้ว่า NO_2 บริเวณริมทางพิเศษมีโอกาสน้อยมากที่จะเกินค่ามาตรฐาน

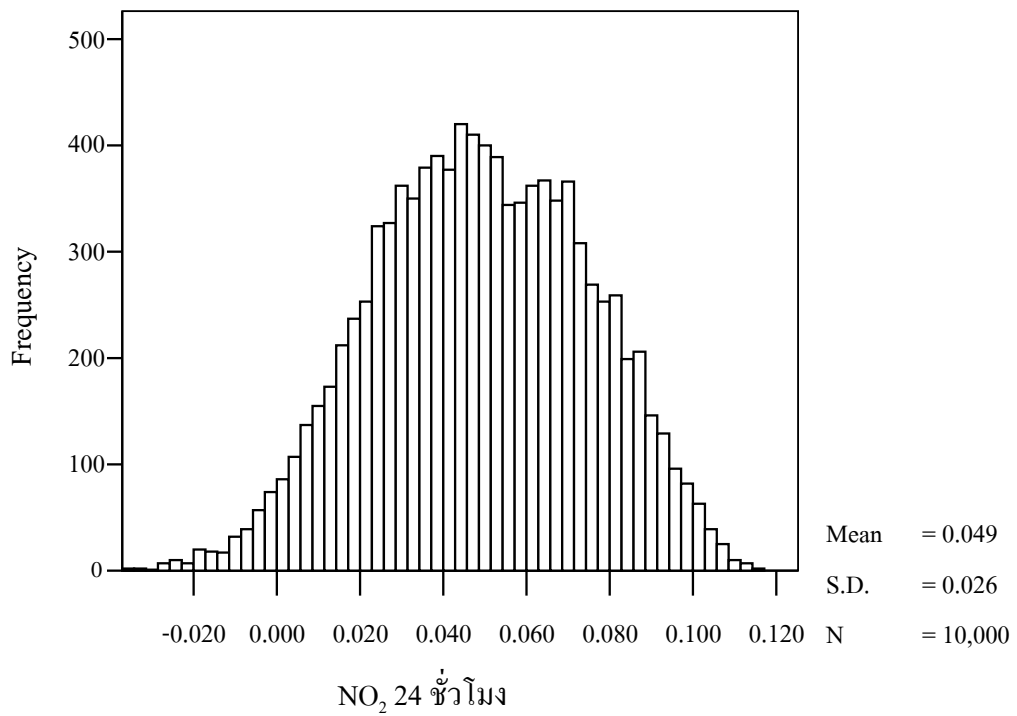
จากฮิสโตแกรม ดังรูปที่ 6.12-6.14 พบว่าสมการกรณี 24 ชั่วโมง และกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีลักษณะเบ้ซ้าย ในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีลักษณะเบ้ขวา และจากการทดสอบความโค้งพบว่า กรณี 24 ชั่วโมง และช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าข้อมูลมีการแจกแจงที่ปานเล็กน้อย ส่วนกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายข้อมูลมีลักษณะยอดสูงเล็กน้อย

3.ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ได้ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ทั้ง 3 สมการมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.005 - 0.048 ppm. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.003-0.005 ppm. จากการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 พบว่าร้อยละ 99 ของค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่พยากรณ์ได้จากกรณี 24 ชั่วโมง กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย มีค่าน้อยกว่า 0.010 0.060 และ 0.021 ppm. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ O_3 ในบรรยากาศทั่วไปหรือกล่าวได้ว่า O_3 บริเวณริมทางพิเศษมีโอกาสน้อยมากที่จะเกินค่ามาตรฐาน

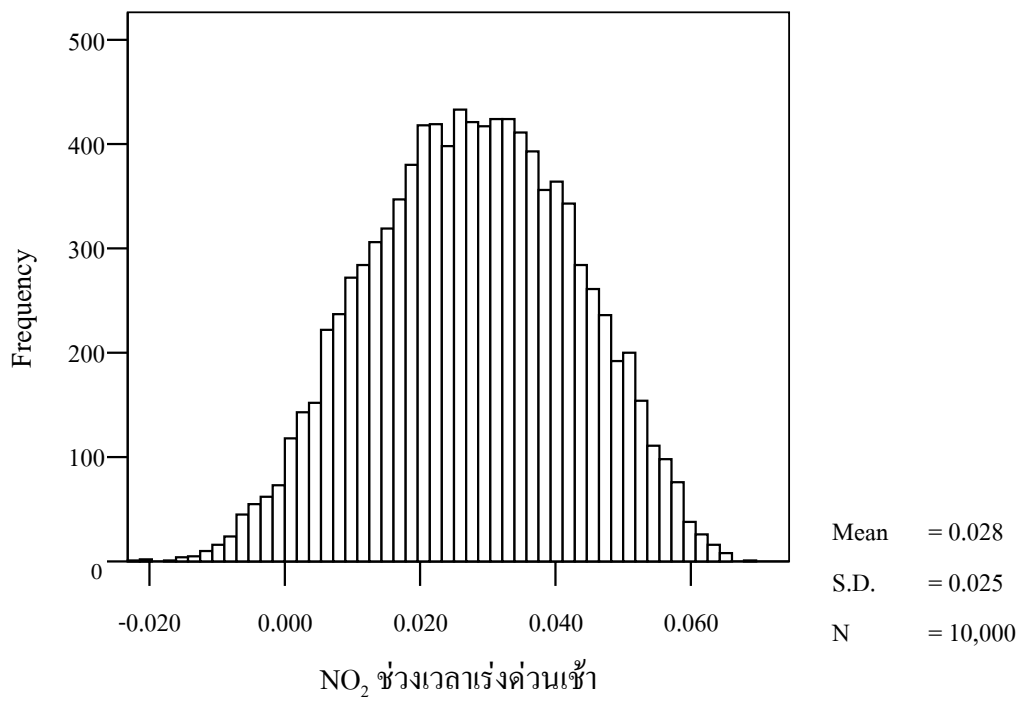
จากฮิสโตแกรมดังรูปที่ 6.15-6.17 พบว่าลักษณะการแจกแจงของข้อมูลกรณี 24 ชั่วโมง ข้อมูลมีลักษณะเบ้ซ้าย และจากการทดสอบความโค้งพบว่ากรณี 24 ชั่วโมงและกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลที่ปานเล็กน้อย ส่วนกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลที่ค่อนข้างสูง

6.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงของผลการจำลองเหตุการณ์

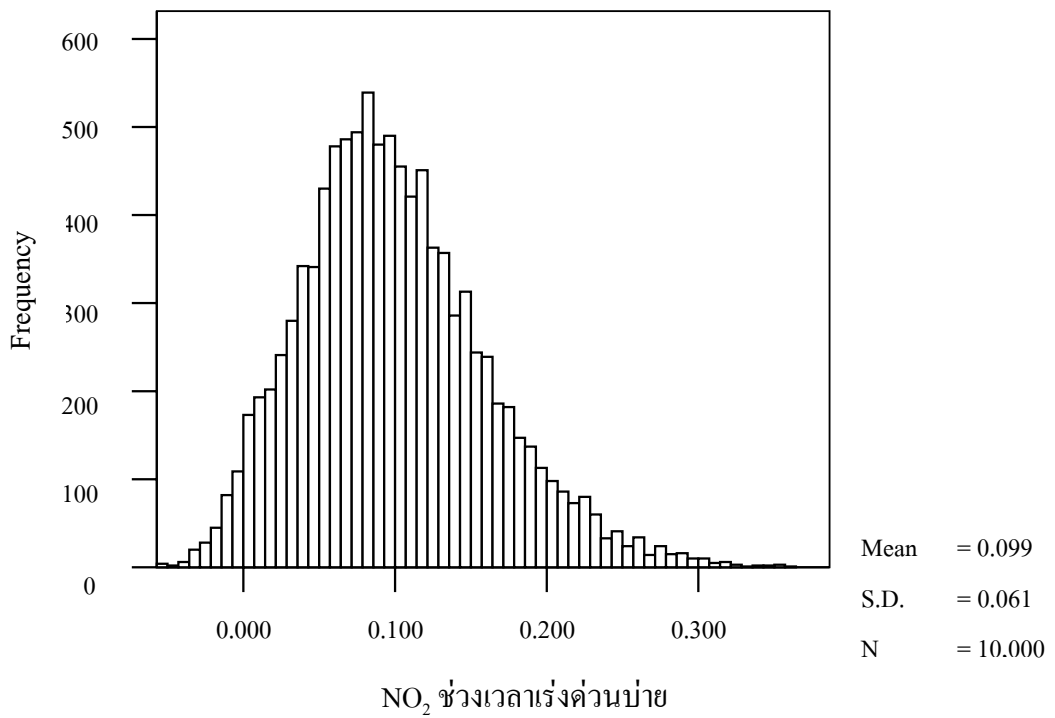
ผลการจำลองเหตุการณ์ของสมการทำนายค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศทั้ง 9 สมการซึ่งได้ค่าตัวแปรตามที่ถูกทำนายสมการละ 10,000 ค่านั้นนอกจากจะแสดงในรูปฮิสโตแกรมดังที่นำเสนอในข้างต้นแล้วยังสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นให้กับข้อมูลแต่ละชุด โดยใช้วิธีทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจง (Goodness-of-Fit Test) ซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับที่ใช้กำหนดสมมติฐานให้กับตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว ผลการทดสอบที่ได้แสดงตารางที่ 6.4 ซึ่งฟังก์ชันที่ได้สำหรับแต่ละกรณีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณหรือวิเคราะห์เกี่ยวกับความน่าจะเป็นในการเกิดค่ามลพิษที่ระดับต่างๆ ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในหัวข้อ 6.4



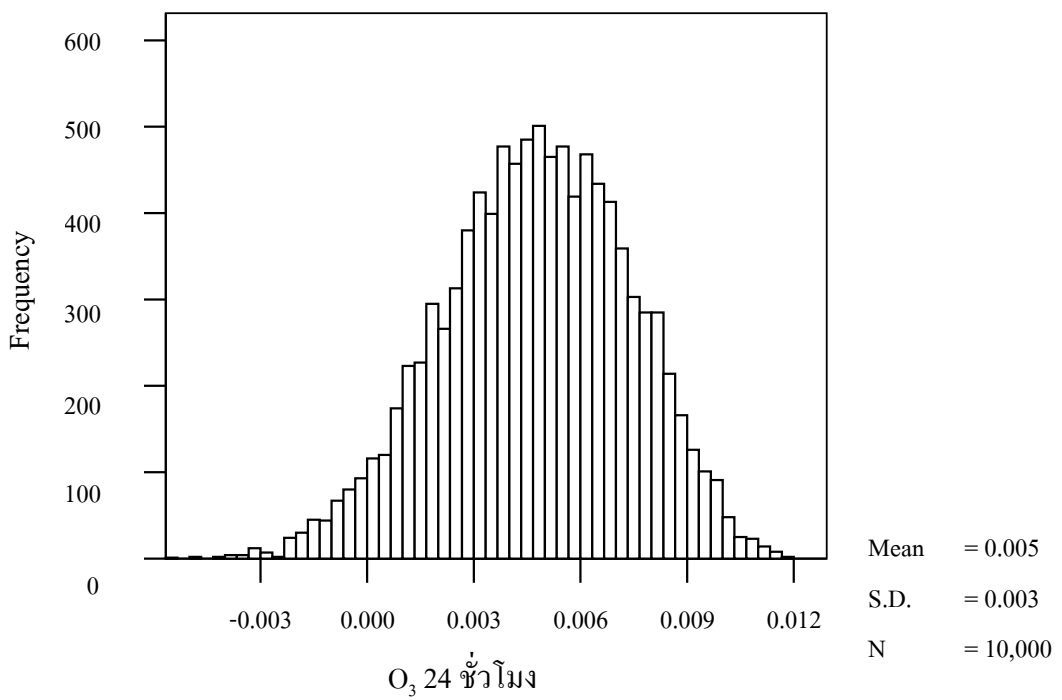
รูปที่ 6.12 ฮิสโตแกรม NO₂ 24 ชั่วโมง



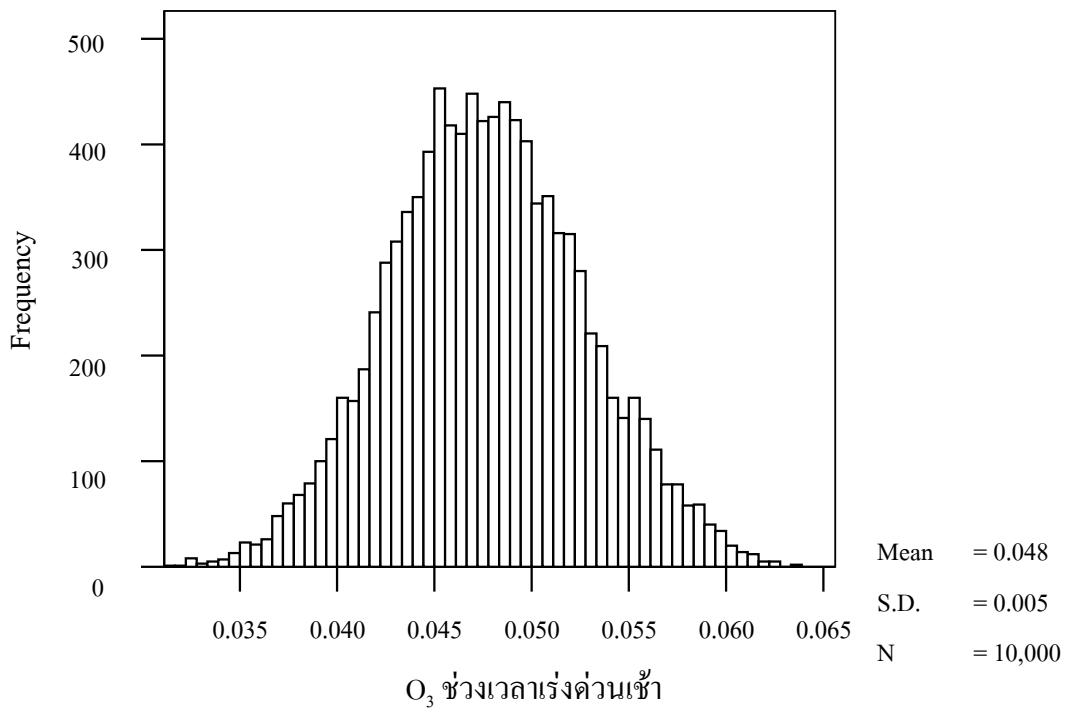
รูปที่ 6.13 ฮิสโตแกรม NO₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า



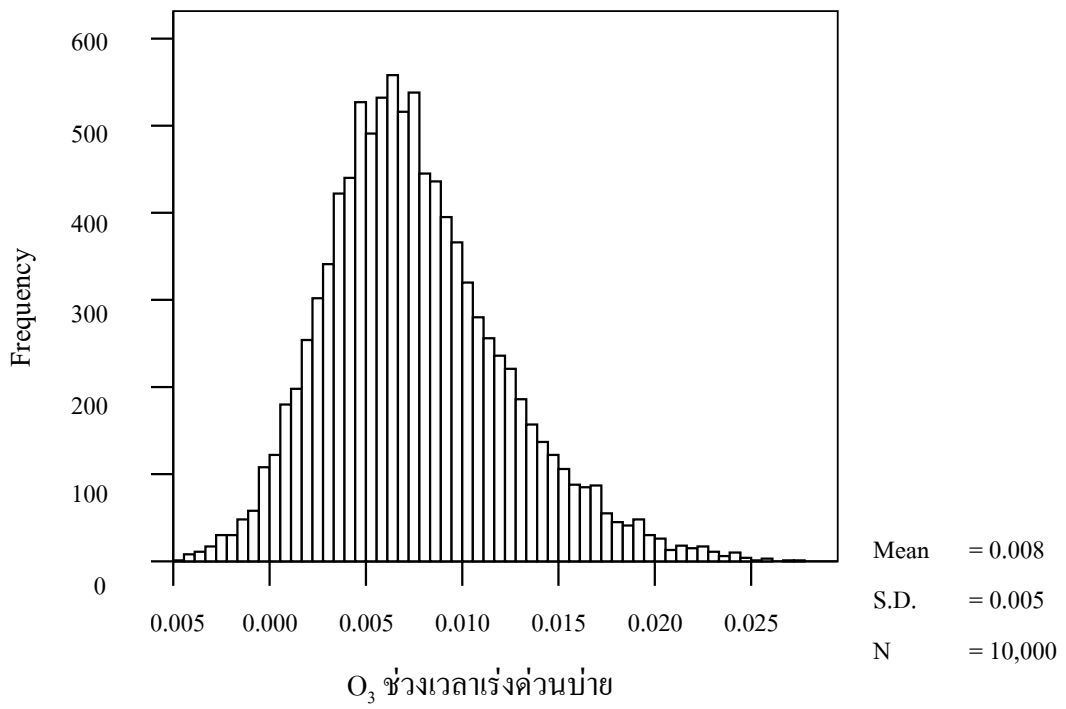
รูปที่ 6.14 ฮิสโตแกรม NO₂ ช่วงเวลาเร่งด่วน



รูปที่ 6.15 ฮิสโตแกรม O₃ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 6.16 ฮิสโตแกรม O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า



รูปที่ 6.17 ฮิสโตแกรม O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย

ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลจากการจำลองเหตุการณ์

ตัวแปร	จำนวนตัวอย่าง	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น	พารามิเตอร์ของฟังก์ชัน*	วิธีทดสอบสมมติฐาน
CO กรณี 24 ชั่วโมง	10,000	Beta	(15.096, 12.013, 7.042)	A-D
CO กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	10,000	Weibull	(3.02, 2.08, 2.73)	A-D
CO กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	10,000	Beta	(6.21, 8.82, 4.06)	K-S
NO ₂ กรณี 24 ชั่วโมง	10,000	Weibull	(-0.005, 0.01, 0.08)	K-S
NO ₂ กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	10,000	Weibull	(-0.029, 0.062, 4.24)	K-S
NO ₂ กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	10,000	Gamma	(-0.11, 0.018, 11.87)	K-S
O ₃ กรณี 24 ชั่วโมง	10,000	Weibull	(-0.008, 0.014, 5.51)	K-S
O ₃ กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	10,000	Beta	(54.94, 83.95, 0.12)	A-D
O ₃ กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	10,000	Weibull	(-0.006, 0.015, 3.10)	K-S

หมายเหตุ * พารามิเตอร์ Gamma(Loc, Scale, Shape), Extreme Value(Loc, Scale), Beta(Alpha, Beta, Scale) Weibull(Loc, Scale, Shape)

6.3 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว

6.3.1 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของสมการแต่ละกรณีศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนแสดงในตารางที่ 6.5 ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สมการในการพยากรณ์ค่า CO ทั้ง 3 สมการมีค่าความไม่แน่นอนซึ่งพิจารณาจากช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าเฉลี่ยที่คำนวณจาก $\bar{X} \pm 1.96(S.E. \text{ of } \bar{X})$ ดังแสดงในตารางที่ 6.5 ผลการศึกษาพบว่า CO ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.005 ppm. โดยค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $1.680 \pm 1.96(0.005)$ หรือ 1.670-1.690 ppm. ในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนสูงที่สุดเท่ากับ 9.081×10^{-3} โดยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $4.870 \pm 1.96(9.081 \times 10^{-3})$ หรือ 4.852 - 4.888 ppm. และเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ช่วงเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยของความไม่แน่นอนในการทำนายค่าเฉลี่ยระดับ CO ริมทางพิเศษมีค่าเท่ากับ 0.028 ppm.

นอกจากนี้ตารางที่ 6.5 ยังแสดงค่า Tolerance Limit ที่ 95% (95%TL) ของข้อมูลมลพิษที่ทำนายได้จากสมการต่างๆ โดยช่วงค่าดังกล่าวแสดงถึงช่วงที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของค่าระดับมลพิษที่ทำนายได้ทั้งหมดและคำนวณจากค่าเฉลี่ย ± 1.96 (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในกรณีของ CO จะเห็นได้ว่าช่วง Tolerance Limit ของกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าสูงที่สุด กล่าวได้ว่าค่าระดับ CO ส่วนใหญ่หรือร้อยละ 95 ที่เกิดขึ้นริมทางพิเศษในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าระหว่าง 3.433-6.307 ppm. คิดเป็นช่วง 95%TL เท่ากับ 2.873 ppm. ส่วนช่วงกรณีเวลา 24 ชั่วโมงและช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่า 95%TL น้อยลงตามลำดับ ซึ่งลำดับดังกล่าวนี้สอดคล้องกับลำดับของค่าความไม่แน่นอนที่ได้กล่าวไปข้างต้น

ตารางที่ 6.5 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของการทำนายระดับมลพิษ

มลพิษ	หน่วย	\bar{x}	S.D	S.E. of \bar{x}	COV.	Average COV.	ช่วงความเชื่อมั่นของ \bar{x} ที่ 95%				Tolerance Limit ที่ 95%			
							Lower	Upper	Range	Average Range	Lower	Upper	Range	Average Range
CO 24 ชั่วโมง	ppm.	3.92	0.660	0.007	0.168	0.205	3.906	3.934	0.027	0.028	2.626	5.214	2.587	2.472
CO ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	ppm.	4.87	0.733	9.081×10^{-3}	0.151		4.852	4.888	0.036		3.433	6.307	2.873	
CO ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	ppm.	1.68	0.499	0.005	0.297		1.670	1.690	0.020		0.702	2.658	1.956	
NO ₂ 24 ชั่วโมง	มก./ลบ.ม.	0.049	0.026	2.653×10^{-4}	0.531	0.561	0.048	0.050	0.001	0.001	-0.002	0.100	0.102	0.133
NO ₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	มก./ลบ.ม.	0.028	0.015	1.511×10^{-4}	0.536		0.027	0.028	0.001		-0.001	0.057	0.059	
NO ₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	มก./ลบ.ม.	0.099	0.061	2.976×10^{-4}	0.616		0.098	0.100	0.001		-0.021	0.219	0.239	
O ₃ 24 ชั่วโมง	ppm.	0.005	0.003	2.620×10^{-5}	0.600	0.443	0.49×10^{-2}	0.005	0.1×10^{-3}	0.133×10^{-3}	-0.001	0.011	0.012	0.017
O ₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	ppm.	0.048	0.005	4.984×10^{-5}	0.104		4.790×10^{-2}	0.048	0.1×10^{-3}		0.038	0.058	0.020	
O ₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	ppm.	0.008	0.005	4.653×10^{-5}	0.625		7.909×10^{-3}	0.008	0.2×10^{-3}		-0.002	0.018	0.020	

หมายเหตุค่ามาตรฐานของ CO = 30 ppm. NO₂ = 0.32 มก./ลบ.ม. O₃ = 0.10 ppm.

2. สมการในการพยากรณ์ค่า NO_2 พบว่ากรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 1.511×10^{-4} โดยช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.028 \pm 1.96(1.511 \times 10^{-4})$ หรือ 0.027-0.028 มก./ลบ.ม. ในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าความไม่แน่นอนสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 2.976×10^{-4} โดยช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.099 \pm 1.96(2.976 \times 10^{-4})$ หรือ 0.098 - 0.100 มก./ลบ.ม. และเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ช่วงเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยของความไม่แน่นอนในการทำนายค่าเฉลี่ยระดับ NO_2 ริมหางพิเศษมีค่าเท่ากับ 0.001 มก./ลบ.ม.

สำหรับ Tolerance Limit ที่ 95% พบว่า Lower Limit มีค่าติดลบซึ่งเกิดจากการที่ข้อมูลมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำและมีค่าความแปรปรวนค่อนข้างสูงทำให้ขอบเขตล่างล้าเข้าไปต่ำกว่าค่าศูนย์ แต่ในการแปลผลก็จะถือว่า Lower Limit มีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากค่าความเข้มข้นไม่สามารถมีค่าติดลบได้ ในกรณีของ NO_2 นี้เห็นได้ว่าช่วง Tolerance Limit ของกรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าสูงที่สุด กล่าวได้ว่าค่าระดับ NO_2 ส่วนใหญ่หรือร้อยละ 95 ที่เกิดขึ้นริมหางพิเศษในช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าอยู่ในช่วง 0-0.219 ppm. คิดเป็นช่วง 95%TL เท่ากับ 0.239 มก./ลบ.ม. ส่วนช่วงกรณีเวลา 24 ชั่วโมงและช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่า 95%TL น้อยลงตามลำดับ

3. สมการในการพยากรณ์ค่า O_3 พบว่ากรณี 24 ชั่วโมง มีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 2.620×10^{-5} โดยช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.005 \pm 1.96(2.620 \times 10^{-5})$ หรือ $0.49 \times 10^{-2} - 0.5 \times 10^{-2}$ ppm. ในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 4.653×10^{-5} และที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.008 \pm 1.96(4.653 \times 10^{-5})$ หรือ $7.909 \times 10^{-3} - 8.00 \times 10^{-3}$ ppm. และเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ช่วงเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยของความไม่แน่นอนในการทำนายค่าเฉลี่ยระดับ O_3 ริมหางพิเศษมีค่าเท่ากับ 0.133×10^{-3} ppm.

Tolerance Limit ที่ 95% ของ O_3 กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและบ่ายมีค่าสูงเท่ากัน กล่าวได้ว่าค่าระดับ O_3 ส่วนใหญ่หรือร้อยละ 95 ที่เกิดขึ้นริมหางพิเศษในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและบ่ายมีค่าระหว่าง 0.038-0.058 และ 0.018-0.038 ppm. ตามลำดับ คิดเป็นช่วง 95%TL เท่ากับ 0.020 มก./ลบ.ม. ส่วนช่วงกรณีเวลา 24 ชั่วโมงมีค่า 95%TL น้อยที่สุด

4. การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนจากการทำนายมลพิษแต่ละประเภทโดยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, COV) เฉลี่ย 3 กรณีของแต่ละมลพิษพบว่าค่า COV เฉลี่ยของ NO_2 , O_3 และ CO มีค่าเรียงจากสูงไปต่ำเท่ากับ 0.561, 0.443 และ 0.205 จึงกล่าวได้ว่าแบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้ทำนายมลพิษ NO_2 ด้วยความไม่แน่นอนสูงกว่าการทำนาย O_3 และ CO ตามลำดับ ซึ่งมีสาเหตุมาจากตัวแปรอิสระในแต่ละสมการมีจำนวนและชนิดแตกต่างกันและมีความแปรปรวนของข้อมูลของตัวแปรมากน้อยแตกต่างกันด้วย

6.3.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการทำนายค่าแต่ละมลพิษ

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงในตารางที่ 6.6 และรูปที่ 6.18-6.26 ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. สมการที่ใช้คาดการณ์ความเข้มข้นของ CO พบว่ากรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.005 ppm. ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร LOG ของอุณหภูมิและปริมาณจราจรบนทางพิเศษเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ CO ที่คาดการณ์ได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.87 และ 0.43 โดยความเข้มข้นของ CO มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสูงกว่าปริมาณจราจรบนทางพิเศษ ซึ่งสอดคล้องกับ Tomado Chart รูปที่ 6.22 พบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ความเข้มข้นของ CO มากที่สุดโดยมีช่วงค่า LOG ต่ำสุดและสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อการคาดการณ์คือ 1.45-1.50 หรือเท่ากับ 28.28-31.62 องศา

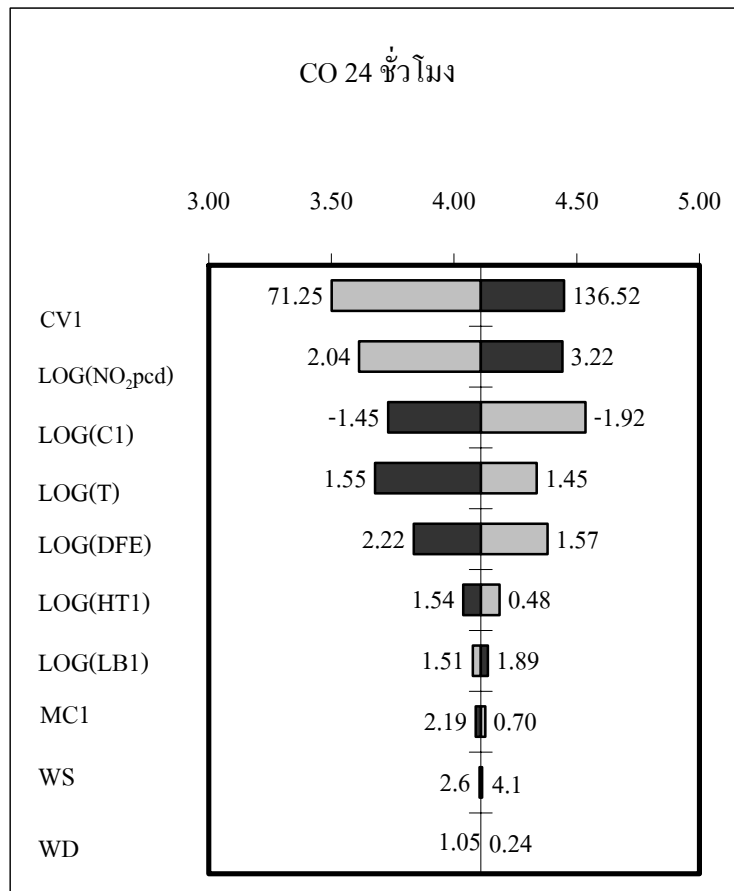
ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า CO ทั้ง 3 กรณีพบว่าระดับความเข้มข้นของ CO จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นและจะลดลงตามอุณหภูมิและระยะห่างจากทางพิเศษที่เพิ่มขึ้นโดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายระดับความเข้มข้นของ CO ส่วนใหญ่ได้แก่ ความเร็วรถ LOG ของปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล LOG ของระดับความเข้มข้นของ NO₂ จากสถานีตรวจวัด LOG ของระยะห่างจากทางพิเศษ และ LOG ของอุณหภูมิ ในขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ มีอิทธิพลเช่นเดียวกันแต่มีในระดับต่ำ

2. สมการที่ใช้คาดการณ์ความเข้มข้นของ NO₂ พบว่ากรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 1.511×10^{-4} มก./ลบ.ม. ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร LOG ของระยะห่างจากทางพิเศษ ทิศทางลม ความเข้มข้นของ NO₂ และ SO₂ จากสถานีตรวจวัดเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ NO₂ ที่คาดการณ์ได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.43 0.01 -0.36 และ 0.81 ตามลำดับโดยความเข้มข้นของ NO₂ มีความสัมพันธ์สูงสุดกับ SO₂ จากสถานีตรวจวัดและมีความสัมพันธ์ต่ำสุดกับทิศทางลม ซึ่งสอดคล้องกับ Tomado Chart รูปที่ 6.24 พบว่า SO₂ จากสถานีตรวจวัดมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ความเข้มข้นของ NO₂ มากที่สุดโดยมีช่วงค่า LOG ต่ำสุดและสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อการคาดการณ์คือ -2.41-0.22 หรือเท่ากับ 0.004-1.660 มก./ลบ.ม. และทิศทางลมมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ความเข้มข้นของ NO₂ น้อยที่สุดโดยมีช่วงค่าต่ำสุดและสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อการคาดการณ์คือ 0.24-1.05 องศา

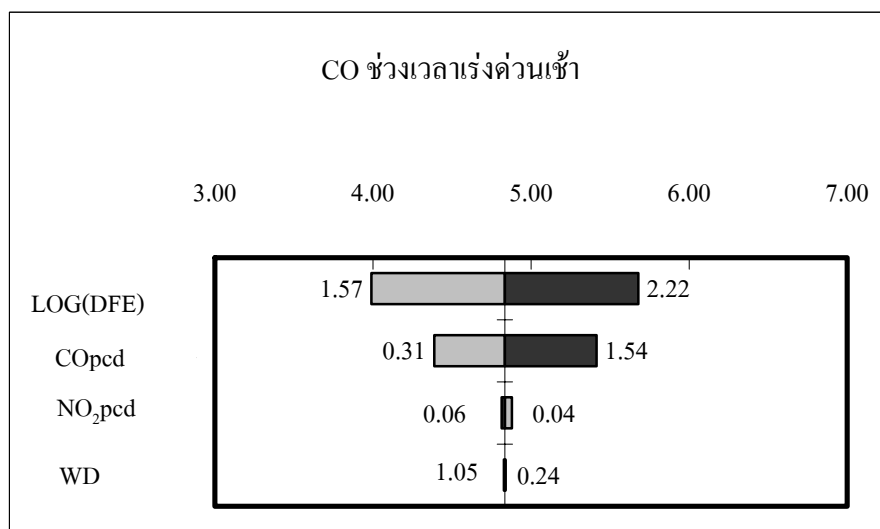
ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า NO₂ ทั้ง 3 กรณีได้แก่ LOG ของปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล LOG ของระยะห่างจากทางพิเศษ อุณหภูมิ LOG ของระดับความเข้มข้นของ SO₂ และระดับความเข้มข้นของ NO₂ จากสถานีตรวจวัด โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดของทั้ง 3 กรณีคือตัวแปรระดับความเข้มข้นของมลพิษจากสถานีตรวจวัด อาจกล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้นมลพิษจากสถานีตรวจวัดมีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของ NO₂ บริเวณริมทางพิเศษสูงกว่าตัวแปรอื่นๆ

ตารางที่ 6.6 การศึกษาความอ่อนไหวของสมการด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

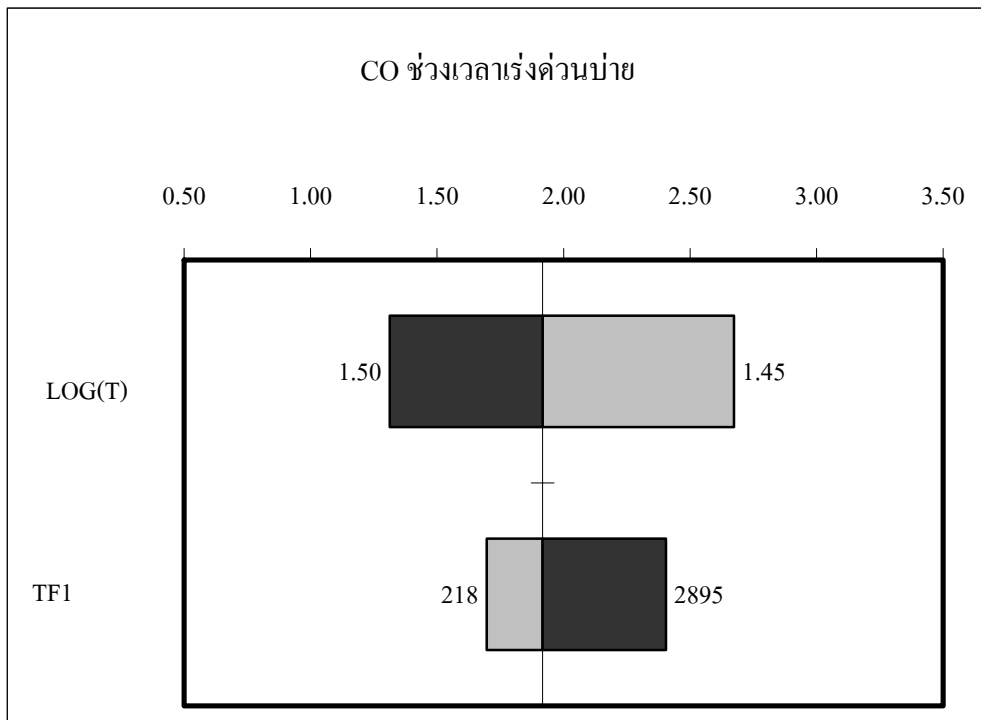
สมการ	ตัวแปร	R
CO 24 ชั่วโมง	CV1	0.55
	LOG(NO ₂ pcd)	-0.47
	LOG(C1)	0.46
	LOG(T)	-0.34
	LOG(DFE)	-0.29
	LOG(HT1)	-0.08
	LOG(LB1)	0.06
	MC1	-0.02
	WS	-0.02
WD	-0.01	
CO ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	LOG(DFE)	0.85
	COpcd	0.50
	LOG(NO ₂ pcd)	-0.20
	WD	0.01
CO ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	LOG(T)	-0.87
	TF1	0.43
NO ₂ 24 ชั่วโมง	LOG(SO ₂ pcd)	0.81
	T	-0.38
	LOG(C1)	0.38
	NO ₂ pcd	-0.14
NO ₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	LOG(SO ₂ pcd)	0.81
	LOG(DFE)	-0.43
	NO ₂ pcd	-0.36
	WD	0.01
NO ₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	NO ₂ pcd	0.85
	LOG(COpcd)	-0.45
	LOG(T)	0.17
	SO ₂ pcd	-0.13
	LOG(WD)	-0.09
	O ₃ pcd	-0.05
O ₃ 24 ชั่วโมง	WD	0.70
	WS	-0.59
	LOG(HB1)	0.31
	O ₃ pcd	0.11
O ₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	T	0.67
	LOG(C1)	0.52
	CV1	-0.36
	NO ₂ pcd	-0.30
	O ₃ pcd	0.06
	LOG(COpcd)	-0.76
O ₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย	LOG(NO ₂ pcd)	0.54
	LOG(WS)	0.18
	LOG(SO ₂ pcd)	0.13



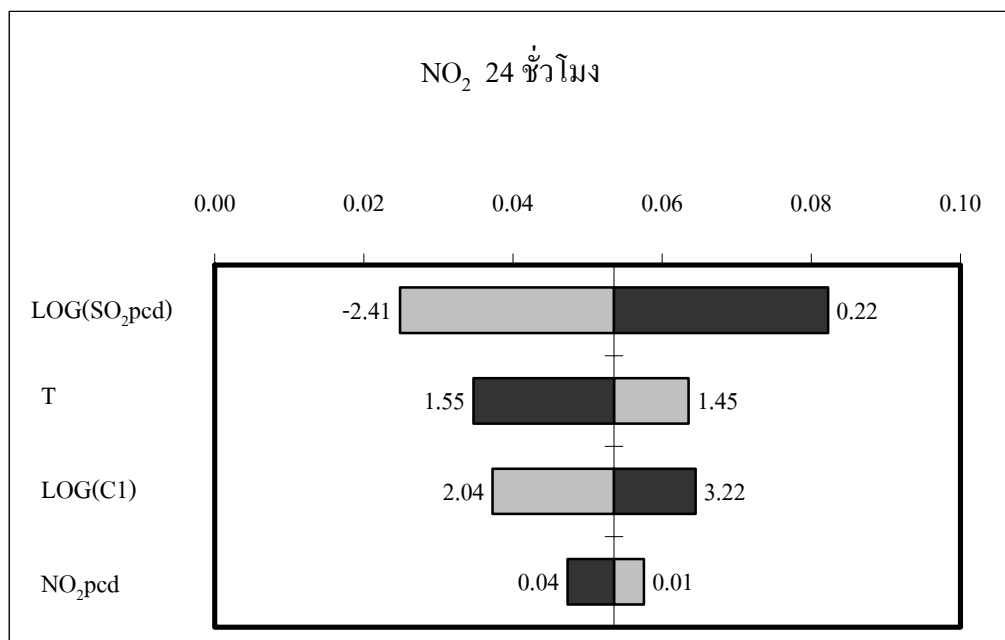
รูปที่ 6.18 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ CO 24 ชั่วโมง



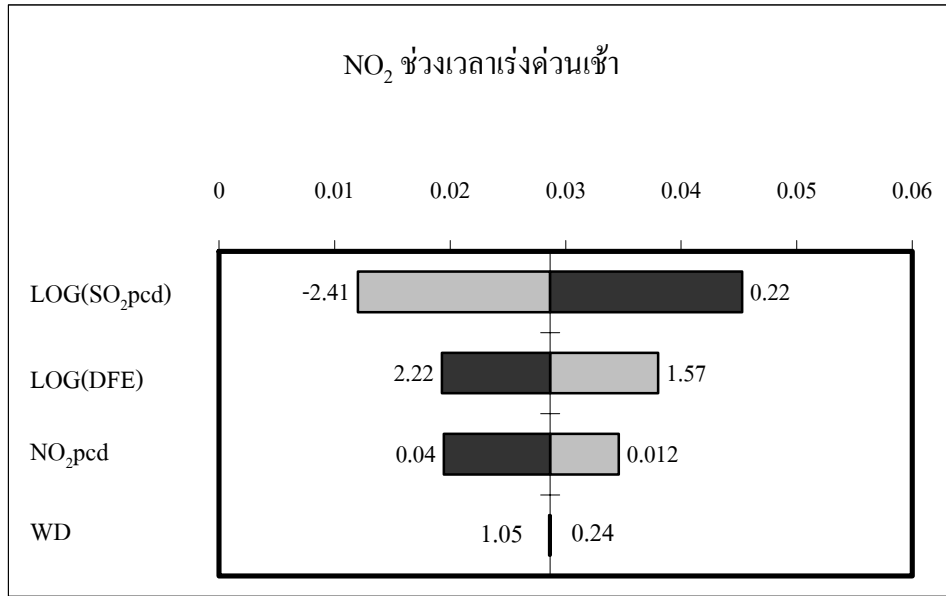
รูปที่ 6.19 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ CO ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า



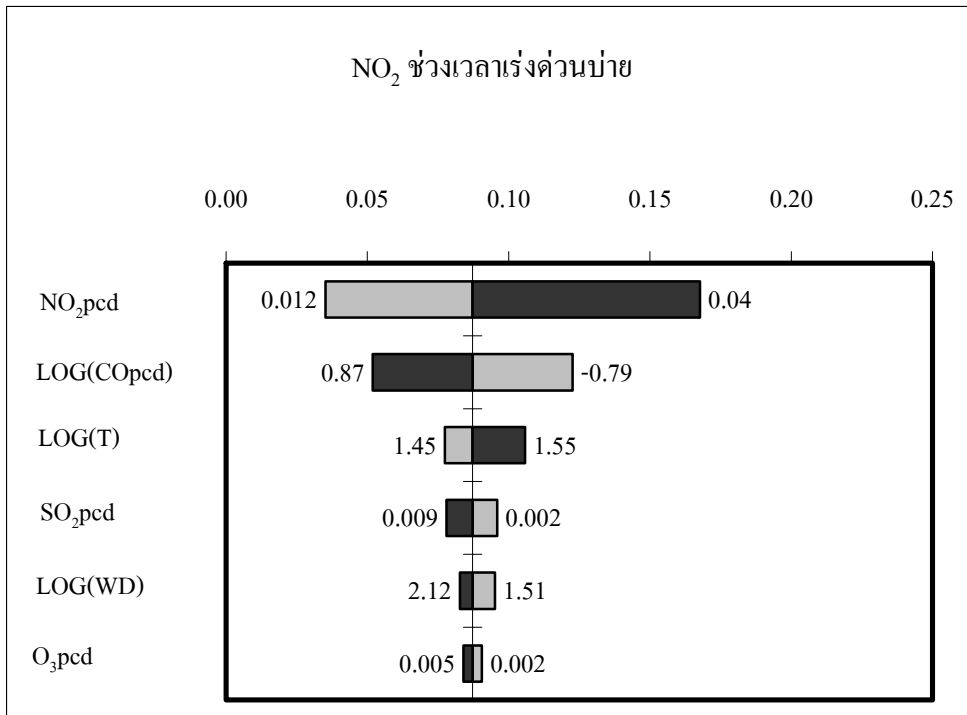
รูปที่ 6.20 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ CO ช่วงเวลาเร่งด่วน



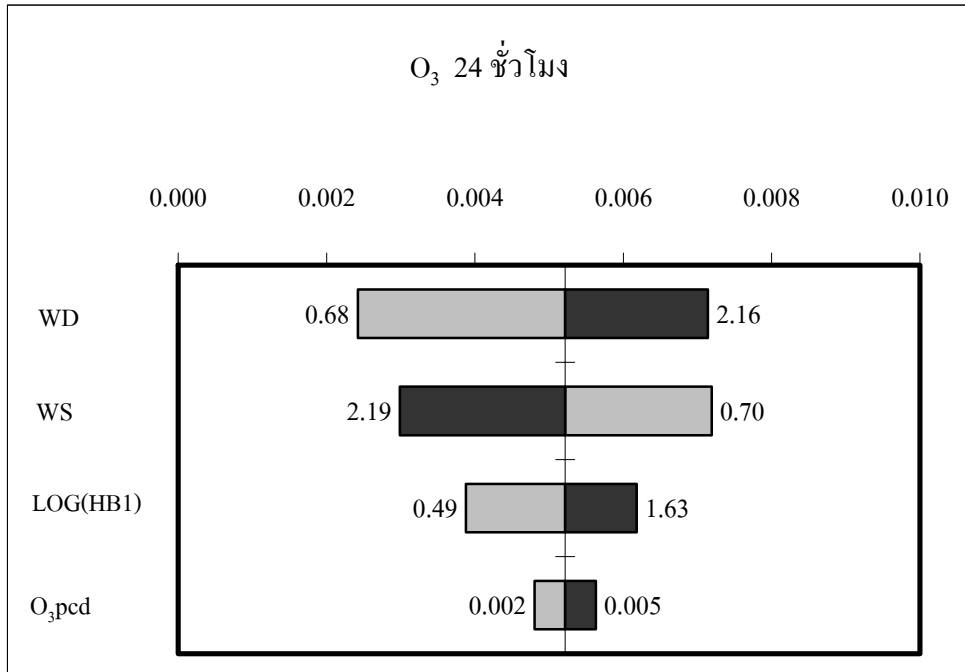
รูปที่ 6.21 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ NO₂ 24 ชั่วโมง



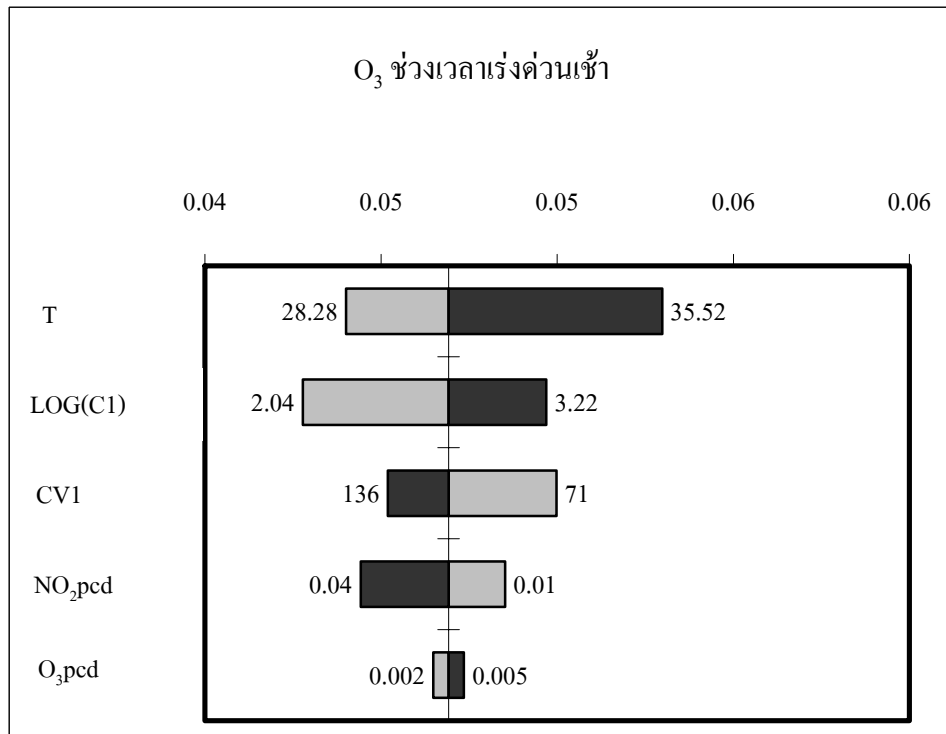
รูปที่ 6.22 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ NO₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า



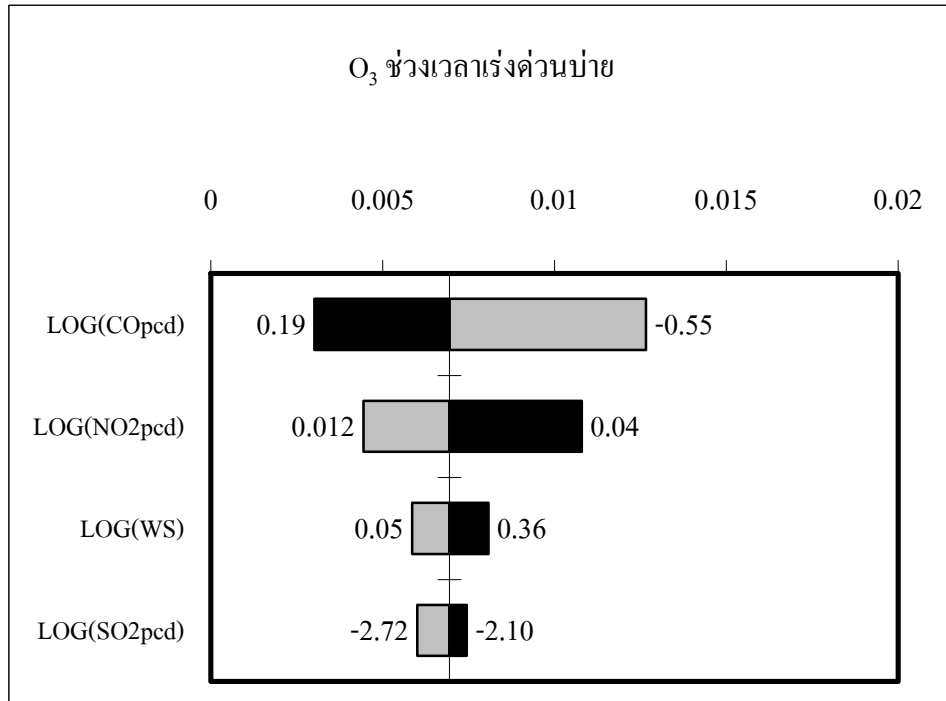
รูปที่ 6.23 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ NO₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย



รูปที่ 6.24 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ O₃ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 6.25 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า



รูปที่ 6.26 Tornado Chart ของตัวแปรที่ศึกษาในการพยากรณ์ O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วน

3. สมการที่ใช้คาดการณ์ความเข้มข้นของ O₃ พบว่ากรณี กรณี 24 ชั่วโมงมีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 2.620×10^{-5} ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรความเข้มข้นของ O₃ จากสถานีตรวจวัด ทิศทางลม ความเร็วลม และ LOG ของรถบรรทุกทุกขนาดเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ O₃ ที่คาดการณ์ได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.11 0.7 -0.59 และ 0.31 ตามลำดับโดยความเข้มข้นของ O₃ มีความสัมพันธ์สูงสุดกับทิศทางลม และมีความสัมพันธ์ต่ำสุดกับความเข้มข้นของ O₃ จากสถานีตรวจวัด ซึ่งสอดคล้องกับ Tornado Chart ภาพที่ 6.26 พบว่าทิศทางลมมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ความเข้มข้นของ O₃ มากที่สุดโดยมีช่วงค่าต่ำสุดและสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อการคาดการณ์คือ 0.68-2.61 องศา และความเข้มข้นของ O₃ จากสถานีตรวจวัดมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ความเข้มข้นของ O₃ น้อยที่สุดโดยมีช่วงค่าต่ำสุดและสูงสุดที่มีอิทธิพลต่อการคาดการณ์คือ 0.002-0.005 ppm.

ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า O₃ ทั้ง 3 กรณีพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายระดับความเข้มข้นส่วนใหญ่คือตัวแปรอุณหภูมิซึ่งประกอบด้วย ทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิ และตัวแปร LOG ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถบรรทุกทุกขนาด ความเร็วรถ และ LOG ของระดับความเข้มข้นของ NO₂ และ CO จากสถานีตรวจวัด ในขณะที่ตัวแปรระดับความเข้มข้นของ O₃ จากสถานีตรวจวัดมีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของ O₃ บริเวณริมทางพิเศษต่ำที่สุด แต่ก็มี

ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือหากระดับความเข้มข้นของ O_3 จากสถานีตรวจวัดเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ระดับความเข้มข้นของ O_3 บริเวณริมทางพิเศษเพิ่มขึ้นด้วย

4.สรุปปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อการทำนายค่าของ 3 มลพิษ

ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อการทำนายค่าของ 3 มลพิษส่วนใหญ่คือตัวแปรความเร็วรถ LOGของปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล LOGของระดับความเข้มข้นของ NO_2 จากสถานีตรวจวัด LOGของระยะห่างจากทางพิเศษ และLOGของอุณหภูมิ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าตัวแปรปริมาณจราจรมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษทั้ง 3 คือ LOGของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ในขณะที่ LOGของรถบรรทุกจะมีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของ CO และ O_3 และระดับความเข้มข้นของมลพิษจากสถานีตรวจวัดส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของมลพิษบริเวณริมทางพิเศษโดยหากมีระดับเพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

6.4 การประยุกต์ใช้งานแบบจำลองและผลการจำลองเหตุการณ์

วิธีการศึกษาและผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการดำเนินงานของทางพิเศษแห่งประเทศไทย ตลอดจนหน่วยงานหรือบุคคลทั่วไปที่สนใจ โดยในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ใน 4 กรณีคือ

1. การคำนวณหาโอกาสที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าเกินมาตรฐาน
2. การคำนวณหาความเป็นไปได้ที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการทราบ
3. การคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษ
4. การกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษ บริเวณริมทางพิเศษ

รายละเอียดและวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ของทั้ง 4 กรณีดังกล่าวมีดังนี้

6.4.1 ตัวอย่างการคำนวณหาโอกาสที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าเกินมาตรฐาน

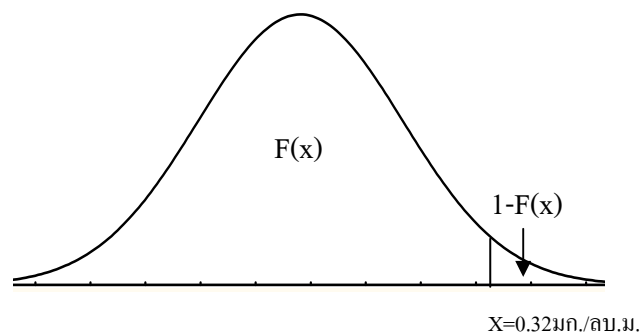
ตัวอย่างที่ 1 กรณีที่ต้องการทราบว่าระดับความเข้มข้นของมลพิษมีโอกาสที่จะเกินค่ามาตรฐานที่เปอร์เซ็นต์สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม(c.d.f.)ในการคำนวณ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกสมการของ c.d.f. โดยพิจารณาจากรูปแบบการแจกแจงข้อมูลของตัวแปร Y ที่คาดการณ์ได้จากสมการว่าเป็นรูปแบบใดแล้วจึงเลือกสมการ c.d.f. ตามรูปแบบการแจกแจงนั้น โดยในตัวอย่างนี้จะเลือกสมการในการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของ NO_2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า(ตารางที่ 6.1) เป็นตัวอย่างการคำนวณ ซึ่งระดับความเข้มข้นของ NO_2 ที่คาดการณ์จากสมการดังกล่าวมีรูปแบบการแจกแจงแบบ Weibull มีรูปแบบสมการ c.d.f. คือ

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\gamma}$$

ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ประกอบด้วย Shape= $\gamma=4.24$ Location= $\mu = -0.029$ และ Scale= $\alpha=0.062$ และ F(x) คือค่าความน่าจะเป็นที่ค่ามลพิษที่คำนวณได้จะน้อยกว่าค่า x

2. กำหนดว่าระดับความเข้มข้นของ NO₂ ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์มีโอกาสที่จะเกินค่ามาตรฐานที่เปอร์เซ็นต์โดยค่ามาตรฐานในบรรยากาศทั่วไปของ NO₂ มีค่า 0.32 มก./ลบ.ม.



$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\gamma}$$

เมื่อ $x = 0.32$ มก./ลบ.ม.

$$\gamma = 4.24$$

$$\alpha = 0.062$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F(x) &= 1 - e^{-\left(\frac{0.32}{0.062}\right)^{4.24}} \\ &= 1 - 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

∴ โอกาสที่ระดับความเข้มข้นของ NO₂ ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์มีค่าเกินมาตรฐานคือ $1-F(x)$ นั่นคือ

$$= 1 - 1$$

$$= 0\%$$

จากการคำนวณพบว่าในสถานการณ์ปัจจุบัน โอกาสที่ระดับความเข้มข้นของ NO₂ มีค่าเกินมาตรฐานมีค่าน้อยมากจนแทบจะเป็นไปไม่ได้

ตัวอย่างที่ 2 กรณีที่ต้องการทราบว่าระดับความเข้มข้นของมลพิษมีโอกาสที่จะเกินค่าสูงสุดที่เคยตรวจวัดได้ในปี 2544 ก็เปอร์เซ็นต์โดยใช้ในการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของ O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย (ตารางที่ 6.1) เป็นตัวอย่างในการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

1. รูปแบบการแจกแจงแบบ Weibull และมีค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ประกอบด้วย Shape= $\gamma=3.10$ Location= $\mu = -0.006$ และ Scale= $\alpha = 0.015$ F(x) คือค่าความน่าจะเป็นที่ค่ามลพิษที่คำนวณได้จะน้อยกว่าค่า x

2. คำนวณว่าระดับความเข้มข้นของ O₃ ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์มีโอกาสที่จะเกินค่าสูงสุด ก็เปอร์เซ็นต์โดยค่าสูงสุดมีค่า 0.03 มก./ลบ.ม. (ตารางที่ 4.1)

$$\begin{aligned} F(x) &= 1 - e^{-\left(\frac{0.30}{0.015}\right)^{3.10}} \\ &= 1 - 0.000189 \\ &= 0.99981 \end{aligned}$$

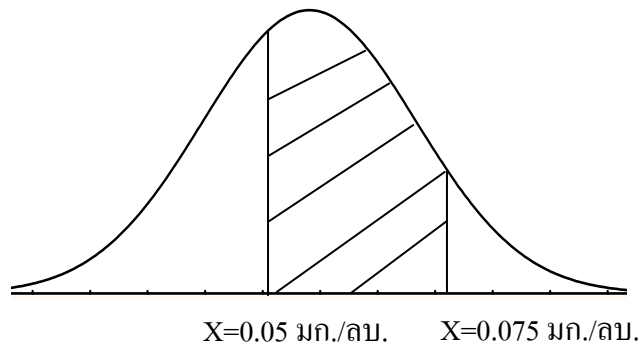
∴ โอกาสที่ระดับความเข้มข้นของ O₃ ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์มีค่าเกินค่าสูงสุดคือ 1-F(x) นั่นคือ

$$\begin{aligned} &= 1 - 0.99981 \\ &= 1.89 \times 10^{-4} \\ \text{หรือ} &= 0.02 \% \end{aligned}$$

จากการคำนวณพบว่าในสถานการณ์ปัจจุบัน โอกาสที่ระดับความเข้มข้นของ O₃ มีค่าเกินค่าสูงสุดมีค่าน้อยมาก

6.4.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเป็นไปได้ที่ระดับความเข้มข้นของมลพิษมีค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการทราบ

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาค่าความเป็นไปได้ที่ระดับความเข้มข้นของ NO₂ มีค่า 0.05-0.075 มีก็เปอร์เซ็นต์สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการเดียวกับตัวอย่างในข้อ 6.4.1 โดยทำการคำนวณ 2 ครั้งคือที่ x=0.05 มก./ลบ.ม. และ x=0.075 มก./ลบ.ม. F(x) คือค่าความน่าจะเป็นที่ค่ามลพิษที่คำนวณได้จะน้อยกว่าค่า x ในที่นี้เลือกใช้สมการการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของ NO₂ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (ตารางที่ 6.1) เป็นตัวอย่างการคำนวณ



$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\gamma}$$

เมื่อ $x = 0.05$ มก./ลบ.ม.

$$\gamma = 4.24$$

$$\alpha = 0.062$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F(x) &= 1 - e^{-\left(\frac{0.05}{0.062}\right)^{4.24}} \\ &= 1 - 0.6692 \\ &= 0.3308 \end{aligned}$$

โอกาสที่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม. = $1 - 0.3308$

$$= 66.92\%$$

เมื่อ $x = 0.075$ มก./ลบ.ม.

$$\begin{aligned} F(x) &= 1 - e^{-\left(\frac{0.075}{0.062}\right)^{4.24}} \\ &= 1 - 0.1063 \\ &= 0.8937 \end{aligned}$$

โอกาสที่เกิน 0.075 มก./ลบ.ม. = $1 - 0.8937$

$$= 10.63\%$$

ความน่าจะเป็นช่วง 0.05-0.075 มก./ลบ.ม. = $69.92\% - 10.63\%$

$$= 59.29\%$$

∴ โอกาสที่ระดับความเข้มข้นของ NO_2 ริมทางพิเศษมีค่าระหว่าง 0.05-0.075 มก./ลบ.ม.

คือ 56.29 เปอร์เซ็นต์

6.4.3 ตัวอย่างการคำนวณการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษ

ตัวอย่างที่ 1 การนำสมการที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษกรณีที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100% จากข้อมูลปริมาณจราจรปี 2546 มีวิธีการดังนี้

1. เลือกสมการที่ได้ในการคาดการณ์ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ ได้แก่ CO NO₂ และ O₃ โดยใช้สมการ 24 ชั่วโมงเป็นสมการตัวอย่างในการจำลองเหตุการณ์ ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละสมการดังนี้ (ตารางที่ 6.1)

$$\begin{aligned} \text{CO} &= 9.091 + 0.702\text{LOG}(C1) + 0.163\text{LOG}(LB1) - 0.139\text{LOG}(HT1) \\ &\quad - 5.209\text{E-}04(\text{MC1}) + 1.451\text{E-}02(\text{CV1}) - 9.621\text{LOG}(T) \\ &\quad - 4.215\text{E-}04(\text{WD}) - 2.620\text{E-}02(\text{WS}) - 0.842\text{LOG}(\text{DFE}) \\ &\quad - 1.711\text{LOG}(\text{NO}_2\text{pcd}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 &= 0.465 - 0.290\text{LOG}(T) - 0.442(\text{NO}_2\text{pcd}) + 2.625\text{E-}02\text{LOG}(\text{SO}_2\text{pcd}) \\ &\quad + 2.306\text{E-}02\text{LOG}(C1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_3 &= 1.519\text{E-}03 + 0.272(\text{O}_3\text{pcd}) + 3.968\text{E-}05(\text{WD}) - 2.818\text{E-}03(\text{WS}) \\ &\quad + 2.018\text{E-}03\text{LOG}(\text{HB1}) \end{aligned}$$

2. ข้อมูลดิบของปริมาณจราจร ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถปิกอัพ/รถตู้ รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถจักรยานยนต์ ปรับเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100% จากข้อมูลปริมาณจราจรปี 2546

3. ทำการทดสอบเพื่อเลือกรูปแบบความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลที่ปรับใหม่ ของปริมาณจราจรเพื่อใช้ในการสุ่มตัวอย่างคือ LOG(C1) LOG(HB1) LOG(HT1) และ MC1 ได้รูปแบบการแจกแจงข้อมูลแบบ Extreme Value, Extreme Value, Weibull และ Uniform ตามลำดับ ส่วนตัวแปร LOG(LB1) ไม่พบรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงที่เหมาะสมจึงใช้ฮิสโตแกรม ส่วนตัวแปรอิสระอื่น ๆ เป็นข้อมูลปี 2544 เท่าเดิมจึงใช้รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลเดิมตามตารางที่ 6.2

4. ขอบเขตของการสุ่มตัวอย่างของตัวแปรอิสระกรณีที่สามารถกำหนดรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลได้คือค่าต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละตัวแปร

5. กำหนดขอบเขตของการจำลองเหตุการณ์และจำลองเหตุการณ์จำนวน 10,000 ครั้ง

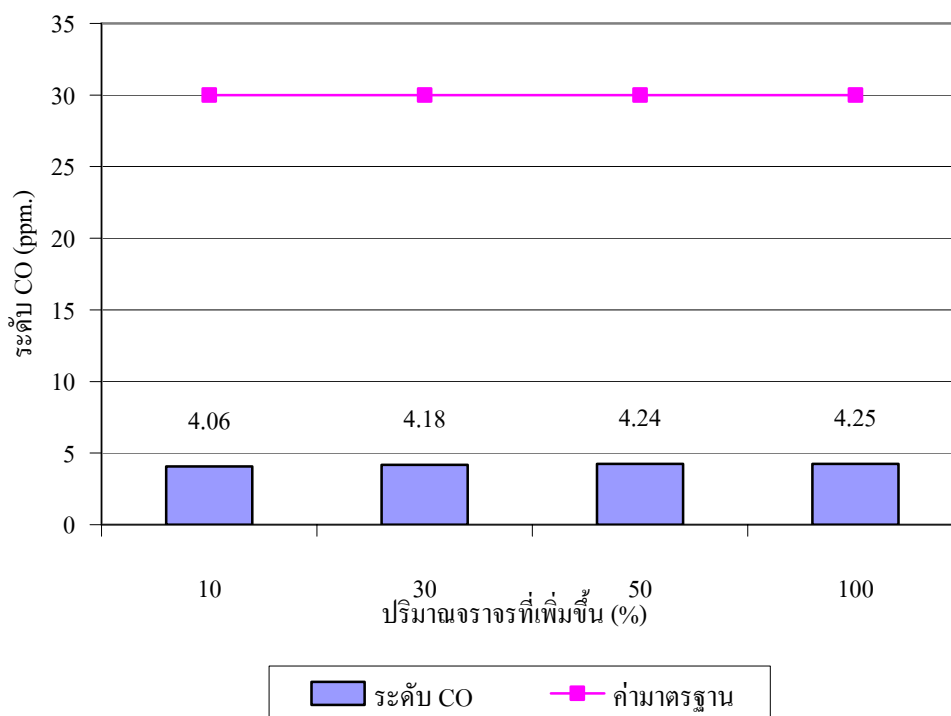
6. จากการจำลองเหตุการณ์โดยกำหนดให้ปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถปิกอัพ/รถตู้ รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถจักรยานยนต์เพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100% พบว่า

กรณี CO ถ้าปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นตามที่กล่าวมาข้างต้นค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ CO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย รายละเอียดดังรูปที่ 6.27 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ CO เพิ่มขึ้นประมาณ 3% เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 30% และเมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 100%

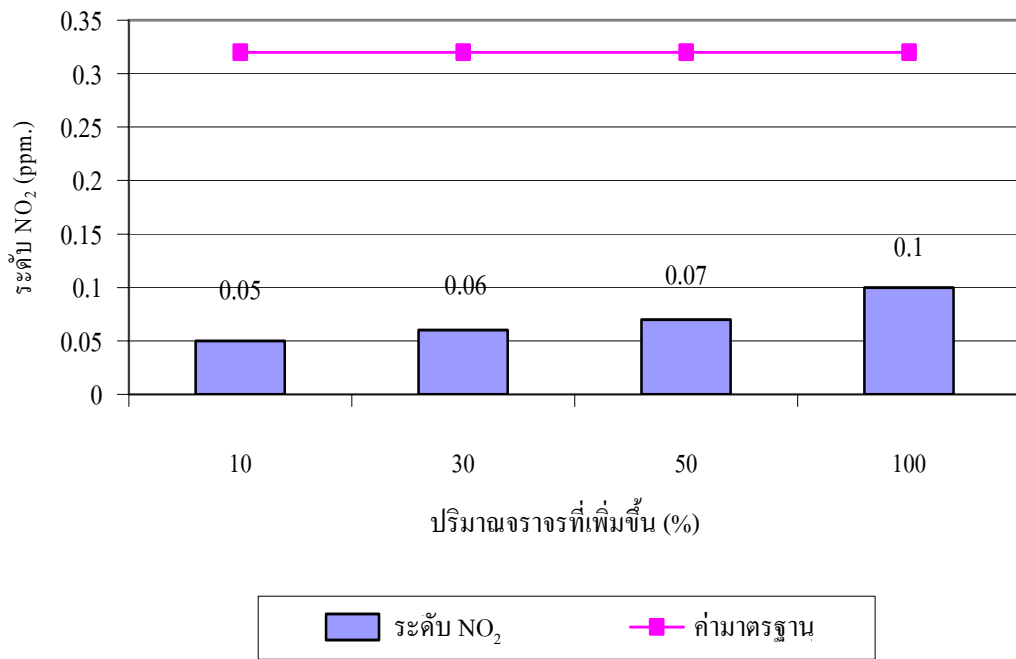
ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ CO จะเพิ่มขึ้นประมาณ 5% โดยค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ CO จะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.12 0.18 และ 0.19 ppm. เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 30 50 และ 100% แต่อย่างไรก็ดีจะเห็นว่าเมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นถึง 100% ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ CO บริเวณริมทางพิเศษยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 30 ppm. อยู่มาก

กรณี NO₂ ถ้าปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ NO₂ จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยรายละเอียดดังรูปที่ 6.28 โดยเมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 30 และ 50% ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ NO₂ จะเพิ่มขึ้น 0.01 และ 0.02 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่ถ้าปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 100% ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ NO₂ จะเพิ่มขึ้น 0.05 มก./ลบ.ม. ซึ่งเท่ากับเพิ่มขึ้น 100% แต่ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นดังกล่าวยังมีค่าอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.32 มก./ลบ.ม.

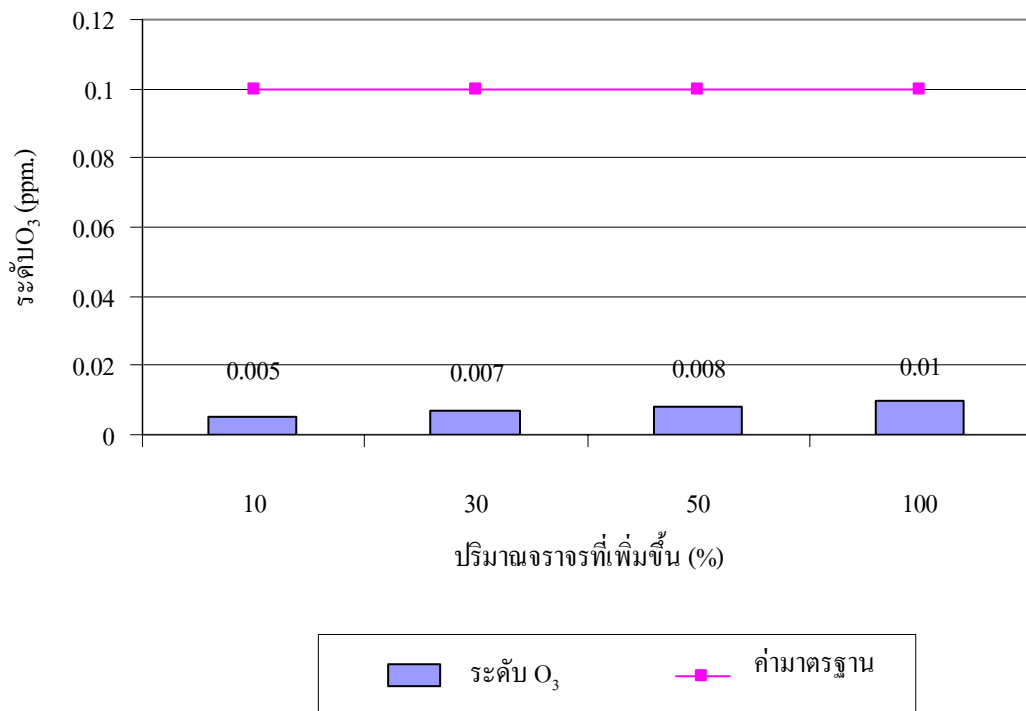
กรณี O₃ ถ้าปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ O₃ จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นเดียวกับ CO และ NO₂ รายละเอียดดังรูปที่ 6.29 โดยเมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 30 50 และ 100% ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ O₃ จะเพิ่มขึ้น 40 60 และ 100% หรือเพิ่มขึ้น 0.002 0.003 และ 0.005 ppm. ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นดังกล่าวยังมีค่าอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.1 มก./ลบ.ม.



รูปที่ 6.27 ระดับ CO เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100%



รูปที่ 6.28 ระดับ NO₂ เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100%



รูปที่ 6.29 ระดับ O₃ เมื่อปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น 10 30 50 และ 100%

จากการศึกษาจะสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ CO เพิ่มขึ้นน้อยในขณะที่ NO₂ และ O₃ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่มากกว่า อย่างไรก็ตามในการจำลองเหตุการณ์ครั้งนี้ทำการเพิ่มปริมาณจราจรเพียงปัจจัยเดียวโดยไม่ได้ทำการเพิ่มหรือลดปัจจัยอื่นๆ แต่ในการวิเคราะห์เพื่อใช้งานจริงต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงที่กระทบต่อปัจจัยอื่นๆ ด้วย อาทิ ความเร็วของรถที่ลดลงเมื่อปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น

ตัวอย่างที่ 2 กรณีต้องการทราบว่าจะระดับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจะมีผลกระทบต่อผู้รับที่อยู่ติดบริเวณริมทางพิเศษในระยะ 25-50 เมตร อย่างไร มีวิธีการศึกษาดังนี้

1. เลือกสมการที่ได้ในการคาดการณ์ความเข้มข้นของ CO 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 6.1) เป็นสมการตัวอย่างในการจำลองเหตุการณ์
2. ใช้รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลและขอบเขตของการสุ่มตัวอย่างตามตารางที่ 6.2 ยกเว้นตัวแปรระยะห่างจากทางพิเศษที่กำหนดขอบเขตของการสุ่มตัวอย่างที่ 25-50 เมตร จากเดิมที่มีขอบเขตอยู่ที่ 25-195 เมตร
3. ทำการจำลองเหตุการณ์ 10,000 ครั้ง
4. ผลการจำลองเหตุการณ์สรุปดังตารางที่ 6.7 โดยพบว่าผู้ที่อยู่ติดริมทางพิเศษในระยะ 25-50 เมตร จะได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่มีค่าเฉลี่ย 4.22 ppm. ซึ่งสูงกว่ากรณีที่พิจารณาระดับมลพิษใน 25-195 เมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 3.93 ppm.

ตารางที่ 6.7 ผลการจำลองเหตุการณ์ตามระยะห่างจากทางพิเศษ

ขอบเขตตัวแปรระยะห่างจากทางพิเศษ (เมตร)	หน่วย	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เปอร์เซนไทล์ที่ 99
25-195	ppm.	10,000	3.93	2.12	6.12	5.37
25-50	ppm.	10,000	4.22	2.23	6.22	5.61

6.4.4 ตัวอย่างการคำนวณการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษ บริเวณริมทางพิเศษ

ตัวอย่างที่ 1 การนำสมการที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษบริเวณริมทางพิเศษ

ในกรณีนี้เลือกสมการทำนายระดับ O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้ามาพิจารณาและพบว่าระดับของ O₃ แปรผกผันกับความเร็วรถบนทางพิเศษ (CVI) คือหากความเร็วรถต่ำหรือการเคลื่อนตัวของรถช้า จะสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนบริเวณริมทางพิเศษที่สูงขึ้น ดังนั้นในการกำหนด

มาตรการเพื่อเพิ่มความคล่องตัวของการจราจรบนทางพิเศษจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนบริเวณริมทางพิเศษได้โดยมีตัวอย่างวิธีการดังนี้

1. สมการที่ใช้ในตัวอย่างนี้ (ตารางที่ 6.1) ได้แก่

$$O_3 = 3.783E-03 + 1.24E-03(T) - 0.177(NO_2\text{pcd}) + 0.286(O_3\text{pcd}) - 7.33E-05(CV1) + 5.858E-03\text{LOG}(C1)$$

2. ตัวแปรความเร็วรถ (CV1) ที่ปรับข้อมูลดิบเพิ่มและลด 10 20 และ 30% จากค่าเฉลี่ยเดิมที่มีค่าเท่ากับ 108 กม./ชม. ส่วนตัวแปรอิสระอื่น ๆ เป็นข้อมูลปี 2544 เท่าเดิมจึงใช้รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลเดิมตามตารางที่ 6.2

3. กำหนดขอบเขตของการจำลองเหตุการณ์และจำลองเหตุการณ์จำนวน 10,000 ครั้ง

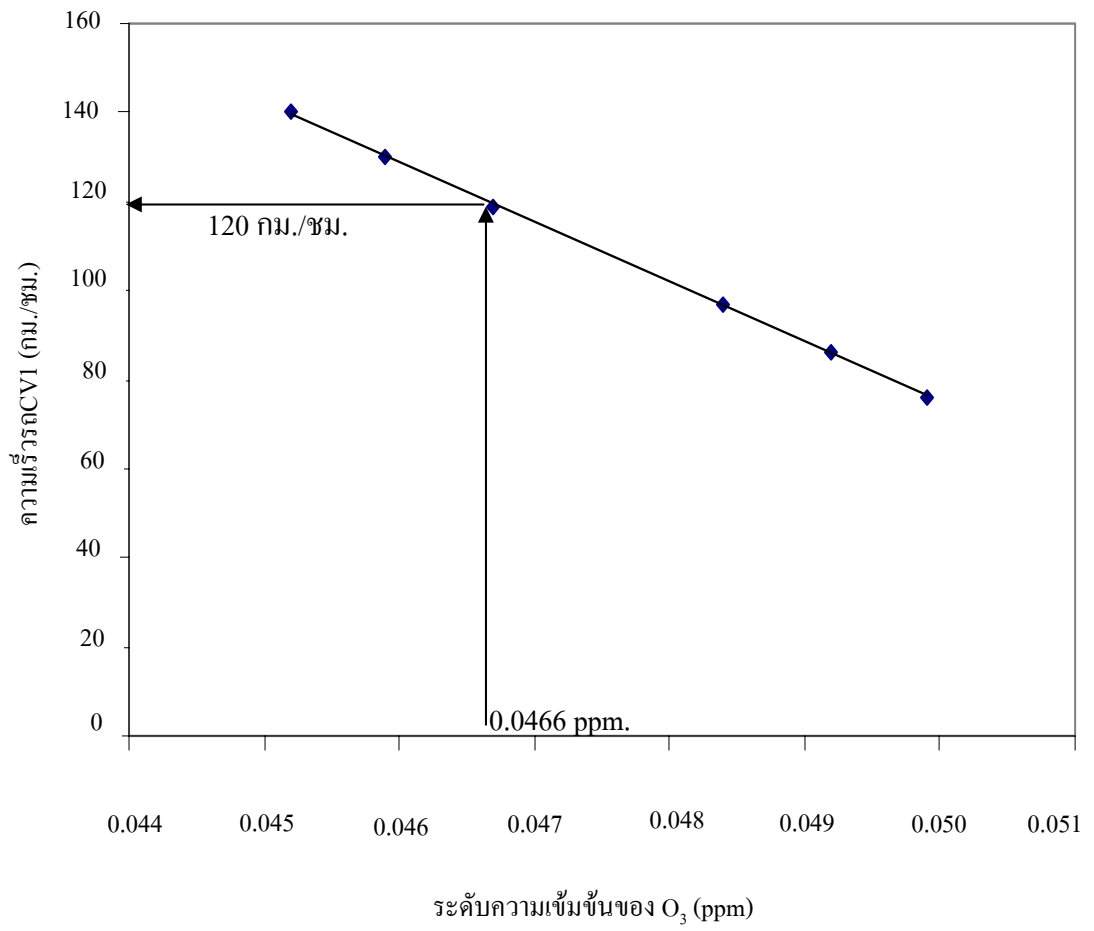
4. ผลการการจำลองเหตุการณ์สรุปได้ดังตารางที่ 6.8 โดยพบว่าเมื่อความเร็วรถ CV1 เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 10 20 และ 30 % จากความเร็วรถเฉลี่ยเดิมระดับความเข้มข้นของ O_3 จะลดลง 2.71 4.38 และ 5.83 % ตามลำดับ และเมื่อความเร็วรถเฉลี่ยลดลง 10 20 และ 30 % ระดับความเข้มข้นของ O_3 จะเพิ่มขึ้น 0.83 2.44 และ 3.81 % ตามลำดับ

นอกจากนี้การแสดงผลการจำลองเหตุการณ์ในรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรถ CV1 เฉลี่ยกับระดับความเข้มข้นของ O_3 ดังรูปที่ 6.30 สามารถช่วยในการหาระดับความเร็วรถเฉลี่ยที่เหมาะสมหากต้องการลดระดับความเข้มข้นของ O_3 ลง เช่น ถ้าต้องการลดระดับความเข้มข้นของระดับ O_3 ลง 3% (0.0466 ppm.) จากค่าเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.048 ppm. ต้องกำหนดมาตรการเพื่อเพิ่มความคล่องตัวของการจราจรบนทางพิเศษให้มีความเร็วรถเฉลี่ย 120 กม./ชม. จึงจะสามารถลดระดับความเข้มข้นของ O_3 ลงได้ อย่างไรก็ตามวิธีการในการกำหนดมาตรการใดๆ จำเป็นต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ขับขี่รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ควบคู่ไปด้วย

ตารางที่ 6.8 ผลการจำลองเหตุการณ์ตามความเร็วรถ CV1 ที่เพิ่มและลดลง

การปรับความเร็วรถเฉลี่ย (CV1)		ระดับความเข้มข้นของ O_3 (ppm.)
ปรับเพิ่มและลด (%)*	ความเร็วรถ (กม./ชม.)	
ปรับเพิ่ม 10%	119	0.0467
ปรับเพิ่ม 20%	130	0.0459
ปรับเพิ่ม 30%	140	0.0452
ปรับลด 10%	97	0.0484
ปรับลด 20%	86	0.0492
ปรับลด 30%	76	0.0499

หมายเหตุ *ปรับเพิ่มและลด 10 20 และ 30% จากค่าเฉลี่ย 108 กม./ชม



รูปที่ 6.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรถ CV1 และระดับความเข้มข้นของ O₃

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

จากการดำเนินการวิจัยที่เริ่มจากการศึกษาสถิติพรรณนาเพื่อสรุปข้อมูลเบื้องต้น การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระและนำผลการศึกษาไปใช้ในขั้นตอนการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุตามกรณีศึกษาต่างๆ การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองจนถึงการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งาน สามารถสรุปผลการศึกษาทั้งหมดโดยพิจารณาประเด็นที่สำคัญตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและตามขอบเขตของการศึกษาที่ได้ตั้งไว้ดังนี้

7.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศริมทางพิเศษและปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

1. ตัวแปรปริมาณจราจรหลายประเภททั้งกรณีรวมปริมาณจราจรและแยกประเภทพาหนะ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และโอโซน (O_3) ที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยส่วนใหญ่หากปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549) และ Chan L.Y. & Helen W.Y. Wu (1992) ที่พบว่า CO NO_2 SO_2 O_3 และ PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจราจร และการศึกษาของ Mäkelä et al. (1996) Mirjam et al. (1998) Roorda-Knape et al. (1999) A. Karppinen et al. (2000) Nicolas L. Gillbert et al. (2003) และ Magne A. & Ingrid Hobaek H. ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ NO_2 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณจราจร โดย NO_2 จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Mirjam et al. (1998) ยังพบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} มีความสัมพันธ์กับรถบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญ

2. จากการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศทั้งทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรที่มีลักษณะข้อมูลแบบ LOG นั่นคือรูปแบบความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศกับตัวแปรอื่นๆ ที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นแบบไม่เชิงเส้น แต่อย่างไรก็ดีบางกรณีมีตัวแปรที่มีลักษณะข้อมูลไม่ได้เป็น

แบบ LOG แสดงว่ารูปแบบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศและตัวแปรที่ศึกษา เช่น ปริมาณจราจร ความเร็วรถ ความเร็วลม ทิศทางลม และ อุณหภูมิ มีลักษณะความสัมพันธ์ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

3. ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ศึกษาลดลงตามระยะห่างจากทางพิเศษที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ กรณี 24 ชั่วโมง ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับระยะห่างจากทางพิเศษอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549) ที่พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ CO และ NO₂ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น และ Mirjam et al. (1998) และ Roorda-Knape et al. (1999) ที่พบว่าปริมาณ NO₂ จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น

4. อุณหภูมิและความเร็วลมมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษหรือถนนที่ศึกษา โดยพบว่าอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ O₃ จากทางพิเศษหรือถนนในกรณี 24 ชั่วโมง และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ O₃ และ SO₂ ในช่วงเวลาเร่งด่วน บ่าย รวมถึง O₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งแต่ต้น 1-6 ชั่วโมง โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือหากอุณหภูมิลดลงจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศดังกล่าวเพิ่มขึ้นแต่ในทางกลับกันหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศลดลง ในขณะที่ความเร็วลมมีความสัมพันธ์กับปริมาณมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษหรือถนนในกรณี 24 ชั่วโมงเกือบทุกตัวแปรที่ศึกษา และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ O₃ ภายหลังการปล่อยมลพิษตั้งแต่ต้น 1-6 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Slini TH. Et al. (2002) ที่พบว่าความเร็วลมลดลงจะทำให้ความเข้มข้นของ O₃ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าความเร็วลมมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษหรือถนนในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงมากกว่ากรณีอื่นๆ คือหากความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษหรือถนนลดลงสอดคล้องกับการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2543) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษจากถนนพบว่าความเร็วลมแต่ละประเภทมีผลต่ออัตราการปล่อย CO และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปของ NO₂ โดย CO จะมีการปล่อยสูงเมื่อรถมีความเร็วต่ำ แต่ในกรณี NO₂ อัตราการปล่อยจะมีค่าค่อยๆ ลดลงแต่เมื่อถึงความเร็วหนึ่ง อัตราการปล่อยจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผลของอุณหภูมิในการเผาไหม้ และปริมาณอากาศที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในขณะที่เกิดการสันดาป

5. ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน โดยค่าเฉลี่ยของ NO₂ SO₂ และ O₃ ช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า NO₂ และ CO มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าช่วงเวลา 24 ชั่วโมงยกเว้น O₃ และ SO₂ ที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุจิตต์ ครุจิต และชัยรัตน์ ครุจิต (2548) พบว่าช่วงเวลาเร่งด่วนมี

ค่าเฉลี่ยระดับมลพิษสูงกว่าช่วงเวลาปกติโดย NO_2 , CO และ SO_2 มีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาเร่งด่วนสูงกว่าช่วงเวลาปกติ และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นมีค่าเฉลี่ยระดับมลพิษ NO_2 , O_3 และ SO_2 สูงกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

6. ระยะเวลาการปล่อยมลพิษตั้งต้น O_3 มีผลต่อความเข้มข้นของ O_3 จากทางพิเศษหรือถนนโดยระยะเวลาภายหลังการปล่อยมลพิษ 1-5 ชั่วโมงพบว่าตัวแปรปริมาณจราจรโดยเฉพาะรถบรรทุกขนาดเล็กมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นของ O_3 ในขณะที่ความเข้มข้นของ O_3 ภายหลังการปล่อยมลพิษ 6 ชั่วโมง จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ O_3 ที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษตั้งต้นกับระดับของ O_3 ในเวลาหลังจากการเกิดมลพิษตั้งต้น

7. ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศบริเวณใกล้ทางพิเศษหรือถนนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศในพื้นที่ แต่จะมีความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดบางตัวแปร คือ CO และ SO_2 ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศบริเวณใกล้ทางพิเศษหรือถนนซึ่งอาจมีสาเหตุจากการรบกวนจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ ที่อยู่ใกล้สถานีตรวจวัด

8. ปริมาณจราจรบนถนนประดิษฐ์มูธรรมมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศสูงกว่าปริมาณจราจรบนทางพิเศษฉลองรัช และค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรบนถนนประดิษฐ์มูธรรมมีมากกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรบนทางพิเศษฉลองรัชถึง 5 เท่า จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณจราจรบนถนนมีอิทธิพลกับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศบริเวณใกล้ทางพิเศษมากกว่าปริมาณจราจรบนทางพิเศษที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า ดังนั้นการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศจึงต้องพิจารณาแหล่งกำเนิดจากทั้งทางพิเศษและถนนควบคู่กันไป

9. ปริมาณจราจรรวมทั้ง 3 กรณีคือบนทางพิเศษ บนถนน และบนทางพิเศษรวมกับถนน มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่ศึกษาในกรณี 24 ชั่วโมง มากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ โดยปริมาณจราจรรวมทั้ง 3 กรณีสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมากกว่าปริมาณจราจรแยกตามประเภทพาหนะ แต่ปริมาณจราจรแยกตามประเภทพาหนะจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศทุกช่วงเวลา รวมถึงภายหลังการปล่อย O_3 ชั่วโมงที่ 1-6 โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ในลักษณะทิศทางเดียวกันคือปริมาณจราจรแยกตามประเภทพาหนะเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในภาพรวมสรุปได้ว่าการพิจารณาปริมาณจราจรรวมเป็นตัวแปรมีทั้งข้อดีและข้อด้อยเมื่อเทียบกับการพิจารณาปริมาณจราจรแยกตามประเภท

7.1.2 แบบจำลองและการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว

ผลการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงสถิติสำหรับทำนายค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษคลองรัช พบว่ามลพิษที่มีข้อมูลเพียงพอในการศึกษาและได้แบบจำลองที่เชื่อถือได้ มี 3 ชนิด ได้แก่ CO, NO₂, และ O₃ โดยแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายมลพิษทั้งสามชนิดมีค่า Adjusted R² อยู่ในช่วง 0.441 ถึง 0.621 ช่วง 0.583 ถึง 0.797 และช่วง 0.716 ถึง 0.771 ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด 12 แบบจำลอง เพื่อพัฒนาเป็นแบบจำลองความน่าจะเป็น และทำการจำลองเหตุการณ์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหวของแบบจำลองที่ได้ รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้ประโยชน์ โดยพบว่าแบบจำลองความน่าจะเป็นมีข้อได้เปรียบแบบจำลองปกติในแง่ที่สามารถให้ผลทางสถิติที่ละเอียดกว่าและสามารถรองรับการจำลองเหตุการณ์เพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์เฉพาะที่ตั้งขึ้น ผลการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว มีข้อสรุปที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของแต่ละมลพิษพบว่าสมการในการพยากรณ์ CO กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุด ในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนสูงที่สุด สมการ NO₂ กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนบ่ายมีค่าความไม่แน่นอนสูงที่สุด และสมการ O₃ กรณี 24 ชั่วโมงมีค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุดในขณะที่กรณีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้ามีค่าความไม่แน่นอนสูงที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของความไม่แน่นอนในการทำนาย CO NO₂ และ O₃ มีค่าเท่ากับ 0.028 ppm, 0.001 มก./ลบ.ม. และ 0.133x10⁻³ ppm. ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนจากการทำนายมลพิษแต่ละประเภทพบว่าแบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้ทำนายมลพิษ NO₂ ด้วยความไม่แน่นอนสูงกว่าการทำนาย O₃ และ CO ตามลำดับ ซึ่งมีสาเหตุมาจากตัวแปรอิสระในแต่ละสมการมีจำนวนและชนิดแตกต่างกันและมีความแปรปรวนของข้อมูลของตัวแปรมากน้อยแตกต่างกันด้วย แต่อย่างไรก็ดีจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของความไม่แน่นอนของทั้ง 3 มลพิษมีค่าน้อยมาก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสมการที่ได้จากการศึกษานี้มีความแน่นอนสูง

2. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแต่ละมลพิษพบว่าปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลในการทำนายค่า CO คือความเร็วรถ LOGของปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล LOGของระดับความเข้มข้นของ NO₂ จากสถานีตรวจวัด LOGของระยะห่างจากทางพิเศษ และLOGของอุณหภูมิ สมการ NO₂ ได้แก่ LOGของปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล LOGของระยะห่างจากทางพิเศษ อุณหภูมิLOGของระดับความเข้มข้นของ SO₂ และระดับความเข้มข้นของ NO₂ จากสถานีตรวจวัด โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดของทั้ง 3 กรณีคือตัวแปรระดับความเข้มข้นของมลพิษจากสถานีตรวจวัด และสมการ O₃ ได้แก่ตัวแปรอุณหภูมิซึ่งประกอบด้วย ทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิ และตัวแปรLOGของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถบรรทุกขนาดเล็ก ความเร็วรถ และLOGของระดับความเข้มข้นของ NO₂ และ CO จากสถานี

ตรวจวัด และจากการตรวจสอบปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อการทำนายค่าของ 3 มลพิษส่วนใหญ่คือตัวแปรความเร็วรถ LOG ของปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล LOG ของระดับความเข้มข้นของ NO_2 จากสถานีตรวจวัด LOG ของระยะห่างจากทางพิเศษ และ LOG ของอุณหภูมิ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าตัวแปรปริมาณจราจรมีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ระดับความเข้มข้นของมลพิษทั้ง 3 คือ LOG ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ในขณะที่ LOG ของรถบรรทุกจะมีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของ CO และ O_3 และระดับความเข้มข้นของมลพิษจากสถานีตรวจวัดส่วนใหญ่มีอิทธิพลต่อระดับความเข้มข้นของมลพิษบริเวณริมทางพิเศษ โดยหากมีระดับเพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับความเข้มข้นของมลพิษริมทางพิเศษเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการศึกษานี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจึงมีข้อจำกัดเรื่องข้อมูล และจำนวนสถานีตรวจวัดมลพิษทางอากาศ ดังนั้นในการศึกษาในอนาคต ควรมีการรวบรวมข้อมูล และตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา และสถานีตรวจวัดมลพิษทางอากาศให้ได้มากที่สุดเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ได้

2. ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากจุดตรวจวัดมลพิษทางอากาศของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และสถานีตรวจวัดมลพิษของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งบางจุดตรวจวัดตั้งอยู่ใกล้แหล่งชุมชนทำให้ข้อมูลคุณภาพอากาศบางจุดอาจมีอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษอื่นซึ่งไม่ได้มาจากทางพิเศษหรือถนนเลียบบทางพิเศษเท่านั้น ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ในอนาคต ควรเลือกจุดตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่ไม่มีมลพิษทางอากาศจากแหล่งอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อผลการศึกษา

3. นอกจากการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานดังที่ได้นำเสนอไปแล้ว กระบวนการการพัฒนาแบบจำลองและการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยนี้สามารถเป็นต้นแบบในการนำไปใช้งานกับกรณีการศึกษามลพิษทางอากาศในโครงการทางพิเศษสายอื่นๆ หรือการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

รายการอ้างอิง

กรมการขนส่งทางบก, (2547). รายงานสถิติประจำปี 2546.

กรมควบคุมมลพิษ, (2543). ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและเสียงในประเทศไทย พ.ศ.

2543. ฉบับหลัก. กรุงเทพมหานคร.

กรมควบคุมมลพิษ, (2544). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2544.**

กรมควบคุมมลพิษ, (2545). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2545.**

กรมควบคุมมลพิษ, (2546). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2546.**

กรมควบคุมมลพิษ, (2547). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2547.**

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2546). รายงานการศึกษาและติดตามตรวจสอบผลกระทบ
สิ่งแวดล้อมของทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549). ร่างรายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการ
ทางด่วนสายทางพิเศษศรีรัช-ดาวคะนอง. มกราคม 2449

เกศินี วิฑูรชาติ ธเนตร นรภูมิพิทักษ์ สุภกิจ ศรีกาญจนา และศรีสมรค์ อินทจันทร์ยัง, (2543).

การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

ธีระศักดิ์ อัจฉนนท์. (2546). **ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์.** กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์.

นภาพร พานิช แสงสัน พานิช วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี, (2547).

ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร.

นิพนธ์ ตั้งธรรม (2544). **พื้นฐานการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมแบบ
ผสมผสาน.** เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราวุธ เสือดี, (2541). **การศึกษามลภาวะทางอากาศในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.**

วราวุธ เสือดี, (2543). **ความรู้เบื้องต้นมลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียงและการตรวจวัด วิเคราะห์:**

ในเอกสารประกอบการอบรม วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ พัฒนา มูลพฤกษ์ และธำรงค์รัตน์ มุ่งเจริญ, (2541). **การป้องกันและ**

ควบคุมมลพิษ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวพันธ์ ชูอินทร์, (2544). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ในถนนที่มีลักษณะคล้ายอุโมงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุจิต กรุจิต และ ธีญรัตน์ กรุจิต, (2548). ระดับมลพิษอากาศใกล้ทางพิเศษ: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่สถานะต่างๆ กัน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 29 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2549.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ, (2547). รายงานสถิติปี 2546.

A. Karppinen et al., (2000). **A Modelling System for Predicting Urban Air Pollution : Model Description and Application in the Helsinki Metropolitan Area.** Journal Atmospheric Environmental 34 (2000): 3723-3733.

Andrias, A., Samaras, Z., Zachariadis, Th., Zierock, K.-H., (1993). **TNO/EURASAP workshop on the reliability of VOC emission databases,** Delft.

Avramidis, A. N., and J.R. Wilson., (1995). **Correlation induction techniques for estimating quantiles in simulation experiments.** In Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, ed. C. Alexopoulos, K. Kang, W. Lilegdon, and D. Goldsman, 268-277. Piscataway, New Jersey: Intitutes of Electrical and Electronics Engineers.

Avramidis, A. N., and J.R. Wilson., (1996). **Correlation induction techniques for estimating quantiles in simulation experiments.** Technical Report, Department of Industrial Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.

Beven K. and Binley A., (1992). **The future of distributed models-model calibration and uncertainty prediction.** Hydrological Processes, 6:279-298 (1992).

Brechler, J., (2000). **Model Assessment of Air Pollution in Prague.** Dept.of Meteorlogy and Env.Protection, Faculty of Math. and Phys., Charles University.

Chakravarti, Laha, and Roy., (1967). **Handbook of Methods of Applied Statistics,** Volume I, John Wiley and Sons, pp. 392-394.

Chan L.Y. and Helen W.Y. Wu., (1992). **Microenvironmental Field Measurement of Traffic Air Pollution in HONG KONG.** Intl.Conf.Env.Protection & Control Technology (42EPCT).

Cox, D.C. and Baybutt, P., (1981). **Methods for Uncertainty Analysis: A Comparative Survey.** Risk Analysis, Vol. 1, No. 4, pp. 251-258.

- Cox, M. G., Dainton, M. P., Harris, P. M., (2001). **Software Specifications for Uncertainty Calculation and Associated Statistical Analysis**; NPL Report CMSC 10/01.
- Dabberdt, W.F., Miller, E., (2000). **Uncertainty, ensembles and air quality dispersion modeling: applications and challenges**. Atmospheric Environment 31, 3753-3761.
- de Nevers, N., (2000). **Air Pollution Control Engineering** (2 nd ed). Singapore: McGraw-Hill.
- Freeman, D.L., Egami, R.T., Robinson, N.F., and Watson, J.G., (1986). **A method for propagating measurement uncertainties through dispersion models**. Journal of the Air Pollution Control Association 36, 246-253.
- Frey, H.C., Burmaster, D.E., (1999). **Risk Analysis** 19, 109.
- H. Christopher Frey., (1992). **Identification and Review of Sensitivity Analysis Method**. North Carolina State University.
- Hanna, S.R.; Lu, Z.; Frey, H.C.; Wheeler, N.; Vukovich, J.; Arumachalam, S.; and Fernau, M., (2001). **Uncertainties in Predicted Ozone Concentration Due to Input Uncertainties for UAM-V Photochemical Grid Model Applied to the July 1995 OTAG Domain**. Atmos. Environ. 35, 891-903.
- Helton J.C., (1993). **Uncertainty and Sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal**. Reliability Engineering and System Safety, 42:327-367
- J. Neter, Nachtsheim, C.J., Wasserman, W., and Kutner, M.H., (1996). **Applied Linear Statistical Models**. U.S.
- Jorgensen, S.E., (1998). **Fundamental of Ecological Modelling Development In Environmental Modelling 9**. Else vies, Amsterdam.
- Karppinen A., Kukkonen J., Elolähde T., Konttinen M., Koskentalo T., and Rantakrans E., (2000). **A modeling system for predicting urban air pollution: model description and application in the Helsinki metropolitan area**. Atmospheric Environment 34, 3723-3733.
- Keary, J., Jennings, S.G., O'Connor, T.C., McManus, B., Lee, M., (1998). **PM10 Concentration measurement in Dublin city**. Environmental Monitoring and Assessment 52, 3-18.
- Law, A.M and W.D. Kelton., (1991). **Simulation Modeling and Analysis**. 2nd ed. New York: McGraw Hill.

- Liping Xia and Yaping Shao., (2005). **Modelling of traffic flow and air pollution emission with application to Hong Kong Island**. Environmental Modelling & Software 20, 1175-1188.
- Magne Alderin and Ingrid Hobaek Haff., (2005). **Generalised additive modeling of air pollution, traffic volume and meteorology**. Atmospheric Environmental 39, 2145-2155.
- Mäkelä K., Kanner H., and Laurikko J., (1996). **Road traffic exhaust gas emissions in Finland-LIISA 95 calculation software**. (in Finnish). VTT Communities and Infrastructure, Transport Research, Research Notes 1772, Technical Research Center of Finland, Espoo, 45pp. + App. 51pp.
- McKay, M. D., R. J. Beckman, and W. J. Conover., (1979). **A Comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code**. Technometrics 21 (2): 239-245.
- Mirjam C. Roorda-Knape, Nicole A. H. Janssen, Jeroen J. De Hartog, Patricia H.N. Van Vliet, Hendrik Harssema and Bert Brunekreef., (1998). **Air Pollution from Traffic in City Districts Near Major Motorways**. Department of Environmental Sciences, Environmental and occupation Health Unit, University of Wageninge, Netherlands.
- Morgan M.G. and Herion M., (1990). **Uncertainty : a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis**. Cambridge University Press, New York.
- Nicolas L. Gillbert, Sandy Woodhouse, David M. Stieb, and Jeffrey R. Brook., (2003). **Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway**. The Science of the Total Environment 312, 43-46.
- Owen A. B., (1998). **Monte Carlo extension of quasi-Monte Carlo**. In Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, ed. D. J. Medeiros, E. F. Watson, J. S. Carson, and M. S. Manivannan, 571-577. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Rene Val R. T., (1996). **Empirical Analysis On the Relationship Between Air Pollution and Traffic Flow Parameters**. MSCE: http://www.up-ncts.org.ph/thes_abs/teodoro.html
- Roorda-Knape MC, Janssen NAH, de Hartog J, van Vliet PHN, Harssema H, and Brunekreef B., (1999). **Traffic related air pollution in city districts near freeways**. Sci Total Environ 235, 339-341.

- Saltelli A., Chan K. & Scott E.M., (2000). **Sensitivity analysis**. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Sargent, R. and Wainwright, E., (1996). **Crystal Ball Version 4.0 User Manual**. Decisioneering.
- Schmitt, G., (1997). **Monte-Carlo-Design geodätischer Netze**; AVN(84), 87-94, Heft 3/1977.
- Schwenke, H., (1999). **Abschätzung von Meßunsicherheiten durch Simulation an Beispielen aus der Fertigungsmeßtechnik; PTB-Bericht: F-36**.
- Slini TH., Karatzas K., and Paradopoulos A., (2002). **Regression Analysis and Urban Air Quality Forecasting: An Application for the City of ATHENS**. Global Nest: the Int. J. Vol 4, No 2-3, pp 153-162 .
- Snedecor, George W. and Cochran, William G., (1989). **Ststistical Methods**, Eighth Edition, Iowa State University Press.
- Stiris Vardoulakis, Bernard, E.A. Fisher, Norbert Gonzalez-Flesca, and Koulis Pericleous., (2002). **Model sensitivity and uncertainty analysis using roadside air quality measurements**. Atmospheric Environment 36, 2121-2134.
- Stein, M., (1987). **Large sample properties of simulations using Latin hypercube sampling**. Technometrics 29, 143-151.
- Stephens, M. A., (1974). **EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Compaisons**, Journal of the American Statistical Association, Vol. 69, pp. 730-737.
- Sudjit Karuchit., (2002). **Assessment of Comulative risk from pesticides with the scenario-model-parameter uncertainty analysis**. Lllinois Institute of Technology.
- Transportation Research Board, (1981). **Methodology for Evaluating Highway Air Pollution Dispersion Models**. NCHRP Report No.245, National Research Council.
- Turban, Efraim, and Jaye Arosen., (1998). **Decision Support Systems and Intelligent Systems**. Fifth Edition, N.J.:Prentice-Hall, Inc.
- U.S. EPA. (1997b). **Guiding principles for Monte Carlo Analysis**. Risk Assessment Forum, EPA/630/R-97/001.
- Yadav, A.K., Sharan, M., (1996). **Statistical evaluation of sigma schemes forestimating dispersion in low wind condition**. Atmospheric Environmental 30 (14), 2595-2606.
- Yegnan. A., Williamson. D.G. and Graettinger. A.J., (2002). **Uncertainty analysis in air dispersion modeling**. Environmental Modelling & Software.

ภาคผนวก ก

รายละเอียดพื้นฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย

รายละเอียดพื้นฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) การวิเคราะห์ความถดถอย เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวแปร กับ ตัวแปรอิสระตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไปโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณการค่าของตัวแปรตามเมื่อได้ทราบค่าของตัวแปรอิสระแล้ว โดยการวิเคราะห์ความถดถอยจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายนี้มีตัวแปรอิสระ x เพียงตัวแปรเดียว และมีตัวแปรตาม y เพียงตัวเดียวเช่นกัน ข้อมูลตัวอย่างสุ่มสามารถเขียนออกมาได้ในรูปของคู่อันดับ (x_i, y_i) โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ถ้าสมมติว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมด $\mu_{y/x}$ อยู่บนเส้นตรง ตัวแปรสุ่ม $y_i = y/x_i$ สามารถเขียนได้ด้วยตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายดังนี้

$$y = a + \beta x + \varepsilon$$

โดยที่ y เป็นตัวแปรตามซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม x เป็นตัวแปรอิสระซึ่งถูกกำหนดเป็นค่าคงตัว a และ β เป็นระยะตัดแกน y และความชันซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของเส้นถดถอยหรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ε เป็นความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม

2. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) จะต่างจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือจะมีตัวแปรอิสระ x หลายตัวแปร หรืออาจกล่าวได้ว่ามีตัวแปรอิสระหลายตัวที่มีอิทธิพลต่อ y รูปแบบของสมการคือ

$$y = a + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

โดยที่สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณนั้น จะเป็นการประมาณสมการความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอย

เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการสร้างสมการเส้นถดถอยขึ้นมาก็เพื่อประมาณหรือพยากรณ์ตัวแปรที่ต้องการศึกษา ดังนั้น เพื่อความมั่นใจว่าสมการเส้นถดถอยที่สร้างขึ้นมานั้น

สามารถนำไปประมาณหรือพยากรณ์ตัวแปรที่เราต้องการศึกษาได้จริงจึงต้องมีการทดสอบโดยอาศัยค่าสถิติต่างๆ ได้แก่

1. สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจหมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ ดังนั้นถ้า R^2 มีค่ามากกว่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันมากหรือ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้มากโดยที่

$$R^2 = \frac{\text{ความแปรปรวนของ Y ที่เกิดจาก X}}{\text{ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด}}$$

$$\text{หรือ} = \frac{SSR}{SST}$$

ดังนั้น $0 \leq R^2 \leq 1$ เนื่องจาก $SST > SSR$

คุณสมบัติของ R^2

1. R^2 จะไม่มีหน่วย
2. ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลง Y มีค่ามากหรือ X และ Y มีความสัมพันธ์กันมากแต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่าน้อย

2. การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น

สมมติฐานหรือเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยมี 4 ข้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน (error or residual) ในการนำสมการที่ได้ไปใช้งานจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยกับค่าคลาดเคลื่อนดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนจะต้องเท่ากับเท่ากับศูนย์
2. การตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน โดยการพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่า Y ซึ่งหากพบว่า

2.1. ค่าคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบๆ ศูนย์หรือค่าคลาดเคลื่อนมีค่าช่วงใดช่วงหนึ่งแคบๆ ไม่ว่า Y จะเปลี่ยนไปอย่างไรในกรณีนี้ถือว่าค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่และมีความสัมพันธ์กับ Y แบบจำลองที่ได้จึงมีความเหมาะสม

2.2. กรณีที่ค่า Y เพิ่มขึ้นหรือลดลงค่าความคลาดเคลื่อนก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วยแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนมากหรือค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จึงไม่เหมาะสม

3. ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระกัน

4. ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

3. การเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย

การคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นการหา รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวกับตัวแปรอิสระหลายตัวและสร้างเป็นสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม เมื่อมีตัวแปรอิสระหลายตัว สมการที่สร้างขึ้นจะมีได้หลายสมการ แล้วแต่ว่าจะมีการคัดเลือกตัวแปรอิสระตัวใดเข้าสมการบ้าง ถ้าทุกตัวแปรอิสระเข้าสมการอาจมีปัญหาตัวแปรอิสระด้วยกันบางคู่มีความสัมพันธ์กันเอง (autocorrelation) ทำให้สมการถดถอยที่ได้ใช้พยากรณ์และประมาณค่าตัวแปรตามได้ไม่ดีเท่าที่ควร และยังอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลามากขึ้นเมื่อนำสมการถดถอยนั้นไปใช้ เพราะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลมากขึ้น โดยไม่จำเป็น สมการถดถอยที่ดีที่สุดประกอบด้วยตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณหรือความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ คือเป็นตัวพยากรณ์ตัวแปรตามที่ดีที่สุด ซึ่งกระบวนการในการคัดเลือกตัวแปรนั้น ต้องอาศัยแนวคิดของสหสัมพันธ์บางส่วนซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระตัวหนึ่ง เมื่อขจัดอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่นออกไปแล้ว วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย เพื่อให้ได้สมการมีหลายวิธี กรณีที่ใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์จะมี 5 วิธีคือ

1. การคัดเลือกเข้า (Forced entry or Enter) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการด้วยการวิเคราะห์เพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นการคัดเลือกโดยใช้วิจารณญาณของนักวิจัยเองว่าจะเลือกตัวแปรอิสระตัวใดบ้างเข้าสมการ เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกตัวแปรอิสระมาศึกษา เมื่อคัดเลือกและเก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้วควรวิเคราะห์สถิติพื้นฐานและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อน และใช้ค่าสถิติพื้นฐานโดยเฉพาะค่าความแปรปรวน หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระและระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยกัน ในการเลือกควรเลือกตัวแปรที่มีความแปรปรวนมากๆ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระมีค่าสูงๆ และมีนัยสำคัญ แต่กับระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยกันมีค่าน้อยๆ และไม่มีนัยสำคัญ เมื่อคัดเลือกได้แล้วจะใช้ตัวแปรอิสระทุกตัวที่เลือก วิเคราะห์พร้อมกันทุกตัวแปรอิสระเข้าสมการทั้งหมด ดังนั้นวิธีนี้จึงได้เพียงสมการเดียว

2. การคัดเลือกออก (Forced removal or Remove) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย ในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับวิธีการคัดเลือกเข้า โดยมีการสร้างสมการถดถอยก่อน แล้วนำตัวแปรอิสระที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดออกจากสมการในขั้นตอนเดียว

3. การคัดเลือกเพิ่มหรือเดินหน้า (Forward entry of Forward) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย โดยการเริ่มนำตัวแปรอิสระเข้าสมการทีละตัว โดยนำตัว

แปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุดและมีนัยสำคัญที่ทดสอบด้วย t หรือ F เข้าสมการก่อน จากนั้นคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหลือเข้าสมการ โดยคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่เหลือ และทดสอบนัยสำคัญ ถ้าตัวแปรอิสระตัวใดมีนัยสำคัญก็จะคัดเลือกตัวนั้นเข้าสมการ เช่น มีตัวแปรอิสระ 5 ตัวคือ x_1, x_2, x_3, x_4 และ x_5 โดยมีตัวแปรตาม y เริ่มแรกจะหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร y กับตัวแปร x ทั้ง 5 ตัวและทดสอบนัยสำคัญ จากนั้นคัดเลือกตัวแปร x ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร y สูงสุด และมีนัยสำคัญ สมมติว่าเป็นตัวแปร x_2 ก็จะเลือกเข้าสมการเป็นตัวแรก จากนั้นนำตัวแปรอิสระที่เหลือคือ x_1, x_3, x_4, x_5 ไปหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนกับตัวแปร y ตัวแปรใดมีนัยสำคัญก็จะคัดเลือกตัวนั้นเข้าสมการ สมมติตัวแปรที่มีนัยสำคัญได้แก่ x_1 กับ x_5 ส่วน x_3 กับ x_4 ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจะได้สมการถดถอยคือ $y = a + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_5 x_5$ จุดอ่อนของวิธีการนี้คือ อาจทำให้ได้ตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการถดถอยมากเกินไป ทั้งที่สามารถตัดออกไปได้จำนวนหนึ่ง

4. การคัดเลือกถดถอยหลัง (Backward or elimination or Backward) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย ในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับวิธีการคัดเลือกเพิ่มวิธีนี้จะนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสมการก่อน แล้วคัดเลือกออกครั้งละตัว เริ่มจากสมการแรกจะตัดตัวแปรอิสระตัวที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยที่ทดสอบด้วย t หรือ Partial F -test แล้วไม่มีนัยสำคัญออกก่อน จากนั้นนำตัวแปรอิสระที่เหลือไปวิเคราะห์และสร้างสมการใหม่ แล้วตัดตัวแปรอิสระตัวที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยที่ไม่มีนัยสำคัญออกอีก ทำเช่นนี้เรื่อยๆ ไปจนสัมประสิทธิ์ถดถอยของทุกตัวแปรอิสระมีนัยสำคัญ จะได้สมการถดถอยที่เหมาะสมและให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจพหุคูณสูงสุด แต่วิธีนี้มีข้อเสียที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีการคัดเลือกเพิ่ม

5. การคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise selection or Stepwise) วิธีนี้เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอยด้วยกระบวนการที่ผสมกันระหว่างวิธีแบบเพิ่มและแบบลด ทั้งนี้เพื่อเป็นการแก้จุดอ่อนทั้งสองวิธีข้างต้น เป็นวิธีที่นิยมกันมากจะเริ่มนำตัวแปรอิสระเข้าสมการครั้งละตัว โดยนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุดและมีนัยสำคัญทดสอบด้วย t หรือ F เข้าสมการก่อน และการคัดเลือกตัวแปรอิสระตัวที่ 2 เข้าสมการจะหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่เหลือ คัดเลือกตัวแปรอิสระตัวที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนสูงสุดและมีนัยสำคัญเข้าสมการ นำตัวแปรอิสระตัวเดิมกับตัวใหม่ไปหาสัมประสิทธิ์บางส่วนกับตัวแปรตาม และทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์ถดถอยด้วย Partial F -test ถ้ามีนัยสำคัญก็นับเข้าสมการได้ การที่ต้องกลับไปหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระเดิมและตัวใหม่ เพราะต้องการงัดอิทธิพลของตัวแปรอิสระตัวเดิมที่อาจจะไม่เหมาะสม หากนำตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้าสมการ และป้องกันตัวแปร

อิสระตัวเดิมกับตัวใหม่มีความสัมพันธ์กัน การคัดเลือกจะกระทำเช่นนี้จนกว่าจะไม่มีตัวแปรใด
ได้รับการคัดเลือกเข้าและคัดเลือกออกอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก ข

สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง
กรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

ตารางที่ ข1 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง

กรณีศึกษา	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 7.910 - 1.212LOG(DFE) + 1.465E-02(CV1) - 4.386LOG(T)	201	0.321	0.034	0.677	0.465	1.232	0.042	0.458	0.349	60
1	Backward	CO = 10.025 - 6.333LOG(T) - 1.056LOG(DFE) + 1.107LOG(C1) - 0.892LOG(LB1) + 1.344E-02(CV1)	132	0.353	0.006	0.661	-0.030	1.011	0.864	0.437	0.343	60
1	Stepwise	LOG(CO) = 3.376 - 0.343LOG(DFE) + 0.197LOG(C1) - 2.298LOG(T)	164	0.222	0.006	0.319	-0.053	1.052	0.000	0.102	1.221	60
1	Backward	LOG(CO) = 3.954 - 2.721LOG(T) - 0.312LOG(DFE) + 0.517LOG(C1) - 0.338LOG(LB1)	164	0.233	0.090	0.318	-0.043	1.059	0.000	0.101	4.317	60
2	Stepwise	CO = 11.102 - 0.829LOG(DFE) - 1.86E-02(CV2) - 4.953LOG(T)	135	0.271	0.006	0.665	0.123	1.033	0.000	0.442	0.461	60
2	Backward	CO = 11.950 - 6.33LOG(T) - 0.779LOG(DFE) + 0.577LOG(C2) - 0.303LOG(MC2) - 1.90E-02(CV2)	131	0.291	0.005	0.656	0.109	1.042	0.000	0.430	0.479	60
2	Stepwise	LOG(CO) = 3.556 - 0.341LOG(DFE) - 7.14E-03(CV2) - 1.737LOG(T)	135	0.190	0.036	0.327	0.219	0.989	0.000	0.107	1.102	60
2	Backward	LOG(CO) = 3.556 - 0.341LOG(DFE) - 7.14E-03(CV2) - 1.737LOG(T)	135	0.190	0.019	0.327	0.029	0.989	0.000	0.107	1.102	60
3	Stepwise	CO = 10.245 - 0.887LOG(DFE) - 5.173LOG(T)	430	0.224	0.005	0.680	0.139	1.097	0.022	0.463	0.373	60
3	Backward	CO = 11.076 - 6.977LOG(T) - 0.820LOG(DFE) + 1.199LOG(C3) - 0.751LOG(LB3)	164	0.254	0.088	0.668	0.061	1.057	0.001	0.446	0.416	60
3	Stepwise	LOG(CO) = 3.048 - 0.348LOG(DFE) - 2.168LOG(T) + 0.191LOG(C3)	164	0.182	0.040	0.329	-0.037	1.033	0.000	0.108	1.273	60
3	Backward	LOG(CO) = 3.048 - 0.348LOG(DFE) - 2.168LOG(T) + 0.191LOG(C3)	164	0.182	0.040	0.329	-0.037	1.033	0.000	0.108	3.515	60

หมายเหตุ

กรณีศึกษา 1 = บนทางพิเศษ

กรณีศึกษา 2 = ถนนประดิษฐ์มูธรรม

กรณีศึกษา 3 = บนทางพิเศษร่วมกับถนนประดิษฐ์มูธรรม

ตารางที่ ข2 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ NO₂ กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 0.291 - 1.35E-02LOG(DFE) - 0.181LOG(T) + 9.931E-03LOG(C1)	165	0.403	0.015	0.000	0.156	1.117	0.321	0.000	0.000	60
1	Backward	NO ₂ = 0.291 + 9.931E-03LOG(C1) - 0.181LOG(T) - 1.35E-02LOG(DFE)	165	0.403	0.002	0.000	0.156	1.117	0.307	0.000	0.000	60
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.828 - 0.248LOG(DFE) + 3.295E-03(CV1) + 9.410E-02LOG(LB1)	133	0.444	0.003	0.122	-0.115	0.990	0.000	0.015	3.932	60
1	Backward	LOG(NO ₂) = -0.317 - 0.904LOG(T) - 7.74E-02LOG(WD) - 0.224LOG(DFE) + 0.110LOG(C1) - 2.372E-03(CV1)	132	0.473	0.025	0.118	-0.047	0.991	0.000	0.014	4.254	60
2	Stepwise	NO ₂ = 0.121 - 9.93E-03LOG(DFE) + 1.022E-02LOG(LB2) - 6.66E-02LOG(T) - 5.89E-03LOG(WD)	164	0.378	0.011	0.000	-0.067	0.962	0.007	0.000	0.000	60
2	Backward	NO ₂ = 0.121 + 1.022E-02LOG(LB2) - 6.66E-02LOG(T) - 5.89E-03LOG(WD) - 9.93E-03LOG(DFE)	164	0.378	0.000	0.000	-0.067	0.962	0.007	0.000	0.000	60
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = -0.618 - 0.160LOG(DFE) + 0.178LOG(LB2) - 0.764LOG(T) - 7.66E-02LOG(WD)	164	0.390	0.038	0.122	-0.073	0.972	0.000	0.015	2.564	60
2	Backward	LOG(NO ₂) = -0.618 - 0.160LOG(DFE) + 0.178LOG(LB2) - 0.764LOG(T) - 7.66E-02LOG(WD)	164	0.390	0.000	0.122	-0.073	0.972	0.000	0.015	2.564	60
3	Stepwise	NO ₂ = 0.132 - 1.01E-02LOG(DFE) + 4.115E-03LOG(HB3) - 7.74E-02LOG(T) + 8.856E-03LOG(C3) - 6.73E-03LOG(WD)	156	0.417	0.004	0.000	0.013	0.998	0.003	0.000	0.000	60
3	Backward	NO ₂ = 0.133 - 7.97E-02LOG(T) - 7.34E-03LOG(WD) - 1.03E-02LOG(DFE) + 1.221E-02LOG(C3) + 6.573E-03LOG(HB3) - 4.40E-06(MC3)	139	0.436	0.066	0.000	-0.078	0.995	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -0.575 - 0.172LOG(DFE) + 0.117LOG(LB3) + 6.667E-02LOG(HB3) - 9.23E-02LOG(WD) - 0.726LOG(T)	156	0.427	0.028	0.118	0.003	1.026	0.000	0.014	2.552	60
3	Backward	LOG(NO ₂) = -0.447 - 0.903LOG(T) - 0.103LOG(WD) - 0.173LOG(DFE) + 0.184LOG(C3) + 0.124LOG(HB3) - 9.59E-02LOG(HT3) - 6.42E-05(MC3)	139	0.464	0.083	0.118	-0.091	0.971	0.000	0.014	2.587	60

ตารางที่ ข3 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง

กรณีศึกษา	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = 4.695E-03 + 3.621E-03LOG(HB1) - 3.23E-03(WS) + 2.451E-05(DFE)	117	0.490	0.002	0.000	0.183	1.211	0.788	0.000	0.000	43
1	Backward	O ₃ = -3.36E-03 + 2.366E-05(WD) - 5.21E-03(WS) + 3.031E-05(DFE) + 4.545E-03LOG(C1)	164	0.549	0.001	0.000	-0.137	1.559	0.815	0.000	0.000	43
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.354 + 0.237LOG(HB1) - 0.206(WS) + 1.087E-03(DFE)	117	0.556	0.010	0.161	0.160	1.305	0.000	0.026	5.655	43
1	Backward	LOG(O ₃) = -1.387 - 3.82E-02(T) - 0.254(WS) + 1.841E-03(DFE) + 0.416LOG(C1) - 5.15E-03(CV1)	133	0.616	0.049	0.148	0.194	1.652	0.000	0.022	4.901	43
2	Stepwise	O ₃ = 6.802E-02 + 6.629E-03LOG(LB2) - 5.56E-02LOG(T) + 1.256E-05(DFE)	165	0.464	0.002	0.000	-0.026	1.022	0.011	0.000	0.000	43
2	Backward	O ₃ = 6.802E-02 - 5.56E-02LOG(T) + 1.256E-05(DFE) + 6.629E-03LOG(LB2)	165	0.464	0.000	0.000	-0.026	1.022	0.011	0.000	0.000	43
2	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.264 + 0.446LOG(LB2) + 4.39E-02(T)	165	0.508	0.000	0.187	-0.016	1.001	0.000	0.035	0.355	43
2	Backward	LOG(O ₃) = -2.416 - 3.95E-02(T) - 0.245LOG(C2) + 0.631LOG(LB2)	165	0.519	0.000	0.187	-0.035	1.005	0.000	0.035	6.519	43
3	Stepwise	O ₃ = 6.339E-02 + 5.762E-03LOG(LB3) - 5.30E-02LOG(T) + 1.140E-05(DFE) + 1.569E-03LOG(HB3)	157	0.468	0.041	0.000	0.008	0.990	0.005	0.000	0.000	43
3	Backward	O ₃ = 6.339E-02 + 5.762E-03LOG(LB3) - 5.30E-02LOG(T) + 1.140E-05(DFE) + 1.569E-03LOG(HB3)	157	0.468	0.041	0.000	0.008	0.990	0.005	0.000	0.000	43
3	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.133 - 3.86E-02(T) - 0.316LOG(C3) + 0.680LOG(LB3)	165	0.521	0.000	0.184	-0.054	1.007	0.000	0.034	5.156	43
3	Backward	LOG(O ₃) = -2.133 - 3.86E-02(T) - 0.316LOG(C3) + 0.680LOG(LB3)	165	0.521	0.000	0.184	-0.054	1.007	0.000	0.034	5.156	43

ตารางที่ ข4 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลา เร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 3.828 - 1.951LOG(DFE) + 1.129E-02(WD)	54	0.362	0.024	0.800	-0.066	1.153	0.004	0.640	0.451	6
1	Backward	CO = 4.917 + 7.879E-03(WD) - 0.950(WS) + 0.175(MC1) - 3.09E-02(CV1)	19	0.355	0.039	0.804	0.000	0.882	0.011	0.646	0.677	6
1	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(CO) = -0.968 + 0.456LOG(WD) + 4.077E-02(MC1)	21	0.173	0.092	0.305	0.037	0.933	0.000	0.093	4.300	6
2	Stepwise	CO = 3.828 - 1.951LOG(DFE) + 1.129E-02(WD)	54	0.362	0.024	0.800	-0.066	1.153	0.004	0.640	0.451	6
2	Backward	CO = 2.932 + 1.249E-02(WD) - 1.732LOG(DFE) + 1.358E-02(HT2)	21	0.459	0.068	0.737	0.029	0.887	0.027	0.543	0.670	6
2	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	CO = 2.677 + 1.433E-02(WD) - 1.908LOG(DFE) + 1.485E-02(HT3)	21	0.537	0.054	0.740	0.281	0.961	0.031	0.548	1.188	6
3	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(CO) = 0.578 + 0.606LOG(WD) - 0.624LOG(DFE) - 0.304LOG(HB3)	21	0.435	0.057	0.253	0.008	0.896	0.000	0.064	3.599	6

ตารางที่ ข5 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณี ใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ NO₂ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณีศึกษา	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 6.268E-02 - 1.84E-02LOG(DFE)	54	0.319	0.033	0.000	-0.494	0.920	0.000	0.000	0.000	6
1	Backward	NO ₂ = 9.131E-02 + 1.555E-02(T) + 2.156E-04(WD) - 3.60E-02(WS) + 2.708E-02LOG(HT1) + 2.210E-03(MC1)	13	0.790	0.013	0.000	0.875	3.222	0.000	0.000	0.262	6
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.136 - 0.351LOG(DFE) + 1.801E-03(WD)	54	0.565	0.014	0.100	-0.736	1.824	0.000	0.010	2.804	6
1	Backward	LOG(NO ₂) = 1.702 + 0.144(T) + 2.299E-03(WD) - 0.416(WS) + 1.029E-02(HT1) + 2.723E-02(MC1) - 3.631LOG(CV1)	19	0.849	0.001	0.063	1.539	3.565	0.000	0.004	2.502	6
2	Stepwise	NO ₂ = 5.538E-02 - 2.18E-02LOG(DFE) + 1.202E-04(WD)	54	0.490	0.008	0.000	-0.704	1.449	0.064	0.000	0.000	6
2	Backward	NO ₂ = 0.110 + 7.980E-05(WD) - 1.30E-02LOG(DFE) + 4.175E-02LOG(C2)	19	0.741	0.004	0.000	0.000	0.850	0.000	0.000	0.048	6
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.212 - 0.293LOG(DFE) + 1.701E-03(WD)	54	0.497	0.006	0.094	-1.028	1.886	0.000	0.009	2.763	6
2	Backward	LOG(NO ₂) = -0.762 + 1.293E-03(WD) - 0.225LOG(DFE) + 0.339LOG(C2) - 0.933LOG(CV2)	19	0.690	0.014	0.071	0.000	0.882	0.000	0.005	2.392	6
3	Stepwise	NO ₂ = 5.538E-02 - 2.18E-02LOG(DFE) + 1.202E-04(WD)	54	0.490	0.008	0.000	-0.704	1.449	0.064	0.000	0.000	6
3	Backward	NO ₂ = 0.249 - 5.62E-03(T) - 2.07E-02LOG(DFE) - 8.86E-03LOG(HB3)	21	0.457	0.047	0.000	-0.080	0.904	0.044	0.000	0.000	6
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.212 - 0.293LOG(DFE) + 1.701E-03(WD)	54	0.497	0.006	0.094	-1.028	1.886	0.000	0.009	2.763	6
3	Backward	LOG(NO ₂) = 4.867 - 7.98E-02(T) - 0.185LOG(DFE) + 4.781E-05(C3) - 0.140LOG(HB3) - 1.853LOG(CV3)	19	0.608	0.057	0.084	0.000	0.850	0.000	0.007	3.273	6

ตารางที่ ข6 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณีศึกษา	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = 3.724E-03 + 2.257E-05(WD)	54	0.185	0.038	0.000	-0.177	1.755	0.000	0.000	0.000	6
1	Backward	O ₃ = -1.79E-02 + 1.823E-05(WD) + 6.103E-03LOG(WS) + 7.290E-03LOG(C1) + 3.876E-05(HB1)	21	0.472	0.075	0.000	0.336	1.367	0.012	0.000	0.000	6
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -0.265 - 9.39E-02(T) + 0.277LOG(C1)	21	0.335	0.033	0.122	0.111	0.961	0.000	0.015	4.734	6
1	Backward	LOG(O ₃) = -3.967 + 0.214LOG(WD) + 0.365LOG(WS) + 0.470LOG(LB1)	21	0.360	0.017	0.118	0.203	1.078	0.000	0.014	5.206	6
2	Stepwise	O ₃ = 3.724E-03 + 2.257E-05(WD)	54	0.185	0.038	0.000	-0.177	1.755	0.000	0.000	0.000	6
2	Backward	O ₃ = 3.724E-03 + 2.257E-05(WD)	54	0.185	0.038	0.000	-0.177	1.755	0.000	0.000	0.000	6
2	Stepwise	LOG(O ₃) = 0.498 - 9.23E-02(T)	54	0.161	0.050	0.134	-0.436	1.433	0.000	0.018	5.020	6
2	Backward	LOG(O ₃) = -2.691 + 0.234LOG(WD)	54	0.156	0.053	0.138	-0.424	1.333	0.000	0.019	5.940	6
3	Stepwise	O ₃ = 3.724E-03 + 2.257E-05(WD)	54	0.185	0.038	0.000	-0.177	1.755	0.076	0.000	0.000	6
3	Backward	O ₃ = 4.657E-02 - 1.36E-03(T)	54	0.120	0.080	0.000	-0.220	1.753	0.001	0.000	0.000	6
3	Stepwise	LOG(O ₃) = 0.498 - 9.23E-02(T)	54	0.161	0.050	0.134	-0.436	1.433	0.000	0.018	5.020	6
3	Backward	LOG(O ₃) = -2.967 + 0.342LOG(WD) + 5.450E-04(HB3)	21	0.275	0.069	0.126	-0.071	0.933	0.000	0.016	6.486	6

ตารางที่ ข7 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณี ใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนป้าย

กรณีที่	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	CO = 28.451 - 20.450LOG(T) + 1.215LOG(LB1)	16	0.388	0.011	0.281	0.000	0.931	0.111	0.079	0.741	9
1	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(CO) = 19.283 - 14.165LOG(T) - 0.240LOG(DFE) + 0.903LOG(LB1)	16	0.394	0.011	0.197	0.000	0.894	0.000	0.039	9.429	9
2	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Stepwise	CO = 1.473 - 0.516(WS)	54	0.357	0.011	0.286	1.690	2.893	0.046	0.082	0.335	9
3	Backward	CO = 34.995 - 21.913LOG(T) - 0.473LOG(HB3)	16	0.488	0.010	0.255	0.144	1.064	0.014	0.065	0.681	9
3	Stepwise	LOG(CO) = -3.43E-02 - 1.172LOG(WS)	54	0.330	0.015	0.210	0.848	1.810	0.000	0.044	1.809	9
3	Backward	LOG(CO) = -3.43E-02 - 1.172LOG(WS)	54	0.330	0.015	0.210	0.848	1.810	0.000	0.044	1.809	9

ตารางที่ ข9 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนป้าย

กรณีศึกษา	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	O ₃ = 0.500 - 0.356LOG(T) + 1.543E-04(WD) + 4.664E-03LOG(DFE) + 8.254E-03LOG(LB1) + 1.141E-02LOG(MC1) - 3.86E-05(CV1)	7	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	9
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	O ₃ = -0.104 - 0.255LOG(T) + 4.944E-05(WD) + 1.955E-02LOG(WS) + 4.884E-04LOG(DFE) + 5.960E-02LOG(LB2) - 3.68E-02LOG(HB2) + 9.982E-03LOG(HT2) + 1.405E-06(MC2) + 5.103E-03(CV2)	10	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.002	9
2	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(O ₃) = -31.969 - 18.182LOG(T) + 4.892E-03(WD) + 2.645LOG(WS) + 0.342LOG(DFE) - 1.734LOG(C2) + 8.350LOG(LB2) - 4.202LOG(HB2) + 1.815LOG(HT2) + 0.585(CV2)	10	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.923	9
3	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	O ₃ = 0.498 - 0.244LOG(T) - 1.90E-02LOG(WS) - 2.64E-03LOG(DFE) + 6.954E-03LOG(HB3) - 2.17E-02LOG(HT3) - 4.71E-02LOG(CV3)	10	0.975	0.012	0.000	0.065	1.078	0.000	0.000	0.000	9
3	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(O ₃) = 29.650 - 9.530LOG(T) + 4.169E-03(WD) - 2.472LOG(WS) - 6.84E-02LOG(DFE) - 9.69E-02LOG(LB3) + 1.246LOG(HB3) - 1.847LOG(HT3) - 3.73E-04(MC3) - 8.119LOG(CV3)	10	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.663	9

ตารางที่ ข11 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ NO₂ กรณีรวมปริมาณจราจร 24 ชั่วโมง

กรณีศึกษา	วิธีการหา	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 8.670E-02 - 1.44E-02LOG(DFE) + 2.345E-04(CV1) - 4.37E-02LOG(T)	203	0.350	0.029	0.000	0.292	1.023	0.000	0.000	1.816	60
1	Backward	NO ₂ = 0.118 - 5.73E-02LOG(T) - 4.49E-03LOG(WD) - 1.34E-02LOG(DFE) - 1.749E-06(TF1) + 1.851E-04(CV1)	132	0.374	0.000	0.000	0.000	0.981	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.872 + 0.119LOG(TF1) - 8.44E-02LOG(DFE)	121	0.273	0.006	0.105	-0.100	1.019	0.000	0.011	2.797	60
1	Backward	LOG(NO ₂) = -1.964 - 0.11LOG(DFE) + 0.108LOG(TF1) + 1.448E-03(CV1)	97	0.293	0.062	0.100	-0.032	1.023	0.000	0.010	2.926	60
2	Stepwise	NO ₂ = -4.10E-05 + 7.855E-03LOG(TF2) - 3.85E-03LOG(DFE)	121	0.289	0.007	0.000	-0.081	0.988	0.063	0.000	0.000	60
2	Backward	NO ₂ = 2.270E-02 - 4.32E-03LOG(DFE) + 7.421E-03LOG(TF2) - 1.09E-02LOG(CV2)	97	0.303	0.094	0.000	-0.026	1.012	0.412	0.000	0.000	60
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = -2.144 - 7.33E-02LOG(DFE) + 0.163LOG(TF2)	121	0.274	0.000	0.100	-0.077	1.008	0.000	0.010	2.839	60
2	Backward	LOG(NO ₂) = -2.144 - 7.33E-02LOG(DFE) + 0.163LOG(TF2)	121	0.274	0.000	0.100	-0.077	1.008	0.000	0.010	2.839	60
3	Stepwise	NO ₂ = -7.08E-05 + 7.739E-03LOG(TF3) - 3.92E-03LOG(DFE)	121	0.297	0.006	0.000	-0.092	0.991	0.086	0.000	0.000	60
3	Backward	NO ₂ = -7.08E-05 + 7.739E-03LOG(TF3) - 3.92E-03LOG(DFE)	121	0.297	0.006	0.000	-0.092	0.991	0.086	0.000	0.000	60
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -2.149 - 7.46E-02LOG(DFE) + 0.162LOG(TF3)	121	0.284	0.000	0.100	-0.086	1.011	0.000	0.010	2.822	60
3	Backward	LOG(NO ₂) = -2.149 - 7.46E-02LOG(DFE) + 0.162LOG(TF3)	121	0.284	0.000	0.100	-0.086	1.011	0.000	0.010	2.822	60

ตารางที่ ข12 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีรวมปริมาณจราจร 24 ชั่วโมง

กรณีศึกษา	วิธีการหาค่า	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = 8.874E-02 - 5.66E-02LOG(T) + 9.246E-06(DFE) + 1.386E-06(TF1)	165	0.253	0.000	0.000	-0.059	0.987	0.004	0.000	0.000	43
1	Backward	O ₃ = 8.874E-02 - 5.66E-02LOG(T) + 9.246E-06(DFE) + 1.386E-06(TF1)	165	0.253	0.000	0.000	-0.059	0.987	0.004	0.000	0.000	43
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -1.548 - 5.50E-02(T) + 0.352LOG(TF1)	121	0.462	0.000	0.219	-0.035	0.985	0.000	0.048	4.900	43
1	Backward	LOG(O ₃) = -1.548 - 5.50E-02(T) + 0.352LOG(TF1)	121	0.462	0.000	0.219	-0.035	0.985	0.000	0.048	4.900	43
2	Stepwise	O ₃ = 9.549E-02 - 7.81E-02LOG(T) + 7.788E-03LOG(TF2)	121	0.470	0.000	0.000	-0.020	1.035	0.001	0.000	0.000	43
2	Backward	O ₃ = 8.919E-02 - 7.48E-02LOG(T) + 9.669E-06(DFE) + 7.817E-03LOG(TF2)	121	0.483	0.000	0.000	-0.020	1.024	0.007	0.000	0.000	43
2	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.315 - 5.72E-02(T) + 0.508LOG(TF2)	121	0.494	0.000	0.212	-0.003	0.999	0.000	0.045	5.003	43
2	Backward	LOG(O ₃) = -2.315 - 5.72E-02(T) + 0.508LOG(TF2)	121	0.494	0.000	0.212	-0.003	0.999	0.000	0.045	5.003	43
3	Stepwise	O ₃ = 9.602E-02 - 7.82E-02LOG(T) + 7.527E-03LOG(TF3)	121	0.468	0.000	0.000	-0.032	1.026	0.000	0.000	0.000	43
3	Backward	O ₃ = 9.001E-02 - 7.05E-02LOG(T) + 9.258E-06(DFE) + 7.535E-03LOG(TF3)	121	0.479	0.000	0.000	-0.032	1.017	0.000	0.000	0.000	43
3	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.301 - 5.74E-02(T) + 0.496LOG(TF3)	121	0.498	0.000	0.212	-0.016	0.991	0.000	0.045	4.956	43
3	Backward	LOG(O ₃) = -2.301 - 5.74E-02(T) + 0.496LOG(TF3)	121	0.498	0.000	0.212	-0.016	0.991	0.000	0.045	4.956	43

ตารางที่ ข15 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณี ใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณีที่	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	O ₃ = -5.69E-02 + 1.580E-02LOG(WS) + 1.963E-02LOG(TF1)	15	0.909	0.000	0.000	2.368	6.398	0.012	0.000	0.000	6
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(O ₃) = -5.881 + 0.913LOG(WS) + 1.134LOG(TF1)	15	0.857	0.000	0.063	1.694	4.594	0.000	0.004	3.625	6
2	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(O ₃) = -2.722 + 0.254LOG(WD)	54	0.200	0.071	0.148	-0.445	1.219	0.000	0.022	5.985	6
3	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(O ₃) = -2.722 + 0.254LOG(WD)	54	0.200	0.071	0.148	-0.445	1.219	0.000	0.022	5.985	6

ตารางที่ ข17 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณี ใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ NO₂ กรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	NO ₂ = 1.164E-02 + 1.360E-02LOG(WD) – 6.43E-03LOG(DFE)	47	0.407	0.032	0.000	-0.446	5.057	0.058	0.000	0.000	9
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(NO ₂) = -1.841 + 0.217LOG(WD) – 0.103LOG(DFE)	47	0.442	0.025	0.032	-1.260	5.133	0.000	0.001	2.924	9
2	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	NO ₂ = 1.164E-02 + 1.360E-02LOG(WD) – 6.43E-03LOG(DFE)	47	0.407	0.032	0.000	-0.446	5.057	0.058	0.000	0.000	9
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(NO ₂) = -1.841 + 0.217LOG(WD) – 0.103LOG(DFE)	47	0.442	0.025	0.032	-1.260	5.133	0.000	0.001	2.924	9
3	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(NO ₂) = -1.841 + 0.217LOG(WD) – 0.103LOG(DFE)	47	0.442	0.025	0.032	-1.260	5.133	0.000	0.001	3.050	9

ตารางที่ ข18 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย

กรณีศึกษา	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Stepwise	O ₃ = 0.398 - 0.260LOG(T) - 2.84E-05(WD) + 1.388E-02LOG(WS) + 3.837E-03LOG(DFE)	48	0.976	0.000	0.000	-8.861	11.134	0.108	0.000	0.000	9
2	Backward	O ₃ = 0.398 - 0.260LOG(T) - 2.84E-05(WD) + 1.388E-02LOG(WS) + 3.837E-03LOG(DFE)	48	0.976	0.000	0.000	-8.861	11.134	0.108	0.000	0.000	9
2	Stepwise	LOG(O ₃) = 20.019 - 14.827LOG(T) + 1.027LOG(WS) + 0.168LOG(DFE)	48	0.886	0.015	0.055	-4.322	5.293	0.000	0.003	6.485	9
2	Backward	LOG(O ₃) = 22.118 - 12.956LOG(T) + 1.120LOG(WS) + 0.333LOG(DFE) - 0.778LOG(TF2) - 3.21E-02(CV2)	10	0.973	0.011	0.032	0.000	0.667	0.000	0.001	5.626	9
3	Stepwise	O ₃ = 0.398 - 0.260LOG(T) - 2.84E-05(WD) + 1.388E-02LOG(WS) + 3.837E-03LOG(DFE)	48	0.976	0.000	0.000	-8.861	11.134	0.108	0.000	0.000	9
3	Backward	O ₃ = 0.398 - 0.260LOG(T) - 2.84E-05(WD) + 1.388E-02LOG(WS) + 3.837E-03LOG(DFE)	48	0.976	0.000	0.000	-8.861	11.134	0.108	0.000	0.000	9
3	Stepwise	LOG(O ₃) = 20.019 - 14.827LOG(T) + 1.027LOG(WS) + 0.168LOG(DFE)	48	0.886	0.015	0.055	-4.322	5.293	0.000	0.003	6.485	9
3	Backward	LOG(O ₃) = 3.789 - 26.645LOG(T) + 1.692LOG(WS) + 3.189LOG(TF3) + 10.815LOG(CV3)	10	0.983	0.000	0.000	0.000	0.745	0.247	0.000	0.434	9

ตารางที่ ข19 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 1 ชั่วโมง

กรณีศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ขม.ที่	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	1	$O_3 = 5.059E-03 + 1.337E-04(HB1) + 1.705E-05(DFE) - 1.89E-03(WS)$	163	0.609	0.011	0.000	0.261	1.369	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	1	$O_3 = 4.127E-03 + 1.677E-05(WD) - 2.45E-03(WS) + 1.551E-05(DFE) + 1.306E-04(HB1)$	162	0.632	0.000	0.000	0.349	1.366	0.940	0.000	0.000	60
1	Stepwise	1	$LOG(O_3) = -2.459 + 7.848E-03(HB1)$	163	0.387	0.000	0.190	0.472	1.216	0.000	0.036	5.622	60
1	Backward	1	$LOG(O_3) = -2.824 - 0.126(WS) + 1.037E-03(DFE) + 0.213LOG(LB1) + 4.770E-03(HB1)$	163	0.555	0.007	0.161	0.166	1.231	0.000	0.026	5.683	60
2	Stepwise	1	$O_3 = 8.714E-02 - 6.85E-02LOG(T) + 6.652E-03LOG(LB2) + 1.496E-05(DFE)$	163	0.544	0.000	0.000	-0.063	0.988	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	1	$O_3 = 8.074E-02 - 6.15E-02LOG(T) + 1.105E-05(WD) + 1.430E-05(DFE) - 4.21E-03LOG(C2) + 9.624E-03LOG(LB2)$	162	0.563	0.000	0.000	-0.082	0.997	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	1	$LOG(O_3) = 1.080 + 0.649LOG(LB2) - 2.958LOG(T) - 0.274LOG(C2)$	163	0.525	0.037	0.187	-0.039	-1.009	0.000	0.035	4.555	60
2	Backward	1	$LOG(O_3) = 1.080 - 2.958LOG(T) - 0.274LOG(C2) + 0.649LOG(LB2)$	163	0.523	0.000	0.187	-0.039	1.009	0.000	0.035	5.224	60
3	Stepwise	1	$O_3 = 7.804E-02 - 6.35E-02LOG(T) + 5.591E-03LOG(LB3) + 1.608E-05(DFE) + 1.720E-03LOG(HB3) + 1.210E-05(WD)$	154	0.565	0.049	0.000	-0.002	0.967	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	1	$O_3 = 6.384E-02 - 5.25E-02LOG(T) + 1.366E-05(WD) - 1.05E-03(WS) + 1.769E-05(DFE) + 5.162E-03LOG(LB3) + 1.863E-03LOG(HB3)$	154	0.574	0.011	0.000	-0.002	0.953	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	1	$LOG(O_3) = 1.499 + 0.125LOG(MC3) - 3.446LOG(T) + 0.305LOG(C3)$	163	0.424	0.000	0.205	-0.013	0.975	0.000	0.042	5.017	60
3	Backward	1	$LOG(O_3) = 1.499 + 0.125LOG(MC3) - 3.446LOG(T) + 0.305LOG(C3)$	163	0.424	0.015	0.205	-0.013	0.975	0.000	0.042	5.017	60

ตารางที่ ข20 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	พห.ที่	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	2	O ₃ = 3.741E-03 - 6.10E-03LOG(WS) + 1.638E-05(DFE) + 1.342E-04(HB1)	158	0.592	0.000	0.000	0.017	1.270	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	2	O ₃ = 3.741E-03 - 6.10E-03LOG(WS) + 1.638E-05(DFE) + 1.342E-04(HB1)	158	0.592	0.000	0.000	0.017	1.270	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	2	LOG(O ₃) = -2.463 + 7.942E-03(HB1)	161	0.383	0.000	0.195	0.478	1.194	0.000	0.038	5.614	60
1	Backward	2	LOG(O ₃) = -3.048 - 0.408LOG(WS) + 1.273E-03(DFE) + 0.221LOG(C1) + 5.903E-03(HB1)	158	0.540	0.001	0.167	0.190	1.268	0.000	0.028	6.071	60
2	Stepwise	2	O ₃ = 8.933E-02 - 6.96E-02LOG(T) + 6.053E-03LOG(LB2) + 1.583E-05(DFE) + 1.267E-05(WD)	160	0.568	0.046	0.000	-0.078	0.976	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	2	O ₃ = 7.378E-02 - 5.51E-02LOG(T) + 1.470E-05(WD) - 2.69E-03LOG(WS) - 1.645E-05(DFE) - 4.27E-03LOG(C2) + 8.749E-03LOG(LB2)	158	0.584	0.000	0.000	-0.102	0.984	0.250	0.000	0.000	60
2	Stepwise	2	LOG(O ₃) = 1.215 + 0.453LOG(LB2) - 3.264LOG(T)	161	0.508	0.000	0.190	-0.015	0.994	0.000	0.036	4.948	60
2	Backward	2	LOG(O ₃) = 1.045 - 2.950LOG(T) - 0.265LOG(C2) + 0.647LOG(LB2)	161	0.519	0.000	0.190	-0.037	1.007	0.000	0.036	5.225	60
3	Stepwise	2	O ₃ = 9.326E-02 - 7.23E-02LOG(T) + 6.269E-03LOG(LB3) + 1.636E-05(DFE)	161	0.567	0.000	0.000	-0.081	1.015	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	2	O ₃ = 7.976E-02 - 5.61E-02LOG(T) + 1.287E-05(WD) - 3.12E-03LOG(WS) + 1.849E-05(DFE) - 4.44E-03LOG(C3) + 9.091E-03LOG(LB3) - 5.70E-05(CV3)	125	0.595	0.081	0.000	0.000	0.971	0.103	0.000	0.000	60
3	Stepwise	2	LOG(O ₃) = 1.434 + 0.127LOG(MC3) - 3.441LOG(T) + 0.320LOG(C3)	161	0.420	0.000	0.207	-0.011	0.965	0.000	0.043	5.029	60
3	Backward	2	LOG(O ₃) = 1.434 - 3.441LOG(T) + 0.320LOG(C3) + 0.127LOG(MC3)	161	0.420	0.016	0.207	-0.011	0.965	0.000	0.043	5.029	60

ตารางที่ ข21 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 3 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ขม.ที่	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	3	O ₃ = 7.991E-03 - 1.78E-02LOG(C1) + 1.852E-02LOG(LB1)	159	0.388	0.000	0.000	-0.341	1.417	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	3	O ₃ = 7.991E-03 - 1.78E-02LOG(C1) + 1.852E-02LOG(LB1)	159	0.388	0.000	0.000	-0.341	1.417	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	3	LOG(O ₃) = -2.718 + 4.593E-03(HB1) - 0.140(WS) + 1.032E-03(DFE) + 0.184LOG(LB1)	159	0.546	0.030	0.161	0.131	1.234	0.000	0.026	5.639	60
1	Backward	3	LOG(O ₃) = -2.718 - 0.140(WS) + 1.032E-03(DFE) + 0.184LOG(LB1) + 4.593E-03(HB1)	159	0.546	0.010	0.161	0.131	1.234	0.000	0.026	5.639	60
2	Stepwise	3	O ₃ = 9.826E-02 - 7.30E-02LOG(T) + 5.140E-03LOG(LB2) + 1.746E-05(DFE)	159	0.495	0.000	0.000	-0.032	0.993	0.009	0.000	0.000	60
2	Backward	3	O ₃ = 7.758E-02 - 5.33E-02LOG(T) + 1.535E-05(WD) - 3.23E-03LOG(WS) + 1.759E-05(DFE) - 5.73E-03LOG(C2) + 8.199E-03LOG(LB2)	156	0.524	0.000	0.000	-0.069	1.010	0.023	0.000	0.000	60
2	Stepwise	3	LOG(O ₃) = 1.129 + 0.664LOG(LB2) - 2.940LOG(T) - 0.309LOG(C2)	159	0.521	0.045	0.187	-0.046	1.010	0.000	0.035	7.029	60
2	Backward	3	LOG(O ₃) = 1.299 - 2.940LOG(T) - 0.309LOG(C2) + 0.664LOG(LB2)	159	0.521	0.000	0.187	-0.046	1.010	0.000	0.035	4.477	60
3	Stepwise	3	O ₃ = 9.832E-02 - 7.33E-02LOG(T) + 5.122E-03LOG(LB3) + 1.731E-05(DFE)	159	0.503	0.000	0.000	-0.044	1.010	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	3	O ₃ = 9.109E-02 - 6.44E-02LOG(T) + 1.277E-05(WD) + 1.631E-05(DFE) - 5.90E-03LOG(C3) + 9.022E-03LOG(LB3)	158	0.519	0.000	0.000	-0.073	1.009	0.084	0.000	0.000	60
3	Stepwise	3	LOG(O ₃) = 1.109 + 0.125LOG(MC3) - 3.264LOG(T) + 0.219LOG(C3) + 9.485E-02LOG(HB3)	151	0.438	0.036	0.202	0.013	0.962	0.000	0.041	6.219	60
3	Backward	3	LOG(O ₃) = 2.84E-02 - 2.417LOG(T) - 7.21E-02(WS) + 4.801E-04(DFE) + 0.257LOG(C3) + 0.115LOG(HB3) + 0.128LOG(MC3)	151	0.458	0.012	0.197	0.015	0.942	0.000	0.039	4.893	60

ตารางที่ ข22 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 4 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ขม.ที่	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	4	$O_3 = 1.357E-03 + 6.596E-03LOG(DFE) - 3.31E-03(WS)$	406	0.329	0.005	0.000	-0.776	1.079	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	4	$O_3 = 2.996E-03 + 4.112E-03LOG(DFE) - 1.47E-02LOG(C1) + 1.458E-02LOG(LB1)$	157	0.340	0.003	0.000	-0.448	1.206	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	4	$LOG(O_3) = -2.964 - 0.146(WS) + 0.198LOG(DFE) + 0.188LOG(LB1) + 4.156E-03(HB1)$	157	0.537	0.021	0.164	0.068	1.230	0.000	0.027	5.540	60
1	Backward	4	$LOG(O_3) = -2.964 - 0.146(WS) + 0.198LOG(DFE) + 0.188LOG(LB1) + 4.156E-03(HB1)$	157	0.537	0.021	0.164	0.068	1.230	0.000	0.027	5.540	60
2	Stepwise	4	$O_3 = 2.284E-02 - 9.77E-04(T) + 3.259E-03LOG(DFE) + 2.804E-03LOG(LB2)$	157	0.413	0.000	0.000	-0.010	1.009	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	4	$O_3 = 2.284E-02 - 9.77E-04(T) + 3.259E-03LOG(DFE) + 2.804E-03LOG(LB2)$	157	0.413	0.000	0.000	-0.010	1.009	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	4	$LOG(O_3) = -2.261 - 4.45E-02(T) + 0.452LOG(LB2)$	157	0.509	0.000	0.190	-0.021	1.000	0.000	0.036	5.175	60
2	Backward	4	$LOG(O_3) = -2.261 - 4.45E-02(T) + 0.452LOG(LB2)$	157	0.509	0.000	0.190	-0.021	1.000	0.000	0.036	5.175	60
3	Stepwise	4	$O_3 = 2.235E-02 - 9.81E-04(T) + 3.259E-03LOG(DFE) + 2.960E-03LOG(LB3)$	157	0.422	0.001	0.000	-0.016	1.022	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	4	$O_3 = 2.235E-02 - 9.81E-04(T) + 3.259E-03LOG(DFE) + 2.960E-03LOG(LB3)$	157	0.422	0.001	0.000	-0.016	1.022	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	4	$LOG(O_3) = -2.309 + 0.215LOG(MC3) - 2.23E-02(T) + 0.126LOG(HB3) - 9.40E-02(WS) + 9.075E-04(WD)$	148	0.428	0.028	0.202	-0.023	0.975	0.000	0.041	5.214	60
3	Backward	4	$LOG(O_3) = -2.547 - 2.00E-02(T) + 8.810E-04(WD) - 0.104(WS) + 9.066E-02LOG(DFE) + 0.148LOG(HB3) + 0.208LOG(MC3)$	148	0.440	0.000	0.200	-0.013	0.962	0.000	0.040	5.306	60

ตารางที่ ข23 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 5 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ชม.ที่	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	5	O ₃ = 3.499E-02 - 9.40E-04(T) + 1.547E-05(DFE)	400	0.317	0.029	0.000	-0.242	0.808	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	5	O ₃ = 3.499E-02 - 9.40E-04(T) + 1.547E-05(DFE)	400	0.317	0.029	0.000	-0.242	0.808	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	5	LOG(O ₃) = -0.155 - 6.61E-02(T)	400	0.425	0.000	0.219	-0.281	0.924	0.000	0.048	5.283	60
1	Backward	5	LOG(O ₃) = -0.539 - 6.61E-02(T) + 3.064E-03(CV1)	190	0.443	0.062	0.214	0.082	0.862	0.000	0.046	5.807	60
2	Stepwise	5	O ₃ = 3.150E-02 - 8.33E-04(T) + 1.641E-05(DFE)	400	0.321	0.001	0.000	-0.275	0.930	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	5	O ₃ = 3.150E-02 - 8.33E-04(T) + 1.641E-05(DFE)	400	0.321	0.001	0.000	-0.275	0.930	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	5	LOG(O ₃) = -0.393 - 5.89E-02(T)	400	0.413	0.000	0.195	-0.269	1.032	0.000	0.038	5.311	60
2	Backward	5	LOG(O ₃) = -0.449 - 5.84E-02(T) + 4.488E-04(DFE)	400	0.426	0.062	0.192	-0.302	1.053	0.000	0.037	5.423	60
3	Stepwise	5	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	5	O ₃ = 3.150E-02 - 8.33E-04(T) + 1.641E-05(DFE)	400	0.321	0.001	0.000	-0.275	0.930	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	5	LOG(O ₃) = -0.393 - 5.89E-02(T)	400	0.413	0.000	0.195	-0.269	1.032	0.000	0.038	5.310	60
3	Backward	5	LOG(O ₃) = -0.449 - 5.84E-02(T) + 4.488E-04(DFE)	400	0.426	0.062	0.192	-0.302	1.053	0.000	0.037	5.423	60

ตารางที่ ข24 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณี ใช้ข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาเท่านั้นของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 6 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ขม.ที่	สมการ	N	Adjusted R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	6	O ₃ = 3.200E-02 - 8.11E-04(T)	394	0.172	0.008	0.000	-0.140	0.856	0.000	0.000	0.003	60
1	Backward	6	O ₃ = 3.200E-02 - 8.11E-04(T)	394	0.172	0.008	0.000	-0.140	0.856	0.000	0.000	0.003	60
1	Stepwise	6	LOG(O ₃) = -2.414 - 0.515LOG(WS) + 1.271E-03(DFE) + 5.680E-03(HB1)	151	0.542	0.001	0.164	0.089	1.353	0.000	0.027	5.716	60
1	Backward	6	LOG(O ₃) = -2.414 - 0.515LOG(WS) + 1.271E-03(DFE) + 5.680E-03(HB1)	151	0.542	0.001	0.164	0.089	1.353	0.000	0.027	5.716	60
2	Stepwise	6	O ₃ = 2.884E-02 - 7.43E-04(T) + 1.483E-05(DFE)	394	0.253	0.003	0.000	-0.278	0.899	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	6	O ₃ = 2.884E-02 - 7.43E-04(T) + 1.483E-05(DFE)	394	0.253	0.003	0.000	-0.278	0.899	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	6	LOG(O ₃) = -2.152 - 2.40E-02(T) + 0.186LOG(HB2) - 0.337LOG(WS) + 0.174LOG(WD) + 5.945E-04(DFE)	142	0.299	0.048	0.226	-0.017	0.997	0.000	0.051	5.688	60
2	Backward	6	LOG(O ₃) = -1.241 - 2.47E-02(T) + 0.190LOG(WD) - 0.327LOG(WS) + 5.559E-04(DFE) + 0.165LOG(HB2) - 0.477LOG(CV2)	117	0.313	0.073	0.224	0.000	0.974	0.000	0.050	5.551	60
3	Stepwise	6	O ₃ = 2.886E-02 - 7.44E-04(T) + 1.489E-05(DFE)	394	0.256	0.003	0.000	-0.278	0.903	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	6	O ₃ = 2.029E-02 - 7.07E-04(T) + 1.181E-05(DFE) + 7.937E-05(CV3)	125	0.273	0.054	0.000	-0.004	0.967	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	6	LOG(O ₃) = -1.277 - 2.63E-02(T) + 0.158LOG(HB3) - 0.285LOG(WS) + 0.197LOG(WD) - 0.379LOG(CV3)	118	0.326	0.033	0.219	0.000	0.978	0.000	0.048	5.644	60
3	Backward	6	LOG(O ₃) = -1.502 + 2.43E-02(T) + 0.186LOG(WD) - 0.296LOG(WS) + 5.303E-04(DFE) + 0.185LOG(HB3) - 0.337LOG(CV3)	118	0.340	0.057	0.217	0.000	0.974	0.000	0.047	0.795	60

ภาคผนวก ค

สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้อง
กรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์

ตารางที่ 1 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 7.156 - 1.099LOG(DFE) + 1.674E-02(CV1) - 4.210LOG(T)	201	0.327	0.046	0.653	0.361	0.848	0.037	0.426	0.400	60
1	Backward	CO = 9.019 + 0.702LOG(C1) + 0.163LOG(LB1) - 0.139LOG(HT1) - 5.209E-04(MC1) + 1.451E-02(CV1) - 9.621LOG(T) - 4.215E-04(WD) - 2.620E-02(WS) - 0.842LOG(DFE) - 1.711LOG(NO ₂ pcd)	115	0.441	0.007	0.596	-0.005	0.604	0.073	0.355	2.536	58
1	Stepwise	LOG(CO) = 4.826 - 0.420LOG(DFE) + 4.230E-03(CV1) - 3.475LOG(T) + 0.196LOG(C1) - 11.067(O ₃ pcd)	126	0.303	0.012	0.308	0.002	0.302	0.000	0.095	1.542	60
1	Backward	LOG(CO) = 5.717 + 0.336LOG(C1)	125	0.324	0.004	0.303	0.000	0.294	0.001	0.092	3.340	60
2	Stepwise	CO = 9.064 - 0.619LOG(DFE) - 7.758LOG(T) - 1.714E-02(CV2) - 1.685LOG(NO ₂ pcd) + 0.799LOG(C2) + 47.985(SO ₂ pcd)	124	0.348	0.040	0.593	0.087	0.647	0.931	0.352	3.630	58
2	Backward	CO = 9.064 - 7.758LOG(T) - 0.619LOG(DFE) - 1.685LOG(NO ₂ pcd) + 47.985(SO ₂ pcd) + 0.799LOG(C2) - 1.714E-02(CV2)	124	0.348	0.009	0.593	0.087	0.647	0.000	0.352	0.689	58
2	Stepwise	LOG(CO) = 4.135 - 0.394LOG(DFE) - 2.095LOG(T) - 6.509E-03(CV2)	135	0.229	0.036	0.326	0.017	0.324	0.000	0.106	1.168	60
2	Backward	LOG(CO) = 4.135 - 2.095LOG(T) - 0.394LOG(DFE) - 6.509E-03(CV2)	135	0.229	0.036	0.326	0.017	0.324	0.000	0.106	1.168	60
3	Stepwise	CO = 9.649 - 0.806LOG(DFE) - 4.895LOG(T)	430	0.200	0.009	0.667	0.125	0.743	0.931	0.445	0.346	60
3	Backward	CO = 8.960 - 10.426LOG(T) - 0.698LOG(DFE) - 1.599LOG(NO ₂ pcd) + 51.169(SO ₂ pcd) - 0.418LOG(O ₃ pcd) + 1.205LOG(C3) - 0.321LOG(HT3) + 1.344E-02(CV3)	103	0.354	0.073	0.599	0.000	0.575	0.000	0.359	0.633	58
3	Stepwise	LOG(CO) = 3.886 - 0.416LOG(DFE) - 2.209LOG(T)	430	0.206	0.010	0.330	0.016	0.379	0.000	0.109	0.642	60
3	Backward	LOG(CO) = 3.879 - 3.673LOG(T) - 0.342LOG(DFE) - 0.488LOG(NO ₂ pcd) + 21.153(SO ₂ pcd) - 8.626(O ₃ pcd) + 0.379LOG(LB3)	152	0.262	0.001	0.318	-0.025	0.324	0.000	0.101	0.748	58

หมายเหตุ

กรณีที่ 1 = บนทางพิเศษ

กรณีที่ 2 = ถนนประดิษฐ์มูธรรม

กรณีที่ 3 = บนทางพิเศษร่วมกับถนนประดิษฐ์มูธรรม

ตารางที่ ก2 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ NO₂ กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 7.897E-02 - 1.721E-02LOG(CO _{pcd}) + 1.597E-02LOG(SO _{2pcd}) + 7.963E-03LOG(O _{3pcd})	307	0.506	0.041	0.000	-0.005	0.011	0.294	0.000	0.000	58
1	Backward	NO ₂ = 0.465 - 0.290LOG(T) - 0.442(NO _{2pcd}) + 2.625E-02LOG(SO _{2pcd}) + 2.360E-02LOG(C1)	148	0.583	0.000	0.000	0.002	0.013	0.836	0.000	0.000	58
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = 0.156 - 6.995E-03LOG(DFE) - 1.003E-02LOG(WD) + 8.197E-03LOG(SO _{2pcd}) + 6.719E-03LOG(LB1) - 6.574E-02LOG(T)	147	0.484	0.004	0.000	0.001	0.008	0.007	0.000	0.000	58
1	Backward	LOG(NO ₂) = 0.156 - 6.574E-02LOG(T) - 1.003E-02LOG(WD) - 6.995E-03LOG(DFE) + 8.197E-03LOG(SO _{2pcd}) + 6.719E-03LOG(LB1)	147	0.484	0.000	0.000	0.001	0.008	0.000	0.000	0.000	58
2	Stepwise	NO ₂ = 7.100E-02 + 9.349E-03LOG(LB2) - 1.249E-02LOG(CO _{pcd}) - 3.067E-02LOG(CV2) - 5.084E-03LOG(DFE) + 4.839E-03LOG(SO _{2pcd})	110	0.457	0.043	0.000	-0.001	0.006	0.327	0.000	0.000	58
2	Backward	NO ₂ = 7.100E-02 - 5.084E-03LOG(DFE) - 1.249E-02LOG(CO _{pcd}) + 4.839E-03LOG(SO _{2pcd}) + 9.349E-03LOG(LB2) - 3.067E-02LOG(CV2)	110	0.457	0.001	0.000	-0.001	0.006	0.327	0.000	0.000	58
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = 1.238E-02 + 1.006E-02LOG(LB2) - 8.730E-03LOG(CO _{pcd}) - 5.710E-03LOG(DFE) - 5.375E-03LOG(WD)	146	0.403	0.023	0.000	-0.0001	0.006	0.368	0.000	0.000	58
2	Backward	LOG(NO ₂) = 7.915E-02 - 3.769E-02LOG(T) - 6.136E-03LOG(WD) - 5.616E-03LOG(DFE) - 7.373E-03LOG(CO _{pcd}) + 4.640E-03LOG(SO _{2pcd}) + 1.073E-02LOG(LB2)	136	0.434	0.000	0.000	-0.001	0.006	0.064	0.000	0.000	58
3	Stepwise	NO ₂ = 0.147 - 1.550E-02LOG(CO _{pcd}) - 3.766E-02LOG(CV3) - 9.753E-03LOG(DFE) + 6.406E-03LOG(SO _{2pcd}) + 9.394E-03LOG(O _{3pcd}) + 3.714E-03(WS)	105	0.543	0.004	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	58
3	Backward	NO ₂ = 0.147 + 3.714E-03(WS) - 9.753E-03LOG(DFE) - 1.550E-02LOG(CO _{pcd}) + 6.406E-03LOG(SO _{2pcd}) + 9.394E-03LOG(O _{3pcd}) - 3.766E-02LOG(CV3)	105	0.543	0.000	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	58
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = 1.495E-02 - 5.942E-03LOG(DFE) - 9.890E-03LOG(CO _{pcd}) + 9.412E-03LOG(LB3) - 6.258E-03LOG(WD)	146	0.436	0.009	0.000	-0.0005	0.006	0.429	0.000	0.000	58
3	Backward	LOG(NO ₂) = 0.105 - 5.711E-02LOG(T) - 7.195E-03LOG(WD) - 5.968E-03LOG(DFE) - 6.601E-03LOG(CO _{pcd}) + 4.582E-03LOG(SO _{2pcd}) + 1.120E-02LOG(C3)	136	0.441	0.000	0.000	-0.0002	0.006	0.000	0.000	0.008	58

ตารางที่ ค3 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีแยกประเภทพาหนะ 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	$O_3 = 1.519E-03 + 0.272(O_{3,pcd}) + 3.968E-05(WD) - 2.818E-03(WS) + 2.018E-03LOG(HB1)$	112	0.716	0.018	0.000	0.001	0.003	0.192	0.000	0.000	58
1	Backward	$O_3 = 3.083E-03 + 3.842E-05(WD) - 3.649E-03(CO_{pcd}) - 0.273(SO_{2,pcd}) + 0.231(O_{3,pcd}) + 3.313E-03LOG(HB1)$	48	0.781	0.039	0.000	0.0004	0.003	0.004	0.000	0.000	58
1	Stepwise	$LOG(O_3) = 2.443E-02 + 6.759E-03LOG(O_{3,pcd}) + 3.871E-05(WD) - 4.681E-03(WS) + 5.053E-03LOG(CO_{pcd}) + 1.406E-05(DFE)$	355	0.825	0.021	0.000	-0.0002	0.004	0.000	0.000	0.000	58
1	Backward	$LOG(O_3) = 2.443E-02 + 6.759E-03LOG(O_{3,pcd}) + 3.871E-05(WD) - 4.681E-03(WS) + 5.053E-03LOG(CO_{pcd}) + 1.406E-05(DFE)$	355	0.825	0.021	0.000	-0.0002	0.004	0.000	0.000	0.000	58
2	Stepwise	$O_3 = 2.626E-03 + 0.336(O_{3,pcd}) + 0.176(NO_{2,pcd}) + 1.922E-05(WD) + 9.026E-06(DFE)$	397	0.676	0.006	0.000	-0.0004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	$O_3 = -2.388E-03 + 1.921E-05(WD) + 1.075E-05(DFE) + 0.198(NO_{2,pcd}) - 9.377E-04(CO_{pcd}) + 0.314(O_{3,pcd})$	397	0.682	0.000	0.000	-0.0004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	$LOG(O_3) = 3.412E-02 + 6.736E-03LOG(O_{3,pcd}) + 8.518E-03LOG(NO_{2,pcd}) + 1.136E-05(DFE) + 1.428E-05(WD)$	368	0.667	0.019	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	58
2	Backward	$LOG(O_3) = 3.412E-02 + 6.736E-03LOG(O_{3,pcd}) + 8.518E-03LOG(NO_{2,pcd}) + 1.136E-05(DFE) + 1.428E-05(WD)$	368	0.667	0.019	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	58
3	Stepwise	$O_3 = 2.626E-03 + 0.336(O_{3,pcd}) + 0.176(NO_{2,pcd}) + 1.922E-05(WD) + 9.026E-06(DFE)$	397	0.676	0.006	0.000	-0.0004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	$O_3 = -2.388E-03 + 1.921E-05(WD) + 1.075E-05(DFE) + 0.198(NO_{2,pcd}) - 9.377E-04(CO_{pcd}) + 0.314(O_{3,pcd})$	397	0.682	0.000	0.000	-0.0004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	$LOG(O_3) = 3.418E-02 + 6.611E-03LOG(O_{3,pcd}) + 8.705E-03LOG(NO_{2,pcd}) + 1.115E-05(DFE) + 1.427E-05(WD)$	369	0.665	0.019	0.000	-0.0003	0.003	0.012	0.000	0.000	42
3	Backward	$LOG(O_3) = 4.045E-02 + 1.368E-05(WD) + 1.357E-05(DFE) + 8.695E-03LOG(NO_{2,pcd}) + 6.816E-03LOG(CO_{pcd}) - 6.183E-05(CV3)$	120	0.673	0.062	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	58

ตารางที่ ค4 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 1.614 - 84.531(O ₃ pcd) + 0.127(MC1)	20	0.369	0.049	0.794	-0.052	0.766	0.037	0.630	0.451	6
1	Backward	CO = 1.728 + 1.027E-02(WD) - 1.272(WS) - 3.415LOG(NO ₂ pcd) + 0.924(COpcd) - 5.49E-02(CV1) + 0.175(MC1)	19	0.682	0.002	0.565	0.000	0.461	0.073	0.319	0.677	5
1	Stepwise	LOG(CO) = -0.714 - 19.273(O ₃ pcd) + 0.910LOG(WD) - 0.613LOG(DFE) + 0.258(COpcd)	51	0.659	0.023	0.197	-0.059	0.300	0.000	0.039	4.320	6
1	Backward	LOG(CO) = -6.252 + 0.149(T) + 1.052LOG(WD) - 0.306(WS) - 1.271LOG(NO ₂ pcd) + 0.412(COpcd) - 1.91E-02(CV1) + 4.795E-02(MC1)	19	0.771	0.003	0.161	0.000	0.126	0.001	0.026	0.430	5
2	Stepwise	CO = 2.124 - 93.078(O ₃ pcd)	51	0.238	0.020	0.874	-0.295	0.781	0.931	0.764	0.451	6
2	Backward	CO = 12.033 + 1.678E-02(WD) - 2.383LOG(DFE) + 1.127(COpcd) - 5.067LOG(CV2) + 1.040E-02(HT2)	19	0.763	0.098	0.487	0.000	0.414	0.000	0.237	0.670	6
2	Stepwise	LOG(CO) = -0.714 - 19.273(O ₃ pcd) + 0.910LOG(WD) - 0.613LOG(DFE) + 0.258(COpcd)	51	0.659	0.023	0.197	-0.059	0.300	0.000	0.039	4.320	6
2	Backward	LOG(CO) = -2.226 + 0.206(T) + 1.388LOG(WD) - 0.636LOG(DFE) + 0.467(COpcd) - 3.147LOG(CV2)	19	0.789	0.002	0.155	0.000	0.131	0.000	0.024	5.149	6
3	Stepwise	CO = 2.124 - 93.078(O ₃ pcd)	51	0.238	0.020	0.874	-0.295	0.781	0.931	0.764	1.571	6
3	Backward	CO = 22.5 + 1.678E-02(WD) - 2.184LOG(DFE) + 1.186(COpcd) - 10.028LOG(CV3)	19	0.616	0.003	0.620	0.000	0.547	0.000	0.384	1.188	6
3	Stepwise	LOG(CO) = -0.714 - 19.273(O ₃ pcd) + 0.910LOG(WD) - 0.613LOG(DFE) + 0.258(COpcd)	51	0.659	0.023	0.197	-0.059	0.300	0.000	0.039	4.320	6
3	Backward	LOG(CO) = -0.931 + 0.192(T) + 1.373LOG(WD) - 0.548LOG(DFE) - 0.766LOG(NO ₂ pcd) + 0.480(COpcd) - 4.031LOG(CV3)	19	0.802	0.011	0.148	0.000	0.122	0.000	0.022	3.599	5

ตารางที่ ค5 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ NO₂ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 0.134 + 4.347E-02LOG(SO ₂ pcd)	47	0.443	0.021	0.000	-0.012	0.123	0.005	0.000	0.000	5
1	Backward	NO ₂ = 3.724E-02 + 6.878E-05(WD) - 1.16E-02(WS) - 0.711(NO ₂ pcd) - 2.20E-02(COpcd) + 9.777E-03LOG(SO ₂ pcd) - 1.87E-02LOG(O ₃ pcd) - 7.08E-03LOG(HB1) + 1.412E-02LOG(HT1) + 1.944E-03(MC1)	11	0.981	0.000	0.000	0.0003	0.001	0.053	0.000	0.262	5
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.138 - 0.352LOG(DFE) + 2.086E-03(WD)	54	0.570	0.002	0.089	-0.105	0.189	0.000	0.008	0.280	6
1	Backward	LOG(NO ₂) = -3.63E-02 - 7.60E-02(T) + 1.294E-03(WD) - 0.407LOG(DFE) + 38.619(SO ₂ pcd) + 0.156LOG(O ₃ pcd) + 1.362LOG(CV1) - 0.458LOG(LB1) - 2.13E-02(MC1)	17	0.891	0.025	0.044	0.000	0.032	0.000	0.002	2.502	5
2	Stepwise	NO ₂ = 0.216 - 1.98E-02LOG(DFE) + 1.613E-04(WD) - 7.30E-02LOG(CV2) + 1.453E-02LOG(SO ₂ pcd)	19	0.823	0.027	0.000	-0.002	0.006	0.042	0.000	0.000	5
2	Backward	NO ₂ = 0.285 - 7.41E-03(T) - 1.44E-02LOG(DFE) - 0.739(NO ₂ pcd) - 4.82E-03(COpcd) + 2.447E-02LOG(SO ₂ pcd) + 3.848E-02LOG(C2) - 1.98E-02LOG(LB2)	21	0.851	0.050	0.000	-0.001	0.006	0.106	0.000	0.048	5
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = 0.286 - 0.249LOG(DFE) + 2.251E-03(WD) - 0.955LOG(CV2) + 25.252(SO ₂ pcd)	19	0.810	0.008	0.055	-0.020	0.082	0.000	0.003	2.763	6
2	Backward	LOG(NO ₂) = 1.026 - 0.108(T) - 0.201LOG(DFE) - 9.623(NO ₂ pcd) - 6.47E-02(COpcd) + 43.478(SO ₂ pcd) + 0.309LOG(C2)	21	0.793	0.026	0.063	-0.019	0.084	0.000	0.004	2.392	6
3	Stepwise	NO ₂ = 6.206E-02 - 2.70E-02LOG(DFE) + 1.537E-04(WD)	54	0.599	0.002	0.000	-0.005	0.012	0.184	0.000	0.000	6
3	Backward	NO ₂ = 0.334 - 5.28E-03(T) + 9.364E-05(WD) - 2.71E-02LOG(DFE) + 2.242E-02LOG(SO ₂ pcd) + 1.503E-03LOG(O ₃ pcd) - 1.46E-06(C3) - 1.14E-02LOG(HB3) + 1.199E-04(HT3)	18	0.971	0.000	0.000	-0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	5
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.138 - 0.352LOG(DFE) + 2.086E-03(WD)	54	0.570	0.002	0.089	-0.105	0.189	0.000	0.008	2.763	6
3	Backward	LOG(NO ₂) = 3.115 - 8.79E-02(T) + 9.851E-04(WD) + 3.52E-02(WS) - 0.323LOG(DFE) + 33.941(SO ₂ pcd) + 0.194LOG(O ₃ pcd) - 0.555LOG(CV3) - 0.159LOG(HB3) + 1.176E-03(HT3)	17	0.966	0.001	0.031	0.000	0.017	0.000	0.001	3.273	5

ตารางที่ ค6 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = 4.436E-02 + 2.68(O ₃ pcd) - 1.34E-03(T)	51	0.508	0.026	0.000	-0.0001	0.004	0.002	0.000	0.000	6
1	Backward	O ₃ = 3.783E-02 + 1.24E-03(T) - 0.177(NO ₂ pcd) + 0.286(O ₃ pcd) - 7.33E-05(CV1) + 5.858E-03LOG(C1)	51	0.771	0.002	0.00	0.000	0.001	0.325	0.000	0.000	6
1	Stepwise	LOG(O ₃) = 0.388 + 13.408(O ₃ pcd) - 9.13E-02(T)	51	0.407	0.024	0.114	-0.039	0.191	0.000	0.013	4.734	6
1	Backward	LOG(O ₃) = 3.478 + 0.252LOG(WD) + 0.225LOG(WS) - 15.872(NO ₂ pcd) + 9.987(O ₃ pcd) - 5.88E-03(CV1) + 0.655LOG(LB1)	51	0.810	0.000	0.063	0.000	0.053	0.000	0.004	5.206	6
2	Stepwise	O ₃ = 4.436E-02 + 2.68(O ₃ pcd) - 1.34E-03(T)	51	0.508	0.026	0.000	-0.0001	0.004	0.002	0.000	0.000	6
2	Backward	O ₃ = 2.805E-02 - 1.80E-03(T) - 0.245(NO ₂ pcd) - 2.30E-03(COpcd) + 0.276(O ₃ pcd) + 1.364E-04(CV2) + 7.777E-03LOG(C2) - 2.54E-06(LB2) + 8.052E-06(HB2) + 2.063E-03LOG(MC2)	51	0.818	0.008	0.000	0.000	0.001	0.023	0.000	0.000	6
2	Stepwise	LOG(O ₃) = 0.578 + 13.539(O ₃ pcd) - 9.79E-02(T)	51	0.430	0.013	0.114	-0.035	0.193	0.000	0.013	5.020	6
2	Backward	LOG(O ₃) = -3.330 + 0.522LOG(WD) - 1.19E-03(DFE) - 0.375LOG(SO ₂ pcd) + 11.893(O ₃ pcd) - 0.316LOG(C2) + 0.125LOG(MC2)	51	0.663	0.009	0.089	0.000	0.072	0.000	0.008	5.939	5
3	Stepwise	O ₃ = 4.436E-02 + 2.68(O ₃ pcd) - 1.34E-03(T)	51	0.508	0.026	0.000	-0.0001	0.004	0.002	0.000	0.000	6
3	Backward	O ₃ = 3.188E-03 + 1.544E-05(WD) + 0.231(O ₃ pcd)	51	0.436	0.010	0.000	-0.0001	0.004	0.000	0.000	0.000	6
3	Stepwise	LOG(O ₃) = 0.388 + 13.408(O ₃ pcd) - 9.13E-02(T)	51	0.407	0.024	0.114	-0.039	0.191	0.000	0.013	5.020	6
3	Backward	LOG(O ₃) = -3.097 + 0.605LOG(WD) + 0.128(COpcd) - 0.459LOG(SO ₂ pcd) + 14.424(O ₃ pcd) - 1.88E-02(CV3) + 4.646E-04(HB3) - 1.863E-04(MC3)	51	0.653	0.018	0.089	0.000	0.068	0.000	0.008	6.486	5

ตารางที่ ค7 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ CO กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนป้าย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	CO = 129.006 - 92.317LOG(T) - 9.540E-03(WD) - 9.238E-02(WS) - 8.958E-02LOG(DFE) - 5.142LOG(NO ₂ ped) + 4.892(COped) - 79.664(O ₃ ped) + 7.633E-02(CV1) + 3.725LOG(C1) - 7.090LOG(LB1) + 5.715E-02(HB1) - 0.267(MC1)	14	1.000	0.000	0.000	-0.365	1.366	0.051	0.000	1.655	9
1	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(CO) = 83.818 - 57.005LOG(T) - 2.216LOG(WD) - 0.322LOG(WS) + 0.104LOG(DFE) - 3.159LOG(NO ₂ ped) + 3.439(COped) - 46.402(O ₃ ped) + 5.516E-02(CV1) + 3.113LOG(C1) - 5.876LOG(LB1) + 3.787E-02(HB1) - 0.165(MC1)	14	1.000	0.000	0.000	-0.250	0.935	0.101	0.000	3.162	9
2	Stepwise	CO = 17.791 - 9.372LOG(CV2)	16	0.308	0.028	0.329	0.117	0.379	0.347	0.108	0.538	9
2	Backward	CO = 17.791 - 9.372LOG(CV2)	16	0.308	0.028	0.329	0.117	0.379	0.347	0.108	0.538	9
2	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(CO) = 9.576 - 5.376LOG(CV2)	16	0.203	0.069	0.237	0.074	0.258	0.002	0.056	1.183	9
3	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	CO = -27.251 - 8.090LOG(T) - 5.897E-03(WD) - 4.877E-02(WS) - 1.420LOG(DFE) - 3.170LOG(NO ₂ ped) + 4.304(COped) - 20.223(SO ₂ ped) - 3.327(O ₃ ped) + 25.745LOG(CV3) - 4.970LOG(C3) + 0.370LOG(HB3)	12	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.289	9
3	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(CO) = -29.212 + 2.257LOG(T) - 1.126LOG(WD) + 0.595LOG(WS) - 0.771LOG(DFE) - 1.177LOG(NO ₂ ped) + 2.142(COped) - 14.362(SO ₂ ped) - 9.194(O ₃ ped) + 16.805LOG(CV3) - 2.409LOG(C3) + 9.191E-03(HT3)	12	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.541	9

ตารางที่ ค8 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ NO₂ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนป้าย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	NO ₂ = -0.703 + 0.399LOG(T) - 9.376E-03LOG(WD) + 1.362E-02(WS) - 2.298E-02LOG(DFE) + 3.224(NO ₂ pcd) - 6.614E-02LOG(COpcd) - 6.654(SO ₂ pcd) - 8.577(O ₃ pcd) + 0.234LOG(CV1) - 0.140LOG(C1) + 7.272E-05(LB1) - 4.506E-04(HT1)	13	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	9
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(NO ₂) = -15.159 + 7.718LOG(T) - 0.166LOG(WD) + 0.228(WS) - 0.411LOG(DFE) + 56.197(NO ₂ pcd) - 1.160LOG(COpcd) - 115.629(SO ₂ pcd) - 15.0916(O ₃ pcd) + 3.946LOG(CV1) - 2.417LOG(C1) + 1.251E-03(LB1) - 6.296E-03(HT1)	13	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	2.421	9
2	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	NO ₂ = -0.636 + 7.194E-02LOG(T) - 9.319E-03LOG(WD) + 5.378E-03(WS) - 1.252E-02LOG(DFE) + 6.534E-02(NO ₂ pcd) + 5.278E-04LOG(COpcd) + 0.923(O ₃ pcd) + 0.271LOG(CV2) + 1.851E-02LOG(C2) + 2.933E-06(HB2) + 4.655E-03LOG(MC2)	13	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(NO ₂) = -11.705 - 0.142LOG(T) - 0.182LOG(WD) + 0.108(WS) - 0.239LOG(DFE) - 0.172(NO ₂ pcd) + 7.014E-02LOG(COpcd) + 13.040(O ₃ pcd) + 5.075LOG(CV2) + 0.193LOG(C2) + 0.126LOG(LB2) + 0.145LOG(MC2)	13	1.000	0.000	0.000	0.145	0.054	0.000	0.000	2.942	9
3	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	NO ₂ = -1.059 + 0.940LOG(T) - 1.666E-02LOG(WD) - 1.082E-02(WS) + 2.632E-03LOG(DFE) + 2.279(NO ₂ pcd) - 8.141E-02LOG(COpcd) - 3.441(SO ₂ pcd) - 2.545(O ₃ pcd) - 0.133LOG(CV3) + 3.462E-06(HB3) - 2.553E-02LOG(MC3)	12	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	9
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(NO ₂) = -20.175 + 16.254LOG(T) - 0.298LOG(WD) - 0.187(WS) + 3.282E-02LOG(DFE) + 39.836(NO ₂ pcd) - 1.415LOG(COpcd) - 60.904(SO ₂ pcd) - 48.695(O ₃ pcd) - 2.400LOG(CV3) - 0.413LOG(MC3) + 1.378E-04(HB3)	12	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.207	9

ตารางที่ ๙9 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีแยกประเภทพาหนะช่วงเวลาเร่งด่วนบาย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	O ₃ = -3.411E-02 + 1.011(NO ₂ pcd) - 2.215E-03LOG(O ₃ pcd) + 1.129E-04LOG(MC1)	6	1.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.000	0.000	0.000	9
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(O ₃) = -4.247 + 48.420(NO ₂ pcd) - 0.138LOG(O ₃ pcd) + 6.750E-02LOG(MC1)	6	1.000	0.000	0.000	0.239	0.549	0.000	0.000	4.246	9
2	Stepwise	O ₃ = 2.273E-02 + 6.259E-03LOG(SO ₂ pcd)	44	0.565	0.019	0.000	-0.002	0.002	0.000	0.000	4.053	9
2	Backward	O ₃ = 1.273E-02 - 3.139E-05(WD) - 3.991E-03LOG(DFE) + 0.249(NO ₂ pcd) - 4.090E-04LOG(SO ₂ pcd) + 1.032E-04(CV2) - 7.509E-03LOG(HT2) - 8.286E-07(MC2)	8	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9
2	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.736 + 17.688(NO ₂ pcd)	51	0.555	0.013	0.130	-0.017	0.184	0.000	0.017	4.220	9
2	Backward	LOG(O ₃) = -7.629E-02 - 5.176E-03(WD) + 0.182LOG(WS) - 0.390LOG(DFE) + 15.981(NO ₂ pcd) + 0.166LOG(O ₃ pcd) - 5.685E-02LOG(C2) - 2.899E-02LOG(HB2) - 0.598LOG(HT2)	10	1.000	0.000	0.000	0.056	0.176	0.000	0.000	4.253	9
3	Stepwise	O ₃ = 2.273E-02 + 6.259E-03LOG(SO ₂ pcd)	44	0.565	0.019	0.000	-0.002	0.002	0.707	0.000	0.000	9
3	Backward	O ₃ = -5.601E-03 - 6.423E-05(WD) - 3.085E-03LOG(DFE) + 0.299(NO ₂ pcd) - 1.662E-04LOG(SO ₂ pcd) + 1.363E-02LOG(CV3) - 9.665E-03LOG(HT3) + 6.827E-07(MC3)	8	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	9
3	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.734 + 17.559(NO ₂ pcd)	51	0.537	0.023	0.141	-0.015	0.183	0.000	0.020	4.243	9
3	Backward	LOG(O ₃) = -2.402 - 6.575E-03(WD) - 0.294LOG(DFE) + 21.844(NO ₂ pcd) - 6.385E-02LOG(SO ₂ pcd) + 0.717LOG(CV3) - 0.743LOG(HT3) + 1.051E-04(MC3)	8	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.601	9

ตารางที่ ค10 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ CO กรณีรวมปริมาณ
จราจร 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 9.370 - 0.964LOG(DFE) + 1.488E-02(CV1) - 6.375LOG(T) - 0.420LOG(O ₃ pcd)	178	0.289	0.012	0.649	0.319	0.798	0.000	0.421	0.588	58
1	Backward	CO = 9.370 - 0.964LOG(DFE) + 1.488E-02(CV1) - 6.375LOG(T) - 0.420LOG(O ₃ pcd)	178	0.289	0.012	0.649	0.319	0.798	0.000	0.421	0.596	58
1	Stepwise	LOG(CO) = 3.003 - 0.487LOG(DFE) + 5.276E-03(CV1) - 1.965LOG(T)	201	0.249	0.018	0.321	0.124	0.381	0.000	0.103	1.663	60
1	Backward	LOG(CO) = 4.786 - 3.229LOG(T) + 9.680E-02(WS) - 0.507LOG(DFE) + 5.641E-05(TF1) + 4.800E-03(CV1)	132	0.269	0.018	0.316	0.009	0.316	0.000	0.100	1.499	60
2	Stepwise	CO = 9.196 - 0.842LOG(DFE) - 4.512LOG(T)	430	0.194	0.009	0.684	0.076	0.741	0.011	0.468	0.390	60
2	Backward	CO = 10.569 - 5.904LOG(T) - 0.825LOG(DFE) - 0.287LOG(O ₃ pcd)	375	0.207	0.094	0.679	0.060	0.715	0.169	0.461	0.456	58
2	Stepwise	LOG(CO) = 3.563 - 0.422LOG(DFE) - 1.982LOG(T)	430	0.204	0.014	0.327	0.014	0.378	0.000	0.107	1.307	60
2	Backward	LOG(CO) = 3.449 - 1.703LOG(T) - 0.410LOG(DFE) - 4.569E-03(CV2)	135	0.216	0.086	0.324	0.006	0.323	0.000	0.105	1.200	60
3	Stepwise	CO = 9.196 - 0.842LOG(DFE) - 4.512LOG(T)	430	0.194	0.009	0.684	0.076	0.741	0.011	0.468	0.390	60
3	Backward	CO = 9.670 - 6.133LOG(T) - 0.910LOG(DFE) - 0.332LOG(O ₃ pcd) + 1.328E-02(CV3)	119	0.224	0.060	0.672	0.005	0.659	0.428	0.452	0.442	58
3	Stepwise	LOG(CO) = 3.563 - 0.422LOG(DFE) - 1.982LOG(T)	430	0.204	0.014	0.327	0.014	0.378	0.000	0.107	1.307	60
3	Backward	LOG(CO) = 3.563 - 1.982LOG(T) - 0.422LOG(DFE)	430	0.204	0.000	0.327	0.014	0.378	0.000	0.107	1.307	60

ตารางที่ ค11 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ NO₂ กรณีรวมปริมาณจราจร 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 3.086E-02 - 1.115E-02LOG(DFE) + 1.871E-04(CV1) + 4.500E-03LOG(O ₃ pcd) - 6.712E-03LOG(COpcd)	171	0.357	0.018	0.000	0.002	0.007	0.000	0.000	0.000	58
1	Backward	NO ₂ = 4.285E-02 + 1.839E-04(CV1) - 1.055E-02LOG(DFE) - 6.982E-03LOG(COpcd) + 4.576E-03LOG(SO ₂ pcd) + 5.271E-03LOG(O ₃ pcd)	131	0.371	0.006	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	58
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = 1.251E-02 - 7.837E-03LOG(DFE) + 1.299E-04(CV1) - 9.107E-03LOG(COpcd) + 6.285E-03LOG(TF1) - 5.056E-03LOG(WD)	117	0.416	0.036	0.000	-0.0004	0.006	0.036	0.000	0.000	58
1	Backward	LOG(NO ₂) = 6.943E-02 + 6.717E-03LOG(TF1) - 3.591E-03LOG(WD) - 8.191E-03LOG(DFE) - 7.194E-03LOG(COpcd) + 1.160E-04(CV1)	117	0.428	0.033	0.000	-0.0003	0.006	0.000	0.000	0.003	58
2	Stepwise	NO ₂ = 6.872E-02 + 1.026E-02LOG(TF2) - 1.221E-02LOG(COpcd) - 3.342E-02LOG(CV2) - 5.297E-03LOG(DFE) + 5.082E-03LOG(SO ₂ pcd)	110	0.455	0.034	0.000	-0.001	0.007	0.069	0.000	0.000	58
2	Backward	NO ₂ = 6.872E-02 + 1.026E-02LOG(TF2) - 1.221E-02LOG(COpcd) - 3.342E-02LOG(CV2) - 5.297E-03LOG(DFE) + 5.082E-03LOG(SO ₂ pcd)	110	0.455	0.034	0.000	-0.001	0.007	0.069	0.000	0.000	58
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = 1.112E-02 - 6.402E-03LOG(DFE) + 9.778E-03LOG(TF2) - 9.574E-03LOG(COpcd) - 1.738E-04(CV2)	117	0.388	0.022	0.000	-0.001	0.007	0.162	0.000	0.000	58
2	Backward	LOG(NO ₂) = 8.775E-02 - 4.300E-02LOG(T) - 5.428E-03LOG(WD) - 5.863E-03LOG(DFE) - 6.880E-03LOG(COpcd) + 4.940E-03LOG(SO ₂ pcd) + 1.145E-02LOG(TF2) - 1.301E-04(CV2)	109	0.442	0.078	0.000	-0.0003	0.006	0.005	0.000	0.000	58
3	Stepwise	NO ₂ = 6.093E-02 + 1.025E-02LOG(TF3) - 1.506E-02LOG(COpcd) - 2.713E-02LOG(CV3) - 5.200E-03LOG(DFE) + 5.444E-03LOG(SO ₂ pcd)	110	0.467	0.022	0.000	-0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	58
3	Backward	NO ₂ = 6.093E-02 + 1.025E-02LOG(TF3) - 1.506E-02LOG(COpcd) - 2.713E-02LOG(CV3) - 5.200E-03LOG(DFE) + 5.444E-03LOG(SO ₂ pcd)	110	0.467	0.022	0.000	-0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	58
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = 7.520E-02 - 6.593E-03LOG(DFE) + 1.134E-02LOG(TF3) - 6.078E-03LOG(COpcd) - 6.574E-03LOG(WD) - 4.656E-02LOG(T)	146	0.417	0.028	0.000	-0.001	0.006	0.043	0.000	0.000	58
3	Backward	LOG(NO ₂) = 8.475E-02 - 4.785E-02LOG(T) - 6.532E-03LOG(WD) - 5.873E-03LOG(DFE) - 6.656E-03LOG(COpcd) + 4.800E-03LOG(SO ₂ pcd) + 1.197E-02LOG(TF3)	136	0.435	0.000	0.000	-0.001	0.006	0.032	0.000	0.000	58

ตารางที่ ค12 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีรวมปริมาณจราจร 24 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = -2.649E-03 + 0.335(O ₃ pcd) + 0.177(NO ₂ pcd) + 1.937E-05(WD) + 8.936E-06(DFE)	397	0.676	0.006	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	O ₃ = 2.429E-03 + 1.940E-05(WD) + 1.056E-05(DFE) + 0.199(NO ₂ pcd) - 9.016E-04(COpcd) + 0.313(O ₃ pcd)	397	0.681	0.000	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	LOG(O ₃) = 3.433E-02 + 6.407E-03LOG(O ₃ pcd) + 9.085E-03LOG(NO ₂ pcd) + 1.083E-05(DFE) + 1.488E-05(WD)	369	0.659	0.015	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	58
1	Backward	LOG(O ₃) = 3.433E-02 + 6.407E-03LOG(O ₃ pcd) + 9.085E-03LOG(NO ₂ pcd) + 1.083E-05(DFE) + 1.488E-05(WD)	369	0.659	0.015	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	58
2	Stepwise	O ₃ = -2.626E-03 + 0.336(O ₃ pcd) + 0.176(NO ₂ pcd) + 1.922E-05(WD) + 9.026E-06(DFE)	397	0.676	0.006	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	O ₃ = -2.388E-03 + 1.921E-05(WD) + 1.075E-05(DFE) + 0.198(NO ₂ pcd) - 9.377E-04(COpcd) + 0.314(O ₃ pcd)	397	0.682	0.000	0.000	-0.0004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	LOG(O ₃) = 3.412E-02 + 6.736E-03LOG(O ₃ pcd) + 8.518E-03LOG(NO ₂ pcd) + 1.136E-05(DFE) + 1.428E-05(WD)	369	0.667	0.019	0.000	-0.0002	0.003	0.000	0.000	0.000	58
2	Backward	LOG(O ₃) = 3.418E-02 + 1.427E-05(WD) + 1.115E-05(DFE) + 8.705E-03LOG(NO ₂ pcd) + 6.611E-03LOG(O ₃ pcd)	369	0.665	0.000	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	58
3	Stepwise	O ₃ = -2.626E-03 + 0.336(O ₃ pcd) + 0.176(NO ₂ pcd) + 1.922E-05(WD) + 9.026E-06(DFE)	397	0.676	0.006	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	O ₃ = -2.388E-03 + 1.921E-05(WD) + 1.075E-05(DFE) + 0.198(NO ₂ pcd) - 9.377E-04(COpcd) + 0.314(O ₃ pcd)	397	0.682	0.000	0.000	-0.0004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	LOG(O ₃) = 3.418E-02 + 1.427E-05(WD) + 1.115E-05(DFE) + 8.705E-03LOG(NO ₂ pcd) + 6.611E-03LOG(O ₃ pcd)	369	0.665	0.000	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	58
3	Backward	LOG(O ₃) = 4.045E-02 + 1.368E-05(WD) + 1.357E-05(DFE) + 8.695E-03LOG(NO ₂ pcd) + 6.816E-03LOG(O ₃ pcd) - 6.183E-05(CV3)	120	0.673	0.062	0.000	-0.0001	0.003	0.005	0.000	0.000	58

ตารางที่ ค13 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ CO กรณีรวมปริมาณ
 จราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = 2.121 - 93.627(O ₃ pcd)	51	0.252	0.010	0.808	-0.289	0.781	0.904	0.653	0.162	6
1	Backward	CO = -0.270 + 1.372E-02(WD) - 2.370LOG(DFE) - 3.234LOG(NO ₂ pcd) + 0.950(COpcd) - 1.136E-02(CV1)	24	0.631	0.069	0.567	-0.051	0.506	0.000	0.321	0.118	5
1	Stepwise	LOG(CO) = -0.698 - 37.565(O ₃ pcd) + 0.512LOG(WD)	51	0.430	0.018	0.239	-0.101	0.286	0.000	0.057	3.884	6
1	Backward	LOG(CO) = -0.931 + 0.192(T) + 1.373LOG(WD) - 0.548LOG(DFE) - 0.766LOG(NO ₂ pcd) + 0.480(COpcd) - 4.031LOG(CV3)	19	0.802	0.011	0.148	0.000	0.122	0.000	0.022	4.638	5
2	Stepwise	CO = -6.736 + 0.143(T) + 1.199LOG(WD) - 0.626LOG(DFE) - 1.202LOG(NO ₂ pcd) + 0.414(COpcd) - 7.288E-03(CV1)	24	0.756	0.005	0.155	-0.025	0.154	0.000	0.024	2.868	6
2	Backward	CO = 2.124 - 93.078(O ₃ pcd)	51	0.238	0.020	0.874	-0.295	0.781	0.931	0.764	0.157	6
2	Stepwise	LOG(CO) = 17.763 + 1.618E-02(WD) - 2.315LOG(DFE) + 1.151(COpcd) - 8.082LOG(CV2)	19	0.726	0.004	0.523	0.000	0.462	0.753	0.274	0.554	6
2	Backward	LOG(CO) = -0.714 - 19.273(O ₃ pcd) + 0.910LOG(WD) - 0.613LOG(DFE) + 0.258(COpcd)	51	0.659	0.023	0.197	-0.059	0.300	0.000	0.039	4.320	6
3	Stepwise	CO = -2.226 + 0.206(T) + 1.388LOG(WD) - 0.636LOG(DFE) + 0.467(COpcd) + 3.147LOG(CV2)	19	0.789	0.002	0.155	0.000	0.131	0.000	0.024	8.065	6
3	Backward	CO = 2.124 - 93.078(O ₃ pcd)	51	0.238	0.020	0.874	-0.295	0.781	0.931	0.764	0.157	6
3	Stepwise	LOG(CO) = -0.663 + 1.335E-02(WD) + 2.606LOG(DFE) - 2.947LOG(NO ₂ pcd) + 0.832(COpcd)	52	0.621	0.013	0.616	-0.187	0.887	0.417	0.379	5.214	5
3	Backward	LOG(CO) = -0.714 - 19.273(O ₃ pcd) + 0.910LOG(WD) - 0.613LOG(DFE) + 0.258(COpcd)	51	0.659	0.023	0.197	-0.059	0.300	0.000	0.039	4.320	6

ตารางที่ ค14 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ NO₂ กรณีรวมปริมาณ
จราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = 0.117 - 2.886E-02LOG(DFE) + 1.684E-04(WD) - 0.653(NO ₂ pcd) + 1.519E-02LOG(SO ₂ pcd)	47	0.797	0.019	0.000	-0.009	0.013	0.137	0.000	1.901	5
1	Backward	NO ₂ = 0.117 - 2.886E-02LOG(DFE) + 1.684E-04(WD) - 0.653(NO ₂ pcd) + 1.519E-02LOG(SO ₂ pcd)	47	0.797	0.019	0.000	-0.009	0.013	0.137	0.000	0.000	5
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.131 - 0.355LOG(DFE) + 2.063E-03(WD)	54	0.674	0.000	0.084	-0.103	0.189	0.000	0.007	2.796	6
1	Backward	LOG(NO ₂) = -0.952 - 5.281E-02(T) + 1.712E-03(WD) + 8.614E-02(WS) - 0.357LOG(DFE) - 6.606(NO ₂ pcd) - 6.129E-02(COpcd) + 39.910(SO ₂ pcd) + 0.650LOG(CV1)	22	0.841	0.021	0.055	-0.025	0.099	0.000	0.003	2.822	6
2	Stepwise	NO ₂ = 0.216 - 1.977E-02LOG(DFE) + 1.631E-04(WD) - 7.301E-02LOG(CV2) + 1.453E-02LOG(SO ₂ pcd)	19	0.823	0.027	0.000	-0.002	0.006	0.000	0.000	0.000	5
2	Backward	NO ₂ = 0.216 - 1.977E-02LOG(DFE) + 1.631E-04(WD) - 7.301E-02LOG(CV2) + 1.453E-02LOG(SO ₂ pcd)	19	0.823	0.027	0.000	-0.002	0.006	0.000	0.000	0.000	5
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = 0.286 - 0.249LOG(DFE) + 2.251E-03(WD) - 0.955LOG(CV2) + 25.252(SO ₂ pcd)	19	0.810	0.008	0.055	-0.020	0.082	0.000	0.003	2.744	6
2	Backward	LOG(NO ₂) = 0.684 - 5.985E-02(T) + 1.696E-03(WD) - 0.335LOG(DFE) - 7.788(NO ₂ pcd) + 32.908(SO ₂ pcd)	50	0.779	0.005	0.063	-0.148	0.217	0.188	0.004	2.557	6
3	Stepwise	NO ₂ = 6.206E-02 - 2.699E-02LOG(DFE) + 1.537E-04(WD)	54	0.599	0.002	0.000	-0.006	0.012	0.188	0.000	0.000	6
3	Backward	NO ₂ = 0.379 - 7.769E-03(T) - 1.162E-02LOG(DFE) - 0.570(NO ₂ pcd) - 6.503E-03(COpcd) + 3.327E-02LOG(SO ₂ pcd)	47	0.688	0.003	0.000	-0.010	0.011	0.161	0.000	0.000	5
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = -1.138 - 0.352LOG(DFE) + 2.086E-03(WD)	54	0.570	0.002	0.089	-0.105	0.189	0.208	0.008	2.802	6
3	Backward	LOG(NO ₂) = 0.684 - 5.985E-02(T) + 1.696E-03(WD) - 0.335LOG(DFE) - 7.788(NO ₂ pcd) + 32.908(SO ₂ pcd)	50	0.779	0.005	0.063	-0.148	0.217	0.000	0.004	2.557	6

ตารางที่ ค15 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีรวมปริมาณจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	$O_3 = 4.436E-02 + 0.268(O_{3pcd}) - 1.344E-03(T)$	51	0.508	0.026	0.000	-0.0001	0.004	0.000	0.000	0.000	6
1	Backward	$O_3 = 3.352E-02 - 1.246E-03(T) - 0.190(NO_{2pcd}) + 0.277(O_{3pcd}) - 7.473E-05(CV1) + 6.957E-03LOG(TF1)$	19	0.784	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	6
1	Stepwise	$LOG(O_3) = 0.388 + 13.408(O_{3pcd}) - 9.131E-02(T)$	51	0.407	0.024	0.114	-0.039	0.191	0.000	0.013	5.016	6
1	Backward	$LOG(O_3) = -0.313 - 8.570E-02(T) - 12.511(NO_{2pcd}) + 14.068(O_{3pcd}) - 5.183E-03(CV1) + 0.472LOG(TF1)$	19	0.747	0.001	0.077	0.000	0.063	0.000	0.006	3.524	6
2	Stepwise	$O_3 = 4.020E-02 - 1.238E-03(T) - 0.186(NO_{2pcd}) - 1.613E-03(CO_{pcd}) + 0.180(O_{3pcd}) + 1.112E-04(CV2)$	19	0.595	0.096	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	6
2	Backward	$O_3 = 4.436E-02 + 0.268(O_{3pcd}) - 1.344E-03(T)$	51	0.508	0.026	0.000	-0.0001	0.004	0.000	0.000	0.002	6
2	Stepwise	$LOG(O_3) = 0.578 + 13.539(O_{3pcd}) - 9.795E-02(T)$	51	0.430	0.013	0.114	-0.035	0.193	0.000	0.013	5.044	6
2	Backward	$LOG(O_3) = -2.442 + 0.177LOG(WD) - 8.389(NO_{2pcd}) + 13.019(O_{3pcd})$	51	0.443	0.015	0.120	-0.051	0.196	0.000	0.014	5.474	6
3	Stepwise	$O_3 = 4.436E-02 + 0.268(O_{3pcd}) - 1.344E-03(T)$	51	0.508	0.026	0.000	-0.0001	0.004	0.000	0.000	0.002	6
3	Backward	$O_3 = 8.206E-03 - 0.139(NO_{2pcd}) + 0.288(O_{3pcd})$	51	0.451	0.001	0.000	-0.0003	0.004	0.000	0.000	0.000	6
3	Stepwise	$LOG(O_3) = 0.388 + 13.408(O_{3pcd}) - 9.131E-02(T)$	51	0.407	0.024	0.114	-0.039	0.191	0.000	0.013	5.016	6
3	Backward	$LOG(O_3) = -2.674 + 0.191LOG(WD) + 11.758(O_{3pcd})$	51	0.324	0.036	0.122	-0.037	0.175	0.000	0.015	5.745	6

ตารางที่ ค16 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ CO กรณีรวมปริมาณ
จราจรช่วงเวลาเร่งด่วนป้าย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	CO = -3.593 - 5.030E-03(WD) - 0.309LOG(DFE) + 0.721(COped) + 3.392E-02(CV1)	24	0.591	0.009	0.214	0.899	1.147	0.000	0.046	1.655	9
1	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(CO) = -1.288 - 1.113LOG(WD) - 0.251LOG(DFE) + 0.505(COped) + 2.375E-02(CV1)	24	0.657	0.007	0.145	0.563	0.701	0.000	0.021	3.162	9
2	Stepwise	CO = 17.791 - 9.372LOG(CV2)	16	0.308	0.028	0.329	0.117	0.379	0.347	0.108	0.538	9
2	Backward	CO = 17.791 - 9.372LOG(CV2)	16	0.308	0.028	0.329	0.117	0.379	0.347	0.108	0.538	9
2	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(CO) = 9.576 - 5.376LOG(CV2)	16	0.203	0.069	0.237	0.074	0.258	0.002	0.056	1.183	9
3	Stepwise	CO = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	CO = 1.568 - 0.483LOG(DFE)	54	0.161	0.097	0.363	0.433	0.793	-	0.132	0.289	-
3	Stepwise	LOG(CO) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	LOG(CO) = 0.404 - 0.350LOG(DFE)	54	0.205	0.068	0.237	0.149	0.365	-	0.056	1.541	-

ตารางที่ ค17 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ NO₂ กรณีรวมปริมาณ
จราจรช่วงเวลาเร่งด่วนบาย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	NO ₂ = -0.269 + 0.194LOG(T) - 5.762E-03LOG(DFE) + 0.344(NO ₂ pcd) - 0.897(SO ₂ pcd)	45	0.539	0.015	0.000	0.005	0.010	0.121	0.000	0.000	9
1	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Backward	LOG(NO ₂) = -7.780 + 4.077LOG(T) - 0.107LOG(DFE) + 6.145(NO ₂ pcd) - 15.174(SO ₂ pcd)	45	0.545	0.020	0.055	0.069	0.146	0.000	0.003	2.421	9
2	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	NO ₂ = -0.636 + 7.194E-02LOG(T) - 9.319E-03LOG(WD) + 5.378E-03(WS) - 1.252E-02LOG(DFE) + 6.534E-02(NO ₂ pcd) + 5.278E-04LOG(COpcd) + 0.923(O ₃ pcd) + 0.271LOG(CV2) + 1.851E-02LOG(C2) + 2.933E-06(HB2) + 4.655E-03LOG(MC2)	13	1.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.043	0.000	0.000	9
2	Stepwise	LOG(NO ₂) = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Backward	LOG(NO ₂) = -13.341 + 2.683LOG(T) - 0.224LOG(WD) + 5.744E-02(WS) - 0.190LOG(DFE) + 8.088(NO ₂ pcd) - 0.207LOG(COpcd) - 12.190(SO ₂ pcd) + 4.369LOG(CV2) + 1.762E-05(TF2)	12	0.998	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	2.942	9
3	Stepwise	NO ₂ = -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Backward	NO ₂ = -0.396 + 0.286LOG(T) - 2.027E-02LOG(WD) + 1.572(NO ₂ pcd) - 4.251E-02LOG(COpcd) - 2.699(SO ₂ pcd) - 2.138(O ₃ pcd)	44	0.762	0.034	0.000	0.006	0.018	0.163	0.000	0.000	9
3	Stepwise	LOG(NO ₂) = 0.195 - 8.570E-02LOG(CV3)	16	0.256	0.045	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	9
3	Backward	LOG(NO ₂) = -10.256 + 8.466LOG(T) - 0.308LOG(WD) - 0.106(WS) + 33.042(NO ₂ pcd) - 1.256LOG(COpcd) - 53.454(SO ₂ pcd) - 49.202(O ₃ pcd) - 1.989LOG(CV3)	13	0.892	0.050	0.032	-0.018	0.066	0.000	0.001	4.207	9

ตารางที่ ค18 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีรวมปริมาณ
 จราจรช่วงเวลาเร่งด่วนบ่าย

กรณี	วิธีวิเคราะห์	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
							Mean	S.D	Paired T-test	Compare		N
										MSE	MSPR	
1	Stepwise	O ₃ = 1.712E-02 + 4.276E-03LOG(SO ₂ pcd)	44	0.381	0.006	0.000	-0.001	0.002	0.875	0.000	0.000	9
1	Backward	O ₃ = 3.623E-03 + 7.216E-03LOG(WS) + 0.274(NO ₂ pcd) - 1.309E-02LOG(COpcd) + 2.340E-03LOG(SO ₂ pcd)	44	0.770	0.031	0.000	-0.002	0.003	0.714	0.000	0.000	9
1	Stepwise	LOG(O ₃) = -1.496 + 0.290LOG(SO ₂ pcd)	44	0.395	0.005	0.130	-0.054	0.145	0.000	0.017	4.246	9
1	Backward	LOG(O ₃) = -1.409 + 0.410LOG(WS) + 19.206(NO ₂ pcd) - 0.802LOG(COpcd) + 0.147LOG(SO ₂ pcd) - 0.499LOG(CV1)	16	0.752	0.099	0.084	0.000	0.067	0.000	0.007	4.053	9
2	Stepwise	O ₃ = -1.868E-03 + 0.279(NO ₂ pcd)	51	0.607	0.003	0.000	-0.0001	0.003	0.038	0.000	0.000	9
2	Backward	O ₃ = 1.021 - 0.639LOG(T) - 3.991E-05(WD) + 7.146E-02LOG(WS) - 2.928E-02LOG(DFE) - 1.735(NO ₂ pcd) + 0.111LOG(COpcd) + 3.202E-02LOG(SO ₂ pcd) + 3.681E-02LOG(O ₃ pcd) + 3.728E-03(CV2) - 7.939E-03LOG(TF2)	11	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.220	9
2	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.780 + 18.635(NO ₂ pcd)	51	0.616	0.002	0.114	-0.001	0.190	0.000	0.013	4.253	9
2	Backward	LOG(O ₃) = -2.970 + 0.516LOG(WS) + 22.760(NO ₂ pcd) - 0.553LOG(COpcd)	51	0.734	0.096	0.095	-0.036	0.223	0.644	0.009	0.000	9
3	Stepwise	O ₃ = -1.868E-03 + 0.279(NO ₂ pcd)	51	0.607	0.003	0.000	-0.0001	0.003	0.001	0.000	0.000	9
3	Backward	O ₃ = 0.318 - 0.442LOG(T) - 4.359E-05(WD) + 3.978E-02LOG(WS) - 3.694E-03LOG(DFE) - 3.995E-02(NO ₂ pcd) + 6.808E-04LOG(COpcd) + 2.380E-03LOG(SO ₂ pcd) - 4.823E-03LOG(O ₃ pcd) + 0.117LOG(CV3) + 3.297E-02LOG(TF3)	11	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.242	9
3	Stepwise	LOG(O ₃) = -2.776 + 18.394(NO ₂ pcd)	51	0.598	0.003	0.118	0.002	0.188	0.000	0.014	1.601	9
3	Backward	LOG(O ₃) = 16.746 - 27.456LOG(T) - 3.173E-03(WD) + 2.453LOG(WS) - 0.183LOG(DFE) + 4.191(NO ₂ pcd) - 0.679LOG(COpcd) + 9.074E-02LOG(SO ₂ pcd) - 0.433LOG(O ₃ pcd) + 6.215LOG(CV3) + 2.484LOG(TF3)	11	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-

ตารางที่ ค19 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 1 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ชม.ที่	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	1	O ₃ = 2.581E-03 + 8.876E-05(HB1) + 0.227(O ₃ pcd) + 2.615E-05(WD) - 1.607E-03(WS)	152	0.710	0.025	0.000	0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	1	O ₃ = 2.581E-03 + 8.876E-05(HB1) + 0.227(O ₃ pcd) + 2.615E-05(WD) - 1.607E-03(WS)	152	0.710	0.025	0.000	0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	1	LOG(O ₃) = -2.492 + 6.126E-03(HB1) + 10.463(O ₃ pcd)	153	0.530	0.015	0.161	0.075	0.197	0.000	0.026	5.379	60
1	Backward	1	LOG(O ₃) = 0.184 - 2.062LOG(T) + 8.048(O ₃ pcd) + 0.181LOG(LB1) + 3.758E-03(HB1)	153	0.587	0.042	0.152	0.070	0.176	0.000	0.023	5.379	60
2	Stepwise	1	O ₃ = 4.371E-02 + 0.274(O ₃ pcd) + 2.057E-05(WD) + 3.755E-03LOG(LB2) - 3.587E-02LOG(T) + 1.211E-05(DFE)	152	0.679	0.000	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	1	O ₃ = 4.120E-02 - 3.156E-02LOG(T) + 2.037E-05(WD) + 1.204E-05(DFE) + 0.273(O ₃ pcd) - 3.676E-03LOG(C2) + 6.521E-03LOG(LB2)	152	0.687	0.000	0.000	-0.0001	0.002	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	1	LOG(O ₃) = -0.815 + 13.177(O ₃ pcd) + 0.507LOG(LB2) - 1.507LOG(T) - 0.274LOG(C2) + 7.127E-04(WD)	152	0.605	0.041	0.170	-0.001	0.163	0.000	0.029	5.214	60
2	Backward	1	LOG(O ₃) = -0.815 + 13.177(O ₃ pcd) + 0.507LOG(LB2) - 1.507LOG(T) - 0.274LOG(C2) + 7.127E-04(WD)	152	0.605	0.041	0.170	-0.001	0.163	0.000	0.029	5.214	60
3	Stepwise	1	O ₃ = 4.328E-02 + 0.275(O ₃ pcd) + 2.003E-05(WD) + 3.717E-03LOG(LB3) - 3.570E-02LOG(T) + 1.173E-05(DFE)	152	0.679	0.001	0.000	-0.0001	0.003	0.015	0.000	0.000	60
3	Backward	1	O ₃ = 4.040E-02 - 3.129E-02LOG(T) + 2.045E-05(WD) + 1.130E-05(DFE) + 0.273(O ₃ pcd) - 3.705E-03LOG(C3) + 6.577E-03LOG(LB3)	152	0.685	0.000	0.000	-0.0002	0.002	0.015	0.000	2.769	60
3	Stepwise	1	LOG(O ₃) = -2.811 + 17.698(O ₃ pcd) + 0.149LOG(MC3) + 1.106E-03(WD) - 5.992E-02(WS)	152	0.534	0.041	0.184	0.004	0.172	0.000	0.034	5.169	60
3	Backward	1	LOG(O ₃) = -0.914 - 1.571LOG(T) + 8.307E-04(WD) + 15.730(O ₃ pcd) + 0.162LOG(C3) + 9.132E-02LOG(MC3)	152	0.545	0.049	0.182	0.006	0.171	0.000	0.033	5.071	60

ตารางที่ ค20 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 2 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ชม.ที่	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	2	$O_3 = 3.754E-03 + 1.032E-04(HB1) + 0.202(O_3pcd)$	151	0.569	0.005	0.000	0.0002	0.003	0.000	0.000	2.745	60
1	Backward	2	$O_3 = 1.691E-03 + 1.724E-05(WD) - 4.979E-03LOG(WS) + 1.204E-05(DFE) + 0.138(O_3pcd) + 1.112E-04(HB1)$	148	0.630	0.000	0.000	0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	2	$LOG(O_3) = -2.499 + 6.277E-03(HB1) + 10.528(O_3pcd)$	151	0.530	0.017	0.167	0.079	0.198	0.000	0.028	5.467	60
1	Backward	2	$LOG(O_3) = 0.520 - 2.355LOG(T) + 8.514(O_3pcd) + 0.201LOG(C1) + 4.403E-03(HB1)$	151	0.578	0.016	0.158	0.086	0.181	0.000	0.025	5.404	60
2	Stepwise	2	$O_3 = 6.600E-02 + 0.134(O_3pcd) + 1.772E-05(WD) - 4.909E-02LOG(T) + 8.438E-03LOG(LB2) + 1.497E-05(DFE) - 4.700E-03LOG(C2)$	150	0.622	0.030	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	2	$O_3 = 5.320E-02 - 3.969E-02LOG(T) + 1.937E-05(WD) - 2.988E-03LOG(WS) + 1.577E-05(DFE) + 0.124(O_3pcd) - 4.840E-03LOG(C2) + 8.218E-03LOG(LB2)$	148	0.630	0.000	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	2	$LOG(O_3) = -0.960 + 13.450(O_3pcd) + 0.508LOG(LB2) - 1.417LOG(T) + 8.107E-04(WD) - 0.276LOG(C2)$	150	0.604	0.029	0.170	0.00004	0.164	0.000	0.029	5.328	60
2	Backward	2	$LOG(O_3) = -0.960 + 13.450(O_3pcd) + 0.508LOG(LB2) - 1.417LOG(T) + 8.107E-04(WD) - 0.276LOG(C2)$	150	0.604	0.029	0.170	0.00004	0.164	0.000	0.029	5.328	60
3	Stepwise	2	$O_3 = 6.531E-02 + 0.134(O_3pcd) + 1.768E-05(WD) - 4.901E-02LOG(T) + 8.703E-03LOG(LB3) + 1.434E-05(DFE) - 4.916E-03LOG(C3)$	150	0.628	0.041	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	2	$O_3 = 5.772E-02 - 4.004E-02LOG(T) + 1.803E-05(WD) - 3.448E-03LOG(WS) + 1.779E-05(DFE) + 0.119(O_3pcd) - 5.467E-05(CV3) - 4.953E-03LOG(C3) + 8.603E-03LOG(LB3)$	119	0.640	0.000	0.000	0.000	0.003	0.097	0.000	0.000	60
3	Stepwise	2	$LOG(O_3) = -2.902 + 19.856(O_3pcd) + 0.143LOG(MC3) + 1.203E-03(WD)$	150	0.520	0.002	0.187	0.006	0.176	0.000	0.035	5.204	60
3	Backward	2	$LOG(O_3) = -1.046 - 1.510LOG(T) + 8.754E-04(WD) + 15.915(O_3pcd) + 0.173LOG(C3) + 9.043E-02LOG(MC3)$	150	0.544	0.055	0.184	0.006	0.172	0.000	0.034	5.162	60

ตารางที่ ค21 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 3 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ชม.ที่	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	3	O ₃ = 7.233E-03 + 1.909E-02LOG(LB1) - 1.800E-02LOG(C1)	159	0.415	0.000	0.000	-0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	3	O ₃ = 7.233E-03 + 1.909E-02LOG(LB1) - 1.800E-02LOG(C1)	159	0.415	0.000	0.000	-0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	3	LOG(O ₃) = -2.733 + 5.542E-03(HB1) - 0.170(WS) + 1.338E-03(DFE) + 0.178LOG(LB1)	159	0.651	0.048	0.145	0.049	0.208	0.000	0.021	5.899	60
1	Backward	3	LOG(O ₃) = -2.733 + 5.542E-03(HB1) - 0.170(WS) + 1.338E-03(DFE) + 0.178LOG(LB1)	159	0.651	0.048	0.145	0.049	0.208	0.000	0.021	5.899	60
2	Stepwise	3	O ₃ = 9.819E-02 - 7.376E-02LOG(T) + 5.547E-03LOG(LB2) + 1.893E-05(DFE)	159	0.523	0.000	0.000	-0.0002	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	3	O ₃ = 7.303E-02 - 5.069E-02LOG(T) + 1.506E-05(WD) - 4.062E-03LOG(WS) + 1.918E-05(DFE) - 5.980E-03LOG(C2) + 8.729E-03LOG(LB2)	156	0.557	0.000	0.000	-0.0004	0.003	0.015	0.000	0.000	60
2	Stepwise	3	LOG(O ₃) = 0.429 + 0.240LOG(O ₃ pcd) + 0.322LOG(LB2) - 2.091LOG(T)	128	0.596	0.000	0.176	0.012	0.175	0.000	0.031	4.802	58
2	Backward	3	LOG(O ₃) = 0.319 - 1.900LOG(T) + 3.791E-04(DFE) + 0.218LOG(O ₃ pcd) - 0.257LOG(C2) + 0.518LOG(LB2)	128	0.609	0.000	0.173	0.010	0.170	0.000	0.030	4.963	58
3	Stepwise	3	O ₃ = 9.800E-02 - 7.391E-02LOG(T) + 5.492E-03LOG(LB3) + 1.878E-05(DFE)	159	0.529	0.000	0.000	-0.0003	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	3	O ₃ = 7.313E-02 - 5.093E-02LOG(T) + 1.523E-05(WD) - 3.764E-03LOG(WS) + 1.829E-05(DFE) - 6.521E-03LOG(C3) + 9.273E-03LOG(LB3)	156	0.559	0.000	0.000	-0.0004	0.003	0.015	0.000	0.000	60
3	Stepwise	3	LOG(O ₃) = -1.775 + 0.386LOG(O ₃ pcd) + 0.125LOG(MC3) + 9.207E-04(WD)	127	0.529	0.022	0.187	0.010	0.182	0.000	0.035	4.708	58
3	Backward	3	LOG(O ₃) = 0.358 - 1.994LOG(T) + 0.307LOG(O ₃ pcd) + 0.311LOG(C3)	128	0.551	0.000	0.184	0.014	0.182	0.000	0.034	4.668	58

ตารางที่ ค22 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 4 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ชม.ที่	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			N
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	4	$O_3 = 3.488E-04 + 7.428E-03LOG(DFE) - 3.446E-03(WS)$	406	0.377	0.003	0.000	-0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	4	$O_3 = 2.845E-04 + 4.949E-03LOG(DFE) - 1.438E-02LOG(C1) + 1.486E-02LOG(LB1)$	157	0.381	0.002	0.000	-0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	4	$LOG(O_3) = -2.733 + 5.542E-03(HB1) - 0.170(WS) + 1.338E-03(DFE) + 0.178LOG(LB1)$	157	0.651	0.048	0.145	0.051	0.208	0.000	0.021	5.885	60
1	Backward	4	$LOG(O_3) = -2.733 + 5.542E-03(HB1) - 0.170(WS) + 1.338E-03(DFE) + 0.178LOG(LB1)$	157	0.651	0.048	0.145	0.051	0.208	0.000	0.021	5.885	60
2	Stepwise	4	$O_3 = 2.214E-02 - 1.003E-03(T) + 3.531E-03LOG(DFE) + 3.178E-03LOG(LB2)$	157	0.442	0.001	0.000	-0.0001	0.004	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	4	$O_3 = 2.214E-02 - 1.003E-03(T) + 3.531E-03LOG(DFE) + 3.178E-03LOG(LB2)$	157	0.457	0.001	0.000	-0.0001	0.004	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	4	$LOG(O_3) = -1.802 + 0.245LOG(O_{3,pcd}) + 0.317LOG(LB2) - 2.771E-02(T)$	127	0.591	0.001	0.176	0.012	0.176	0.000	0.031	7.587	58
2	Backward	4	$LOG(O_3) = -1.802 + 0.245LOG(O_{3,pcd}) + 0.317LOG(LB2) - 2.771E-02(T)$	127	0.591	0.001	0.176	0.012	0.176	0.000	0.031	7.857	58
3	Stepwise	4	$O_3 = 2.169E-02 - 1.006E-03(T) + 3.529E-03LOG(DFE) + 3.239E-03LOG(LB3)$	157	0.450	0.000	0.000	-0.0002	0.004	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	4	$O_3 = 2.169E-02 - 1.006E-03(T) + 3.529E-03LOG(DFE) + 3.239E-03LOG(LB3)$	157	0.450	0.000	0.000	-0.0002	0.004	0.000	0.000	3.884	60
3	Stepwise	4	$LOG(O_3) = -1.807 + 0.343LOG(O_{3,pcd}) + 0.130LOG(MC3) + 9.489E-04(WD) - 6.399E-02(WS)$	126	0.538	0.048	0.187	0.010	0.179	0.000	0.035	4.811	58
3	Backward	4	$LOG(O_3) = -1.807 + 9.489E-04(WD) - 6.399E-02(WS) + 0.343LOG(O_{3,pcd}) + 0.130LOG(MC3)$	126	0.538	0.002	0.187	0.010	0.179	0.000	0.035	4.811	58

ตารางที่ ค23 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 5 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	ชม.ที่	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	5	$O_3 = 1.195E-02 + 0.531(O_{3,pcd}) - 3.250E-04(T) + 1.531E-05(WD)$	375	0.818	0.014	0.000	-0.0004	0.004	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	5	$O_3 = 1.014E-02 - 3.927E-04(T) + 8.052E-06(DFE) + 0.534(O_{3,pcd}) + 1.518E-03LOG(C1) + 3.293E-05(HT1)$	103	0.829	0.066	0.000	0.0001	0.002	0.000	0.000	0.000	60
1	Stepwise	5	$LOG(O_3) = -1.226 + 23.867(O_{3,pcd}) - 3.796E-02(T)$	375	0.797	0.000	0.130	-0.017	0.199	0.000	0.017	5.046	60
1	Backward	5	$LOG(O_3) = -1.226 + 23.867(O_{3,pcd}) - 3.796E-02(T)$	375	0.797	0.000	0.130	-0.017	0.199	0.000	0.017	5.046	60
2	Stepwise	5	$O_3 = 1.847E-02 + 0.287(O_{3,pcd}) - 4.662E-04(T) + 1.068E-05(DFE)$	375	0.541	0.001	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	5	$O_3 = 1.847E-02 + 0.287(O_{3,pcd}) - 4.662E-04(T) + 1.068E-05(DFE)$	375	0.541	0.001	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	5	$LOG(O_3) = -1.055 + 13.205(O_{3,pcd}) - 4.075E-02(T)$	375	0.571	0.000	0.164	-0.037	0.184	0.000	0.027	5.119	60
2	Backward	5	$LOG(O_3) = -1.055 + 13.205(O_{3,pcd}) - 4.075E-02(T)$	375	0.571	0.000	0.164	-0.037	0.184	0.000	0.027	5.119	60
3	Stepwise	5	$O_3 = 1.879E-02 + 0.282(O_{3,pcd}) - 4.689E-04(T) + 9.612E-06(DFE)$	375	0.543	0.014	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	5	$O_3 = 1.879E-02 + 0.282(O_{3,pcd}) - 4.689E-04(T) + 9.612E-06(DFE)$	375	0.543	0.014	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	5	$LOG(O_3) = -1.055 + 13.205 - 4.075E-02(T)$	375	0.571	0.000	0.164	-0.037	0.184	0.000	0.027	5.119	60
3	Backward	5	$LOG(O_3) = -1.055 + 13.205 - 4.075E-02(T)$	375	0.571	0.000	0.164	-0.037	0.184	0.000	0.027	5.119	60

ตารางที่ ค24 สมการถดถอยสหสัมพันธ์เชิงพหุ และการทดสอบความถูกต้องกรณีใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดช่วยในการคาดการณ์ของ O₃ กรณีภายหลังการปล่อยมลพิษ 6 ชั่วโมง

กรณี	วิธีวิเคราะห์	พหุ.ที่	สมการ	N	Adjust R ²	Sig.	RMSE	St. Residual		Validation			
								Mean	S.D.	Paired T-test	Compare		N
											MSE	MSPR	
1	Stepwise	6	O ₃ = 3.108E-02 - 7.780E-04(T)	394	0.159	0.011	0.000	-0.0001	0.003	0.000	0.000	0.000	60
1	Backward	6	O ₃ = 1.890E-02 - 6.552E-03LOG(WD) - 8.504E-03LOG(WS) + 4.873E-05(DFE) - 0.442(O ₃ pcd) + 8.328E-05(HB1)	141	0.373	0.045	0.000	-0.002	0.005	0.000	0.000	4.001	60
1	Stepwise	6	LOG(O ₃) = -2.475 + 6.953E-03(HB1) - 0.545LOG(WS) + 1.283E-03(DFE)	151	0.646	0.005	0.148	0.059	0.225	0.000	0.022	5.942	60
1	Backward	6	LOG(O ₃) = -2.475 + 6.953E-03(HB1) - 0.545LOG(WS) + 1.283E-03(DFE)	151	0.646	0.005	0.148	0.059	0.225	0.000	0.022	5.942	60
2	Stepwise	6	O ₃ = 4.530E-02 - 1.038E-03(T) + 2.008E-05(DFE) - 0.209(O ₃ pcd) - 3.129E-03LOG(WD)	371	0.355	0.011	0.000	-0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	60
2	Backward	6	O ₃ = 4.530E-02 - 1.038E-03(T) + 2.008E-05(DFE) - 0.209(O ₃ pcd) - 3.129E-03LOG(WD)	371	0.355	0.011	0.000	-0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	60
2	Stepwise	6	LOG(O ₃) = -0.606 + 0.465LOG(O ₃ pcd) + 0.237LOG(WD) - 0.549LOG(CV2)	110	0.538	0.020	0.189	-0.001	0.186	0.000	0.036	4.858	58
2	Backward	6	LOG(O ₃) = -0.606 + 0.465LOG(O ₃ pcd) + 0.237LOG(WD) - 0.549LOG(CV2)	110	0.538	0.020	0.189	-0.001	0.186	0.000	0.036	4.858	58
3	Stepwise	6	O ₃ = 3.562E-02 - 1.020E-03(T) + 1.640E-05(DFE) - 0.216(O ₃ pcd) - 2.973E-03LOG(WD) + 9.509E-05(CV3)	118	0.384	0.019	0.000	0.00004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Backward	6	O ₃ = 3.562E-02 - 1.020E-03(T) + 1.640E-05(DFE) - 0.216(O ₃ pcd) - 2.973E-03LOG(WD) + 9.509E-05(CV3)	118	0.384	0.019	0.000	0.00004	0.003	0.000	0.000	0.000	60
3	Stepwise	6	LOG(O ₃) = -0.760 + 0.458LOG(O ₃ pcd) + 0.235LOG(WD) - 0.434LOG(CV3)	110	0.541	0.006	0.189	-0.0003	0.183	0.000	0.036	5.357	58
3	Backward	6	LOG(O ₃) = -0.760 + 0.458LOG(O ₃ pcd) + 0.235LOG(WD) - 0.434LOG(CV3)	110	0.541	0.006	0.189	-0.0003	0.183	0.000	0.036	5.357	58

ประวัติผู้เขียน

นายนิรันดร์ คงฤทธิ เกิดเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2513 สำเร็จการศึกษาปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร และได้เข้าทำงานที่กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ต่อจากนั้น เข้าทำงานที่กองวางแผนและวิเคราะห์โครงการ ฝ่ายนโยบายและแผน การทางพิเศษแห่งประเทศไทย จนถึงปัจจุบัน และในปี พ.ศ. 2543 ได้เข้าศึกษา ในระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี