รายงานการวิจัย

การประเมินสหสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศบริเวณใกล้ทางพิเศษกับปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษ

(Evaluation of the Correlation of Air Pollutants Levels near Expressways and Their Effectual Factors)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร. สุดจิต ครุจิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2545

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2547

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้เงินอุดหนุนการวิจัยประเภทโครงการสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2545 (เพิ่มเติม) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการวิจัย โดยเฉพาะการทางพิเศษแห่งประเทศไทย, กรมอุตุนิยมวิทยา, และกรมควบคุมมลพิษ และขอขอบคุณคุณนิรันดร์ คงฤทธิ์ นักศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ช่วยวิจัยและผู้ช่วยตรวจทานรายงาน

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย มาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศในพื้นที่ใกล้ทางพิเศษ กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระดับมลพิษ 4 กลุ่ม คือ การจราจร ลักษณะของทางพิเศษ อุตุนิยมวิทยา และผู้ได้รับมลพิษ และระบุปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ หรือมีศักยภาพในการทำนายระดับของมลพิษอากาศแต่ละตัวในพื้นที่บริเวณใกล้ทางพิเศษ มลพิษที่ศึกษา ได้แก่ CO, NO_2, O_3, SO_2, Pb, PM_{10}, และ TSP ซึ่งตรวจวัดในปี พ.ศ. 2544 ณ สถานีตรวจวัด 6 สถานี ซึ่งห่างจากทางพิเศษฉลองรัช ในช่วงตั้งแต่ 25-180 เมตร ตรวจวัดสถานีละ 3 วัน ปัจจัยการจราจรที่ศึกษาได้แก่ ข้อมูลปริมาณและความเร็วยานพาหนะทั้งบนทางพิเศษและถนนเลียบทางพิเศษ โดยมีข้อมูลยานพาหนะ 5 ประเภท ได้แก่ รถยนต์นั่ง 4 ล้อ, รถปิกอัพและรถตู้, รถบรรทุกและรถโดยสารขนาดกลาง, รถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่, และรถจักรยานยนต์ ส่วนปัจจัยอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ, ทิศทางลม, และความเร็วลม

ผลการศึกษาความแปรผันรายชั่วโมงพบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษและปัจจัยอื่นในหลายกรณี เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าระดับมลพิษเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่แบ่งโดยเกณฑ์จากปัจจัยที่ศึกษา พบปัจจัยที่สามารถชี้บ่งกลุ่มที่มีระดับมลพิษสูงหรือต่ำ ได้แก่ ช่วงเวลาของวัน, ปริมาณยานพาหนะรวม, และระยะห่างจากทางพิเศษ ผลการวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษกับหลายปัจจัย อาทิ ปริมาณยานพาหนะหลายประเภท, ความเร็วรถบนถนน, ความเร็วลม, ทิศทางลม, อุณหภูมิ, และระยะห่างจากทางพิเศษ ส่วนการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุได้สมการทำนายระดับของ O_3, NO_2, CO, และ SO_2 ซึ่งมีค่า r^2 เท่ากับ 44, 43, 28, และ 16 ตามลำดับ โดยตัวแปรอิสระที่แสดงถึงการเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของมลพิษ ได้แก่ ระยะห่างจากทางพิเศษ, อุณหภูมิ, ความเร็วรถบนถนน, ปริมาณรถยนต์นั่ง 4 ล้อ, ปริมาณ รถบรรทุกและรถโดยสารขนาดกลาง, และปริมาณรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่ ผลสรุปของการศึกษามีทั้งที่สอดคล้องและแตกต่างกับการศึกษาอื่น ความสัมพันธ์ต่างๆ ที่พบจากการศึกษาสามารถใช้เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการศึกษาระดับมลพิษอากาศในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน และเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อใช้ทำนายระดับมลพิษอากาศของพื้นที่ใกล้ทางพิเศษ

Abstract

This research used the air quality monitoring data of the Expressway and Rapin Transit Authority of Thailand (ETA) to study the relationship between air pollutant concentrations near expressways and their 4 effectual groups of factors: traffic factors, expressway factors, meteorological factors, and receptor factors. It also determined the factors that are pollutant indicators or factors that has high potential for predicting pollutant levels near expressways. The pollutants studied are CO, NO_2, O_3, SO_2, Pb, PM_{10}, and TSP. They were monitored for 3 consecutive days at each of the 6 monitoring stations located 25-180 m. away from the Chanong Rat Expressway. The trafic factors studied were the number of vehicle and vehicle speed on the expressway and on the road underneath it. Five vehicle types were studied: passenger car, light bus, heavy bus, heavy truck, and motocycle. The meteorological factors studied were ambient temperature, wind direction, and wind speed

Examination of the data hourly variation revealed cases of correlation trends between the pollutants and their factors. Statistical tests showed that there was significant different between groups divided using criteria derived from factors like time of the day, number of vehicle, and distance from expressways. *Results from regression and correlation analysis indicated the relationship* between the pollutant levels and number of many types of vehicle, vehicle speed on the road, wind speed, wind direction, temperature, and distance from expressways. Multiple regression analysis yielded prediction equation for O_3, NO_2, CO, and SO_2 with r^2 equals 44, 43, 28, and 16, respectively. The independent variables in these equations were distance from expressways, temperature, vehicle speed on the road, number of cars, number of heavy bus, and number of heavy truck. The findings from this study can be used for planing air polluion study in similar area and development of more sophisticated mathematic models for air pollution prediction near expressways.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ i

บทคัดย่อภาษาไทย ii

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ iii

สารบัญ iv

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

2 ทฤษฎีและการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 มลพิษอากาศที่สำคัญ 3

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษอากาศ 6

2.3 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง 7

3 วิธีการดำเนินการวิจัย 10

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล 10

3.2 การสร้างฐานข้อมูล 13

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 14

4 สถิติพรรณนาของระดับมลพิษและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 16

4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ 16

4.2 สถิติพรรณนาของระดับมลพิษ 17

4.3 สถิติพรรณนาของข้อมูลอื่นๆ 30

5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 32

5.1 ความแปรปรวนรายชั่วโมง 32

5.2 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับมลพิษแยกตามปัจจัย 39

6 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ 46

6.1 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์อย่างง่าย 46

6.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ 53

สารบัญ (ต่อ)

7 บทสรุป 57
7.1 สรุปผลการศึกษาที่สำคัญ 57
7.2 การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น 60
7.3 ข้อจำกัดของการวิจัย 61
7.4 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 61
8 เอกสารอ้างอิง 63
ภาคผนวก ก 65
ภาคผนวก ข 71
ภาคผนวก ค 73
ประวัติผู้วิจัย 75

1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

โครงการระบบทางด่วน ของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ได้ให้บริการประชาชนผู้ใช้ยานพาหนะเพื่อบรรเทาปัญหาการจราจรติดขัดในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทำให้ลดความสูญเสียทั้งทางเศรษฐกิจและทางสังคมของประเทศ จนถึงปัจจุบัน มีโครงการที่เปิดให้บริการแล้วถึง 5 โครงการ คือ ทางพิเศษเฉลิมมหานคร ทางพิเศษศรีรัช ทางพิเศษฉลองรัช ทางพิเศษอุดรรัถยา และทางพิเศษบูรพาวิถี รวมระยะทางทั้งสิ้น กว่า 170 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม การเกิดขึ้นของโครงการขนาดใหญ่เช่นนี้ ก็ก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วย โดยเฉพาะสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงกับที่แนวของทางพิเศษพาดผ่าน ผลกระทบที่สำคัญ ได้แก่ ด้านคุณภาพอากาศ เสียง ความสั่นสะเทือน ทั้งนี้การทางพิเศษได้ทำการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา ตามที่ได้กำหนดไว้ในรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการ โดยมลสารในอากาศที่ทำการศึกษา รวมถึง คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) โอโซน (O_3), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ตะกั่ว (Pb) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองรวม (TSP) (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2543)

แม้ว่าผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมจนถึงปัจจุบันจะพบว่าระดับมลพิษที่ตรวจวัดยังอยู่ในเกณฑ์ของค่ามาตรฐานก็ตาม (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2543) การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สำคัญในอนาคต เช่น ปริมาณการจราจร สัดส่วนของยานพาหนะ ลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณใกล้ทางด่วน และอื่นๆ เพียงปัจจัยเดียวหรือพร้อมกันหลายปัจจัย รวมถึงการเกิดขึ้นใหม่ของโครงการทางพิเศษ ก็อาจส่งผลให้ระดับมลพิษบางตัวสูงเกินกว่าที่ควรได้ ดังนั้นความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับโครงการทางพิเศษ และปัจจัยอื่นๆ จึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการวางแผนและนโยบายของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อลดและป้องกันปัญหามลพิษอากาศ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้ทางด่วน ซึ่งที่ผ่านมาในประเทศไทยยังไม่มีผู้ทำการศึกษาในประเด็นของความสัมพันธ์ดังที่กล่าวมานี้

จากเหตุผลดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลมลพิษอากาศจากฐานข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของการทางพิเศษ มาทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศในพื้นที่ใกล้ทางพิเศษ กับปัจจัยต่างๆ ที่น่าจะมีผลต่อระดับมลพิษ โดยปัจจัยที่ศึกษาจะรวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องและที่ไม่เกี่ยวข้องกับโครงการทางพิเศษ อันแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ 4 กลุ่ม คือ ปัจจัยด้านการจราจร ปัจจัยด้านลักษณะของทางพิเศษ ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา และปัจจัยด้านผู้ได้รับมลพิษ และทำ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ได้เพื่อระบุปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ (determinant) ของระดับมลพิษแต่ละตัว หรือปัจจัยที่มีศักยภาพสูงเหมาะสมกับการใช้ในการทำนายระดับของมลพิษอากาศแต่ละตัวในพื้นที่บริเวณใกล้ทางพิเศษ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศ 7 ตัว ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) โอโซน (O_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ตะกั่ว (Pb) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองรวม (TSP) และกับปัจจัยด้านการจราจร ปัจจัยด้านลักษณะของทางพิเศษ ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา และปัจจัยด้านผู้ได้รับมลพิษ
2) เพื่อหาปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ของระดับมลพิษแต่ละตัว หรือที่มีศักยภาพสูงในการใช้ทำนายระดับของมลพิษอากาศบริเวณใกล้ทางพิเศษ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ใช้ข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลจราจรจากฐานข้อมูลของการทางพิเศษ ซึ่งมีการตรวจวัดระดับมลพิษอากาศทั้ง 7ประเภท ได้แก่ CO, NO_2, O_3, SO_2, Pb, PM_{10}, และ TSP ในปี พ.ศ. 2544
2) ใช้ข้อมูลมลพิษอากาศจากสถานีตรวจวัดของการทางพิเศษ ซึ่งมีอยู่ 6 สถานี ในแนวทางพิเศษฉลองรัช
3) ระยะห่างของแต่ละสถานีจากทางพิเศษ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 25 – 180 เมตร
4) ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้พื้นที่ศึกษา ตามเวลาที่สอดคล้องกับเวลาในการเก็บข้อมูลมลพิษอากาศ

2

ทฤษฎีและการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษอากาศที่สำคัญ

คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี และกลิ่น สามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน 2 ถึง 4 เดือน เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก ได้แก่ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งในกระบวนการอุตสาหกรรม และในยานพาหนะ ซึ่งส่วนมากมาจากรถเก่าที่มีอัตราส่วนอากาศ/เชื้อเพลิงไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมาจากการเผาไหม้ที่ไม่มีการควบคุมต่างๆ เช่น การเผาขยะ การเผาวัชพืช ส่วนแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ได้แก่ ไฟป่า เป็นต้น

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ไนโตรเจนออกไซด์ที่มีอยู่ในอากาศ ได้แก่ N_2O, NO_3, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5, NO, และ NO_2 แต่ตัวหลักที่เป็นมลพิษคือสองตัวหลัง นั่นคือ ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งเป็นมลสารที่มนุษย์สร้างขึ้น ค่ารวมของความเข้มข้นของสารทั้งสองจะแสดงในรูป NO_x

NO_x เกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ของถ่านหินหรือน้ำมัน แบ่งได้เป็น NO_x จากเชื้อเพลิง คือเกิดจากสารประกอบไนโตรเจนในเชื้อเพลิง และ NO_x จากความร้อน ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อก๊าซไนโตรเจนในอากาศถูกออกซิไดส์ที่อุณหภูมิสูง NO_x ส่วนใหญ่ในก๊าซไอเสียซึ่งมีอุณหภูมิสูง จะอยู่ในรูป NO และถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วเป็น NO_2 ในบรรยากาศ ซึ่งก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาในละอองน้ำเกิดเป็นกรดไนตริก (HNO_3) ที่สามารถกัดกร่อนโลหะได้ นอกจากนี้ NO_x ยังเป็นสารตั้งต้นในการเกิด photochemical oxidation อีกด้วย แหล่งกำเนิดของ NO_x ครอบคลุมอุปกรณ์เครื่องใช้ที่เกี่ยวกับการเผาไหม้ ได้แก่ หม้อไอน้ำ เตาเผา เครื่องยนต์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่ติดไฟ และไม่ระเบิด อาจก่อให้เกิดรสได้ถ้ามีในปริมาณสูง เกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงหรือวัสดุที่มีกำมะถัน เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ซึ่งความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงที่ใช้ เมื่อ SO_2 ออกสู่บรรยากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็น SO_3 และถูกดูดกลืนโดยฝนหรือเมฆ กลายเป็น H_2SO_4

แหล่งกำเนิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินหรือน้ำมัน เช่น หม้อไอน้ำ เตาเผาสินแร่เหล็ก เตาผลิตถ่านโค๊ก เตาเผาขยะ โรงผลิตไฟฟ้า เครื่องยนต์ดีเซล รวมทั้งแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ได้แก่ ควันจากภูเขาไฟ

ไฮโดรคาร์บอน (HC)

ไฮโดรคาร์บอนมีหลายประเภท เช่น paraffins, naphthenes, olefins, และ aromatic compound เป็นต้น สารเหล่านี้ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นในบรรยากาศต่ำ อย่างไรก็ดี ไฮโดรคาร์บอนเป็นสารตั้งต้นในการเกิด photochemical oxidation เช่นเดียวกับ NO_x และไฮโดรคาร์บอนบางตัวเป็นสารก่อมะเร็ง

แหล่งกำเนิดไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญ คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดจากยานพาหนะ และน้ำมันที่ระเหยจากจุดต่างๆ ในระบบการผลิตและขนส่งน้ำมัน นอกจากนี้ ได้แก่ ควันขาวจากจักรยานยนต์ ก๊าซมีเทนจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ การระเหยของสารเคมีพวก VOCs

Photochemical Oxidant

Photochemical Oxidant คือมลพิษชั้นทุติยภูมิ หมายถึงมลสารที่เกิดจากปฏิกิริยา Photochemical Oxidation ซึ่งมีมลสารตัวอื่นเป็นสารตั้งต้น และมีรังสีอุลตร้าไวโอเล็ทในแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Photochemical Oxidant ที่สำคัญ ได้แก่ โอโซน, Formaldehyde, และ Peroxy Acetyl Nitrate (PAN)

การเกิดโอโซนมีมลสารตั้งต้นสองตัว คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักจากยานพาหนะและกระบวนการอุตสาหกรรม และเนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีและความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกัน ทำให้ระยะเวลาในการเกิด Photochemical oxidation reaction แตกต่างกันด้วย คืออาจใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง หรือนานหลายวันก็ได้ ดังนั้นจึงทำให้มีการตรวจวัดค่าระดับโอโซนในจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดมากๆ ได้ ทั้งนี้ อาจพบโอโซนห่างจากแหล่งกำเนิดหลายสิบกิโลเมตร (มาริยา ภู่ภิญโญกุล, 2547) เนื่องจากมวลอากาศที่มีสารตั้งต้นอยู่ถูกพัดพาไปช่วงเวลาที่เกิดปฏิกิริยานั่นเอง

ฝุ่น (TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$)

ฝุ่นละอองเป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักของเมืองใหญ่ในประเทศไทย เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ นครราชสีมา ฝุ่นละอองมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน และฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป โดยฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกตะกอนต่ำ

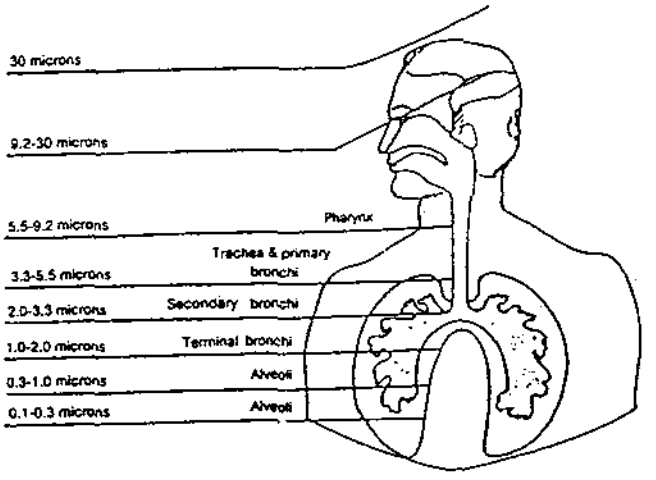
ฝุ่นมีแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง ดังต่อไปนี้

1) ฝุ่นจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นจากดิน ทราย เขม่าควันจากไฟป่า ภูเขาไฟ และฝุ่นเกลือจากทะเล
2) ฝุ่นจากการก่อสร้าง เช่น การสร้างถนน/อาคาร ระบบสาธารณูปโภค การปรับปรุงผิวการจราจร การรื้อถอนอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ
3) ฝุ่นจากสถานประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรม
4) เตาเผาศพ
5) การกองเผาในที่โล่ง เผาหญ้า เผาขยะ

6) ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ควันดำ (อนุภาคคาร์บอน จากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง) ฝุ่นดินทรายที่ฟุ้งกระจายในถนน ขณะที่รถยนต์วิ่งผ่าน ฝุ่นดินทรายที่หล่นจากการบรรทุกขนส่ง การกองวัสดุสิ่งของบนทางเท้าหรือบนเส้นทางการจราจร

ผลการประมาณสัดส่วนฝุ่น PM_{10} ของ กทม. ในปี 2543 พบว่ามีสัดส่วนมาจากฝุ่นฟุ้งปลิวจากถนน ร้อยละ 32, หม้อไอน้ำโรงงาน ร้อยละ 30, ยานยนต์ ร้อยละ 22, โรงไฟฟ้า ร้อยละ 12, และการก่อสร้าง ร้อยละ 3 (นพภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช, 2544)

ผลเสียฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ คือการก่อให้เกิดปัญหาเหตุเดือดร้อนรำคาญ ทำความสกปรกให้บ้านเรือน เครื่องมือเครื่องใช้ สิ่งก่อสร้าง แต่ผลเสียของฝุ่นละอองขนาดเล็กคือ PM_{10} และโดยเฉพาะ $PM_{2.5}$ ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ลึกมากขึ้นตามขนาดที่เล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ซึ่งจะ**ทำให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อปอด การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง หลอดลมอักเสบ หอบหืด ถุงลมโป่งพอง โดยเฉพาะจะส่งผลเสียแบบเสริมกัน** (synergistic effect) **เมื่อมีพร้อมกับ SO_2**



รูปที่ 2-1: ขนาดของอนุภาคฝุ่นและตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงในระบบทางเดินหายใจ (นพภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช, 2544)

ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{10} กับสุขภาพประชาชนในกรุงเทพมหานคร มีการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2541) ที่พบว่า ถ้าระดับฝุ่นสูงขึ้น 30 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. จะเกิดสิ่งต่อไปนี้

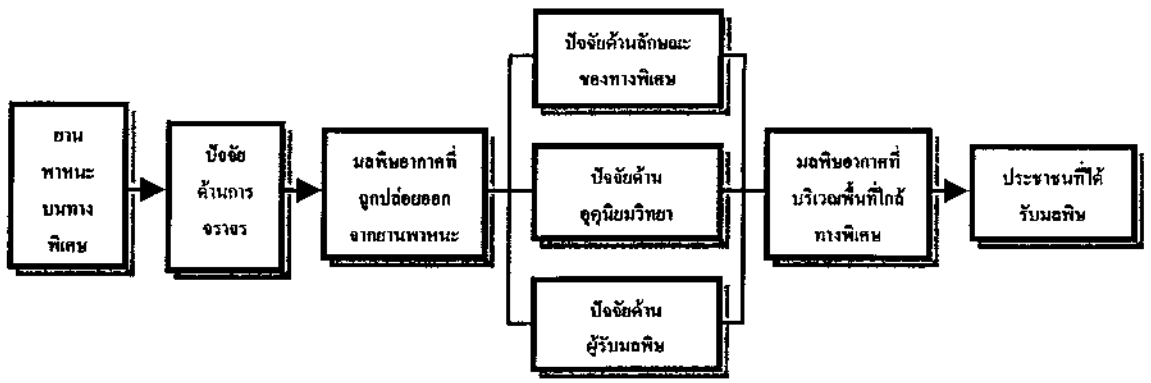
- อัตราการตายโดยธรรมชาติ สูงขึ้น 3-5%
- อัตราการตายด้วยโรคทางเดินหายใจ สูงขึ้น 7-20%
- อัตราการเข้าโรงพยาบาลรักษาโรคทางเดินหายใจ สูงขึ้น 5.5%
- กลุ่มผู้สูงอายุ มีอัตราการเข้าโรงพยาบาลรักษาโรคทางเดินหายใจ สูงขึ้น 17.6%

- กลุ่มผู้ใหญ่ที่ไม่สูบบุหรี่ อาศัยและทำงานในที่ที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ มีอัตราการเกิดอาการโรคระบบทางเดินหายใจ สูงขึ้น 20-26%

การศึกษาชิ้นเดียวกันนี้ระบุว่า หากค่าเฉลี่ยรายปีของ PM_{10} ใน กทม. ลดลง 10 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. จะลดผลกระทบต่อสุขภาพ คิดเป็นจำนวนเงินกว่า 35,000 ล้านบาทต่อปี นอกจากนี้ ผลการศึกษาเปรียบเทียบระดับฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร ในเขต กทม. ยังชี้ว่าอาคารที่มีเครื่องปรับอากาศ จะมีระดับฝุ่นภายในอาคารประมาณ 50-100% ของระดับภายนอก แต่อาคารที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศนั้นจะมีระดับฝุ่นภายในเท่ากับหรือสูงกว่าระดับฝุ่นภายนอก

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษอากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษอากาศ ณ จุดหนึ่งๆ ในสิ่งแวดล้อม อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ อัตราการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิด ลักษณะการฟุ้งกระจาย และอัตราการถูกกำจัดออก (Hamilton and Harrison, 1991) เมื่อนำทฤษฎีนี้มาประยุกต์เพื่อพิจารณาสาเหตุของผลกระทบด้านคุณภาพอากาศในบริเวณใกล้แนวทางพิเศษ ทำให้สรุปได้ว่าน่าจะมาจากปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ในลักษณะแผนภาพในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษใกล้ทางพิเศษ

จากแผนภาพข้างบน จะเห็นว่ามลพิษถูกปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดอันได้แก่ ยานพาหนะประเภทต่างๆ ที่สัญจรอยู่บนทางพิเศษ โดยปริมาณมลพิษจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับปัจจัยด้านการจราจรเป็นสำคัญ เช่น ปริมาณการจราจร (ปริมาณยานพาหนะ) ความเร็วของยานพาหนะ และประเภทของยานพาหนะ เป็นต้น จากการประมาณพบว่าปริมาณ CO และไฮโดรคาร์บอน ในกรุงเทพมหานคร มีแหล่งกำเนิดใหญ่ที่สุดคือการจราจร (วงพันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2543) หากแต่ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของอีกหลายๆ ปัจจัยที่จะส่งผลถึงระดับมลพิษที่ผู้รับซึ่งอยู่บริเวณใกล้ทางพิเศษ เพราะมลพิษที่ออกจากแหล่งกำเนิดต้องเดินทางไปถึงผู้รับด้วยกลไกการฟุ้งกระจายในบรรยากาศ และกลไกดังกล่าวเป็นฟังก์ชั่น ของปัจจัยทาง

อุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม และเสถียรภาพของบรรยากาศ เป็นต้น ปัจจัยกลุ่มถัดมาที่มีความสำคัญยิ่งต่อระดับมลพิษโดยรอบทางพิเศษก็คือลักษณะของทางพิเศษเอง ซึ่งมีความแตกต่างกันในช่วงต่างๆ ของเส้นทาง อันได้แก่ ความสูงจากระดับพื้นดิน และความยาวและความสูงของกำแพงกันเสียง ซึ่งมีส่วนกีดขวางการเดินทางของมลพิษอากาศ ปัจจัยกลุ่มสุดท้ายที่ต้องพิจารณา คือ ปัจจัยด้านผู้ได้รับมลพิษ ซึ่งแยกได้เป็น ลักษณะพื้นที่บริเวณใกล้ทางพิเศษที่จะได้รับมลพิษ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน อาคาร สิ่งก่อสร้าง ตำแหน่งของผู้รับมลพิษ และแหล่งกำเนิดมลพิษอื่นๆ ที่อาจมีส่วนเพิ่มระดับมลพิษ ณ ตำแหน่งดังกล่าว เช่น โครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง เป็นต้น

2.3 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศกับปัจจัยอื่นๆ มีการศึกษาและมีการรายงานผลในแง่มุมต่างๆ อยู่อย่างกว้างขวางพอสมควร อย่างไรก็ตาม การศึกษาในลักษณะที่ใกล้เคียงการศึกษาครั้งนี้ คือ พิจารณาที่ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศใกล้ทางพิเศษกับปัจจัยด้านอื่นๆ โดยเฉพาะด้านการจราจร มีไม่มากนัก จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวกับการศึกษา เลือกข้อมูลที่สำคัญนำมาเสนอได้ดังต่อไปนี้

Roorda-Knape et al. (1998) ทำการศึกษามลพิษอากาศจากการจราจรในเขตเมืองซึ่งใกล้กับทางพิเศษแบบ motorway ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้ผลการศึกษาที่สำคัญคือ:

- ระดับความเข้มข้นของควันดำและ NO_2 ในบรรยากาศลดลงเมื่อระยะห่างจากทางพิเศษเพิ่มขึ้น และลักษณะความสัมพันธ์ไม่ใช่เส้นตรงแต่เป็นแบบ curvilinear ทั้งนี้ การลดลงในลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับสมมุติฐานความสัมพันธ์แบบ exponential ที่ใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั่วไปสำหรับทำนายความเข้มข้นมลพิษอากาศ สำหรับ PM_{10}, $PM_{2.5}$, และ benzene ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นกับระยะห่างจากทางพิเศษ
- PM_{10} ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากทางพิเศษ, ความหนาแน่นของจราจร, และสัดส่วนของเวลาที่ลมพัดเข้าหาจุดตรวจวัด
- ระดับของ NO_2 ในห้องเรียนที่อยู่ใกล้ทางพิเศษมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณรถและความหนาแน่นการจราจร, สัดส่วนของเวลาที่ลมพัดเข้าหาจุดตรวจวัด, และระยะห่างจากทางพิเศษ
- ระดับความเข้มข้นของควันดำภายในอาคารสัมพันธ์กับความหนาแน่นของการจราจรของรถบรรทุกและสัดส่วนเวลาที่ลมพัดเข้าหาจุดตรวจวัด

ทั้งนี้ ข้อสรุปของ Roorda-Knape et al. เกี่ยวกับ PM_{10} ข้างต้นเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกับข้อสรุปของ Fischer et al. (2000) ที่ศึกษาระดับมลพิษประเภทฝุ่นและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในอาคารและนอกอาคารในเมือง Amsterdam ซึ่งกล่าวว่า PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ไม่เป็นตัวชี้วัดที่เฉพาะเจาะจงของการได้รับ (exposure) มลพิษจากการจราจร

ความสำคัญของระยะห่างจากถนนหรือการจราจรในฐานะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับมลพิษอากาศมีการกล่าวถึงในหลายการศึกษา อาทิ การศึกษาหนึ่งในเมือง Dusseldorf ประเทศเยอรมัน พบความเข้มข้น

เฉลี่ยของอนุภาคแขวนลอยที่ตรวจวัดบริเวณใกล้แยกที่มีการจราจรสูงมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของค่าที่ตรวจวัดจากสถานีอื่นๆ ทั้งหมดประมาณร้อยละ 27 (Pfeffer, 1994) ส่วน Nitta et al. (1993) ศึกษาแนวโน้มการลดลงของระดับฝุ่นตามระยะห่างจากถนนที่มีการจราจรสูงในกรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น โดยเก็บตัวอย่างฝุ่น 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ณ ระยะห่างต่างๆ กัน และพบว่าค่าเฉลี่ยของฝุ่นลดลงจาก 77 เป็น 69 และ 64 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ที่ระยะห่างเท่ากับ 0, 20, และ 150 เมตรจากถนน ตามลำดับ ในส่วนของ NO_2 นั้นก็มีรายงานความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกัน นอกจากนั้น Rodes and Holland (1981) พบว่ารูปแบบของการลดลงของ NO_2 มีขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นพื้นฐาน (background concentration) ของ O_3 ที่มีอยู่ในบรรยากาศด้วย

ความเร็วและทิศทางลมมีอิทธิพลกับการเคลื่อนที่ของมลพิษอากาศและการเจือจางที่จะเกิดขึ้น ถ้าอัตราการปล่อยมลพิษคงที่ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วลม (Godish, 1991) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่พบในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศทั่วไป และการศึกษาของ Kingham et al. (1998) ซึ่งเปรียบเทียบการได้รับมลพิษอากาศของในระหว่างการเดินทางไปทำงานด้วยวิธีต่างๆ คือ รถยนต์ รถประจำทาง รถไฟ และจักรยาน ระบุถึงความสัมพันธ์ของ benzene และฝุ่นที่มีสหสัมพันธ์แบบผกผันกับความเร็วลม

อิทธิพลของปริมาณจราจรต่อมลพิษอากาศบริเวณใกล้ถนนมีการกล่าวถึงในหลายการศึกษา อาทิ การศึกษาของ Raj et al. (2543) ที่เมืองใหญ่แห่งในประเทศอินเดีย พบว่าความแปรปรวนของระดับฝุ่นมีผลมาจากความแปรปรวนของความหนาแน่นของการจราจร นอกจากนี้ Kindzierski and Jackson (1998) ก็รายงานว่า PM_{10} มีระดับสูงริมถนนที่มีปริมาณจราจรสูงของพื้นที่ศึกษาในเมือง Edmonton ประเทศแคนาดา

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ กับมลพิษอากาศโดยดูที่ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายคุณภาพอากาศจากการจราจรหรือจากถนน พบว่าในกรณีแบบจำลอง MOBILE 5 สำหรับทำนายมลพิษ HC, CO, และ NO_x ที่ปล่อยออกจากยานพาหนะ จะใช้ปัจจัยการปล่อยมลพิษ (emission factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบรรยากาศ, ความเร็วรถ, อุปกรณ์ลดมลพิษ, และการใช้เครื่องปรับอากาศในรถเป็นต้น (U.S. EPA, 1994) ส่วนแบบจำลอง GM ซึ่งทำนายมลพิษจากแหล่งกำเนิดแบบเส้น ต้องการข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับความยาวถนน, การวางตัวของถนน, ความกว้างถนน, ระดับความสูงของถนน, ปริมาณจราจร, อุณหภูมิบรรยากาศ, ความเร็วลม, ทิศทางลม, เสถียรภาพบรรยากาศ, และตำแหน่งของผู้รับ (Chock, 1978) นอกจากนี้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยมีพื้นที่ศึกษาที่กรุงเทพมหานครเพื่อทำนายระดับ CO และ NO_2 ในบริเวณช่วงถนนที่มีสิ่งก่อสร้างรอบๆ เป็นลักษณะคล้ายอุโมงค์ (street tunnel) ใช้ตัวแปรอิสระเป็นข้อมูลปริมาณจราจร, ความเร็วรถ, และความเร็วลม (Sivapan Choo-in, 2001)

การวิจัยของ Sivacoumar และ Thanasekaran (2001) ที่ทำการเปรียบเทียบและประเมินความถูกต้องในการทำนายค่าระดับมลพิษอากาศจากยานพาหนะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ GM, CALINE3, PAL2, และ ISCST2 สรุปว่าแต่ละแบบจำลองมีความเหมาะสมในการใช้งานกับพื้นที่ศึกษา

แตกต่างกัน ซึ่งน่าจะหมายความว่าแบบจำลองที่เป็นลักษณะ empirical หรือสร้างจากความสัมพันธ์ของข้อมูลของพื้นที่นั้นๆ โดยตรงจึงอาจมีความสามารถในการทำนายที่ดีกว่า

นอกเหนือจากการศึกษามลพิษอากาศจากทางพิเศษหรือถนนแล้ว ยังมีการศึกษาที่น่าสนใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียง ณ ผู้รับที่อยู่ใกล้ทางพิเศษ กับตัวแปรด้านการจราจร เช่น ความเร็วรถ ปริมาณการจราจร และสัดส่วนประเภทรถ (สำนักงานบริการเทคโนโลยีสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2545) ซึ่งได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีผู้พัฒนาขึ้นแล้วมาทดลองใช้ทำทายระดับเสียงเทียบกับการตรวจวัดจริง อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้พบว่าได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายกับค่าตรวจวัดจริงไม่ดีนัก

3

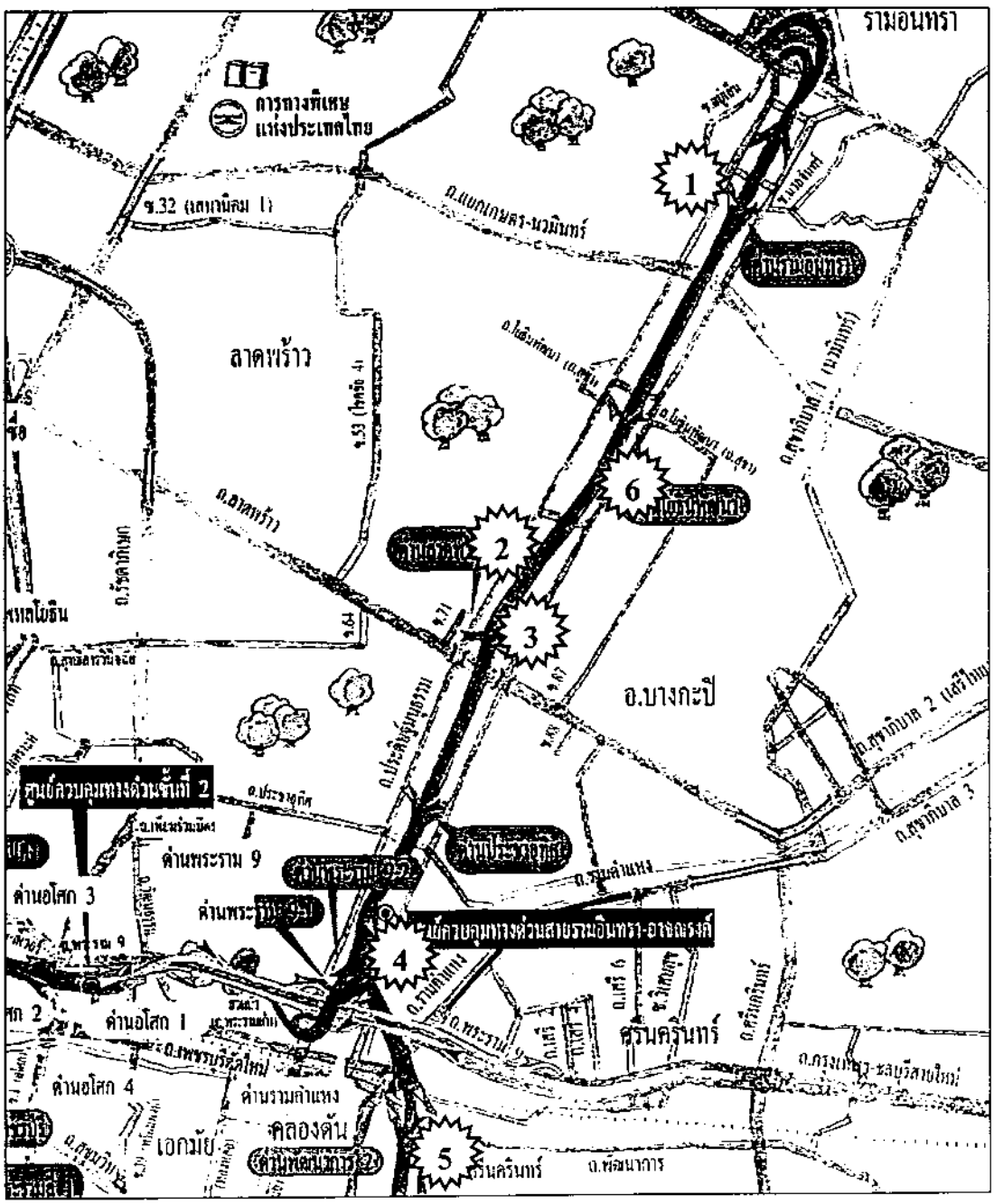
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลที่เป็นตัวแทนของปัจจัยที่สำคัญต่อระดับมลพิษในอากาศทั้ง 4 ปัจจัย นั่นคือ ปัจจัยด้านการจราจร ปัจจัยด้านลักษณะของทางพิเศษ ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา และปัจจัยด้านผู้ได้รับมลพิษ ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทยประกอบด้วย ระดับมลพิษทางอากาศ ปริมาณจราจร ชนิดของยานพาหนะ ระยะห่างจากทางด่วน ซึ่งรวบรวมมาจากรายงานผลการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากทางพิเศษ ของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่จัดทำขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ซึ่งการทางพิเศษแห่งประเทศไทยซึ่งเป็นเจ้าของโครงการทางพิเศษจะต้องจัดทำรายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการทางพิเศษ โดยในรายงานดังกล่าวจะต้องมีมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และแผนงานการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม และต้องส่งรายงานฯให้กับสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมพิจารณา และเสนอต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติพิจารณาเพื่ออนุมัติโครงการต่อไป ดังนั้นการทางพิเศษแห่งประเทศไทยจึงต้องทำการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางพิเศษจำนวน 3 โครงการได้แก่ ทางพิเศษศรีรัช ทางพิเศษฉลองรัช และทางพิเศษบูรพาวิถี ซึ่งทั้ง 3 โครงการจะทำการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 5 ปีต่อเนื่องกัน ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลของการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการทางพิเศษฉลองรัช ในปี พ.ศ. 2544

3.1.1 สถานีตรวจวัด

การติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการทางพิเศษฉลองรัช ในปี พ.ศ. 2544 มีสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศทั้งสิ้น 6 สถานี โดยเลือกตรวจวัดในพื้นที่ที่มีความเปราะบางหรือไวต่อการได้รับผลกระทบจากโครงการทางพิเศษ ดังแสดงตำแหน่งโดยประมาณในรูปที่ 3-1 และข้อมูลของแต่ละสถานีแสดงในตารางที่ 3-1 นอกจากนี้ แผนที่ของบริเวณสถานีได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 3-1: ตำแหน่งสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศทั้ง 6 สถานี ของทางพิเศษฉลองรัช

ตารางที่ 3-1: ข้อมูลสถานีตรวจวัดทั้ง 6 สถานีของทางพิเศษฉลองรัช

สถานี	ชื่อ	ระยะห่างจากทางพิเศษ (เมตร)	ช่วงเวลาที่ตรวจวัด
1	ซอยอยู่เย็น	40	19-22 ก.ค. 2544
2	โรงเรียนคลองทรงกระเทียม	180	29 ก.ค.-1 ส.ค. 2544
3	หมู่บ้านออร์คิดวิลล่า	35	26-29 ก.ค. 2544
4	หมู่บ้านธารารมณ์	150	9-12 ส.ค. 2544
5	โรงเรียนสวนรัฐวิทยาคม	180	13-16 ส.ค. 2544
6	ถนนโยธินพัฒนา	25	2-5 ส.ค. 2544

3.1.2 ข้อมูลมลพิษทางอากาศ

ข้อมูลมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษฉลองรัช เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดตลอด 3 วันต่อเนื่องกัน ทั้งวันทำการและวันหยุดราชการ ข้อมูลมลพิษอากาศจะแบ่งออกตามลักษณะของการตรวจวัดเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือกลุ่มมลสารประเภทแก๊ส ได้แก่ NO_2, CO, SO_2, และ O_3 ซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ตลอด 3 วันต่อเนื่องกัน และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มมลสารประเภทอนุภาค ได้แก่ Pb, PM_{10}, และ TSP ซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยทุก 24 ชั่วโมง ตลอด 3 วันต่อเนื่องกัน วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างมลพิษอากาศสรุปไว้ในตารางที่ 3-2 และแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ช

ตารางที่ 3-2: วิธีการเก็บและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างมลพิษอากาศ (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2544)

มลสาร	วิธีการเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง
CO	Automatic Sampling	Nondispersive Infrared
NO_2	Automatic Sampling	Chemiluminescence
O_3	Automatic Sampling	Chemiluminescence
SO_2	Automatic Sampling	UV-Fluorescence
Pb	Glass Fiber Filter	Atomic Absorption Spectrophotometer (Flameless)
PM_{10}	High Volume Air Sampler, Size Selection	Gravimetric
TSP	High Volume Air Sampler	Gravimetric

3.1.3 ข้อมูลปริมาณจราจร

ข้อมูลปริมาณจราจรจะใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากทางพิเศษฉลองรัช และถนนที่อยู่เลียบทางพิเศษฉลองรัช คือ ถนนประดิษฐ์มนูธรรม และแบ่งชนิดของยานพาหนะออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่

1) รถยนต์นั่ง 4 ล้อ
2) รถปิกอัพและรถตู้
3) รถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง
4) รถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไป รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถพ่วง
5) รถจักรยานยนต์

ข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลจำนวนยานพาหนะในหน่วยคันต่อชั่วโมง และความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนทางพิเศษและถนนประดิษฐ์มนูธรรม การตรวจนับปริมาณจราจร ความเร็วของรถ และสัดส่วนประเภทของรถบนทางพิเศษฉลองรัช และถนนประดิษฐ์มนูธรรม มีจุดที่ทำการเก็บข้อมูล 2 จุด คือ บริเวณสถานีตรวจวัดที่ 3 และสถานีอ้างอิงบริเวณเคที อพาร์ตเมนต์ ใกล้จุดตัดของทางพิเศษกับถนนพระรามเก้า ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถสะท้อนปริมาณรถที่ผ่านสถานีตรวจวัดที่ 2, 3, และ 6 ซึ่งอยู่ในช่วงกลางของทางพิเศษฉลองรัช โดยการตรวจนับปริมาณจราจรและสัดส่วนปริมาณจราจร ทำโดยการอ่านจากข้อมูลที่บันทึกไว้ในม้วนวีดิทัศน์ที่บันทึกไว้ อ่านจำนวนรถยนต์แต่ละประเภทที่นับได้ทุกๆ ชั่วโมง ชั่วโมงละ 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง นอกจากนี้จากการตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ทำโดยวิธี Spot Speed ตลอด 24 ชั่วโมง โดยอ่านจากวีดิทัศน์เช่นกัน

3.1.4 ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิอากาศ ทำการรวบรวมจากสถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้พื้นที่ศึกษา ได้แก่ สถานีตรวจวัดห้วยขวาง ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จะเป็นข้อมูลเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง

3.1.5 ข้อมูลอื่นๆ

ข้อมูลอื่นๆ ที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของทางพิเศษ ตรงบริเวณที่มีสถานีตรวจวัด เช่น ความสูงจากระดับพื้นดิน สิ่งกีดขวางการเดินทางของมลพิษ เป็นต้น และข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณจุดตรวจวัด

3.2 การสร้างฐานข้อมูล

ทำการสร้างฐานข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในแฟ้มข้อมูลที่พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows โดยรูปแบบของฐานข้อมูลมีคอลัมน์เป็นตัวแปรต่างๆ และมีแถว

เป็นข้อมูลของตัวแปร และแยกข้อมูลออกเป็น 2 แฟ้ม ตามลักษณะของข้อมูลจากการตรวจวัดมลสาร คือ แฟ้มหนึ่งเป็นข้อมูลการตรวจวัดรายชั่วโมงของกลุ่มมลสารประเภทแก๊ส และอีกแฟ้มหนึ่งเป็นข้อมูลการตรวจวัดราย 24 ชั่วโมง ของกลุ่มมลสารประเภทอนุภาค

เนื่องจากทางพิเศษหนึ่งๆ มักจะมีถนนเลียบใต้ทางพิเศษอยู่ควบคู่กันไป การจราจรที่เกิดขึ้นจึงมีทั้งบนทางพิเศษและบนถนนเลียบทางพิเศษนั้นๆ โดยในบางช่วงเวลาอาจเกิดการจราจรคับคั่งบนถนนเลียบทางพิเศษอีกด้วย ดังนั้นจึงทำการพิจารณาระดับมลพิษอากาศ ณ สถานีตรวจวัดหนึ่งๆ โดยหาความสัมพันธ์กับข้อมูลยานพาหนะใน 3 กรณี โดยกรณีที่ 1 คือข้อมูลยานพาหนะบนทางพิเศษ กรณีที่ 2 คือข้อมูลยานพาหนะบนถนนเลียบใต้ทางพิเศษ และกรณีที่ 3 คือข้อมูลยานพาหนะบนทางพิเศษรวมกับถนนเลียบใต้ทางพิเศษ ในการเตรียมฐานข้อมูลสำหรับการศึกษานี้จึงได้สร้างตัวแปรเกี่ยวกับข้อมูลยานพาหนะโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณีดังกล่าว

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 สถิติพรรณนาของระดับมลพิษและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

วิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลปัจจัยต่างๆ

3.3.2 สหสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ความแปรปรวนรายชั่วโมง

วิเคราะห์ความแปรปรวนรายชั่วโมงของข้อมูลมลพิษประเภทแก๊สและข้อมูลอื่นที่มีค่าเป็นรายชั่วโมง

ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

ทำการทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าระดับมลพิษเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของประชากรที่มีความแตกต่างในปัจจัยที่ศึกษา

- ปัจจัยด้านการจราจร ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับมลพิษระหว่างช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาอื่น และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับมลพิษซึ่งแบ่งกลุ่มโดยค่าปริมาณยานพาหนะรวม
- ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับมลพิษซึ่งแบ่งกลุ่มโดยค่าความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิ
- ปัจจัยด้านลักษณะของทางพิเศษและผู้ได้รับมลพิษ ได้แก่ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับมลพิษระหว่างสถานีตรวจวัดทั้ง 6 สถานี

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับมลพิษทางอากาศ โดยใช้วิธีทางสถิติในการวิเคราะห์เพื่อหาว่ามีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นมากหรือน้อย และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันหรือไม่

ความถดถอยเชิงเส้น

วิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสรุปเพื่อหาพารามิเตอร์ที่อาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ (determinant) ของระดับมลพิษแต่ละตัว หรือพารามิเตอร์ที่มีศักยภาพสูงเหมาะสมกับการใช้ในการทำนายระดับของมลพิษอากาศแต่ละตัวในพื้นที่บริเวณใกล้ทางพิเศษ

4

สถิติพรรณนาของระดับมลพิษและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากการรวบรวมข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ สรุปดังตารางที่ 4-1 ตัวแปรเกี่ยวกับข้อมูลประเภท ปริมาณ และความเร็วยานพาหนะ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลยานพาหนะบนทางพิเศษ ประกอบด้วยตัวแปร C1, LB1, HB1, HT1, MC1, และ VS1 กรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลยานพาหนะบนถนนเลียบใต้ทางพิเศษ ประกอบด้วยตัวแปร C2, LB2, HB2, HT2, MC2, และ VS2 และกรณีที่ 3 ใช้ข้อมูลยานพาหนะบนทางพิเศษรวมกับถนนเลียบใต้ทางพิเศษ ประกอบด้วยตัวแปร C3, LB3, HB3, HT3, MC3, และ VS3

ตารางที่ 4-1: ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปร	รายละเอียด	หน่วย	ความถี่ข้อมูล
CO	คาร์บอนไดออกไซด์	ส่วนในล้านส่วน	ทุกชั่วโมง
NO_2	ไนโตรเจนไดออกไซด์	มก./ลบ.ม.	ทุกชั่วโมง
O_3	โอโซน	ส่วนในล้านส่วน	ทุกชั่วโมง
SO_2	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	มก./ลบ.ม.	ทุกชั่วโมง
Pb	ตะกั่ว	ไมโครกรัม/ลบ.ม.	ทุก 24 ชม.
PM_{10}	ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	มก./ลบ.ม.	ทุก 24 ชม.
TSP	ฝุ่นทั้งหมด	มก./ลบ.ม.	ทุก 24 ชม.
C1, C2, C3	รถยนต์นั่ง 4 ล้อ	คัน/ชม.	ทุกชั่วโมง
LB1, LB2, LB3	รถปิกอัพและรถตู้	คัน/ชม.	ทุกชั่วโมง
HB1, HB2, HB3	รถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง	คัน/ชม.	ทุกชั่วโมง
HT1, HT2, HT3	รถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไป รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถพ่วง	คัน/ชม.	ทุกชั่วโมง
MC1, MC2, MC3	รถมอเตอร์ไซค์	คัน/ชม.	ทุกชั่วโมง
TV1, TV2, TV3	ยานพาหนะรวมทุกประเภท	คัน/ชม.	ทุกชั่วโมง
VS1, VS2, VS3	ความเร็วรถ	กม./ชม.	ทุกชั่วโมง
WS	ความเร็วลม	เมตร/วินาที	ทุกชั่วโมง
WD	ทิศทางลม	องศา	ทุกชั่วโมง
T	อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	ทุกชั่วโมง
DFE	ระยะห่างของสถานีตรวจวัดจากขอบทางพิเศษ	เมตร	-

สำหรับค่าทิศทางลมที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้ทำการปรับแก้ค่าทิศทางลมเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษที่ห้วยขวาง เพื่อให้ค่าทิศทางลมสะท้อนอิทธิพลของแหล่งกำเนิดคือทางพิเศษและถนน ที่มีต่อผู้รับคือสถานีตรวจวัดทั้ง 6 สถานี ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ กันเทียบกับทางพิเศษ ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงกำหนดวิธีการปรับแก้ค่าทิศทางลมสำหรับแต่ละสถานี เพื่อให้ลมที่พัดตั้งฉากกับทางพิเศษเข้าสู่สถานี มีค่าทิศทางเป็น 0 องศา ลมที่พัดขนานกับทางพิเศษ มีค่าทิศทางเป็น 90 องศา (ไม่ว่าจะขนานไปด้านใด) และลมที่พัดย้อนกลับจากสถานีไปตั้งฉากกับทางพิเศษ มีค่าทิศทางเป็น 180 องศา ดังนั้นค่าทิศทางใหม่จะมีค่าตั้งแต่ 0-180 องศา โดยค่าองศาที่น้อยแสดงว่ามลพิษอากาศจากทางพิเศษถูกพัดเข้าสู่สถานีมาก ซึ่งระดับมลพิษที่วัดได้น่าจะสูงกว่ากรณีค่าองศาที่มาก รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการปรับแก้ทิศทางลม แสดงไว้ในภาคผนวก ค

4.2 สถิติพรรณนาของระดับมลพิษ

4.2.1 มลพิษประเภทแก๊ส

ตารางที่ 4-2 สรุปลักษณะพื้นฐานทางสถิติของข้อมูลมลสารประเภทแก๊สทั้ง 4 ประเภท โดยแยกพิจารณารายสถานีและรวมทุกสถานี และรูปที่ 4-1 ถึงรูปที่ 4-4 แสดงฮิสโตแกรมของมลสารเหล่านี้

เนื่องจากระดับมลพิษประเภทแก๊สเป็นค่ารายชั่วโมง และทำการวัดสถานีละ 3 วัน จำนวนข้อมูลที่เป็นไปได้สูงสุดของแต่ละสถานี คือ 72 ตัวอย่าง อย่างไรก็ตามพบว่าสถานีที่ 2 และ 3 มีข้อมูล CO ขาดไปสถานีละ 1 ชั่วโมง และสถานีที่ 1 ข้อมูล NO_2, SO_2, และ O_3 ขาดไปประเภทละ 2 ชั่วโมง

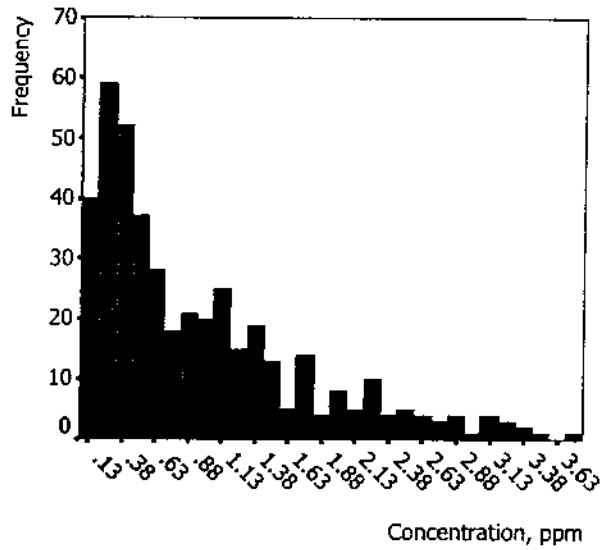
เมื่อพิจารณาข้อมูลระดับมลพิษอากาศจากตารางเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับบรรยากาศทั่วไป พบว่า CO และ SO_2 มีระดับมลพิษต่ำ โดย CO มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.95 และ 3.71 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ 30 ส่วนในล้านส่วนอยู่มาก เช่นเดียวกันกับ SO_2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดเท่ากับ 0.010 และ 0.028 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 0.30 ส่วนในล้านส่วน

ส่วนมลสารอีก 2 ประเภทมีระดับต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดเช่นกันแต่ไม่มากนัก โดย O_3 มีค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่ามาตรฐาน เท่ากับ 0.006, 0.030, และ 0.10 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ดังนั้นค่าสูงสุดที่พบจึงเท่ากับร้อยละ 30 ของค่ามาตรฐาน ส่วน NO_2 มีค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่ามาตรฐาน เท่ากับ 0.021, 0.160, และ 0.17 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ค่าสูงสุดที่พบเท่ากับร้อยละ 94 ของค่ามาตรฐาน ดังนั้นในกลุ่มมลสารประเภทแก๊สทั้ง 4 ตัวนี้ พบว่าไม่มีตัวใดมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศในช่วงเวลาที่ตรวจวัด แต่ NO_2 มีค่าสูงสุดใกล้เคียงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศมากที่สุด

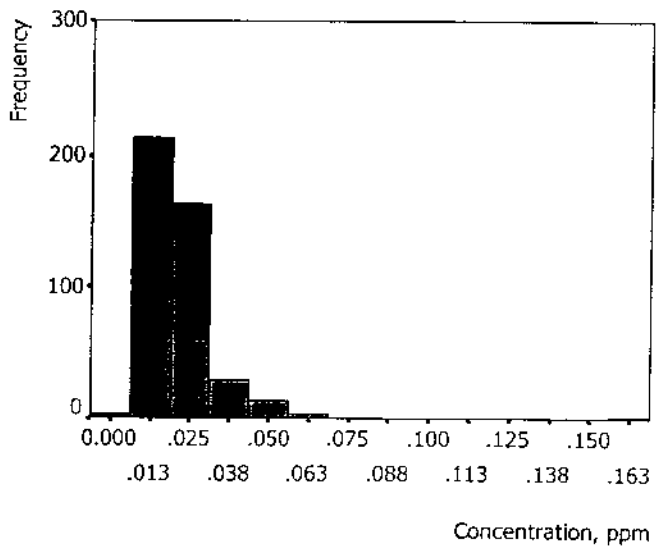
ตารางที่ 4-2: ลักษณะทางสถิติของข้อมูลมลสารประเภทแก๊ส[1]

มลสาร	สถานี	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	COV
CO	1	72	0.10	3.15	1.07	0.81	0.75
	2	71	0.11	2.15	0.65	0.46	0.70
	3	71	0.10	2.22	0.71	0.51	0.72
	4	72	0.12	1.80	0.64	0.45	0.69
	5	72	0.10	2.89	0.79	0.67	0.84
	6	72	0.24	3.71	1.80	0.95	0.53
	รวมทุกสถานี	430	0.10	3.71	0.95	0.78	0.82
NO_2	1	70	0.005	0.160	0.020	0.019	0.98
	2	72	0.007	0.031	0.020	0.005	0.23
	3	72	0.010	0.042	0.024	0.008	0.32
	4	72	0.008	0.022	0.013	0.004	0.28
	5	72	0.008	0.030	0.015	0.004	0.29
	6	72	0.012	0.061	0.032	0.013	0.39
	รวมทุกสถานี	430	0.005	0.160	0.021	0.012	0.58
O_3	1	70	0.001	0.030	0.005	0.004	0.86
	2	72	0.002	0.020	0.008	0.006	0.76
	3	72	0.002	0.015	0.006	0.004	0.64
	4	72	0.002	0.013	0.005	0.002	0.42
	5	72	0.002	0.013	0.006	0.003	0.46
	6	72	0.003	0.012	0.006	0.002	0.33
	รวมทุกสถานี	430	0.001	0.030	0.006	0.004	0.64
SO_2	1	70	0.006	0.020	0.010	0.003	0.26
	2	72	0.007	0.018	0.009	0.002	0.18
	3	72	0.007	0.018	0.009	0.002	0.18
	4	72	0.001	0.017	0.010	0.003	0.26
	5	72	0.004	0.018	0.010	0.003	0.26
	6	72	0.007	0.028	0.011	0.003	0.27
	รวมทุกสถานี	430	0.001	0.028	0.010	0.003	0.25

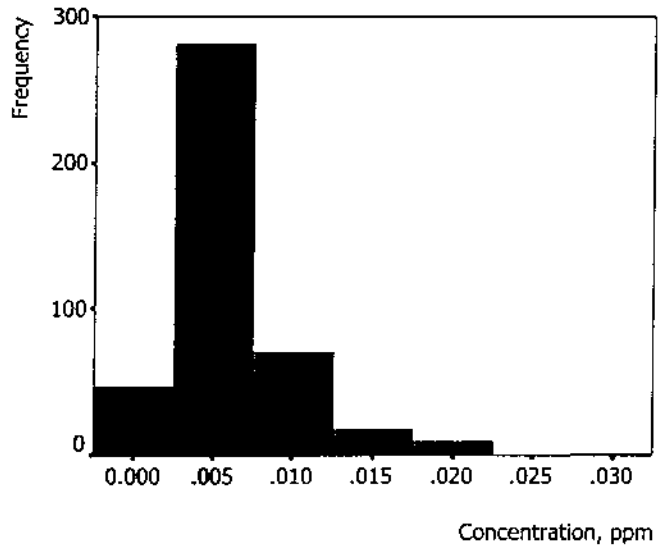
[1] หน่วยของ NO_2 และ SO_2 คือ มก./ลบ.ม., หน่วยของ CO และ O_3 คือ ส่วนในล้านส่วน



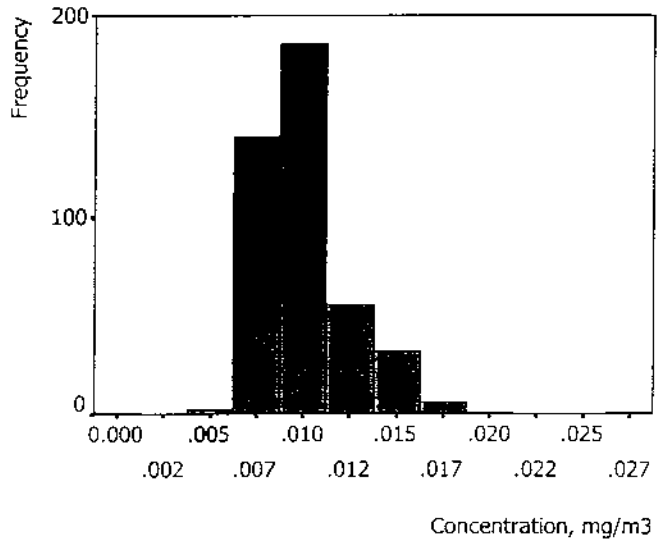
รูปที่ 4-1: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นแก๊ส CO (รวมทุกสถานี)



รูปที่ 4-2: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นแก๊ส NO_2 (รวมทุกสถานี)

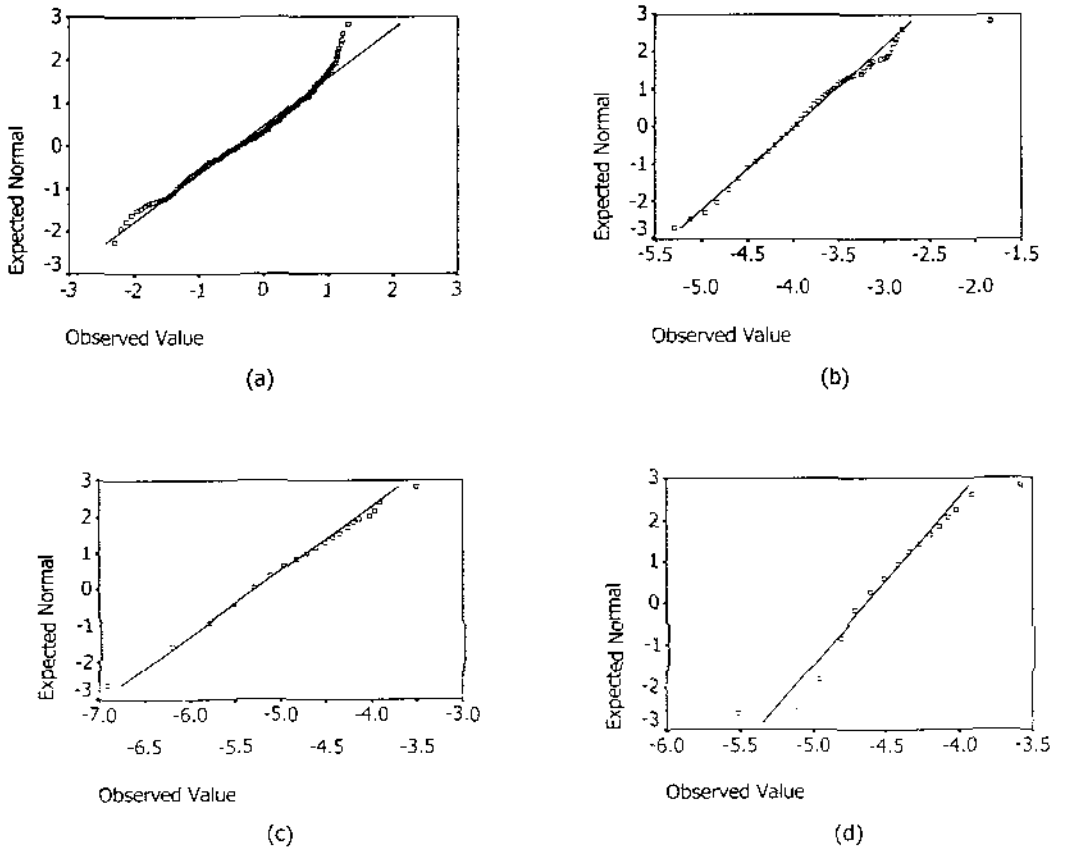


รูปที่ 4-3: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นแก๊ส O_3 (รวมทุกสถานี)



รูปที่ 4-4: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นแก๊ส SO_2 (รวมทุกสถานี)

จากตารางเดียวกันนี้ เห็นได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่สูงนักเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, COV) ของข้อมูลมลสารซึ่งทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 1 ส่วนลักษณะการกระจายของข้อมูลที่เห็นจากฮิสโตแกรมมีลักษณะใกล้เคียงแบบ lognormal เมื่อทำการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยใช้วิธี *Kolmogorov-Smirnov (K-S) Test* กับค่าความเข้มข้นของแก๊สและค่า *natural log* ของค่าความเข้มข้นของแก๊ส ได้ผลเป็นการปฏิเสธสมมุติฐานของการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกกรณี อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการแจกแจงโดยนำค่า natural log ของแต่ละมลสารมาพล็อตกราฟแบบ Normal Q-Q Plot พบว่าข้อมูลจริงเกาะอยู่ใกล้เส้นของค่าที่คาดไว้เมื่อมีการแจกแจงแบบปกติ (รูปที่ 4-5) ดังนั้น สรุปได้ว่าการแจกแจงความน่าจะเป็นของมลสารทั้ง 4 มีความใกล้เคียงการแจกแจงแบบ Lognormal



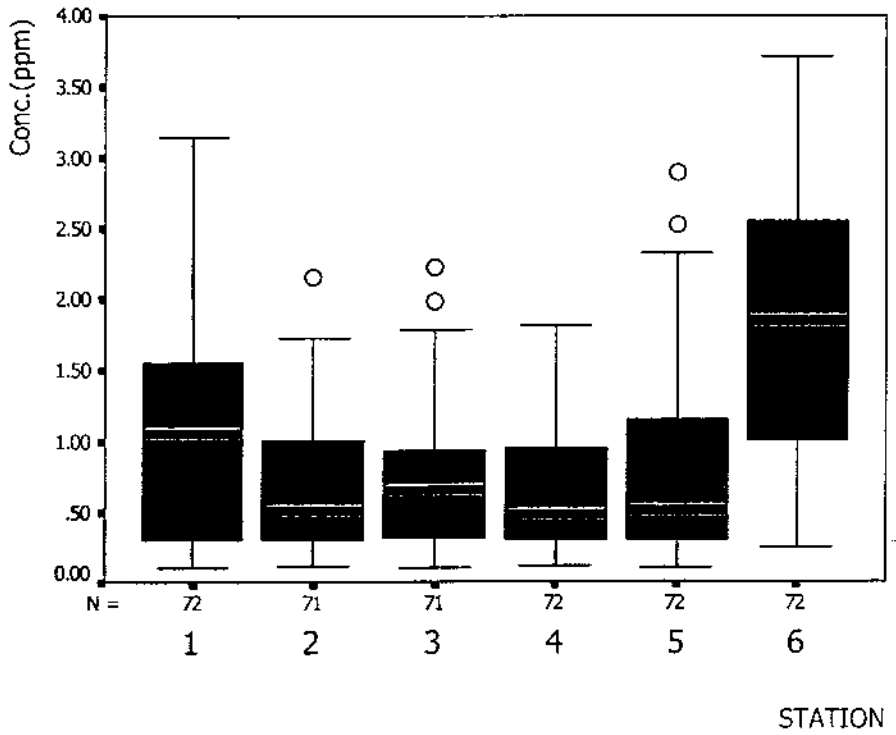
รูปที่ 4-5: กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่า Natural Log ของมลสาร: (a) CO, (b) NO_2, (c) O_3, และ (d) SO_2

รูปที่ 4-6 ถึงรูปที่ 4-9 แสดงการแจกแจงของค่าความเข้มข้นของมลสารรายสถานี โดยแสดงในรูปของ Box Plot ซึ่งสำหรับแต่ละ box นั้น เส้นภายใน box แสดงค่ามัธยฐาน เส้นขอบล่างและขอบบนของ box แสดงขอบเขตของควอไทล์ที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และระยะความกว้างของ box นี้ เรียกว่า Inter-quartile Range (IQR) นอกขอบเขตของ box ทั้งสองด้านมีแนวรั้วที่มองไม่เห็น 2 แนว คือ Inner Fence และ Outer Fence ซึ่งอยู่ห่างออกไปจากขอบ box เท่ากับ 1.5 IQR และ 3 IQR ตามลำดับ เส้นที่ยื่นออกมาจาก box แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลที่อยู่ภายใน Inner Fence สัญลักษณ์วงกลมแสดงข้อมูลที่อยู่ระหว่าง Inner Fence และ Outer Fence ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าค่า Outlier และสัญลักษณ์กากบาทแสดงข้อมูลที่อยู่นอก Outer Fence ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าค่า Extreme

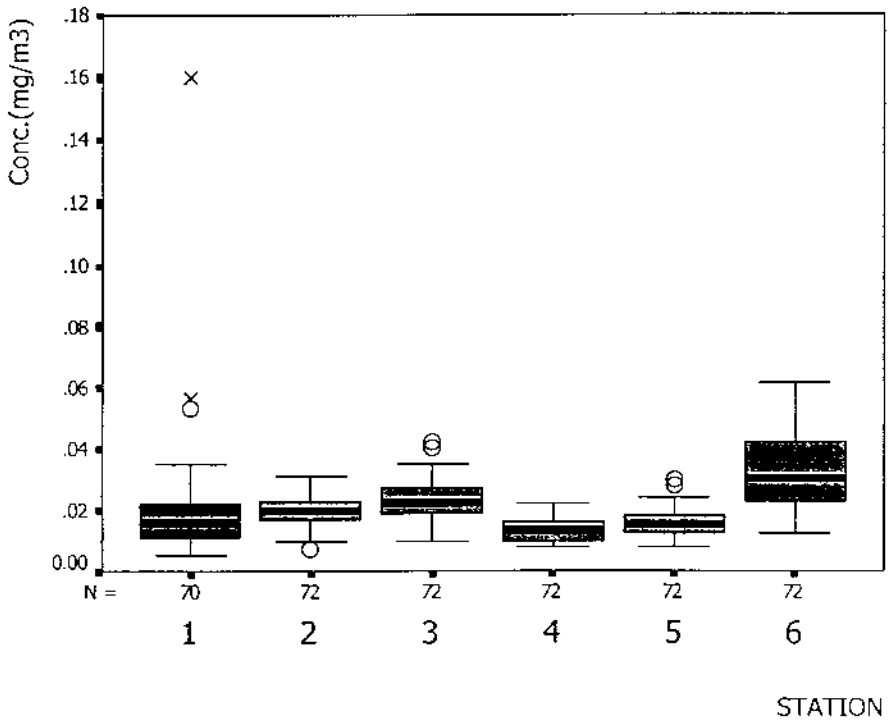
การพิจารณาการแจกแจงรายสถานีจากรูปดังกล่าว ทำร่วมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ *จำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) และการวิเคราะห์แบบเปรียบเทียบเชิงซ้อน* (Multiple Comparison) ด้วยวิธี Least-Significant Different (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยระดับมลพิษทุกชนิด ณ สถานีต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ โดยมีผลวิเคราะห์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ระดับ CO เฉลี่ยที่สถานีที่ 6 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าสูงกว่าทุกสถานีอย่างมีนัยสำคัญ และสถานีที่ 1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับสอง ก็มีค่าสูงกว่าสถานีที่เหลืออีก 4 สถานี อย่างมีนัยสำคัญ
- ระดับ NO_2 เฉลี่ยที่สถานีที่ 6 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าสูงกว่าทุกสถานีอย่างมีนัยสำคัญ และสถานีที่ 3 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับสอง ก็มีค่าสูงกว่าสถานีที่เหลืออีก 4 สถานี อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสถานีที่ 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าสถานีที่ 1, 2, 3, และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ
- ระดับ O_3 เฉลี่ยที่สถานีที่ 2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าสูงกว่าสถานีที่ 1, 3, 4, และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสถานีที่ 6 มีค่าสูงกว่าสถานีที่ 1 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ
- ระดับ SO_2 เฉลี่ยที่สถานีที่ 6 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าสูงกว่าสถานีที่ 1, 2, 3, และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสถานีที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าสถานีที่ 1, 4, 5, และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ

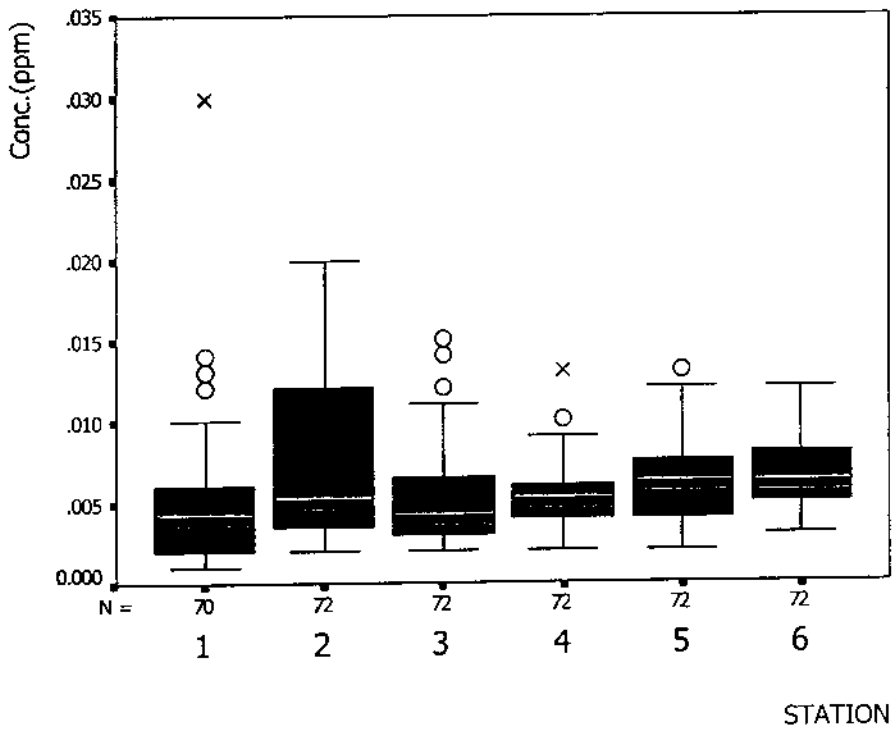
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นสอดคล้องกับแนวโน้มที่พบในรูปที่ 4-6 ถึงรูปที่ 4-9 ที่เห็นได้ว่าสถานีที่ 6 มีระดับมลพิษประเภทแก๊สสูงกว่าสถานีอื่นๆ อย่างชัดเจน ซึ่งน่าจะเป็นไปได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ การที่สถานีตั้งอยู่ใกล้ทางพิเศษมากที่สุด คือห่างจากทางพิเศษ 25 เมตร และห่างจากถนนประดิษฐ์มนูธรรมเพียง 14 เมตร เท่านั้น นอกจากนี้ยังใกล้กับจุดตัดของถนนประดิษฐ์มนูธรรมกับถนนโยธินพัฒนา จึงน่าจะมีมลพิษจากการจราจรบนถนนโยธินพัฒนารวมเข้ามาด้วย อีกสาเหตุที่เป็นไปได้คือสถานีแห่งนี้เป็นสถานีเดียวใน 6 สถานีที่อยู่ติดกับสถานีบริการน้ำมัน ซึ่งมีการเข้าออกของยานพาหนะจำนวนมาก ในทางกลับกัน สถานีที่อยู่ห่างทางพิเศษค่อนข้างมาก คือ สถานีที่ 4 และ 5 ซึ่งห่างจากทางพิเศษ 150 และ 180 เมตร ตามลำดับ มักจะอยู่ในกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าสถานีอื่น



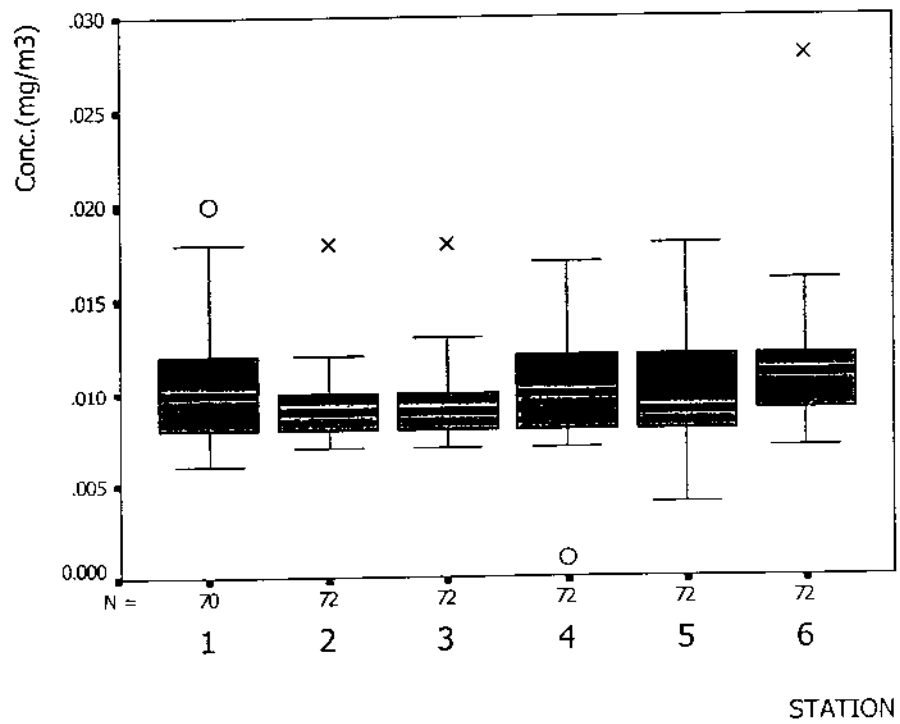
รูปที่ 4-6: Box Plot แสดงการแจกแจงของข้อมูล CO แยกตามสถานี



รูปที่ 4-7: Box Plot แสดงการแจกแจงของข้อมูล NO_2 แยกตามสถานี



รูปที่ 4-8: Box Plot แสดงการแจกแจงของข้อมูล O_3 แยกตามสถานี



รูปที่ 4-9: Box Plot แสดงการแจกแจงของข้อมูล SO_2 แยกตามสถานี

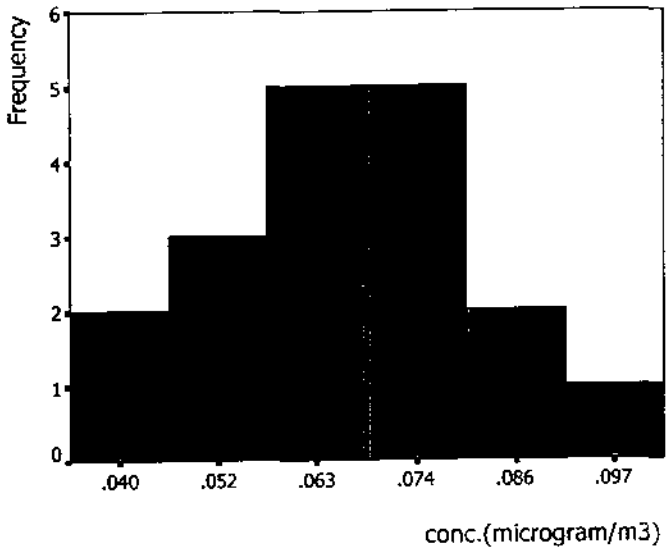
4.2.2 มลพิษประเภทอนุภาค

ตารางที่ 4-3 สรุปลักษณะพื้นฐานทางสถิติของข้อมูลมลสารประเภทอนุภาคทั้ง 3 ประเภท โดยแยกพิจารณารายสถานีและรวมทุกสถานี และรูปที่ 4-10 ถึงรูปที่ 4-12 แสดงฮิสโตแกรมของมลสารเหล่านี้

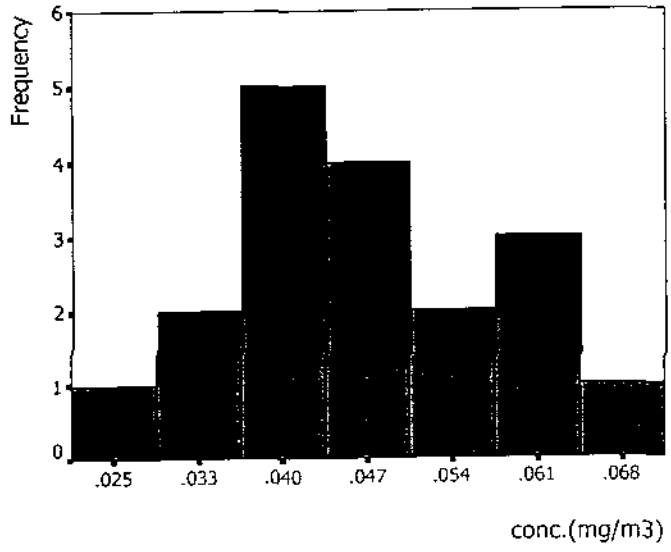
ตารางที่ 4-3: ลักษณะทางสถิติของข้อมูลมลสารประเภทอนุภาค[1]

มลสาร	สถานี	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	COV
Pb	1	3	0.066	0.098	0.080	0.016	0.20
	2	3	0.039	0.066	0.052	0.014	0.26
	3	3	0.068	0.075	0.072	0.004	0.05
	4	3	0.042	0.053	0.048	0.006	0.12
	5	3	0.067	0.080	0.073	0.007	0.09
	6	3	0.066	0.087	0.078	0.011	0.14
	รวมทุกสถานี	18	0.039	0.098	0.067	0.016	0.23
PM_{10}	1	3	0.056	0.061	0.058	0.003	0.04
	2	3	0.038	0.042	0.040	0.002	0.05
	3	3	0.038	0.047	0.043	0.005	0.11
	4	3	0.027	0.031	0.029	0.002	0.07
	5	3	0.038	0.049	0.045	0.006	0.14
	6	3	0.055	0.066	0.062	0.006	0.10
	รวมทุกสถานี	18	0.027	0.066	0.046	0.012	0.26
TSP	1	3	0.080	0.101	0.088	0.011	0.13
	2	3	0.068	0.083	0.076	0.008	0.10
	3	3	0.064	0.080	0.074	0.009	0.12
	4	3	0.045	0.064	0.054	0.010	0.18
	5	3	0.064	0.099	0.083	0.018	0.21
	6	3	0.123	0.141	0.135	0.010	0.08
	รวมทุกสถานี	18	0.045	0.141	0.085	0.027	0.32

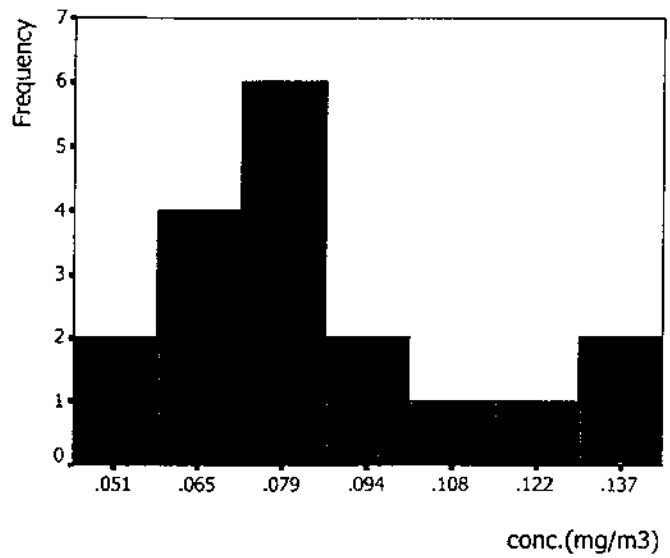
[1] หน่วยของ Pb คือ ไมโครกรัม/ลบ.ม., หน่วยของ PM_{10} และ TSP คือ มก./ลบ.ม.



รูปที่ 4-10: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นของ Pb (รวมทุกสถานี)



รูปที่ 4-11: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นของ PM_{10} (รวมทุกสถานี)



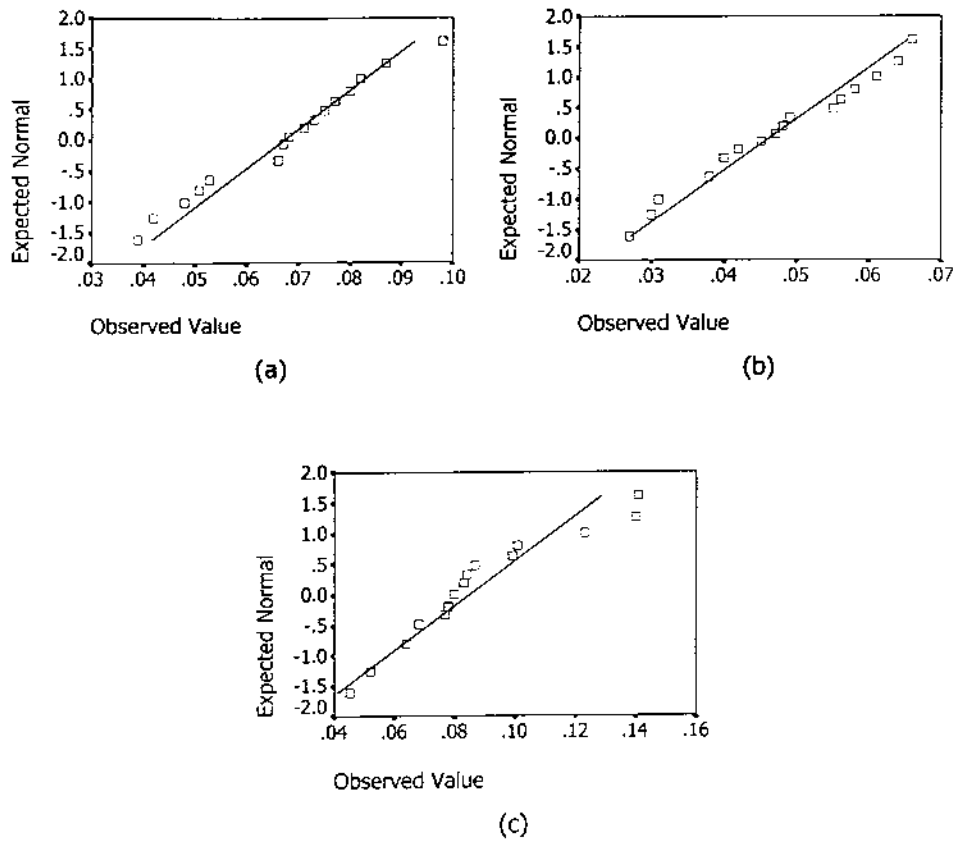
รูปที่ 4-12: ฮิสโตแกรมของความเข้มข้นของ TSP (รวมทุกสถานี)

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับบรรยากาศทั่วไปของ Pb คือค่าเฉลี่ยในช่วง 1 เดือน เท่ากับ 1.5 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ส่วนค่ามาตรฐานของ PM_{10}, และ TSP คือค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.12 และ 0.33 มก. ต่อลบ.ม. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระดับมลพิษอากาศจากข้อมูลในตารางที่ 4-3 เทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับบรรยากาศทั่วไป พบว่าระดับมลพิษเฉลี่ยและสูงสุดมีค่าไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด โดย Pb มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.67 และ 0.98 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ตามลำดับ ค่าสูงสุดที่พบเท่ากับร้อยละ 65 ของค่ามาตรฐาน PM_{10} มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.046 และ 0.066 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ตามลำดับ ค่าสูงสุดที่พบเท่ากับร้อยละ 55 ของค่ามาตรฐาน ส่วน TSP มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.085 และ 0.141 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ตามลำดับ ค่าสูงสุดที่พบเท่ากับร้อยละ 43 ของค่ามาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตารางแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาแบบรวมทุกสถานี ค่า COV ของ Pb, PM_{10}, และ TSP เท่ากับ 0.23, 0.26, และ 0.32 ตามลำดับ นอกจากนี้ สังเกตได้ว่าค่าความเข้มข้นมลสารทั้ง 3 ประเภทจากสถานีที่ 1 และ 6 มีค่าสูงกว่าสถานีอื่นๆ

ลักษณะการกระจายของข้อมูลที่เห็นจากฮิสโตแกรมมีลักษณะใกล้สมมาตรในกรณีของ Pb และ PM_{10} ในการทดสอบการแจกแจง เนื่องจากจำนวนข้อมูลของมลสารประเภทอนุภาคมีค่อนข้างจำกัด ไม่เหมาะกับการใช้ K-S Test จึงใช้การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธี Shapiro-Wilk Test ซึ่งเหมาะกับขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 3 ถึง 50 ตัวอย่าง การทดสอบด้วยวิธีดังกล่าว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความเข้มข้นของ Pb, PM_{10}, และ TSP มีการแจกแจงแบบปกติ สอดคล้องกับผลที่ได้จากการพิจารณากราฟ Normal Q-Q Plot ในรูปที่ 4-13 ซึ่งพบว่าข้อมูลจริงเกาะอยู่ใกล้เส้นของค่าที่คาดไว้เมื่อมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างไรก็ตาม

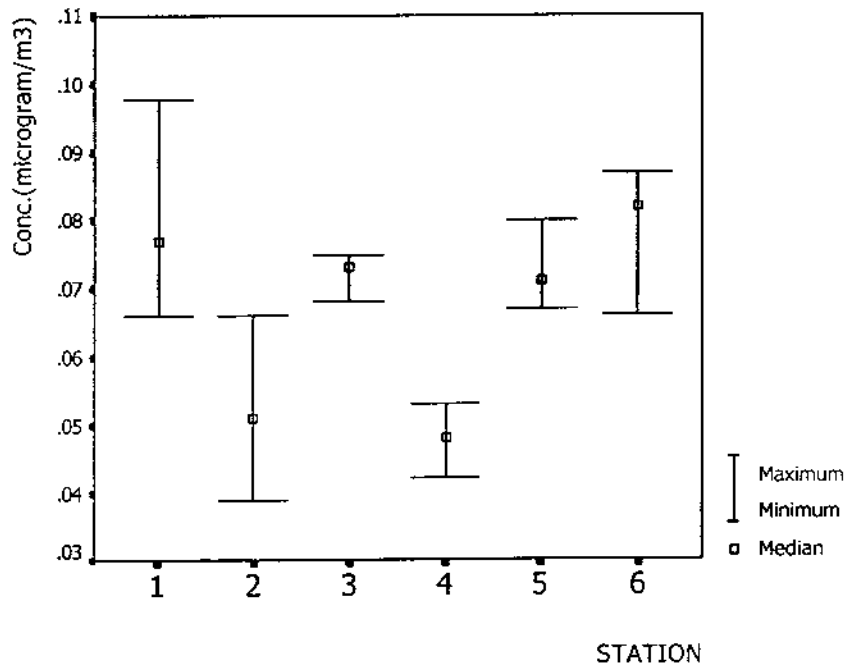
กรณีของ TSP จะเห็นการเบี่ยงเบนมากกว่ากรณีอื่น โดยมีลักษณะค่อนไปทางการแจกแจงแบบ lognormal และมีค่าสูงสุด 3 ค่าที่เบี่ยงเบนจากกลุ่มของข้อมูล ซึ่งทั้ง 3 ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากสถานีที่ 6



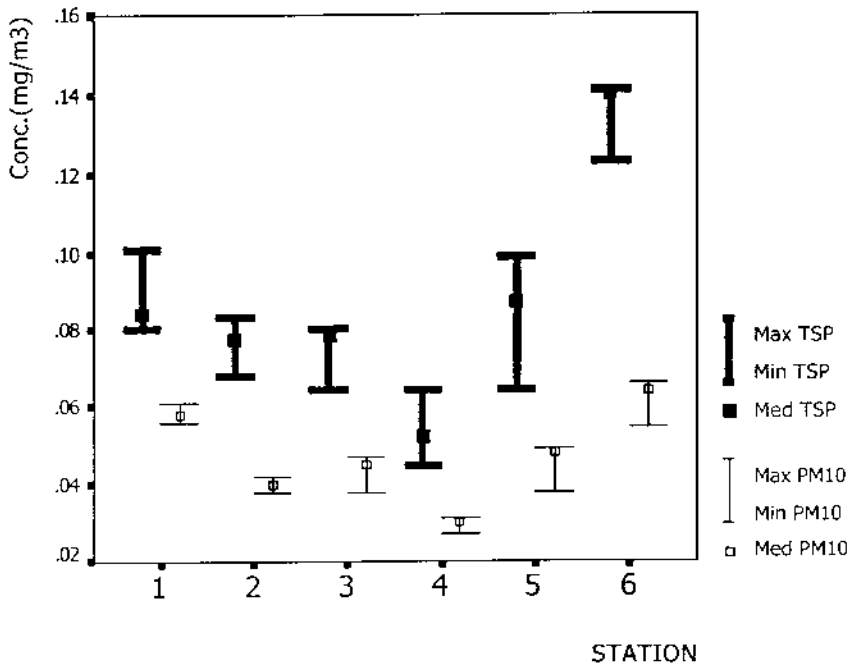
รูปที่ 4-13: กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าของมลสาร: (a) Pb, (b) PM_{10}, และ (c) TSP

เนื่องจากแต่ละสถานีมีการตรวจวัด 3 วัน จึงได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 3 ค่าต่อสถานี นำค่าทั้ง 3 มาพล็อตเพื่อแสดงการกระจายในลักษณะของค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่ามัธยฐาน ได้ดังรูปที่ 4-14 ซึ่งแสดงการแจกแจงของค่าความเข้มข้นของ Pb รายสถานี และรูปที่ 4-15 ซึ่งแสดงการแจกแจงของค่าความเข้มข้นของ TSP และ PM_{10} รายสถานี

จากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของ Pb ที่วัดได้ของสถานี 1, 3, 5, และ 6 อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แต่สถานี 2 และ 4 มีระดับต่ำกว่า ซึ่งน่าสังเกตว่าทั้งคู่เป็นสถานีในกลุ่มที่อยู่ไกลจากทางพิเศษ ส่วนความเข้มข้นของฝุ่น TSP และ PM_{10} จะสูงที่สถานีที่ 6 และรองลงมาเป็นสถานีที่ 1 ซึ่งสาเหตุที่สถานีที่ 6 มีค่ามลพิษสูงนั้นคาดว่าเป็นเหตุผลเดียวกันกับที่ได้อภิปรายไปแล้วในส่วนของมลพิษประเภทแก๊ส ส่วนสาเหตุที่สถานีที่ 1 มีค่ามลพิษสูงน่าจะมาจากระยะห่างจากทางพิเศษน้อย อยู่ติดกับซอยที่แยกจากถนนประดิษฐ์มนูธรรม และอยู่ใกล้กับถนนสายหลักอีกสายหนึ่ง คือ ถนนรามอินทรา ซึ่งมีปริมาณจราจรสูง



รูปที่ 4-14: การแจกแจงของข้อมูล Pb แยกตามสถานี



รูปที่ 4-15: การแจกแจงของข้อมูล TSP และ PM_{10} แยกตามสถานี

4.3 สถิติพรรณนาของข้อมูลอื่นๆ

สถิติพรรณนาของตัวแปรที่แสดงข้อมูลปริมาณจราจร ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และระยะห่างจากทางพิเศษ สรุปในตารางที่ 4-4 โดยรายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปรแต่ละตัวได้แสดงไว้ก่อนหน้านี้แล้วในตารางที่ 4-1 ทั้งนี้ ข้อมูลประเภท ปริมาณ และความเร็วยานพาหนะ ที่มีตัวเลข 1, 2, และ 3 อยู่ในชื่อตัวแปร แสดงถึงกลุ่มข้อมูลที่มาจากยานพาหนะบนทางพิเศษ ยานพาหนะบนถนนเลียบใต้ทางพิเศษ และยานพาหนะบนทางพิเศษรวมกับถนนเลียบใต้ทางพิเศษ ตามลำดับ

ข้อมูลปริมาณรถประเภทต่างๆ ทำการเก็บข้อมูลรายชั่วโมงเพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลระดับมลพิษที่ได้จากสถานีตรวจวัดที่ 2, 3, และ 6 ซึ่งเก็บข้อมูลรายชั่วโมงสถานีละ 3 วัน จึงมีจำนวนข้อมูลที่เป็นไปได้สูงสุด 216 ตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลปริมาณรถประเภทต่างๆ ที่ได้จริง มีเพียง 165 ตัวอย่าง ค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนทางพิเศษ (VS1) เก็บข้อมูลได้ 203 ตัวอย่าง ซึ่งในจำนวนนี้ 133 ตัวอย่างอยู่ในเวลาเดียวกับที่เก็บข้อมูล ณ สถานีที่ 2, 3, และ 6 และอีก 70 ตัวอย่างอยู่นอกช่วงเวลาดังกล่าว ค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนถนน (VS2) เก็บข้อมูลได้ 137 ตัวอย่าง ซึ่งในจำนวนนี้ 132 ตัวอย่างอยู่ในเวลาเดียวกับที่เก็บข้อมูล ณ สถานีที่ 2, 3, และ 6 และอีก 5 ตัวอย่างอยู่นอกช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนทางพิเศษรวมกับถนน (VS3) เป็นการรวมข้อมูล VS1 และ VS2 ในชั่วโมงที่มีข้อมูลทั้งคู่ ก็มีจำนวนตาม VS2 เนื่องจาก VS2 เป็นเซ็ทย่อยของ VS1

จำนวนข้อมูลอุณหภูมิ ความเร็วลม และทิศทางลม เป็นข้อมูลรายชั่วโมงของทั้งหมด 18 วันที่มีการตรวจวัดมลพิษ จึงมีจำนวนสูงสุดที่เป็นไปได้ 432 ตัวอย่าง ส่วนระยะห่างจากทางพิเศษจะเป็นค่าเดียวกันหมดสำหรับสถานีหนึ่งๆ ซึ่งได้ทำการกำหนดให้กับข้อมูลรายชั่วโมงทุกๆ ค่าเพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในขั้นต่อไป

ข้อมูลที่มีความแปรปรวนสูง พิจารณาจากค่า COV ที่มากกว่าหนึ่ง ได้แก่ ยานพาหนะขนาดใหญ่ ประเภทรถบรรทุกและรถโดยสาร ซึ่งมีช่วงเวลาที่มีปริมาณสูงและช่วงที่ปริมาณต่ำแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนทั้งบนทางพิเศษและบนถนน ส่วนรถประเภทอื่นๆ แม้จะมีค่า COV ต่ำกว่าหนึ่งแต่ก็มีค่าที่แสดงถึงปริมาณที่แปรปรวนในแต่ละชั่วโมง เช่น รถเก๋งบนทางพิเศษ ค่า COV เท่ากับ 0.94 และรถปิกอัพและรถตู้บนทางพิเศษ ค่า COV เท่ากับ 0.83 ส่วนข้อมูลที่มีความแปรปรวนน้อย ได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วรถ

ค่า Skewness เป็นค่าไม่มีหน่วยที่บอกความสมมาตรของการกระจายของข้อมูล ค่าบวกแสดงการเบ้ขวาหรือการมีหางยาวทางด้านขวา ค่าลบแสดงการเบ้ซ้ายหรือการมีหางยาวทางด้านซ้าย ส่วนค่า Kurtosis เป็นค่าไม่มีหน่วยที่บอกการกระจุกตัวหรือกระจายตัวของข้อมูล ค่าบวกแสดงการกระจุกตัวหรือการมียอดกราฟแหลมและหางสองข้างเรียวยาว ค่าลบแสดงการมียอดกราฟป้านและหางสองข้างหนา จากการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลเกือบทั้งหมดมีลักษณะการเบ้ขวาและข้อมูลกระจุกตัว โดยข้อมูลที่เบ้ขวามาก ได้แก่ MC1, HB2, HT2, HB3, และ HT3 และข้อมูลชุดดังกล่าวนี้ก็มีการกระจุกตัวมากด้วย ส่วนข้อมูลที่ค่อนข้างกระจายตัวแบบสมมาตร ได้แก่ C2, C3, WS, และ DEF

ตารางที่ 4-4: ลักษณะทางสถิติของข้อมูลจราจร อุตุนิยมวิทยา และระยะห่างจากทางพิเศษ

ตัวแปร	ตัวอย่าง	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	COV	Skewness	Kurtosis
C1	165	คัน/ชม.	21	3384	758.89	711.38	0.94	1.44	1.56
LB1	165	คัน/ชม.	24	2184	547.44	456.23	0.83	1.16	1.06
HB1	165	คัน/ชม.	0	84	13.52	17.38	1.29	1.60	2.45
HT1	165	คัน/ชม.	0	72	11.58	15.09	1.30	1.91	3.62
MC1	165	คัน/ชม.	0	24	2.02	3.62	1.80	3.27	14.30
C2	165	คัน/ชม.	100	8312	2895.54	1499.98	0.52	0.18	0.24
LB2	165	คัน/ชม.	125	7356	1694.86	1165.56	0.69	1.41	4.59
HB2	165	คัน/ชม.	0	532	60.41	65.23	1.08	3.57	19.83
HT2	165	คัน/ชม.	0	418	55.73	73.54	1.32	2.96	9.77
MC2	165	คัน/ชม.	4	2616	746.75	595.90	0.80	1.03	0.82
C3	165	คัน/ชม.	184	10820	3654.43	1986.48	0.54	0.25	0.01
LB3	165	คัน/ชม.	179	8848	2242.30	1511.53	0.67	0.94	1.79
HB3	165	คัน/ชม.	0	540	73.93	74.42	1.01	2.86	12.96
HT3	165	คัน/ชม.	0	436	67.32	80.81	1.20	2.58	7.50
MC3	165	คัน/ชม.	8	2616	748.76	596.01	0.80	1.02	0.82
VS1	203	กม./ชม.	48.0	159	108.03	26.35	0.24	-0.23	-0.99
VS2	137	กม./ชม.	47.5	115	71.11	11.00	0.15	1.08	2.70
VS3	137	กม./ชม.	68.8	121	96.51	9.62	0.10	-0.06	0.38
TV1	165	คัน/ชม.	52	5092	1333.45	1145.52	0.86	1.26	1.06
TV2	165	คัน/ชม.	303	17236	5453.28	3037.94	0.56	0.58	1.26
TV3	165	คัน/ชม.	511	21252	6786.73	3894.59	0.57	0.49	0.44
T	432	องศาเซลเซียส	27	38.4	31.43	2.72	0.09	0.58	-0.70
WS	432	เมตร/วินาที	0	3.6	1.42	0.59	0.41	0.31	0.40
WD	431	องศา	0	179	103.60	48.69	0.47	-0.29	-1.16
DFE	432	เมตร	25	180	101.31	69.28	0.68	0.06	-1.92

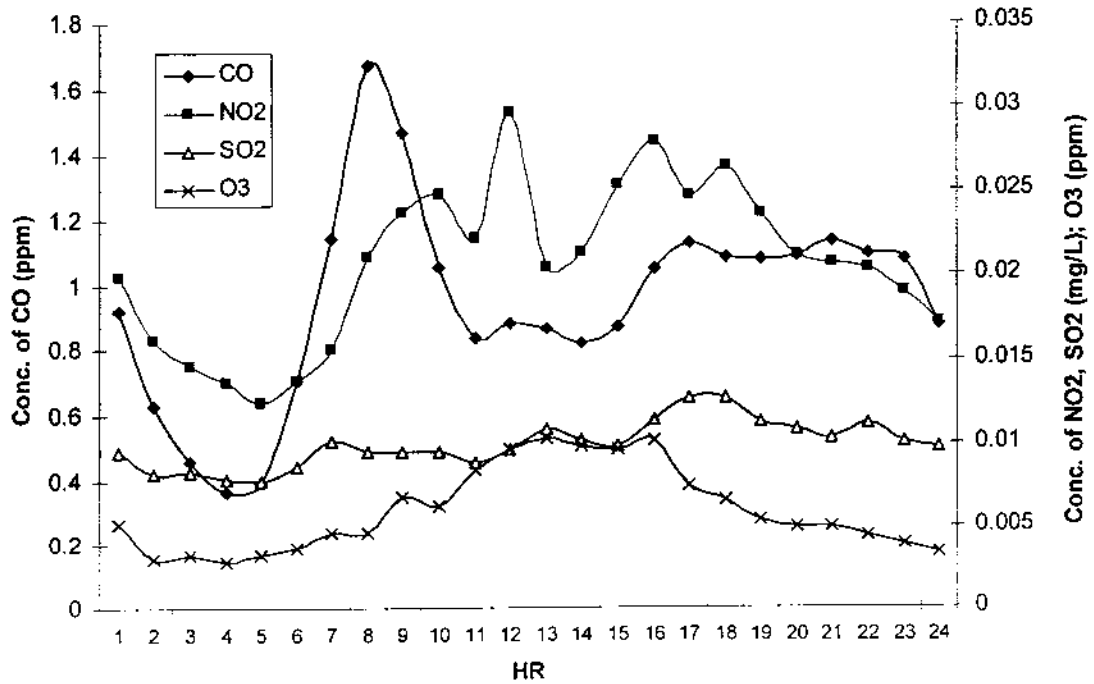
5

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 ความแปรปรวนรายชั่วโมง

5.1.1 ความแปรปรวนของระดับมลพิษ

ความแปรปรวนรายชั่วโมงของมลพิษประเภทแก๊สทั้ง 4 ตัว แสดงดังรูปที่ 5-1 โดยแกน X เป็นชั่วโมงของวัน เช่น ค่า 1 แสดงข้อมูลของชั่วโมงที่ 1 ของวัน หรือข้อมูลตั้งแต่เที่ยงคืนถึง 1 นาฬิกา ส่วนแกน Y เป็นค่าความเข้มข้นของมลสาร สำหรับ CO จะอ่านจากแกน Y ด้านซ้าย และมลสารที่เหลืออ่านจากแกน Y ด้านขวา ค่าความเข้มข้นนี้เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลรายชั่วโมงที่มีทั้งหมดของมลสาร



รูปที่ 5-1: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของมลพิษประเภทแก๊ส

จากรูปจะเห็นการแปรผันของ CO, NO_2, และ SO_2 ในภาพรวมมีลักษณะเป็นกราฟที่มี 2 ยอด คือยอดในช่วงเช้าและเย็น ซึ่งเป็นช่วงเวลาเร่งด่วนที่มีปริมาณการจราจรสูงกว่าช่วงอื่น และเส้นกราฟลดลงต่ำสุดในช่วงเช้ามืด ประมาณ 4-5 นาฬิกา สำหรับ NO_2 ในชั่วโมงที่ 12 มีค่าที่เป็นค่า Extreme 1 ค่า จากสถานีที่ 1 คือ 0.16 มก./ล. (รูปที่ 4-7) ทำให้ค่าเฉลี่ยในชั่วโมงนี้สูงโดดขึ้นและไม่เห็นลักษณะของการมี 2 ยอดของ

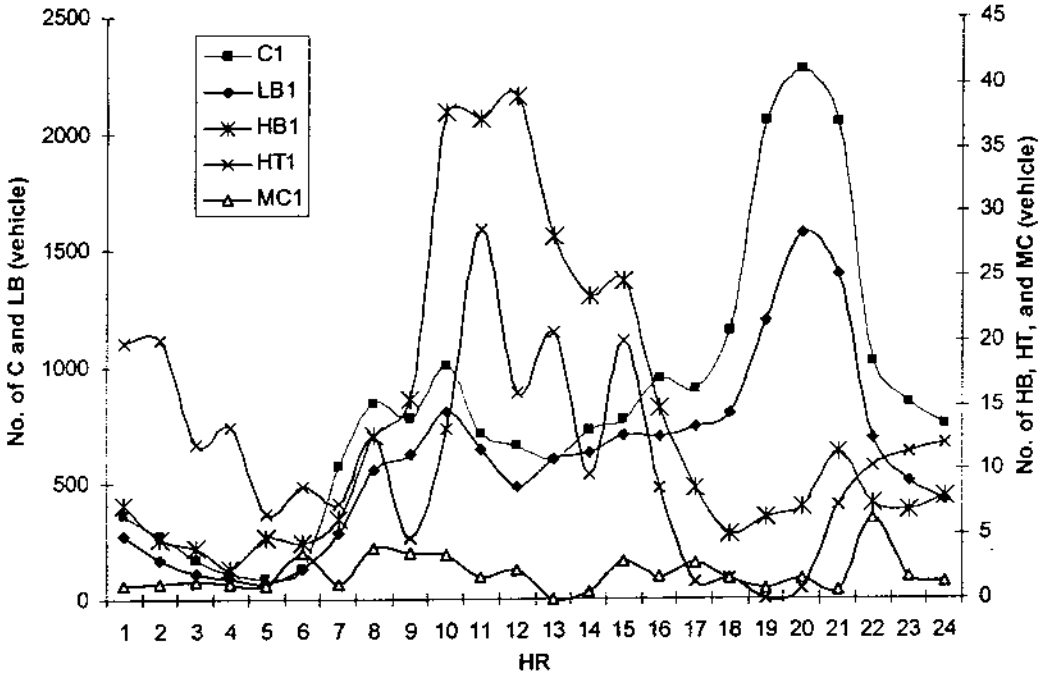
เส้นกราฟชัดเจนนัก ส่วน SO_2 มีช่วงการแปรปรวนที่แคบกว่าจึงเห็นแนวโน้มการเพิ่มสูงในช่วงเช้าและเย็นได้น้อยกว่า

สำหรับเส้นกราฟของ O_3 ไม่มีลักษณะของกราฟ 2 ยอด และไม่ขึ้นสูงสุดพร้อมกับแก๊สตัวอื่นในช่วงเช้า แต่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดในช่วงบ่ายถึงเย็น และลดลงต่ำในช่วงกลางคืน ทั้งนี้ เนื่องจาก O_3 เป็นมลพิษขั้นทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยา Photochemical Oxidation โดยมีมลสารตัวอื่นเป็นสารตั้งต้น และมีรังสีอุลตร้าไวโอเล็ทในแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารตั้งต้นของ O_3 คือ NO_2 และแก๊สพวกไฮโดรคาร์บอน (HC) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญมาจากยานพาหนะและการระเหยของเชื้อเพลิง ดังนั้นเมื่อเริ่มต้น NO_2 และ HC ถูกปล่อยสู่อากาศในช่วงเช้า และเมื่อมีแสงแดดมากขึ้น ปฏิกิริยา Photochemical Oxidation จึงทำให้เกิด O_3 มากขึ้นตามลำดับ จนมีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย ส่วนในช่วงเย็นถึงแม้สารตั้งต้นจะถูกปล่อยออกมาอีกมากในช่วงเวลาเร่งด่วน แต่ขาดแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่เกิดยอดของ O_3 ตามมาในช่วงกลางคืน

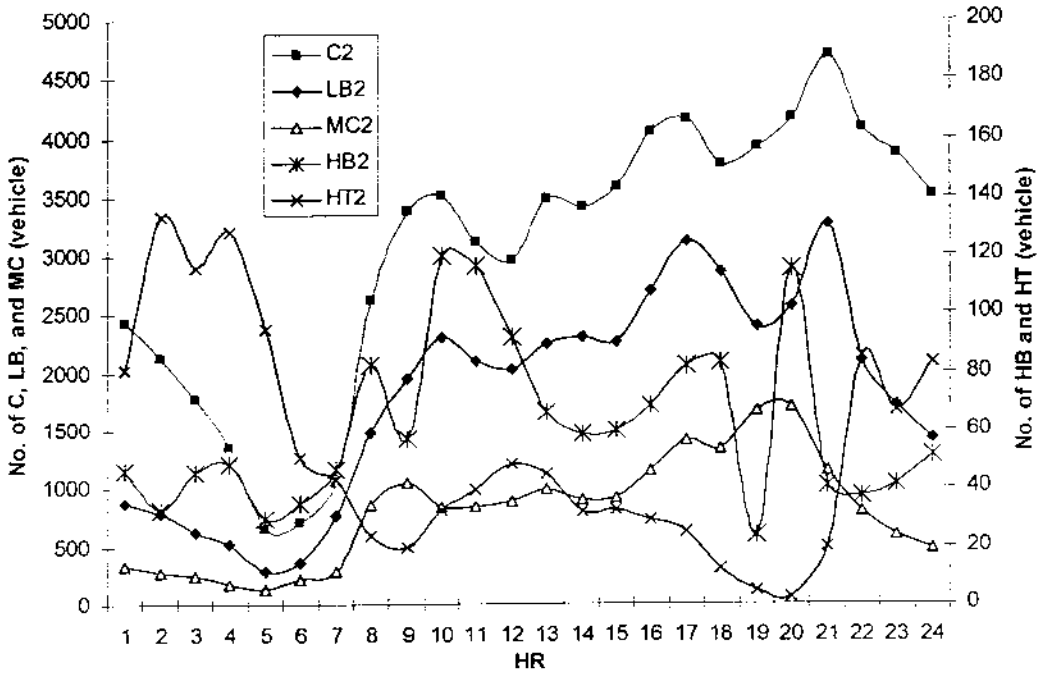
5.1.2 ความแปรปรวนของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 5-2 และรูปที่ 5-3 แสดงความแปรปรวนรายชั่วโมงของปริมาณยานพาหนะทั้ง 5 ประเภทบนทางพิเศษและบนถนนเลียบใต้ทางพิเศษ ตามลำดับ โดยแกน X เป็นชั่วโมงของวัน และแกน Y เป็นจำนวนยานพาหนะ สำหรับรถยนต์นั่ง 4 ล้อ (C1, C2) และรถปิกอัพและรถตู้ (LB1, LB2) อ่านค่าจากแกน Y ด้านซ้ายทั้ง 2 รูป สำหรับรถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง (LT1) และรถบรรทุก 10 ล้อขึ้นไป รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถพ่วง (HT1) อ่านค่าจากแกน Y ด้านขวาทั้ง 2 รูป ส่วนรถจักรยานยนต์บนทางพิเศษ (MC1) อ่านค่าจากแกน Y ด้านขวา และรถจักรยานยนต์บนถนน (MC2) อ่านค่าจากแกน Y ด้านซ้าย ค่าปริมาณยานพาหนะที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลรายชั่วโมงที่มีทั้งหมด ซึ่งเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการตรวจวัดมลพิษอากาศ ณ สถานีที่ 2, 3, และ 6

แนวโน้มของเส้นกราฟ C1 และ LB1 ซึ่งเป็นกลุ่มของรถเก๋ง รถปิกอัพ และรถตู้ มีลักษณะคล้ายกันคือ สูงช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ลดลงเล็กน้อยช่วงกลางวัน และสูงขึ้นอีกในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น โดยเริ่มตั้งแต่ 17 นาฬิกา ขึ้นสูงไปเรื่อยๆ จนสูงสุดเวลาประมาณ 20 นาฬิกา ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะการใช้ทางพิเศษของประชาชนในช่วงเย็นสูงขึ้นตั้งแต่เลิกงาน และทยอยเดินทางกลับที่พักอาศัย โดยเฉพาะผู้ที่มีบ้านอยู่ชานเมือง ซึ่งอาจใช้ทางพิเศษในการเดินทางออกจากใจกลางเมือง อย่างไรก็ตาม ประชาชนส่วนหนึ่งจะไปทำธุระต่างๆ ก่อนกลับบ้าน เช่น ซื้อของ รับประทานอาหาร ร่วมงานเลี้ยงหรืองานพิธีต่างๆ เป็นต้น ซึ่งการเดินทางดังกล่าวโดยทั่วไปมักจะอยู่ในช่วง 1-3 ทุ่ม ทำให้เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณรถสูงที่สุดในรอบ 24 ชั่วโมง ส่วนรถประเภท HB1, HT1, และ MC1 มีปริมาณไม่มากนักในแต่ละชั่วโมง โดยพวกรถบรรทุกทั้งเล็กและใหญ่จะใช้ทางพิเศษมากในช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 10 นาฬิกาไปจนถึงประมาณ 17 นาฬิกา



รูปที่ 5-2: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของปริมาณยานพาหนะบนทางพิเศษ



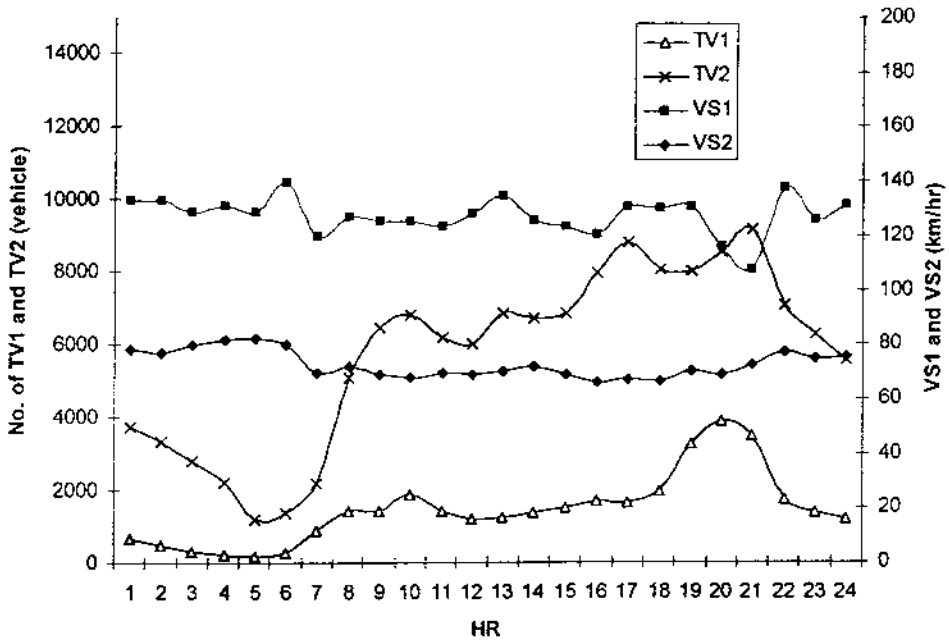
รูปที่ 5-3: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของปริมาณยานพาหนะบนถนน

ในรูปที่ 5-3 จะเห็นได้ว่า HT2 มีลักษณะที่แตกต่างกับประเภทอื่น คือมีปริมาณสูงในช่วงประมาณ 22 นาฬิกาไปจนถึงประมาณ 5 นาฬิกา ช่วงสูงสุดประมาณเกือบ 140 คันต่อชั่วโมง แต่ในเวลาเช้าถึงเย็นจะมีปริมาณน้อย คือประมาณไม่เกิน 60 คันต่อชั่วโมง ทั้งนี้เป็นไปตามข้อบังคับพนักงานจราจรที่ห้ามรถบรรทุก 10 ล้อ เข้าพื้นที่กรุงเทพมหานครชั้นใน 113 ตารางกิโลเมตร ในเวลา 6:00-10:00 น. และ 15:00-21:00 น. เส้นกราฟของรถประเภทอื่นๆ มีแนวโน้มคล้ายกันคือขึ้นสูงเร็วในช่วงเช้าแล้วเพิ่มช้าๆ ในช่วงกลางวัน มีการโค่งขึ้นอีก 2 ยอด คือในช่วงเร่งด่วนเย็นประมาณ 17 นาฬิกา และในช่วงหัวค่ำประมาณ 21 นาฬิกา แล้วจึงลดลงเรื่อยๆ จนถึงในช่วงเช้ามืด ทั้งนี้ ยอดกราฟของรถ C2 และ LB2 ในช่วง 17 นาฬิกา น่าจะมาจากการเดินทางออกจากที่ทำงานของประชาชนกลุ่มหนึ่ง และยอดกราฟในช่วง 21 นาฬิกาน่าจะเป็นเพราะประชาชนอีกกลุ่มที่ไปทำธุระต่างๆ ก่อนกลับบ้าน ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นรถที่เข้าหรือออกจากร้านอาหารหลายๆ แห่งซึ่งอยู่บนถนนประดิษฐ์มนูธรรมและบริเวณใกล้เคียง เนื่องจากเป็นย่านที่มีร้านอาหารและสวนอาหารอยู่หนาแน่น รวมทั้งมีห้างโลตัสที่อยู่ติดถนนบริเวณช่วงกลางของทางพิเศษ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นพื้นที่ดึงดูดการเดินทางของกิจกรรมต่างๆ ทั้งนี้ เมื่อเทียบกับรูปที่ 5-2 จะเห็นว่าเส้นกราฟปริมาณรถบนทางพิเศษสูงขึ้นเป็นยอดเดียวในเวลา 20 นาฬิกา ไม่แยกเป็น 2 ยอดอย่างชัดเจนเหมือนบนถนน

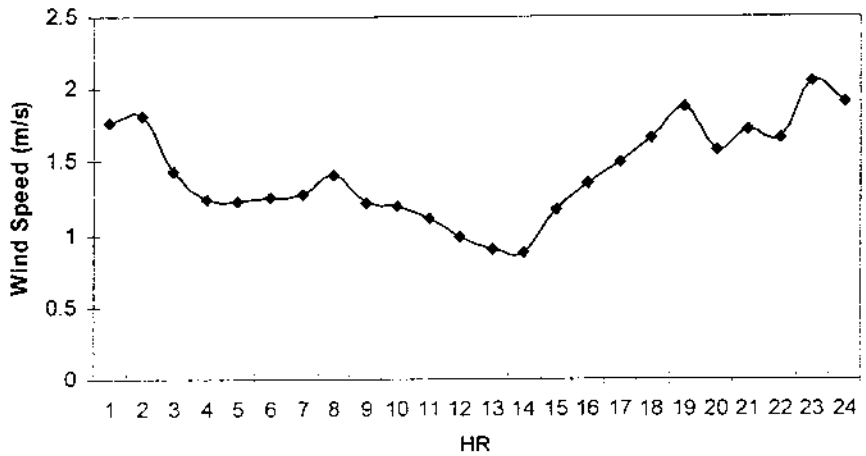
ความแปรปรวนรายชั่วโมงของปริมาณยานพาหนะรวมและความเร็วเฉลี่ยยานพาหนะบนทางพิเศษและบนถนน แสดงในรูปที่ 5-4 แนวโน้มของเส้นกราฟ TV1 และ TV2 เป็นไปตามแนวโน้มของ C1 และ C2 เนื่องจากปริมาณของรถเก๋งเป็นสัดส่วนหลักของปริมาณยานพาหนะทั้งหมด ส่วนความเร็วรถบนทางพิเศษและความเร็วรถบนถนนพบว่าความแปรปรวนรายชั่วโมงไม่สูงนัก ยกเว้นในช่วงเวลาเร่งด่วนทั้งเช้าและเย็นจะเห็นการลดลงได้ชัดเจนของความเร็วรถบนถนน นอกจากนี้ ในรูปที่ 5-5 แสดงให้เห็นว่าแม้ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยในบริเวณที่ศึกษาจะมีลักษณะการแจกแจงใกล้แบบปกติ แต่เมื่อพิจารณาความแปรปรวนรายชั่วโมงพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นและต่ำลงเป็นวัฏจักร คือมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังเที่ยงวัน และมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนเที่ยงคืน

5.1.3 ความแปรปรวนของระดับมลพิษเทียบกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

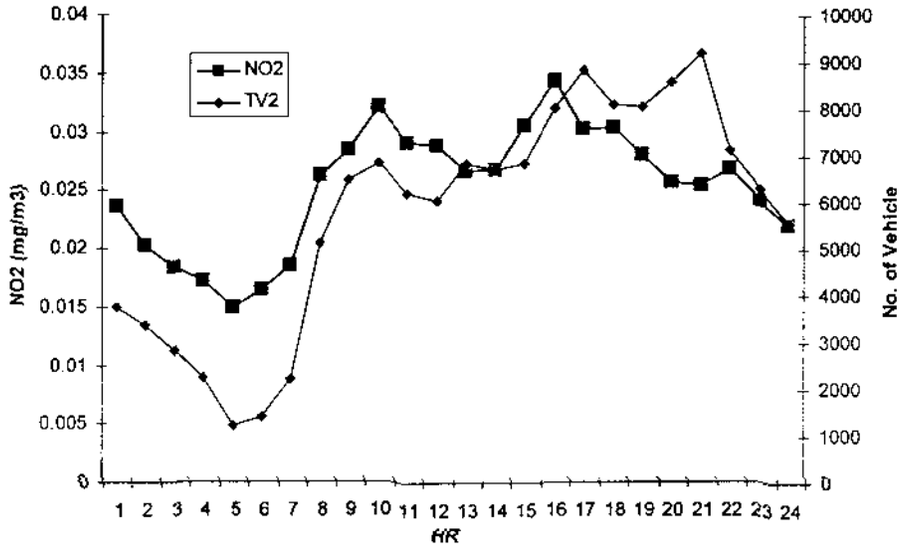
จากการเปรียบเทียบความแปรปรวนรายชั่วโมงของ NO_2 กับปัจจัยอื่นๆ พบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะระหว่าง NO_2 กับปริมาณรถเก๋ง รถปิกอัพและรถตู้ และปริมาณยานพาหนะรวมบนทางพิเศษ และระหว่าง NO_2 กับปริมาณรถเก๋ง รถปิกอัพและรถตู้ รถจักรยานยนต์ และปริมาณยานพาหนะรวมบนถนน ตัวอย่างของความสัมพันธ์ดังกล่าวที่เห็นได้ชัด คือระหว่าง NO_2 กับ TV2 ดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-4: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของปริมาณรวมและความเร็วของยานพาหนะ

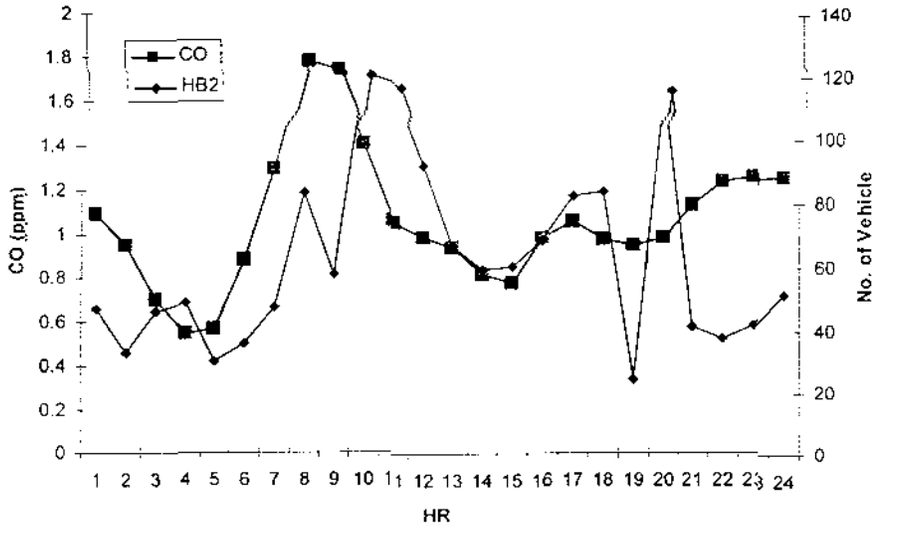


รูปที่ 5-5: ความแปรปรวนรายชั่วโมงความเร็วลม

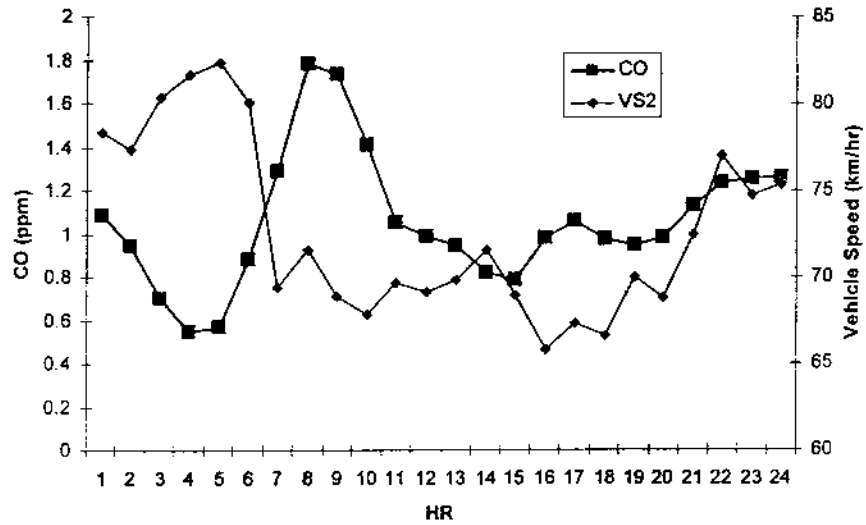


รูปที่ 5-6: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของ NO_2 เทียบกับ TV2

สำหรับ CO พบว่ามีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับปริมาณรถเก๋งบนทางพิเศษ และระหว่าง CO กับ ปริมาณรถเก๋ง รถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง และรถจักรยานยนต์บนถนน ทั้งนี้ ยานพาหนะเหล่านี้ที่มีอายุการใช้งานสูง เครื่องยนต์ที่การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และต้องบรรทุกภาระหนักจะเป็นต้นเหตุสำคัญของ CO ดังเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง CO กับ HB2 ในรูปที่ 5-7 และในขณะเดียวกัน หากยานพาหนะเคลื่อนที่ในการจราจรหนาแน่น ซึ่งต้องมีการจอดนิ่งสลับการเร่งเครื่อง จะทำให้ปล่อย CO มากกว่ากรณีการจราจรเบาบาง ซึ่งรถวิ่งด้วยความเร็วค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงพบความสัมพันธ์ผกผันกันระหว่าง CO กับความเร็วรถบนถนน ดังแสดงในรูปที่ 5-8

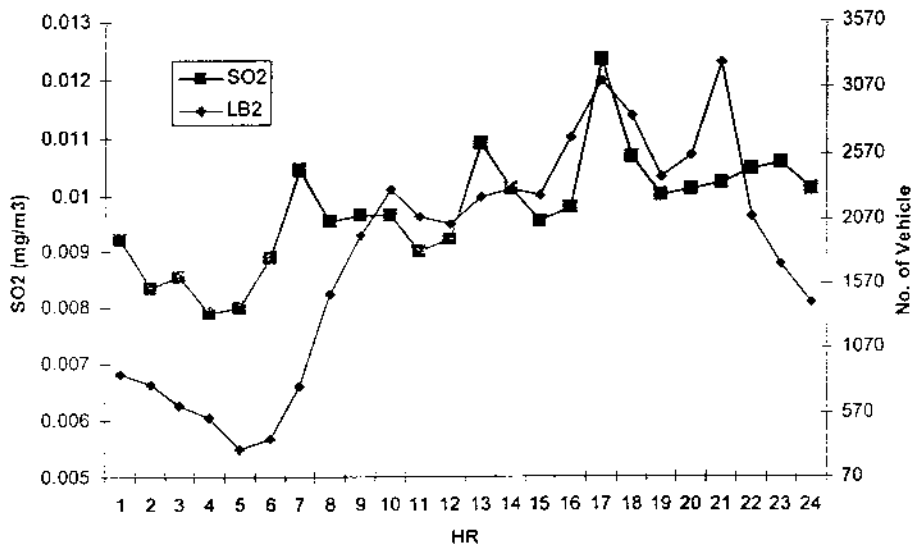


รูปที่ 5-7: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของ CO เทียบกับ HB2



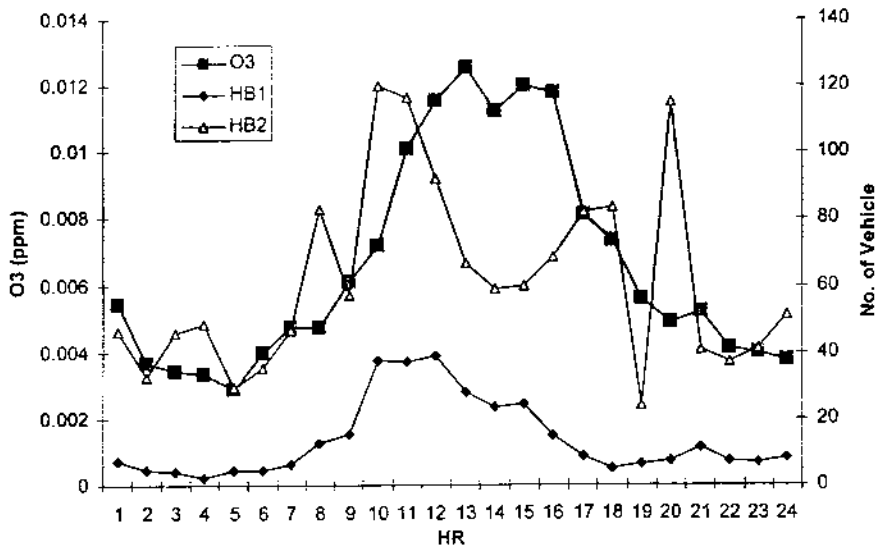
รูปที่ 5-8: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของ CO เทียบกับ VS2

ความแปรปรวนรายชั่วโมงของ SO_2 มีแนวโน้มของเส้นกราฟสัมพันธ์กับความเร็วรถบนทางพิเศษ และสัมพันธ์กับปริมาณรถเก๋ง รถปิกอัพและรถตู้ และปริมาณยานพาหนะรวมบนถนน ทั้งนี้ ซัลเฟอร์ในน้ำมันดีเซลเป็นสาเหตุสำคัญของ SO_2 จากการจราจร ซึ่งยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลคือรถปิกอัพ รถตู้ และรถบรรทุกต่างๆ ดังนั้นจึงเห็นความสัมพันธ์ระหว่างรถประเภทดังกล่าวกับระดับ SO_2 รายชั่วโมง ดังตัวอย่างในรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-9: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของ SO_2 เทียบกับ LB2

ในกรณีของ O_3 เนื่องจากเกิดจากสารตั้งต้น 2 ตัวและต้องอาศัยแสงอาทิตย์ร่วมในปฏิกิริยา จึงไม่เห็นความสัมพันธ์จากแนวโน้มของเส้นกราฟเทียบกับปัจจัยอื่นได้ชัดเจนนัก อย่างไรก็ตาม พอจะเห็นแนวโน้มสัมพันธ์กับปริมาณรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดกลางและใหญ่บนทางพิเศษ และกับปริมาณรถเก๋ง และรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดกลางบนถนน รูปที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 กับ HB1 และ HB2 ซึ่งมีช่วงเวลาการเกิดยอดของ O_3 จะตามหลังยอดของยานพาหนะประมาณ 3 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา photochemical oxidation นั่นเอง



รูปที่ 5-10: ความแปรปรวนรายชั่วโมงของ O_3 เทียบกับ HB1 และ HB2

5.2 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับมลพิษแยกตามปัจจัย

การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยระดับมลพิษในขั้นตอนนี้ได้แยกพิจารณาตามปัจจัยหลักที่คาดว่าจะมีผลต่อระดับมลพิษ ได้แก่ ด้านการจราจร ด้านสภาพอุตุนิยมวิทยา และด้านลักษณะของทางพิเศษและผู้รับ โดยแต่ละปัจจัยจะทำการแบ่งกลุ่มเพื่อหาค่าเฉลี่ยระดับมลพิษของแต่ละกลุ่ม และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้วิธี Independent Sample T-Test ทดสอบสมมุติฐานแบบด้านเดียว (One-sided Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีสมมุติฐานทั่วไปดังนี้

สมมุติฐานว่าง คือ ระดับมลพิษเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 เท่ากับกลุ่มที่ 2 (H_0: $(\mu_1 - \mu_2) = 0$)

สมมุติฐานแย้ง คือ ระดับมลพิษเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 สูงกว่ากลุ่มที่ 2 (H_1: $(\mu_1 - \mu_2) > 0$) หรือระดับมลพิษเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 ต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 (H_1: $(\mu_1 - \mu_2) < 0$)

ผลการวิเคราะห์ของมลพิษประเภทแก๊สและอนุภาค แสดงในตารางที่ 5-1 และตารางที่ 5-2 ตามลำดับ เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มและการอภิปรายผลจะอยู่ในเนื้อหาที่จะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 5-1: ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับมลพิษประเภทแก๊สแยกตามปัจจัย[1]

ปัจจัย	มลสาร	ลักษณะกลุ่ม	จน.ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ผลต่างค่าเฉลี่ย	P-Value
เวลา	NO_2	ปกติ	322	0.020	-0.003	0.030
		เร่งด่วน	108	0.023		
	CO	ปกติ	322	0.840	-0.421	0.000
		เร่งด่วน	108	1.261		
	SO_2	ปกติ	322	0.010	-0.001	0.000
		เร่งด่วน	108	0.011		
	O_3	ปกติ	322	0.006	0.00001	0.489
		เร่งด่วน	108	0.006		
เวลาเร่งด่วน	NO_2	เร่งด่วนเช้า	54	0.020	-0.005	0.003
		เร่งด่วนเย็น	54	0.025		
	CO	เร่งด่วนเช้า	54	1.428	0.334	0.014
		เร่งด่วนเย็น	54	1.094		
	SO_2	เร่งด่วนเช้า	54	0.010	-0.003	0.000
		เร่งด่วนเย็น	54	0.012		
	O_3	เร่งด่วนเช้า	54	0.005	-0.001	0.028
		เร่งด่วนเย็น	54	0.007		
ปริมาณยานพาหนะบนทางพิเศษ	NO_2	น้อย	41	0.018	-0.006	0.000
		มาก	41	0.024		
	CO	น้อย	41	0.787	-0.096	0.253
		มาก	41	0.883		
	SO_2	น้อย	41	0.009	-0.001	0.001
		มาก	41	0.010		
	O_3	น้อย	41	0.003	-0.004	0.000
		มาก	41	0.007		
ปริมาณยานพาหนะบนถนน	NO_2	น้อย	41	0.018	-0.008	0.000
		มาก	41	0.026		
	CO	น้อย	41	0.906	0.051	0.382
		มาก	40	0.856		
	SO_2	น้อย	41	0.009	-0.001	0.001
		มาก	41	0.010		
	O_3	น้อย	41	0.003	-0.004	0.000
		มาก	41	0.008		

ตารางที่ 5 1: ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับมลพิษประเภทแก๊สแยกตามปัจจัย[1]

(ต่อ)

ปัจจัย	มลสาร	ลักษณะกลุ่ม	จน.ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ผลต่างค่าเฉลี่ย	P-Value
ความเร็วลม	NO_2	ต่ำ	111	0.023	0.004	0.007
		สูง	116	0.019		
	CO	ต่ำ	110	0.956	0.086	0.207
		สูง	117	0.870		
	SO_2	ต่ำ	111	0.009	-0.001	0.018
		สูง	117	0.010		
	O_3	ต่ำ	110	0.007	0.002	0.000
		สูง	117	0.005		
ทิศทางลม	NO_2	พัดเข้าสถานี	32	0.030	0.012	0.000
		พัดออกจากสถานี	95	0.019		
	CO	พัดเข้าสถานี	32	1.071	0.153	0.168
		พัดออกจากสถานี	95	0.918		
	SO_2	พัดเข้าสถานี	32	0.009	-0.001	0.028
		พัดออกจากสถานี	95	0.010		
	O_3	พัดเข้าสถานี	32	0.006	-0.0003	0.351
		พัดออกจากสถานี	94	0.007		
ระยะห่าง	NO_2	ใกล้ทางพิเศษ	215	0.025	0.009	0.000
		ไกลทางพิเศษ	215	0.016		
	CO	ใกล้ทางพิเศษ	216	1.193	0.498	0.000
		ไกลทางพิเศษ	214	0.695		
	SO_2	ใกล้ทางพิเศษ	215	0.010	0.0002	0.171
		ไกลทางพิเศษ	215	0.010		
	O_3	ใกล้ทางพิเศษ	215	0.006	-0.0005	0.101
		ไกลทางพิเศษ	215	0.006		

[1] หน่วยของ NO_2 และ SO_2 คือ มก./ลบ.ม., หน่วยของ CO และ O_3 คือ ส่วนในล้านส่วน

ตารางที่ 5-2: ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระดับมลพิษประเภทอนุภาคแยกตามปัจจัย[1]

ปัจจัย	มลสาร	ลักษณะกลุ่ม	จน.ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ผลต่างค่าเฉลี่ย	P-Value
ปริมาณยานพาหนะบนทางพิเศษ	PM_{10}	น้อย	4	0.048	-0.002	0.435
		มาก	4	0.049		
	TSP	น้อย	4	0.092	-0.011	0.341
		มาก	4	0.102		
	Pb	น้อย	4	0.070	0.007	0.285
		มาก	4	0.063		
ปริมาณยานพาหนะบนถนน	PM_{10}	น้อย	4	0.050	0.004	0.351
		มาก	4	0.047		
	TSP	น้อย	4	0.103	0.012	0.319
		มาก	4	0.091		
	Pb	น้อย	4	0.072	0.011	0.193
		มาก	4	0.062		
ความเร็วลม	PM_{10}	ต่ำ	9	0.047	0.002	0.387
		สูง	9	0.045		
	TSP	ต่ำ	9	0.090	0.011	0.206
		สูง	9	0.080		
	Pb	ต่ำ	9	0.066	-0.001	0.426
		สูง	9	0.068		
ระยะห่าง	PM_{10}	ใกล้ทางพิเศษ	9	0.054	0.016	0.000
		ไกลทางพิเศษ	9	0.038		
	TSP	ใกล้ทางพิเศษ	9	0.099	0.028	0.012
		ไกลทางพิเศษ	9	0.071		
	Pb	ใกล้ทางพิเศษ	9	0.077	0.019	0.002
		ไกลทางพิเศษ	9	0.057		

[1] หน่วยของ Pb คือ ไมโครกรัม/ลบ.ม., หน่วยของ PM_{10} และ TSP คือ มก./ลบ.ม.

5.2.1 ปัจจัยด้านการจราจร

ช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ

การศึกษานี้ได้เลือกช่วงเวลาเร่งด่วนโดยใช้ข้อมูลปริมาณยานพาหนะประกอบการพิจารณา โดยให้ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า คือเวลา 6:00-9:00 น. และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น คือเวลา 16:00-19:00 น. จากการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานแย้งว่าระดับมลพิษประเภทแก๊สในช่วงเวลาปกติต่ำกว่าช่วงเวลาเร่งด่วน พบว่ายอมรับสมมุติฐานแย้งเป็นส่วนใหญ่ คือพบว่า NO_2, CO, และ SO_2 มีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาปกติต่ำกว่าช่วงเวลาเร่งด่วน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น

จากการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานแย้งว่าระดับมลพิษประเภทแก๊สในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าต่ำกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น พบว่ายอมรับสมมุติฐานแย้งเป็นส่วนใหญ่เช่นกัน คือพบว่า NO_2, O_3, และ SO_2 มีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าต่ำกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปริมาณยานพาหนะรวม

ในกรณีของมลพิษประเภทแก๊ส เลือกช่วงปริมาณยานพาหนะรวมสูงและต่ำโดยใช้ค่า percentile ที่ 75 และ 25 เป็นค่าแบ่ง สำหรับทางพิเศษให้จำนวนยานพาหนะรวมที่สูงกว่าค่า percentile ที่ 75 ซึ่งเท่ากับ 1,562 คันต่อชั่วโมง เป็นกลุ่มปริมาณสูง และให้จำนวนยานพาหนะรวมที่ต่ำกว่าค่า percentile ที่ 25 ซึ่งเท่ากับ 474 คันต่อชั่วโมง เป็นกลุ่มปริมาณต่ำ ในทำนองเดียวกัน สำหรับถนน ให้จำนวนยานพาหนะรวมที่สูงกว่าค่า percentile ที่ 75 ซึ่งเท่าถับ 7,544 คันต่อชั่วโมง เป็นกลุ่มปริมาณสูง และให้จำนวนยานพาหนะรวมที่ต่ำกว่าค่า percentile ที่ 25 ซึ่งเท่ากับ 3,148 คันต่อชั่วโมง เป็นกลุ่มปริมาณต่ำ

ในกรณีของมลพิษประเภทอนุภาค เนื่องจากข้อมูลมลพิษประเภทอนุภาคเป็นข้อมูลรายวัน มีทั้งสิ้น 18 วัน และข้อมูลปริมาณยานพาหนะมีเพียง 8 วัน จึงเลือกใช้ค่า percentile ที่ 50 หรือค่ามัธยฐานแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม สำหรับทางพิเศษให้จำนวนยานพาหนะรวมที่สูงและต่ำกว่าค่ามัธยฐานซึ่งเท่ากับ 1,413 คันต่อวัน เป็นกลุ่มปริมาณสูงและกลุ่มปริมาณต่ำ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน สำหรับถนน ให้จำนวนยานพาหนะรวมที่สูงและต่ำกว่าค่ามัธยฐานซึ่งเท่ากับ 5,851 คันต่อวัน เป็นกลุ่มปริมาณสูงและกลุ่มปริมาณต่ำ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานแย้งว่าระดับมลพิษเมื่อปริมาณยานพาหนะรวมต่ำจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อปริมาณยานพาหนะรวมสูง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าสำหรับมลพิษประเภทแก๊สยอมรับสมมุติฐานแย้ง 7 ใน 8 กรณี (ยกเว้นเพียงกรณีของ CO กับปริมาณยานพาหนะบนถนน) ส่วนมลพิษประเภทอนุภาคยอมรับสมมุติฐานในกรณีของฝุ่นทั้ง 2 ประเภทกับปริมาณยานพาหนะบนทางพิเศษ ผลข้างต้นนี้เป็นการยืนยันผลของปริมาณการจราจรที่มีต่อระดับมลพิษอากาศอย่างชัดเจน โดยเฉพาะมลพิษประเภทแก๊ส

5.2.2 ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา

ความเร็วลม

ในกรณีของมลพิษประเภทแก๊ส เลือกแบ่งกลุ่มสำหรับช่วงความเร็วลมสูงและต่ำโดยใช้ค่า percentile ที่ 75 และ 25 เป็นค่าแบ่ง นั่นคือ ให้ค่าความเร็วลมที่สูงกว่าค่า percentile ที่ 75 ซึ่งเท่ากับ 1.8 ม.ต่อวินาที เป็นกลุ่มความเร็วลมสูง และให้ค่าความเร็วลมที่ต่ำกว่าค่า percentile ที่ 25 ซึ่งเท่ากับ 1.0 ม.ต่อวินาที เป็นกลุ่มความเร็วลมต่ำ ส่วนในกรณีของมลพิษประเภทอนุภาค เนื่องจากข้อมูลมีจำกัด จึงเลือกใช้ค่ามัธยฐานแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม และให้ค่าความเร็วลมที่สูงและต่ำกว่าค่ามัธยฐานซึ่งเท่ากับ 1.44 ม.ต่อวินาที เป็นกลุ่มความเร็วลมสูงและต่ำ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานแย้งว่าระดับมลพิษในช่วงเวลาที่มีความเร็วลมต่ำจะมีค่าสูงกว่าช่วงความเร็วลมสูง สำหรับมลพิษประเภทแก๊ส พบว่ายอมรับสมมุติฐานแย้งในกรณีของ NO_2 และ O_3 นั่นคือ ในกลุ่มความเร็วลมต่ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มตรงข้าม ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วน CO มีแนวโน้มลักษณะเดียวกัน แต่ค่า p-value สูงกว่าระดับที่จะมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน SO_2 พบว่าปฏิเสธสมมุติฐานแย้ง สำหรับมลพิษประเภทอนุภาคพบแนวโน้มกลุ่มความเร็วลมต่ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มตรงข้ามสำหรับ PM_{10} และ TSP แต่ค่า p-value สูงกว่าระดับที่จะมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นโดยรวมแล้วจึงยังไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนนักของความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษกับความเร็วลมเฉลี่ย

ทิศทางลม

เนื่องจากค่าทิศทางลมที่ผ่านการปรับแก้แล้วมีค่าตั้งแต่ 0-180 องศา โดยให้ลมที่พัดตั้งฉากกับทางพิเศษเข้าสู่สถานี หรือพัด "เข้า" มีค่าทิศทางเป็น 0 องศา และลมที่พัดย้อนกลับจากสถานีไปตั้งฉากกับทางพิเศษ หรือพัด "ออก" มีค่าทิศทางเป็น 180 องศา ดังนั้นจึงเลือกช่วงค่าองศาที่น้อย คือ 0-30 องศา เพื่อแสดงกลุ่มที่มีทิศทางลมพัดเข้าสถานี และเลือกช่วงค่าองศาที่มาก คือ 150-180 องศา เพื่อแสดงกลุ่มที่มีทิศทางลมพัดออกจากสถานี

จากการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานแย้งว่าระดับมลพิษประเภทแก๊สในช่วงที่ลมพัดเข้าสถานีมีค่าสูงกว่าช่วงที่ลมพัดออกจากสถานี พบว่าถึงแม้ค่าเฉลี่ยของ NO_2 และ CO ในกลุ่มลมพัดเข้าสูงกว่ากลุ่มลมพัดออก แต่กรณีที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ NO_2 เท่านั้น ส่วนค่าเฉลี่ยของ SO_2 และ O_3 ในกลุ่มลมพัดเข้ากลับต่ำกว่ากลุ่มลมพัดออก แต่กรณีที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ SO_2 เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่ายังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างระดับมลพิษกับทิศทางลม ซึ่งอาจเป็นเพราะการเฉลี่ยในช่วง 1 ชั่วโมง เป็นช่วงเวลาที่ยาวเกินไปสำหรับข้อมูลทิศทางลม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางในเวลาอันสั้น

5.2.3 ปัจจัยด้านลักษณะของทางพิเศษและผู้รับมลพิษ

ระยะห่างจากทางพิเศษ

ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับผู้รับเป็นลักษณะเดียวที่ใช้พิจารณาแบ่งกลุ่มเพื่อเปรียบเทียบสำหรับปัจจัยด้านทางพิเศษและผู้รับมลพิษ ทั้งนี้เนื่องจากการสำรวจลักษณะทางกายภาพของทางพิเศษบริเวณใกล้สถานีตรวจวัดทั้ง 6 แห่ง พบว่าไม่ได้มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม ลักษณะทางกายภาพของสถานีตรวจวัดกลับมีรายละเอียดที่แตกต่างกันไปแต่ละสถานี จึงทำให้ไม่สามารถหาเกณฑ์อื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มได้อย่างเหมาะสม ในการแบ่งกลุ่มระยะห่างได้เลือกสถานี 1, 3, และ 6 ซึ่งอยู่ห่างจากทางพิเศษ 40, 35, และ 25 ม. ตามลำดับ เป็นกลุ่มที่อยู่ "ใกล้" ทางพิเศษ และสถานีที่เหลือ คือสถานี 2, 4, และ 5 ซึ่งอยู่ห่างจากทางพิเศษ 180, 150, และ 180 ม. ตามลำดับ เป็นกลุ่มที่อยู่ "ไกล" ทางพิเศษ

จากการวิเคราะห์โดยตั้งสมมุติฐานแย้งว่าระดับมลพิษเมื่อผู้รับอยู่ใกล้ทางพิเศษสูงกว่าเมื่อผู้รับอยู่ไกลทางพิเศษ พบว่า ค่าเฉลี่ยของ NO_2 และ CO ของกลุ่มใกล้ทางพิเศษสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ

เชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าเฉลี่ยของ SO_2 ในกลุ่มใกล้ทางพิเศษก็สูงกว่ากลุ่มไกล แต่ค่า p-value สูงกว่าระดับ 0.05 อย่างไรก็ตาม กรณีของ O_3 กลับมีแนวโน้มในทางตรงข้าม คือกลุ่มใกล้มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มไกล โดยมีค่า p-value สูงกว่าระดับ 0.05 เช่นกัน ส่วนกรณีของมลพิษประเภทอนุภาคทั้ง 3 พบว่ายอมรับสมมุติฐานแย้งทุกกรณี จากผลข้างต้นสรุปได้ว่าระยะห่างระหว่างทางพิเศษกับผู้รับมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของมลพิษส่วนใหญ่ทั้งประเภทแก๊สและอนุภาค แต่อาจยกเว้นกรณีของ O_3 ซึ่งเป็นมลพิษทุติยภูมิที่ต้องการเวลาในการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้น และในช่วงเวลาดังกล่าวมวลอากาศอาจถูกพัดพาไปยังจุดต่างๆ ที่ห่างจากแหล่งกำเนิดของสารตั้งต้น ทำให้ไม่เห็นอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับผู้รับ ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับการศึกษาอื่นที่รายงานว่าระดับของ O_3 ในกรุงเทพมหานครไม่ได้มีค่าสูงที่ใจกลางเมือง แต่เป็นบริเวณใต้ลมในเขตรอบนอกของกรุงเทพมหานคร (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

6

การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์

6.1 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์อย่างง่าย

การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่ายมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว คือตัวแปรตามและตัวแปรอิสระว่ามีมากหรือน้อย และเพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ประมาณค่าตัวแปรตามโดยใช้ตัวแปรอิสระ ค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่า r โดยค่า r ที่เป็นลบแสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนค่า r ที่เป็นบวก แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และถ้าค่าสัมบูรณ์ของ r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรที่ศึกษามีความสัมพันธ์กันมาก และในทางกลับกันถ้าค่าสัมบูรณ์ของ r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อย

การวิเคราะห์ความถดถอยในส่วนนี้ทำโดยการประมาณค่า r และการทดสอบความสำคัญทางสถิติของค่า r นั้นๆ โดยมีสมมุติฐานว่างคือค่า r ที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงตัวแปรคู่ที่พิจารณาไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง และสมมุติฐานแย้งคือค่า r ที่ได้มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงตัวแปรคู่ที่พิจารณามีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง

การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่ายที่ใช้นี้ อยู่บนสมมุติฐานของแบบจำลองเส้นตรง (Straight-Line Model) ซึ่งมีสมมุติฐานสำคัญข้อหนึ่งคือ Normality ที่กล่าวไว้ว่าการแจกแจงของตัวแปรทั้งคู่เป็นแบบปกติ ดังนั้นหากตัวแปรที่ศึกษาไม่มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียง สมมุติฐานดังกล่าวจะถูกละเมิดและค่า r ที่ได้จะมีความผิดพลาด ทางเลือกของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ในกรณีนี้จึงเป็นวิธีที่ไม่ต้องขึ้นกับสมมุติฐานของการแจกแจงของตัวแปร เรียกว่าการวิเคราะห์แบบ Non-Parametric หรือ Distribution-Free Method ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกการวิเคราะห์แบบ *Non-Parametric Method ในการหาค่า r ด้วยวิธี Spearman Rank* Correlation เพื่อเปรียบเทียบกับค่า r ที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอย ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Pearson Correlation Coefficient และในที่นี้จะแทนค่า r ที่ได้จากทั้ง 2 วิธีด้วยสัญลักษณ์ r_s และ r_p ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบ Pearson และ Spearman สำหรับมลพิษประเภทแก๊ส สรุปไว้ในตารางที่ 6-1 และตารางที่ 6-2 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบ Pearson และ Spearman สำหรับมลพิษประเภทอนุภาค สรุปไว้ในตารางที่ 6-3 และตารางที่ 6-4 ตามลำดับ

ตารางที่ 6-1: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ระหว่างมลพิษประเภทแก๊สและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปร	NO_2			CO			SO_2			O_3		
	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N
C1	0.15	0.059	165	0.03	0.726	164	**0.21**	0.008	165	**0.16**	0.045	165
LB1	**0.18**	0.021	165	0.00	0.958	164	**0.16**	0.037	165	**0.27**	0.001	165
HB1	**0.15**	0.047	165	-0.08	0.320	164	-0.10	0.208	165	0.45	0.000	165
MC1	0.06	0.443	165	**0.16**	0.038	164	0.07	0.371	165	-0.07	0.349	165
HT1	0.07	0.377	165	0.02	0.788	164	**-0.17**	0.033	165	**0.16**	0.035	165
C2	**0.30**	0.000	165	0.01	0.854	164	**0.20**	0.009	165	**0.27**	0.001	165
LB2	**0.26**	0.001	165	-0.08	0.300	164	**0.16**	0.038	165	**0.36**	0.000	165
HB2	**0.20**	0.009	165	-0.02	0.845	164	-0.06	0.444	165	0.11	0.144	165
MC2	**0.23**	0.003	165	-0.01	0.888	164	**0.21**	0.006	165	**0.34**	0.000	165
HT2	-0.10	0.203	165	-0.09	0.227	164	**-0.18**	0.017	165	**-0.22**	0.005	165
C3	**0.28**	0.000	165	0.02	0.791	164	**0.23**	0.003	165	**0.26**	0.001	165
LB3	**0.26**	0.001	165	-0.06	0.415	164	0.17	0.025	165	**0.36**	0.000	165
HB3	**0.21**	0.006	165	-0.03	0.688	164	-0.08	0.335	165	0.21	0.008	165
MC3	**0.23**	0.003	165	-0.01	0.898	164	**0.21**	0.006	165	**0.34**	0.000	165
HT3	-0.08	0.322	165	-0.08	0.293	164	**-0.20**	0.010	165	**-0.17**	0.033	165
VS1	**0.33**	0.000	203	0.06	0.424	201	-0.10	0.143	203	0.01	0.927	203
VS2	**-0.24**	0.005	137	**-0.21**	0.016	135	**-0.21**	0.015	137	**-0.16**	0.056	137
VS3	**-0.17**	0.043	137	-0.13	0.144	135	-0.15	0.079	137	-0.19	0.025	137
T	-0.07	0.175	430	-0.01	0.872	430	0.11	0.020	430	**-0.30**	0.000	430
WS	**-0.13**	0.008	430	-0.07	0.161	430	0.09	0.051	430	-0.24	0.000	430
WD	**-0.14**	0.004	429	-0.03	0.585	430	0.02	0.607	429	0.09	0.067	429
DFE	**-0.38**	0.000	430	**-0.33**	0.000	430	-0.07	0.138	430	0.08	0.105	430
TV1	**0.17**	0.032	165	0.02	0.848	164	**0.19**	0.015	165	**0.21**	0.006	165
TV2	**0.30**	0.000	165	-0.03	0.713	164	**0.20**	0.011	165	**0.33**	0.000	165
TV3	**0.28**	0.000	165	-0.02	0.818	164	**0.21**	0.007	165	**0.32**	0.000	165

ตารางที่ 6-2: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Spearman ระหว่างมลพิษประเภทแก๊สและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปร	NO_2			CO			SO_2			O_3		
	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N
C1	**0.42**	0.000	165	0.08	0.301	164	**0.28**	0.000	165	**0.40**	0.000	165
LB1	**0.40**	0.000	165	0.01	0.890	164	**0.22**	0.004	165	**0.49**	0.000	165
HB1	**0.16**	0.038	165	-0.07	0.393	164	-0.07	0.392	165	**0.35**	0.000	165
MC1	0.08	0.299	165	**0.19**	0.013	164	0.06	0.453	165	0.00	0.971	165
HT1	-0.03	0.720	165	**0.01**	0.946	164	**-0.16**	0.036	165	0.04	0.619	165
C2	**0.42**	0.000	165	-0.01	0.897	164	**0.23**	0.003	165	**0.35**	0.000	165
LB2	**0.45**	0.000	165	-0.07	0.397	164	**0.25**	0.001	165	**0.57**	0.000	165
HB2	**0.27**	0.000	165	-0.09	0.245	164	0.01	0.931	165	**0.24**	0.002	165
MC2	**0.41**	0.000	165	-0.02	0.765	164	**0.26**	0.001	165	**0.54**	0.000	165
HT2	-0.15	0.057	165	**-0.07**	0.381	164	**-0.19**	0.015	165	**-0.28**	0.000	165
C3	**0.42**	0.000	165	0.01	0.906	164	**0.24**	0.002	165	**0.37**	0.000	165
LB3	**0.45**	0.000	165	-0.05	0.529	164	**0.25**	0.001	165	**0.56**	0.000	165
HB3	**0.28**	0.000	165	-0.08	0.309	164	0.01	0.917	165	**0.33**	0.000	165
MC3	**0.41**	0.000	165	-0.02	0.777	164	**0.26**	0.001	165	**0.53**	0.000	165
HT3	-0.12	0.117	165	-0.06	0.432	164	**-0.19**	0.013	165	**-0.20**	0.009	165
VS1	**0.40**	0.000	203	**0.06**	0.423	201	-0.04	0.594	203	-0.04	0.596	203
VS2	**-0.24**	0.005	137	**-0.28**	0.001	135	**-0.21**	0.012	137	-0.13	0.132	137
VS3	-0.12	0.164	137	**-0.19**	0.028	135	-0.10	0.239	137	-0.09	0.276	137
T	-0.02	0.711	430	-0.03	0.483	430	**0.10**	0.032	430	**-0.31**	0.000	430
WS	**-0.10**	0.040	430	-0.03	0.571	430	**0.10**	0.045	430	**-0.23**	0.000	430
WD	**-0.10**	0.038	429	0.05	0.259	430	0.09	0.054	429	0.08	0.081	429
DFE	**-0.43**	0.000	430	**-0.32**	0.000	430	**-0.13**	0.008	430	-0.02	0.700	430
TV1	**0.41**	0.000	165	0.05	0.528	164	**0.25**	0.001	165	**0.45**	0.000	165
TV2	**0.44**	0.000	165	-0.04	0.583	164	**0.24**	0.002	165	**0.47**	0.000	165
TV3	**0.45**	0.000	165	-0.03	0.690	164	**0.24**	0.002	165	**0.48**	0.000	165

ตารางที่ 6-3: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ระหว่างมลพิษประเภทอนุภาคและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปร	PM_{10}			TSP			Pb		
	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N
C1	-0.29	0.483	8	-0.17	0.685	8	-0.22	0.601	8
LB1	-0.37	0.367	8	-0.27	0.513	8	-0.51	0.192	8
HB1	-0.18	0.672	8	-0.21	0.625	8	0.17	0.693	8
MC1	0.54	0.165	8	0.53	0.175	8	**0.80**	0.016	8
HT1	0.40	0.322	8	0.30	0.465	8	0.50	0.212	8
C2	-0.40	0.320	8	-0.35	0.393	8	-0.50	0.207	8
LB2	**-0.71**	0.047	8	**-0.73**	0.038	8	-0.49	0.222	8
HB2	-0.22	0.608	8	-0.27	0.513	8	0.27	0.514	8
MC2	-0.49	0.217	8	-0.48	0.226	8	-0.61	0.112	8
HT2	0.29	0.484	8	0.30	0.463	8	0.69	0.060	8
C3	-0.42	0.300	8	-0.33	0.427	8	-0.46	0.256	8
LB3	-0.68	0.066	8	-0.65	0.079	8	-0.57	0.143	8
HB3	-0.22	0.602	8	-0.27	0.512	8	0.27	0.524	8
MC3	-0.49	0.219	8	-0.48	0.227	8	-0.60	0.113	8
HT3	0.34	0.410	8	0.33	0.418	8	**0.72**	0.045	8
VS1	-0.03	0.917	12	-0.10	0.764	12	-0.05	0.877	12
VS2	-0.24	0.535	9	-0.40	0.288	9	0.10	0.791	9
VS3	-0.13	0.745	9	-0.29	0.455	9	0.17	0.655	9
T	-0.46	0.055	18	**-0.58**	0.011	18	-0.30	0.226	18
WS	0.11	0.671	18	0.01	0.957	18	0.11	0.656	18
WD	0.13	0.613	18	0.08	0.752	18	0.27	0.282	18
DFE	**-0.66**	0.003	18	**-0.51**	0.029	18	**-0.58**	0.011	18
TV1	-0.33	0.422	8	-0.22	0.605	8	-0.34	0.412	8
TV2	-0.60	0.117	8	-0.58	0.131	8	-0.55	0.157	8
TV3	-0.57	0.141	8	-0.51	0.194	8	-0.54	0.171	8

ตารางที่ 6-4: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Spearman ระหว่างมลพิษประเภทอนุภาคและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปร	PM_{10}			TSP			Pb		
	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N
C1	-0.31	0.453	8	-0.21	0.610	8	-0.25	0.548	8
LB1	-0.61	0.108	8	-0.19	0.651	8	-0.28	0.509	8
HB1	0.35	0.399	8	0.00	1.000	8	0.06	0.888	8
MC1	**0.86**	0.006	8	0.31	0.456	8	0.40	0.333	8
HT1	0.51	0.192	8	0.48	0.233	8	0.50	0.204	8
C2	-0.56	0.146	8	0.10	0.823	8	0.05	0.910	8
LB2	-0.43	0.286	8	**-0.74**	0.037	8	-0.66	0.076	8
HB2	0.63	0.091	8	-0.14	0.736	8	-0.05	0.910	8
MC2	-0.63	0.091	8	-0.50	0.207	8	-0.49	0.217	8
HT2	**0.75**	0.031	8	0.17	0.693	8	0.25	0.548	8
C3	-0.42	0.301	8	0.05	0.911	8	-0.02	0.955	8
LB3	-0.61	0.108	8	-0.62	0.102	8	-0.59	0.126	8
HB3	0.63	0.091	8	-0.14	0.736	8	-0.05	0.910	8
MC3	-0.63	0.091	8	-0.50	0.207	8	-0.49	0.217	8
HT3	**0.75**	0.031	8	0.17	0.693	8	0.25	0.548	8
VS1	-0.06	0.863	12	-0.30	0.341	12	-0.25	0.427	12
VS2	-0.12	0.764	9	-0.53	0.139	9	-0.38	0.306	9
VS3	0.00	1.000	9	-0.57	0.112	9	-0.44	0.242	9
T	-0.34	0.171	18	**-0.56**	0.016	18	**-0.48**	0.043	18
WS	0.12	0.635	18	0.19	0.440	18	0.14	0.591	18
WD	0.25	0.327	18	0.20	0.432	18	0.11	0.656	18
DFE	-0.47	0.052	18	-0.41	0.090	18	**-0.51**	0.032	18
TV1	-0.31	0.453	8	-0.21	0.610	8	-0.25	0.548	8
TV2	-0.50	0.204	8	-0.45	0.260	8	-0.40	0.333	8
TV3	-0.69	0.056	8	-0.33	0.420	8	-0.37	0.365	8

จากผลการวิเคราะห์ในตารางทั้ง 4 ข้างต้น เลือกพิจารณาเฉพาะคู่ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สรุปประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาโดยแยกเป็นการพิจารณาที่มลพิษและที่ตัวแปรปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

พิจารณาที่มลพิษ

- ความเข้มข้นของ NO_2 มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรด้านปริมาณยานพาหนะส่วนใหญ่ มีค่า r_p สูงสุดกับ C2 เท่ากับ 0.30 และมีค่า r_s สูงสุดกับ LB2, LB3, และ TV3 เท่ากับ 0.45 ทั้ง 3 กรณี จากตัวแปรด้านปริมาณยานพาหนะทั้งหมดมีเพียงปริมาณรถบรรทุกขนาดใหญ่ (HT1, HT2, และ HT3) เท่านั้นที่ไม่พบความสัมพันธ์กับ NO_2 นอกจากนี้ NO_2 มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วรถบนถนน, ความเร็วลม, ทิศทางลม, และระยะห่างจากทางพิเศษ ซึ่งเป็นไปตามทิศทางความสัมพันธ์ที่คาดไว้โดยใช้สามัญสำนึก (common sense)
- สำหรับกรณีของ CO พบความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นค่อนข้างน้อย คือพบความสัมพันธ์ที่มีค่าน้อยในทิศทางเดียวกันกับ MC1 เพียงตัวเดียว และพบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วรถบนถนนและระยะห่างจากทางพิเศษ โดยค่า r_p และ r_s ระหว่าง CO กับ DFE เท่ากับ -0.33 และ -0.32 ตามลำดับ สาเหตุของการที่ CO ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรส่วนใหญ่ยังไม่ทราบแน่ชัด
- ความสัมพันธ์ของ SO_2 กับตัวแปรอื่นมีลักษณะคล้ายในกรณีของ NO_2 คือมีความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านปริมาณยานพาหนะบางส่วนแต่น้อยกว่า โดยพบค่าสหสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณรถเก๋ง (C1, C2, และ C3) รถปิกอัพและรถตู้ (LB1, LB2, และ LB3) รถจักรยานยนต์ (MC2 และ MC3) และปริมาณยานพาหนะรวม (TV1, TV2, และ TV3) ซึ่งพบว่า SO_2 มีค่า r_p สูงสุดกับ C3 เท่ากับ 0.23 และมีค่า r_s สูงสุดกับ C1 เท่ากับ 0.28 ส่วนความสัมพันธ์อื่นๆ ที่น่าสนใจ ได้แก่ สหสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามระหว่าง SO_2 กับรถบรรทุกขนาดใหญ่ และความเร็วรถบนถนน
- กรณีของ O_3 เมื่อเทียบกับมลพิษอื่นๆ พบว่ามีจำนวนคู่ของความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านปริมาณยานพาหนะมากที่สุด โดยจากการหาค่าสหสัมพันธ์ทั้ง 2 วิธี มีเพียง MC1 เท่านั้นที่ไม่พบความสัมพันธ์กับ O_3 ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ที่พบเป็นไปในทิศทางเดียวกันในเกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีระหว่าง O_3 กับปริมาณรถบรรทุกขนาดใหญ่ (HT2 และ HT3) โดย O_3 มีค่า r_p สูงสุดกับ HB1 เท่ากับ 0.45 และมีค่า r_s สูงสุดกับ LB2 เท่ากับ 0.57 ส่วนความสัมพันธ์อื่นๆ ที่น่าสนใจ ได้แก่ สหสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามระหว่าง O_3 กับอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า r_p และ r_s เท่ากับ -0.30 และ -0.31 ตามลำดับ และระหว่าง O_3 กับความเร็วลม ซึ่งมีค่า r_p และ r_s เท่ากับ -0.24 และ -0.23 ตามลำดับ
- พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษประเภทอนุภาคกับปัจจัยอื่นค่อนข้างน้อย ทั้งนี้สาเหตุหลักน่าจะมาจากจำนวนตัวอย่างมีจำกัด ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่พบ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับ MC1, HT2, และ HT3 ซึ่งมีค่า r_s เท่ากับ 0.86, 0.75, และ 0.75 ตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่าง Pb กับ MC1 และ HT3 ซึ่งมีค่า r_p เท่ากับ 0.80 และ 0.72

ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ในทิศตรงข้ามที่พบ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษประเภทอนุภาคทั้ง 3 กับระยะห่างจากทางพิเศษ, ความสัมพันธ์ระหว่าง TSP กับ LB2 และ T, และความสัมพันธ์ระหว่าง Pb กับ T

พิจารณาที่ปัจจัยต่างๆ

- พบสหสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างระยะห่างจากทางพิเศษกับมลพิษประเภท 6 ใน 7 ตัวที่ศึกษา คือยกเว้นเพียง O_3 เท่านั้นที่ไม่พบความสัมพันธ์ โดยมีค่า r_p อยู่ในช่วงระหว่าง -0.33 ถึง -0.66 และค่า r_s อยู่ในช่วงระหว่าง -0.13 ถึง -0.51
- พบสหสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างปริมาณจราจรรวม (TV1, TV2, และ TV3) กับมลพิษประเภทแก๊ส 3 ประเภท คือ NO_2, SO_2, และ O_3 ทุกคู่ โดยมีค่า r_p อยู่ในช่วงระหว่าง 0.17 ถึง 0.32 และค่า r_s อยู่ในช่วงระหว่าง 0.24 ถึง 0.48

เนื่องจากแหล่งกำเนิดมลพิษหนึ่งๆ ส่วนใหญ่จะปล่อยมลพิษมากกว่าชนิดเดียว เช่น รถยนต์นั่ง 4 ล้อซึ่งใช้น้ำมันเบนซินจะปล่อยทั้ง CO, NO_2, TSP, และ PM_{10} ดังนั้น นอกจากมลพิษจะมีสหสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ แล้ว มลพิษชนิดหนึ่งๆ ยังมีสหสัมพันธ์กับมลพิษชนิดอื่นๆ ด้วย เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศประเภทแก๊สด้วยกัน พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทุกคู่ (ตารางที่ 6-5 และตารางที่ 6-6) ส่วนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศประเภทอนุภาคด้วยกันก็มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทุกคู่เช่นกัน (ตารางที่ 6-7 และตารางที่ 6-8)

ตารางที่ 6-5: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ระหว่างมลพิษประเภทแก๊สด้วยกัน

ตัวแปร	CO			O_3			SO_2		
	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N
NO_2	**0.50**	0.000	428	**0.20**	0.000	428	**0.20**	0.000	429
CO				0.04	0.442	428	**0.28**	0.000	428
O_3							**0.11**	0.019	428

ตารางที่ 6-6: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Spearman ระหว่างมลพิษประเภทแก๊สด้วยกัน

ตัวแปร	CO			O_3			SO_2		
	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N
NO_2	**0.47**	0.000	428	**0.35**	0.000	428	**0.19**	0.000	429
CO				**0.19**	0.000	428	**0.28**	0.000	428
O_3							**0.29**	0.000	428

ตารางที่ 6-7: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ระหว่างมลพิษประเภทอนุภาคด้วยกัน

ตัวแปร	TSP			PM_{10}		
	r_p	P-Value	N	r_p	P-Value	N
Pb	**0.58**	0.011	18	**0.74**	0.000	18
TSP				**0.88**	0.000	18

ตารางที่ 6-8: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Spearman ระหว่างมลพิษประเภทอนุภาคด้วยกัน

ตัวแปร	TSP			PM_{10}		
	r_s	P-Value	N	r_s	P-Value	N
Pb	**0.66**	0.003	18	**0.71**	0.001	18
TSP				**0.94**	0.000	18

6.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ทำโดยใช้การเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธี Stepwise Regression Procedure ซึ่งมีลักษณะคล้ายวิธี Forward Selection Procedure แต่ในทุกๆ ครั้งเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการ จะทำการวิเคราะห์ความสำคัญของตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่อยู่ในสมการก่อนแล้วว่ายังมีส่วนช่วยในการทำนายค่าตัวแปรตามหรือไม่ หากไม่มีความสำคัญก็จะถูกตัดออกจากสมการ

ค่าสถิติที่สำคัญ 2 ตัวที่ได้จากสมการความถดถอยเชิงพหุ คือ ค่า Beta และค่า Adjusted r^2 โดยตัวแรกเป็นค่า Standardized Regression Coefficient ที่ได้จากการนำสัมประสิทธิความถดถอยของตัวแปรอิสระคูณด้วยสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระนั้นกับตัวแปรตาม ดังนั้นค่า Beta ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวจึงเป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยที่ถูกทำให้อยู่ในรูปมาตรฐาน และสามารถเปรียบเทียบกันได้โดยไม่ขึ้นกับหน่วยที่แท้จริงของแต่ละตัวแปร ตัวแปรอิสระที่มีค่า Beta มากจะมีความสำคัญหรือมีอิทธิพลกับตัวแปรตามมากกว่าตัวแปรอิสระที่มีค่า Beta น้อย

ส่วน ค่า Adjusted r^2 เป็นค่าที่เกิดจากการปรับเพื่อแก้ค่าผิดพลาดของค่า r^2 ของสมการความถดถอยเชิงพหุที่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าในสมการมากขึ้น แม้ว่าตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเลย โดยคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$\text{Adjusted } r^2 = 1+\frac{(n-i)}{(n-k-1)}(r^2-1)$$

โดย n = จำนวนตัวอย่าง และ k = จำนวนตัวแปรอิสระในสมการ

การวิเคราะห์ความถดถอยจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน (Residual Analysis) ประกอบไปด้วยเพื่อตรวจสอบว่าสมมุติฐานที่ตั้งไว้สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นยังเป็นจริงอยู่หรือไม่ ในการศึกษานี้ เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนดังต่อไปนี้

- พิจารณาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standardized Residual) โดยหากเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแล้ว ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีค่าเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ
- พิจารณา Histogram ของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน โดยหากเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแล้ว ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีการแจกแจงแบบปกติ
- พิจารณา Scatter Plot ระหว่างค่าจากการทำนายของสมการที่ได้กับค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน โดยหากเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแล้ว Scatter Plot ดังกล่าวจะมีลักษณะสุ่ม ไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้ม

นอกจากนี้ การตรวจสอบที่จำเป็นอีกเรื่องหนึ่ง คือ การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Collinearity) เนื่องจากสมมุติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอยที่ว่าตัวแปรอิสระทุกตัวต้องเป็นอิสระต่อกัน ค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบในการวิเคราะห์นี้ คือ ค่า Tolerance ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้คือ หากค่า Tolerance ของตัวแปรอิสระในสมการมีค่าใกล้ศูนย์ หมายถึงมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระตัวนั้นกับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ ในสมการสูง ในทางตรงข้าม หากค่า Tolerance ของตัวแปรอิสระในสมการมีค่าใกล้หนึ่ง หมายถึงมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระตัวนั้นกับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ ในสมการต่ำ

เนื่องจากจำนวนข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ในกรณีของมลพิษประเภทอนุภาคถูกจำกัดด้วยข้อมูลปริมาณยานพาหนะที่ทำการเก็บข้อมูลเพียง 8 วัน จึงมีจำนวนข้อมูลน้อยเกินกว่าจะทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุได้อย่างเหมาะสมและมีนัยสำคัญ ดังนั้น การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของการศึกษานี้จึงทำสำหรับมลพิษประเภทแก๊สเท่านั้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้สรุปไว้ในตารางที่ 6-9 และสรุปประเด็นสำคัญที่พบได้ดังต่อไปนี้

- สมการถดถอยเชิงพหุของ NO_2 มีตัวแปรอิสระ 6 ตัว โดยความสำคัญสัมพัทธ์ของแต่ละตัวแปรซึ่งดูได้จากค่า Beta เรียงลำดับอิทธิพลทางบวกของตัวแปรจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ VS1 และ C2 และเรียงลำดับอิทธิพลทางลบของตัวแปรจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ DFE, VS2, T, และ HT2 สำหรับค่า Adjusted r^2 ของสมการที่ได้เท่ากับ 0.43 หมายถึงสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของระดับความเข้มข้นของ NO_2 ได้ร้อยละ 43

ตารางที่ 6-9: สรุปผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุของมลพิษประเภทแก๊ส

ตัวแปรตาม	r^2	Adjusted r^2	N	P-Value	ตัวแปรอิสระ	สัมประสิทธิ์ความถดถอย	Beta[1]	Tolerance	Std. Residual	
									Mean	S.D.
NO_2	0.456	0.430	131	0.000	(Constant)	4.19E-02			-0.02	0.99
					DFE	-6.52E-05	-0.49	0.95		
					T	-8.21E-04	-0.22	0.88		
					VS2	-2.49E-04	-0.39	0.51		
					VS1	2.12E-04	0.38	0.51		
					C2	2.22E-06	0.32	0.87		
					HT2	-2.29E-05	-0.16	0.93		
CO	0.306	0.278	131	0.000	(Constant)	5.37E+00			0.00	0.98
					DFE	-4.52E-03	-0.43	0.97		
					VS2	-1.22E-02	-0.24	0.97		
					T	-9.99E-02	-0.33	0.82		
					HB1	-1.21E-02	-0.28	0.81		
					TV1	1.76E-04	0.21	0.90		
SO_2	0.193	0.161	131	0.000	(Constant)	1.03E-02			0.00	0.98
					DFE	-6.65E-06	-0.28	0.96		
					C3	1.76E-07	0.18	0.96		
					HT3	-4.42E-06	-0.19	0.94		
					WS	6.51E-04	0.23	0.94		
					VS2	-1.99E-05	-0.17	0.93		
O_3	0.456	0.439	131	0.000	(Constant)	1.67E-02			-0.01	1.01
					HB1	9.32E-05	0.38	0.87		
					MC2	2.69E-06	0.34	0.97		
					T	-4.61E-04	-0.26	0.88		
					DFE	1.16E-05	0.19	0.97		

[1] Standardized Regression Coefficient

- สมการถดถอยเชิงพหุของ CO มีตัวแปรอิสระ 5 ตัว โดยมีตัวแปรอิสระตัวเดียวที่มีอิทธิพลทางบวกกับตัวแปรตาม คือ TV1 ส่วนตัวแปรอิสระที่เหลือเรียงลำดับอิทธิพลทางลบจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ DFE, T, HB1, และ VS2 และสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของระดับความเข้มข้นของ CO ได้ประมาณร้อยละ 28

- สมการถดถอยเชิงพหุของ SO_2 มีตัวแปรอิสระ 5 ตัว โดยเรียงลำดับอิทธิพลทางบวกของตัวแปรจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ WS และ C3 และเรียงลำดับอิทธิพลทางลบของตัวแปรจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ DFE, HT3, และ VS2 และสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของระดับความเข้มข้นของ SO_2 ได้เพียงประมาณร้อยละ 16
- สมการถดถอยเชิงพหุของ O_3 มีตัวแปรอิสระ 4 ตัว โดยเรียงลำดับอิทธิพลทางบวกของตัวแปรจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ HB1, MC2, และ DFE และมีตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลทางลบเพียงตัวเดียว คือ T สำหรับสมการที่ได้สามารถอธิบายความแปรปรวนของระดับความเข้มข้นของ O_3 ได้ร้อยละ 44
- การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยเชิงพหุที่ได้ พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าใกล้เคียง 0 และ 1 ตามลำดับ ส่วน Histogram ของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน มีการแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ และไม่พบมีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆ ใน Scatter Plot ระหว่างค่าจากการทำนายของสมการที่ได้กับค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน จึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ทุกกรณีเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น
- ตัวแปรอิสระในสมการถดถอยเชิงพหุที่ได้มีอิสระต่อกันตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยค่า Tolerance มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.51

7

บทสรุป

7.1 สรุปผลการศึกษาที่สำคัญ

โครงการวิจัยการประเมินสหสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศบริเวณใกล้ทางพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ประการแรก คือการนำข้อมูลมลพิษอากาศจากฐานข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของการทางพิเศษ มาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศในพื้นที่ใกล้ทางพิเศษ กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระดับมลพิษ โดยมลพิษอากาศที่ศึกษามี 7 ตัว คือ CO, NO_2, O_3, SO_2, Pb, PM_{10}, และ TSP และประการที่สอง คือการระบุปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ของระดับมลพิษแต่ละตัว หรือปัจจัยที่มีศักยภาพสูงเหมาะสมกับการใช้ในการทำนายระดับของมลพิษอากาศแต่ละตัวในพื้นที่บริเวณใกล้ทางพิเศษ ผลการศึกษาที่สำคัญ สรุปได้ดังนี้

สถิติพรรณนาและความสัมพันธ์ของข้อมูล

- ระดับมลพิษประเภทแก๊สเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับบรรยากาศทั่วไป ไม่มีตัวใดมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศในช่วงเวลาที่ตรวจวัด โดยพบว่า CO และ SO_2 มีระดับมลพิษต่ำกว่ามาตรฐานค่อนข้างมาก แต่ O_3 มีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 30 ของค่ามาตรฐานและ NO_2 มีค่าสูงสุดเกือบเท่าค่ามาตรฐาน ส่วนความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าไม่สูงนัก และการแจกแจงความน่าจะเป็นของมลสารทั้ง 4 มีความใกล้เคียงการแจกแจงแบบ Lognormal
- ระดับมลพิษเฉลี่ยและสูงสุดของมลพิษประเภทอนุภาคมีค่าไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด โดยมลพิษ Pb, PM_{10}, และ TSP ที่วัดได้มีค่าสูงสุดที่พบเท่ากับร้อยละ 65, 55, และ 43 ของค่ามาตรฐาน ข้อมูลมีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ การแจกแจงความน่าจะเป็นของ Pb และ PM_{10} ใกล้เคียงแบบปกติ ส่วน TSP ข้อมูลแสดงการเบี่ยงเบนโดยมีลักษณะค่อนไปทางการแจกแจงแบบ lognormal
- ข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับมลพิษ ส่วนใหญ่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเบ้ขวาและข้อมูลกระจุกตัว โดยเฉพาะข้อมูลรถจักรยานยนต์และรถบรรทุก นอกจากนี้ ข้อมูลหลายตัวมีความแปรปรวนสูง อาทิ ยานพาหนะขนาดใหญ่ประเภทรถบรรทุกและรถโดยสาร ส่วนข้อมูลที่มีความแปรปรวนน้อย ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วรถบนทางพิเศษ และความเร็วรถบนถนน
- ลักษณะความแปรผันรายชั่วโมงของ CO, NO_2, และ SO_2 มีลักษณะเป็นกราฟ 2 ยอด คือยอดในช่วงเช้าและเย็น ซึ่งเป็นช่วงเวลาเร่งด่วนที่มีปริมาณการจราจรสูงกว่าช่วงอื่น แต่สำหรับเส้นกราฟของ O_3 ไม่มีลักษณะของกราฟ 2 ยอด และไม่ขึ้นสูงสุดพร้อมกับแก๊สตัวอื่นในช่วงเช้า

แต่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดในช่วงบ่ายถึงเย็น และลดลงต่ำในช่วงกลางคืน เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา Photochemical Oxidation

- ลักษณะความแปรผันรายชั่วโมงของข้อมูลปริมาณจราจร เส้นกราฟของรถบนทางพิเศษและบนถนนส่วนใหญ่มีแนวโน้มคล้ายกันคือขึ้นสูงเร็วในช่วงเช้า ลดลงหรือเพิ่มช้าๆ ในช่วงกลางวัน แล้วสูงขึ้นอีกเป็นลักษณะ 2 ยอด คือในช่วงเร่งด่วนเย็นประมาณ 17 นาฬิกา และในช่วงหัวค่ำประมาณ 21 นาฬิกา ทั้งนี้ สันนิษฐานว่ารูปแบบของกราฟเป็นผลมาจากลักษณะของการใช้ที่ดินบริเวณใกล้ทางพิเศษ
- การเปรียบเทียบลักษณะความแปรผันรายชั่วโมงระหว่างมลพิษกับปัจจัยอื่นๆ ด้วยวิธีกราฟิก พบแนวโน้มความสัมพันธ์ในหลายกรณี อาทิ ระหว่าง NO_2 กับปริมาณการจราจรหลายตัวแปร, SO_2 กับความเร็วรถบนทางพิเศษ และปริมาณยานพาหนะรวมบนถนน, และ CO กับปริมาณรถเก๋ง รถบรรทุก 6 ล้อและรถโดยสารขนาดกลาง และรถจักรยานยนต์บนถนน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนในกรณีของ O_3 ซึ่งน่าจะเป็นเพราะ O_3 ต้องการเวลาที่จะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา จึงสังเกตการแปรผันตามข้อมูลรายชั่วโมงอื่นๆ ได้ยาก
- การพิจารณาโดยวิธีแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยปัจจัยต่างๆ และเปรียบเทียบความแตกต่าง พบปัจจัยที่สามารถชี้บ่งกลุ่มที่มีระดับมลพิษสูงหรือต่ำ ได้แก่ ช่วงเวลาของวัน ปริมาณยานพาหนะรวม และระยะห่างจากทางพิเศษ โดยพบว่า NO_2, CO, และ SO_2 มีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาปกติต่ำกว่าช่วงเวลาเร่งด่วน และ NO_2, O_3, และ SO_2 มีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าต่ำกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น และพบว่าระดับมลพิษเมื่อปริมาณยานพาหนะรวมต่ำจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อปริมาณยานพาหนะรวมสูง ในทำนองเดียวกัน กลุ่มที่อยู่ใกล้ทางพิเศษจะมีระดับมลพิษสูงกว่ากลุ่มที่ไกลทางพิเศษ แต่อาจยกเว้นกรณีของ O_3 ซึ่งเป็นมลพิษทุติยภูมิและอาจไม่ขึ้นกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิด อย่างไรก็ตาม ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนนักระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่แบ่งโดยใช้ความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งอาจแสดงว่าค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของข้อมูลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงได้มากในเวลาอันสั้นไม่เหมาะกับการนำมาชี้วัดระดับมลพิษ

การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์

- ปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ระดับมลพิษประเภทแก๊สได้ดีหรือมีศักยภาพ สรุปได้จากผลการวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ซึ่งพบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของมลพิษประเภทแก๊สกับปัจจัยต่อไปนี้
    - ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันของ NO_2 กับตัวแปรด้านปริมาณยานพาหนะส่วนใหญ่
    - ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามของ NO_2 กับความเร็วรถบนถนน, ความเร็วลม, ทิศทางลม, และระยะห่างจากทางพิเศษ
    - ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามของ SO_2 กับรถบรรทุกขนาดใหญ่และความเร็วรถบนถนน

- ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันของ O_3 กับตัวแปรค้านปริมาณยานพาหนะเกือบทุกกรณี
- ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามของ O_3 กับอุณหภูมิและความเร็วลม
- ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันของ CO กับรถจักรยานยนต์บนทางพิเศษ
- ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามของ CO กับความเร็วรถบนถนนและระยะห่างจากทางพิเศษ

- ปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ระดับมลพิษประเภทอนุภาคได้ดีหรือมีศักยภาพ สรุปได้จากผลการวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ซึ่งมีตัวอย่างค่อนข้างจำกัด พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของมลพิษประเภทอนุภาคกับปัจจัยต่อไปนี้
  - ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่าง PM_{10} กับรถจักรยานยนต์บนทางพิเศษ, รถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนนและรถบรรทุกขนาดใหญ่รวม
  - ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่าง Pb กับรถจักรยานยนต์บนทางพิเศษและรถบรรทุกขนาดใหญ่รวม
  - ความสัมพันธ์ในทิศตรงข้ามระหว่างมลพิษประเภทอนุภาคทั้ง 3 กับระยะห่างจากทางพิเศษ
  - ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามระหว่าง TSP กับรถปิกอัพและรถตู้ และกับอุณหภูมิ
  - ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามระหว่าง Pb กับอุณหภูมิ
- ความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่น่าสนใจอื่นๆ ได้แก่ ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามระหว่างระยะห่างจากทางพิเศษกับมลพิษส่วนใหญ่ที่ศึกษา, ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันระหว่างปริมาณจราจรรวมกับมลพิษประเภทแก๊ส 3 ประเภท คือ NO_2, SO_2, และ O_3 ทุกคู่ ซึ่งแสดงถึงการเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวอย่างชัดเจน และพบว่ามลพิษทั้งกลุ่มอนุภาคและแก๊สมีสหสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับมลพิษชนิดอื่นในกลุ่มในระดับสูง หมายความว่ามลพิษตัวหนึ่งๆ สามารถเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีสำหรับมลพิษตัวอื่นๆ ในกลุ่มได้ดีนั่นเอง
- การวิเคราะห์หาตัวบ่งชี้ที่ดีของมลพิษโดยสร้างสมการถดถอยเชิงพหุสำหรับมลพิษประเภทแก๊สทั้ง 4 ตัว ได้สมการที่สามารถใช้ทำนายระดับมลพิษโดยเรียงลำดับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากมากไปน้อย ได้แก่ สมการของ O_3, NO_2, CO, และ SO_2 ซึ่งอธิบายความแปรปรวนของมลพิษที่เป็นตัวแปรตามของสมการได้เท่ากับร้อยละ 44, 43, 28 และ 16 ตามลำดับ โดยมีตัวแปรอิสระที่แสดงถึงการเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของมลพิษแต่ละตัว ดังนี้
  - ตัวแปรอิสระ 6 ตัวของ NO_2 เรียงลำดับอิทธิพลทางบวกของจากมากไปน้อย ได้แก่ ความเร็วรถบนทางพิเศษและปริมาณรถเก๋งบนถนน และเรียงลำดับอิทธิพลทางลบจากมากไปน้อย ได้แก่ ระยะห่างจากทางพิเศษ, ความเร็วรถบนถนน, อุณหภูมิ, และรถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนน

- ตัวแปรอิสระ 5 ตัวของ CO มีตัวที่มีอิทธิพลทางบวก คือ ปริมาณรถรวมบนทางพิเศษ และตัวที่เหลือเรียงลำดับอิทธิพลทางลบจากมากไปน้อย ได้แก่ ระยะห่างจากทางพิเศษ, อุณหภูมิ , รถบรรทุกขนาดกลางบนทางพิเศษ, และความเร็วรถบนถนน
- ตัวแปรอิสระ 5 ตัวของ SO_2 เรียงลำดับอิทธิพลทางบวกของจากมากไปน้อย ได้แก่ ความเร็วลม และปริมาณรถเก๋งรวม และเรียงลำดับอิทธิพลทางลบจากมากไปน้อย ได้แก่ ระยะห่างจากทางพิเศษ, รถบรรทุกขนาดใหญ่รวม, และความเร็วรถบนถนน
- ตัวแปรอิสระ 4 ตัวของ O_3 เรียงลำดับอิทธิพลทางบวกของจากมากไปน้อย ได้แก่ รถบรรทุกขนาดกลางบนทางพิเศษ, รถจักรยานยนต์บนถนน, และระยะห่างจากทางพิเศษ และมีตัวที่มีอิทธิพลทางลบ คืออุณหภูมิ

7.2 การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า NO_2 มีสหสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณการจราจรส่วนใหญ่, ความเร็วรถบนถนน, ความเร็วลม, ทิศทางลม, และระยะห่างจากทางพิเศษ และจากสมการถดถอยเชิงพหุยังมีตัวแปรอิสระของอุณหภูมิ และรถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนนรวมอยู่ด้วย ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาอื่น ซึ่งส่วนใหญ่จะระบุปัจจัยด้านปริมาณจราจรและระยะห่างจากถนนว่ามีอิทธิพลต่อระดับ NO_2 บริเวณใกล้ถนน นอกจากนี้ ปัจจัยในเรื่องของสัดส่วนเวลาที่ลมพัดจากทางพิเศษเข้าหาจุดตรวจวัด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับ NO_2 ในการศึกษาของ Roorda-Knape et al. (1998) ก็เทียบได้กับปัจจัยทิศทางลมในการศึกษานี้นั่นเอง เนื่องจากได้ปรับข้อมูลทิศทางลมให้แสดงถึงระดับของการพัดจากทางพิเศษเข้าสู่สถานีตรวจวัด

อย่างไรก็ตาม ในกรณีของฝุ่น PM_{10} ผลการศึกษาครั้งนี้พบความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} กับรถจักรยานยนต์บนทางพิเศษ, รถบรรทุกขนาดใหญ่บนถนนและรถบรรทุกขนาดใหญ่รวม, และระยะห่างจากทางพิเศษ ซึ่งมีทั้งข้อที่สอดคล้องและแตกต่างกับการศึกษาอื่น สหสัมพันธ์ของ PM_{10} กับระยะห่างจากทางพิเศษสอดคล้องกับที่พบในการศึกษาของ Pfeffer (1994) และ Nitta et al. (1993) และสหสัมพันธ์ของ PM_{10} กับปริมาณจราจรก็สอดคล้องกับที่ผลการศึกษาของ Raj et al. (2000) และ Kindzierski and Jackson (1998) อย่างไรก็ตาม Roorda-Knape et al. (1998) ไม่พบสหสัมพันธ์ทั้ง 2 คู่ที่กล่าวข้างต้น และ Fischer et al. (2000) กล่าวว่า PM_{10} ไม่เป็นตัวชี้วัดที่เฉพาะเจาะจงของการได้รับมลพิษจากการจราจร ในทางตรงข้ามการศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ของระดับฝุ่นกับความเร็วลมตามที่มีกล่าวถึงไว้ในการศึกษาของ Kingham et al. (1998) ดังนั้น จากสิ่งที่กล่าวมาข้างต้นอาจเป็นได้ว่าตัวชี้วัดระดับของฝุ่น PM_{10} มีลักษณะที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษาและองค์ประกอบอื่นๆ เฉพาะกรณีมากกว่ามลพิษอื่น อาทิ แหล่งกำเนิดฝุ่นอื่นๆ ใกล้พื้นที่ศึกษาอาจรบกวนทำให้พบหรือไม่พบความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษา หรืออิทธิพลของอุณหภูมิและฤดูกาลที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่หรือประเทศอาจมีผลสำคัญต่อระดับฝุ่นเช่นกัน

7.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดที่สำคัญซึ่งควรใช้พิจารณาร่วมกับผลการศึกษาและข้อสรุปที่ได้จากการศึกษานี้ มีดังนี้

- **การวิเคราะห์ความถดถอยทั้งหมดอยู่บนสมมุติฐานเชิงเส้น ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะอธิบายความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นในรูปเชิงเส้น ดังนั้น การที่ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญในการศึกษานี้ อาจเป็นเพราะมลพิษมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระยกกำลังสองหรือมากกว่า หรือตัวแปรที่เป็นฟังก์ชั่นของตัวแปรอิสระที่ศึกษา นอกจากนี้ แนวทางที่ใช้เป็นแนวทางการหาความสัมพันธ์บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ทางสถิติ ดังนั้นจึงเป็นการสรุปในลักษณะการอนุมานจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติว่าตัวแปรที่ศึกษามีความสัมพันธ์กันในความเป็นจริงโดยมีกลไกทางกายภาพ เคมี หรืออื่นๆ ที่ทำให้เกิดความสัมพันธ์ แต่ไม่สามารถอธิบายหรือพิสูจน์ความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ในทุกกรณี และความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางสถิติมีความอ่อนไหวต่อความถูกต้องของข้อมูลและจำนวนข้อมูลที่ใช้**
- **มีความเป็นไปได้ที่ความสัมพันธ์ที่ศึกษาจะถูกรบกวนจากอิทธิพลของแหล่งกำเนิดอื่นนอกจากการจราจรบนทางพิเศษและถนนในช่วงที่ศึกษา เนื่องจากสภาพของพื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งมีถนนหลักหลายสายอยู่ใกล้กัน และยังมีแหล่งกำเนิดมลพิษด้านอุตสาหกรรมและอื่นๆ อยู่หนาแน่น หากเป็นการนำข้อมูลลักษณะเดียวกันของพื้นที่ศึกษาอื่นที่ไม่มีแหล่งกำเนิดหนาแน่นมาศึกษา คาดว่าน่าจะได้ผลที่ชัดเจนมากกว่านี้ ทั้งนี้ คงเป็นสมมุติฐานที่ต้องทำการพิสูจน์ด้วยการศึกษาวิจัยต่อไป นั่นคือ อาจหมายความว่าการสร้างสมการเพื่อทำนายระดับมลพิษอากาศในเมืองขนาดใหญ่เช่นกรุงเทพมหานครไม่สามารถทำเพียงระดับเฉพาะที่ได้ และต้องทำโดยใช้แบบจำลองที่มีความยุ่งยากซับซ้อนเท่านั้น**
- **ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่ได้มาจากโครงการการเฝ้าระวังระดับมลพิษอากาศ ไม่ได้มาจากโครงการที่ออกแบบการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาในเรื่องสหสัมพันธ์โดยตรง ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะการที่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้ศึกษาให้เหมือนกันทุกสถานีหรือทุกวัน**

7.4 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลการวิจัยนี้ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษอากาศกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับทางพิเศษ และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและกำหนดนโยบายของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อลดและป้องกันปัญหามลพิษอากาศ อันอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้ทางด่วน

การวิเคราะห์และระบุปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้มลพิษอากาศแต่ละประเภทในการศึกษานี้ จะช่วยเป็นพื้นฐานให้การศึกษาวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถใช้ข้อมูลในการจัดลำดับความสำคัญในการศึกษาและการ

เก็บข้อมูล โดยให้ความสำคัญ หรือเน้นที่การเก็บข้อมูลของปัจจัยสำคัญ และอาจลดจำนวนตัวอย่างหรือไม่ต้องเก็บข้อมูลปัจจัยที่ไม่สำคัญ อันจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการศึกษาวิจัย และใช้งบประมาณการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประกอบการวางแผนการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างเต็มรูปแบบเพื่อทำนายระดับมลพิษอากาศของพื้นที่ใกล้ทางพิเศษ

8

เอกสารอ้างอิง

วงพันธ์ ลิมปเสนีย์ นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต, มลภาวะอากาศ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2543

นพภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2544

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, รายงานการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม โครงการศึกษาและติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางพิเศษฉลองรัช, จัดทำโดย ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2543

สำนักงานบริการเทคโนโลยีสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, รายงานผลการศึกษาฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาและติดตามสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, พ.ศ. 2545

กรมควบคุมมลพิษ, Health Effects of Particulate Matter Air Pollution in Bangkok, พ.ศ. 2541

กรมควบคุมมลพิษ, สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย ปี 2545: คุณภาพอากาศ, จัดทำโดยความร่วมมือกับธนาคารโลกและ US-AEP, พ.ศ. 2545

มาริษา ภู่ภิญโญกุล, สถานการณ์มลพิษทางอากาศในเขตเมืองเชียงใหม่, วารสาร คพ., ฉบับที่ 5, พ.ศ. 2547

Hamilton, R.S. and Harrison, R.M., Highway Pollution, Elsevier Science Publishing, 1991

Roorda-Knape, M. C., Janssen, N. A. H., De Hartog, J. J., Van Vliet, P. H. N., Harssema, H., and Brunekreef, B., Air Pollution from Traffic in City Districts Near Major Motorways, Atmospheric Environment, vol. 32, pp. 1921-1930, 1998

Nitta, H., Sato, T., Nakai, S., Maeda, K., Aoki, S., and Ono, M., Respiratory Health Associated with Exposure to Automobile Exhaust I: Results of Cross-sectional Studies in 1979, 1982, and 1983, Archives of Environmental Health, Vol. 48, pp. 53-58, 1993

Pffeffer, H. U., Ambient Air Concentrations of Pollutants at Traffic-related Sites in Urban Areas of North-Rhine-Westphalia, Germany, Science of the Total Environment, vol. 146/147, pp. 263-273, 1994

Rodes, C. E. and Holland, D. M., Variations of NO, NO_2, and O_3 Concentration Downwind of A Los Angeles Freeway, *Atmospheric Environment, vol. 15, pp. 243-250, 1981*

Godish, T., Air Quality, 2nd ed., Lewis Publishers, 1991

U.S. EPA., User's Guide to MOBILE 5: Mobile Source Emission Factor Model, Office of Mobile Sources, Emission Planning and Strategies Devision, 1994

Chock, D. P., A Simple Line Source Model for Dispersion Near Roadways, Atmospheric Environment, vol. 12, pp. 823-829, 1978

Sivapan Choo-in, Mathematical Model for Determining Carbon Monoxide and Nitrogen Oxide Concentration in Street Tunnel, M.S. Thesis, Thammasat University, 2001

Kingham, S., Meaton, J., Sheard, A., and Lawrenson, O., Assessment of Exposure to Traffic-related Fumes During the Journey to Work, Transportation Research, Part D: Transport and Environment, vol. 3, pp. 271-274, 1998

Raj, P.E., Maheskumar, R.S., Devara, P.C.S., Sonbawne, S.M., Saha, S.K., and Dani, K.K., Time Variations of Aerosol Size Distribution in An Urban Environment: A Case Study, Proceeding of The First Regional Conference on Energy Technology Toward a Clean Environment, 1-2 December 2000, Thailand, , 2000

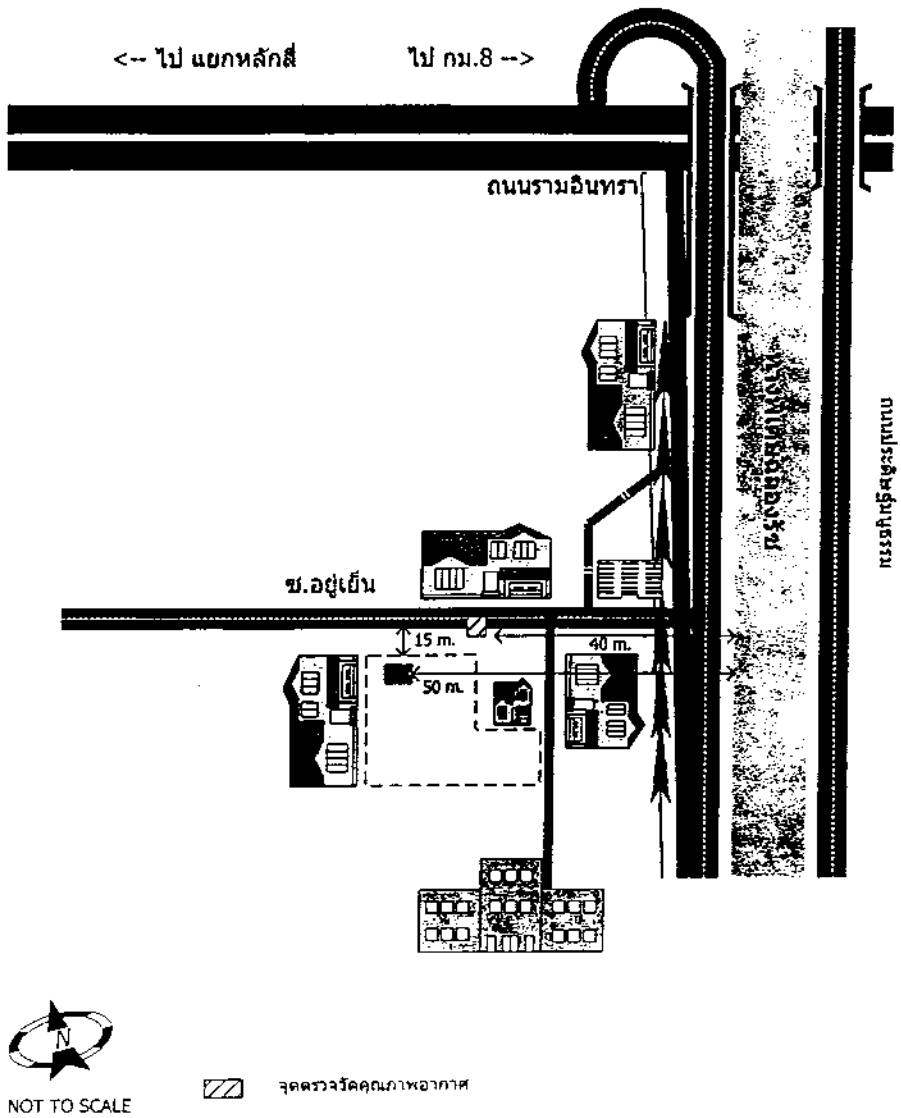
Kindzierski, W. B. and Jackson, L. G., Relationship between Traffic Flow Volume and PM_{10} Along Side Roadways, Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting and Exhibition, June 14-18, 1998, San Diego, CA, USA, 1998

Fischer, P. H., Van Reeuwijk, H., Lebret, E., Kingham, S., Hoek, G., Briggs, D. J., Van Wijnen, J. H., and Elliott, P. E., Traffic-related Differences in Outdoor and Indoor Concentrations of Particles and Volatile Organic Compounds in Amsterdam, Atmospheric Environment, vol. 34, pp. 3713-3722, 2000

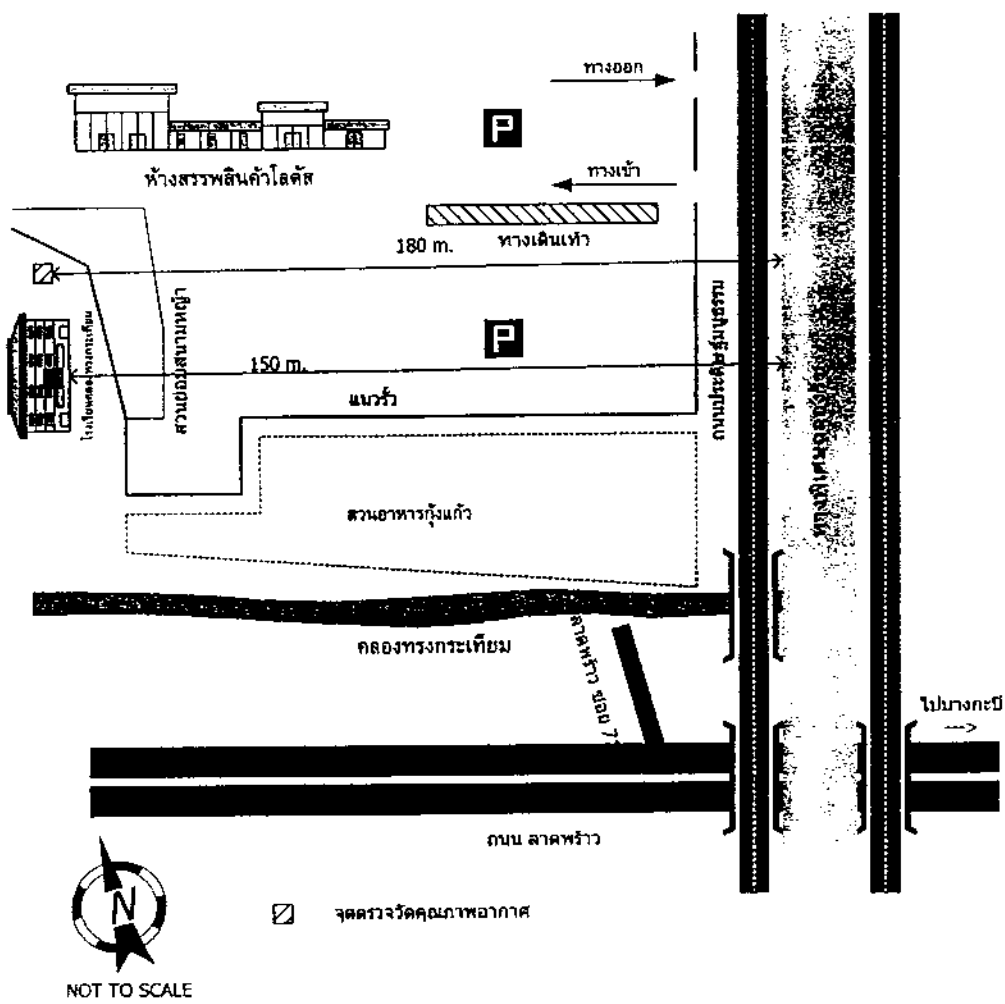
Sivacoumar, R. and Thanasekaran, K.; Comparison and Performance Evaluation of Models Used for Vehicular Pollution Prediction, Journal of Environmental Engineering, June 2001

ภาคผนวก ก

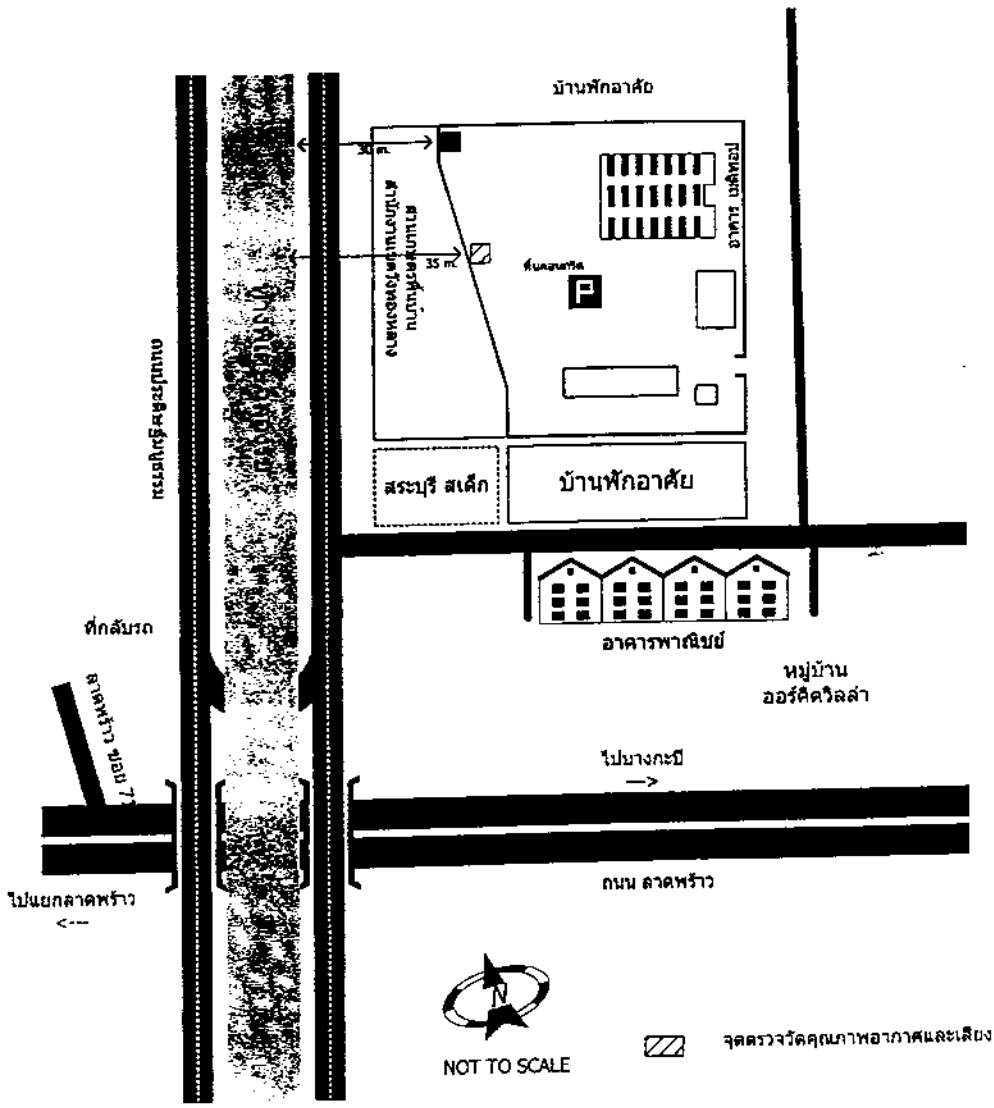
แผนที่แสดงบริเวณสถานีตรวจวัด



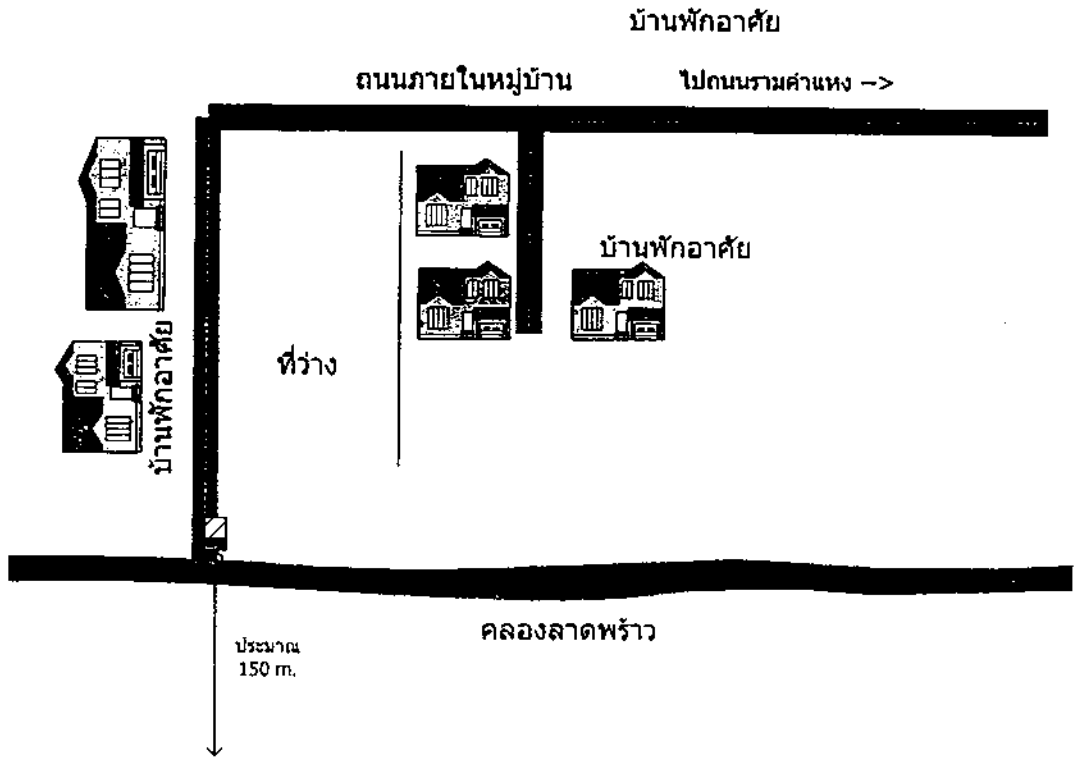
<u>สถานีตรวจวัดที่ 1 ซอยอยู่เย็น</u>



สถานีตรวจวัดที่ 2 โรงเรียนคลองทรงกระเทียม



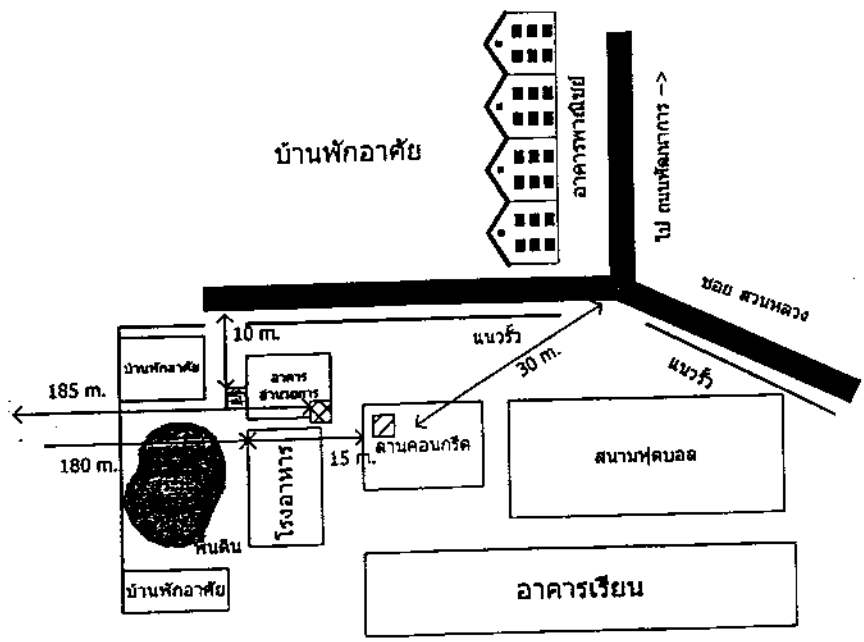
สถานีตรวจวัดที่ 3 หมู่บ้านออร์คิดวิลล่า



NOT TO SCALE

จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ

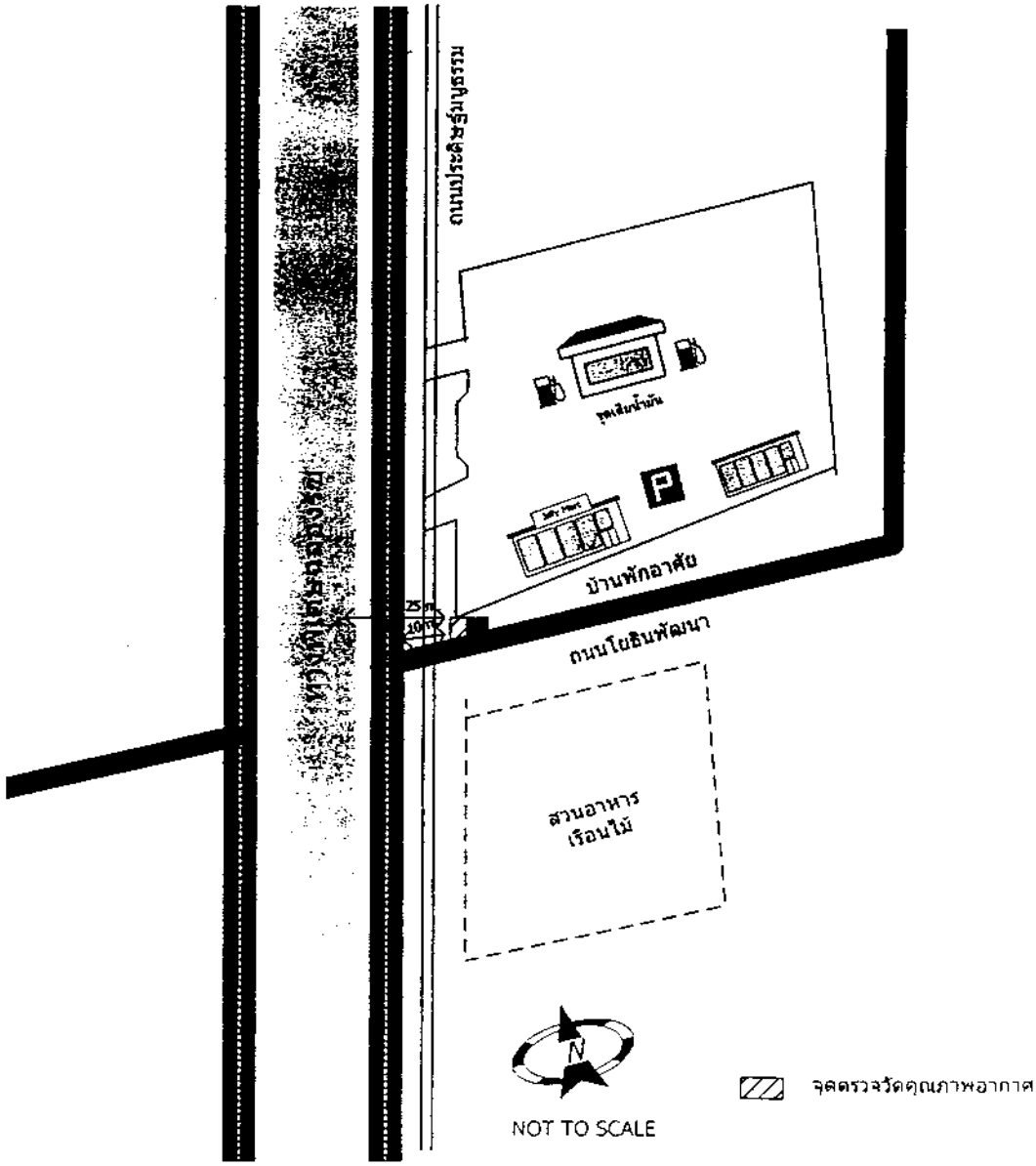
<u>สถานีตรวจวัดที่ 4 หมู่บ้านธารารมณ์</u>



จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ

NOT TO SCALE

สถานีตรวจวัดที่ 5 โรงเรียนสวนรัฐวิทยาคม



<u>สถานีตรวจวัดที่ 6 ถนนโยธินพัฒนา</u>

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของวิธีการตรวจวัดมลพิษ

รายละเอียดของวิธีการตรวจวัดมลพิษประเภทต่างๆ ในการศึกษาของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย คัดลอกมาจากในรายงานผลการศึกษาฉบับสมบูรณ์ (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2544) มีดังต่อไปนี้

TSP

การเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับวิเคราะห์หา TSP นั้นใช้วิธี High Volume Sampling Method ซึ่งเป็นวิธีที่รับรองโดย กรมควบคุมมลพิษ และ Environmental Protection Agency (US.EPA) ของสหรัฐอเมริกา โดยใช้เครื่องมือเก็บอากาศที่เรียกว่า High Volume Sampler (Hivol) ซึ่งเป็นVacuum Pump และมีแผ่นกรองใยแก้ว (Glass Microfiber Filter) ขนาด 8x10 นิ้ว ติดอยู่ ตัวอย่างอากาศจะถูกดูดผ่านแผ่นกรองดังกล่าวด้วยอัตราการไหลประมาณ 55-60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ฝุ่นละอองจะติดบนแผ่นกรองและนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric Method ในห้องปฏิบัติการต่อไป ในขั้นเตรียมแผ่นกรองที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศนั้น แผ่นกรองทุกแผ่นจะถูกตรวจตราเพื่อหาข้อบกพร่อง เช่น รูรั่ว รอยฉีกขาดหรือลักษณะผิดปกติอื่นๆ เสียก่อน จากนั้นจึงนำไปใส่ใน Dessicator ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อที่จะดูดความชื้นและควบคุมให้น้ำหนักคงที่แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ซึ่งมีความเที่ยงตรงถึงระดับ 0.0001 กรัม แล้วบันทึกน้ำหนักแผ่นกรองแต่ละแผ่นไว้ และเมื่อนำแผ่นกรองไปใช้เก็บตัวอย่างอากาศแล้วนำแผ่นกรองที่มีฝุ่นละอองใส่ใน Dessicator นาน 24 ชั่วโมงเช่นเดิม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของฝุ่นละอองทั้งหมด และโดยอาศัยข้อมูลปริมาณอากาศที่ผ่านแผ่นกรองตลอด 24 ชั่วโมง มาวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงออกมาในรูปมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3)

PM_{10}

การเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PM_{10} นั้นใช้วิธี Gravimetric Method ซึ่งเป็นวิธีที่รับรองโดย กรมควบคุมมลพิษ และ Environmental Protection Agency (US.EPA) ของสหรัฐอเมริกา โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างที่เรียกว่า PM_{10} Sampler (Size Selective) ซึ่งเป็น Vacuum Pump และมีแผ่นกรองใยแก้ว (Glass Microfiber Filter) ขนาด 8x10 นิ้ว ติดอยู่ ตัวอย่างอากาศจะถูกดูดผ่านแผ่นกรองดังกล่าวด้วยอัตราการไหลประมาณ 40 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกแยกออกไป และฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจะติดบนแผ่นกรองและนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Gravimetric Method ในห้องปฏิบัติการโดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการตรวจวัด TSP

CO

วิธีการตรวจวัดปริมาณ CO วัดด้วยระบบ Non-Dispersive Infrared Detection ซึ่งเป็นระบบเครื่องมือแบบอัตโนมัติ มีหลักการทำงานโดยอาศัยคุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่มีคุณสมบัติในการ

ดูดกลืนแสงอินฟราเรด โดยในเครื่องมือได้มีการออกแบบให้แสงที่ผ่านตัวแยกความถี่แสงที่ไม่ต้องการออกไป เหลือเพียงความถี่ที่จะดูดได้โดยก๊าซ CO ผลการตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงในรูปของหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3)

NO_2

วิธีการตรวจวัดโดยระบบ Chemiluminescence ซึ่งเป็นระบบเครื่องมือแบบอัตโนมัติโดยอาศัยหลักการที่ NO ทำปฏิกิริยากับ O_3 แล้วให้ NO_2+O_2 โดยที่ NO_2 ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Eletromically-exited State และกลับสู่ Ground State โดยทันทีพร้อมกับคายพลังงานแสง (photon) ออกมา ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณได้โดย photomultiplier tube (PMT) ผลการตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมงในรูปของหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3)

O_3

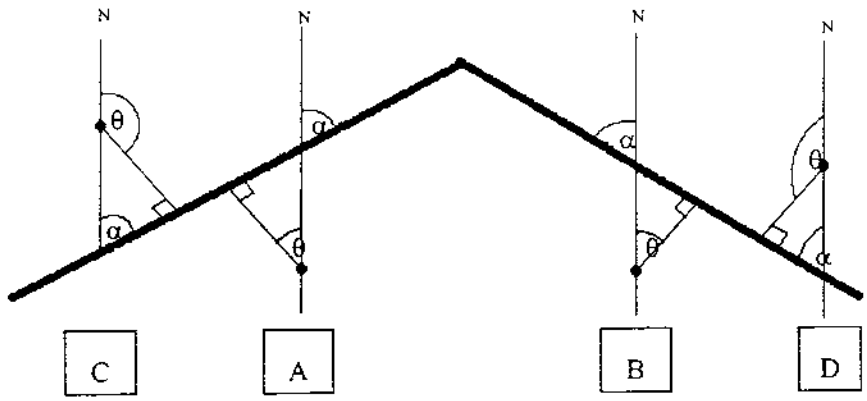
วิธีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์หา O_3 เป็นระบบเครื่องมืออัตโนมัติโดยอาศัยหลักการโดยให้โอโซน ทำปฏิกิริยากับเอททีลีน (C_2H_4) ทำให้เกิดฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) และออกซิเจน (O_2) ซึ่งในตอนแรกฟอร์มัลดีไฮด์ จะอยู่ในรูป excited state (HCHO) แล้วกลับสู่สภาพ non-excited state ซึ่งเป็นสภาพปกติโดยการคายพลังงานแสง (photon) ออกมา ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณ O_3 ที่ปรากฏอยู่ในอากาศตัวอย่าง พลังงานแสงที่จะถูกคายออกมาจะถูกวัดโดย photomultiplier tube กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ในรูปของ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3)

SO_2

วิธีการตรวจวัดโดยระบบ UV-Fluorescence ซึ่งเป็นระบบเครื่องมือแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการให้แสงอุลตร้าไวโอเลต (UV) ทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และวัดความเข้มของแสงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยานั้นด้วย photomultiplier กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ผลการตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมงในรูปของหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน

ภาคผนวก ค

การปรับแก้ข้อมูลทิศทางลม



การปรับแก้ค่าทิศทางลมเฉลี่ยรายชั่วโมงเพื่อให้ค่าทิศทางลมสะท้อนอิทธิพลของแหล่งกำเนิดคือทางพิเศษและถนนที่มีต่อสถานีตรวจวัด ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ กันเทียบกับทางพิเศษ มีวิธีการปรับแก้อยู่ 4 กรณี ขึ้นอยู่กับการวางตัวของทางพิเศษและตำแหน่งของสถานีตรวจวัด ดังรูปข้างต้น ซึ่งจากรูปสามารถแสดงการคำนวณเพื่อปรับแก้ทิศทางลมได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้ WD = ทิศทางลมจากการตรวจวัด

WD1 = ทิศทางลมจากการปรับแก้ครั้งที่ 1

WD2 = ทิศทางลมจากการปรับแก้ครั้งที่ 2

WD3 = ทิศทางลมจากการปรับแก้ครั้งที่ 3

กรณี A: $\theta = 180^\circ - \alpha - 90^\circ$

$WD1 = WD + \theta$

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

กรณี B: $\theta = 180^\circ - \alpha - 90^\circ$

$WD1 = WD - \theta$

ถ้า $WD1 < 0^\circ$, $WD2 = WD1 + 360^\circ$

กรณี C : $\theta = 90^\circ + \alpha$

$WD1 = WD - \theta$

ถ้า $WD1 < 0^\circ$, $WD2 = WD1 + 360^\circ$

กรณี D: $\theta = 90^\circ + \alpha$

$WD1 = WD + \theta$

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

และจากการปรับแก้ในทุกกรณี ถ้า $WD2 > 180^\circ$, $WD3 = 360^\circ - WD2$

ประวัติผู้วิจัย

ดร. สุดจิต ครุจิต จบการศึกษาระดับปริญญาตรีด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2535 ระดับปริญญาโทด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ปี พ.ศ. 2537 และระดับปริญญาเอกด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจากสถาบันเทคโนลียีแห่งอิลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ปี พ.ศ. 2544 โดยวิชาเอกที่เลือกศึกษาในระดับปริญญาเอกคือวิศวกรรมมลพิษอากาศ

หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาโท ดร. สุดจิต ได้เข้าทำงานกับบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา TEAM Consulting Engineer เป็นเวลาประมาณ 1 ปี โดยรับผิดชอบการเตรียมข้อเสนอโครงการด้านสิ่งแวดล้อม และเป็นผู้ประสานงานและวิศวกรสิ่งแวดล้อมในโครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติการและจัดลำดับความสำคัญการลงทุนเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม จังหวัดสิงห์บุรี ของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ในระหว่างศึกษาระดับปริญญาเอกได้ทำงานเป็นผู้ช่วยวิจัย โครงการ"The National Human Exposure Assessment Survey (NHEXAS) in Arizona" ของ U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการได้รับมลพิษหลายประเภทจากหลายตัวกลาง เป็นเวลาประมาณ 3 ปี

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2544 จนถึงปัจจุบัน ดร. สุดจิต เป็นอาจารย์ประจำของสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีหน้าที่รับผิดชอบงานสอนและงานวิจัยทั้งระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา โดยงานวิจัยส่วนใหญ่เน้นทางด้านมลพิษอากาศและการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน