

การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร



นางสาวธิดารัตน์ พงษ์คุณ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2541-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF AN AIR QUALITY MODEL FOR CALM WIND CONDITION IN BANGKOK



Miss Thidarat Pongkun

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2541-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในเขต
 กรุงเทพมหานคร
โดย นางสาวธิดารัตน์ พงษ์คุณ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. ภัทยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอี่ยมพร มัชฌิมวงศ์)

ธิดารัตน์ พงษ์คุณ : การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในเขต กรุงเทพมหานคร. (DEVELOPMENT OF AN AIR QUALITY MODEL FOR CALM WIND CONDITION IN BANGKOK) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ, 197 หน้า. ISBN 974-53-2541-4

การศึกษาการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษาสภาพการเกิดลมสงบในบริเวณพื้นที่ศึกษา การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ และการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบ โดยผลการศึกษาความเร็วลมเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2540 – 2546 พบว่าความถี่ของการเกิดลมสงบสูงถึงร้อยละ 42.86 สำหรับพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร (สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ) ที่มีความขรุขระของพื้นผิวสูง ส่วนพื้นที่ที่มีลักษณะโล่งกว้าง (สถานีอุดุมวิทย์วิทยานสงคอนเมือง) พบสภาวะลมสงบเพียงร้อยละ 7.08 โดยพบว่าลมสงบเกิดในเวลากลางคืนมากกว่าในเวลากลางวัน นอกจากนี้ในสภาวะลมสงบนั้นก่อให้เกิดปัญหามากกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมสูง เนื่องจากพบว่าเมื่อเกิดสภาวะลมสงบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าสูงกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมสูง สำหรับการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบพบว่า เมื่อเกิดสภาวะลมสงบอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศโดยรอบ จะมีการเคลื่อนที่แบบ Adiabatic cooling process ซึ่งพบว่าห้องที่มีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 3 เมตร (75 ลูกบาศก์เมตร) ใช้เวลา 50 นาที ในการที่ควันกระจายไปทั่วห้อง และมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันทั้งห้อง ซึ่งการกระจายตัวในลักษณะดังกล่าวสอดคล้องตามสมมติฐานของ Box model ส่วนการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของลมพบว่า สัดส่วนระหว่างความเร็วลมในแนวระนาบ (u, v) กับการเคลื่อนที่ของลมในแนวดิ่ง (w) ในสภาวะลมสงบ มีค่าเท่ากับ 1.105 และ 1.059 สำหรับในฤดูฝน และเท่ากับ 1.143 และ 1.147 ในฤดูแล้งฝน ส่วนที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 1.142 และ 1.119 สำหรับในฤดูฝน และเท่ากับ 1.172 และ 1.154 ในฤดูแล้งฝน โดยสัดส่วนระหว่างความเร็วลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวดิ่งแสดงให้เห็นว่าในสภาวะลมสงบการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งพบมากกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวที่เป็นคอนกรีตนั้นจะมีการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งสูงกว่าในบริเวณที่เป็นสนามหญ้า สำหรับการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับในสภาวะลมสงบพบว่า Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ให้ผลใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากกว่าในสภาวะคงที่และสภาวะไม่คงที่ และพบว่ามีความสัมพันธ์กับข้อมูลการตรวจวัดสูงเมื่อผู้รับอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิด

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา).....ลายมือชื่อนิติศ.....ธิดารัตน์ พงษ์คุณ
ปีการศึกษา 2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4689086420: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: CALM WIND CONDITION/ BOX MODEL/ WIND COMPONENT

THIDARAT PONGKUN: DEVELOPMENT OF AN AIR QUALITY MODEL FOR CALM WIND CONDITION IN BANGKOK. THESIS ADVISOR: SURAT BUALERT, Ph.D., 197 pp. ISBN 974-53-2541-4

The study of air quality model development for calm wind condition in Bangkok was divided to three parts, characteristics of calm wind condition in study area, characteristics of atmospheric dispersion of calm wind condition and development of an air quality model for calm wind condition. The results show that the calm wind condition was 42.86 percent in 1997 - 2003 for high surface roughness area (Bangkok Metropolis station). For Don Muang station, flat terrain area show calm wind condition only 7.08 percent in 1997 - 2003. The majority of calm wind condition was occurred at night, and this condition caused of the poor dispersion conditions. Because under calm wind condition, carbon monoxide concentration was higher than the concentration under strong wind condition. Atmospheric dispersion characteristic of calm wind condition show a good agreement to Adiabatic cooling process when air temperature was higher than the surroundings temperature. Furthermore, smoke was diffused and gave the homogeneous concentration at 50th minute for the room, size 5x5x3 m³ (75 m³). This dispersion's characteristic show a good agreement to the Box assumption. Wind component analysis show the proportion of horizontal air movement (u, v) and vertical air movement (w) of calm wind condition were 1.105 and 1.059 respectively for the rainy season and the dry season equal 1.143 and 1.147 respectively. For the ratio of horizontal and vertical air movement when wind speed higher than 0.5 ms⁻¹ in the rainy season were 1.142 and 1.119 respectively and 1.172 and 1.154 respectively for the dry season. The ratio under calm condition show that the vertical movement was dominated, especially over concrete surface. The development of calm wind model, the absolute steady state condition of Box assumption show a good performance than steady state and unsteady state of Box assumption. Furthermore, the model application gave a good correlation to the measurement when the receptor was nearby source.

Field of study Environmental Science (Inter-Department)..... Student's signature *Thidarat*
 Academic year 2005..... Advisor's signature *S. Bualert*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ในการให้คำปรึกษาและแนะนำทุกอย่างที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งส่งผลให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอื้อมพร มัชฌิมวงศ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงช่วยเหลือในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปในการเอื้อเฟื้อสถานที่ และวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงการให้คำแนะนำและความรู้ในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่หน่วยงานกรมควบคุมมลพิษ และกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการในด้านต่างๆ ตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณธรรชาติให้การช่วยเหลือในด้านการเขียนโปรแกรม รวมถึงเพื่อนๆ และรุ่นพี่ทุกคนที่ให้การช่วยเหลือในการทำการทดลอง และให้คำแนะนำในด้านต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

และขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ เรื่อยมาจนส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ชั้นเขตแดนของบรรยากาศ (Planetary Boundary Layer).....	5
2.3 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence).....	7
2.4 สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric Stability).....	8
2.5 ลม (wind).....	11
2.6 สภาวะลมสงบ (Calm wind condition).....	15
2.7 แบบจำลองคุณภาพอากาศ.....	20
2.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ GAMMA.....	28
2.9 Advection Diffusion Equation.....	31
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 ศึกษาสภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร.....	37
3.2 ศึกษาสภาพลมสงบในบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	38
3.3 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ.....	41
3.4 การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบ.....	45

บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	54
4.1 สภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร.....	54
4.2 สภาพลมสงบในบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	64
4.3 ลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ.....	76
4.4 การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบ.....	107
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	128
5.1 สภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร และปัญหาที่เกิดขึ้น ในสภาวะลมสงบ.....	128
5.2 ลักษณะการกระจายตัวของอากาศ และองค์ประกอบของลมในสภาวะลมสงบ.....	129
5.3 แบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบ.....	130
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	131
รายการอ้างอิง.....	132
ภาคผนวก.....	136
ภาคผนวก ก.....	137
ภาคผนวก ข.....	167
ภาคผนวก ค.....	190
ภาคผนวก ง.....	192
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	197

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	16
วิธีการมาตรฐานสำหรับประเมินความเร็วลมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา และการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ซึ่งวัดในช่วงมากกว่า 10 นาที.....	
2.2	24
การแบ่งชนิดการคงตัวของบรรยากาศตามแบบของ Passqill.....	
3.1	49
อัตราการระบายสารมลพิษที่ความเร็วต่างๆ จากยานพาหนะ.....	
4.1	56
ร้อยละการเกิดลมสงบบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ และสถานีอุตุนิยมวิทยาขนสงคอนเมือง ปี พ.ศ. 2540-2546.....	
4.2	59
ร้อยละการเกิดลมสงบจากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมควบคุม-มลพิษ ปี พ.ศ. 2546.....	
4.3	62
ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลม มากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2546.....	
4.4	65
ร้อยละการเกิดลมสงบจากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมราย 5 นาทีบริเวณพื้นที่ ศึกษา.....	
4.5	72
ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลม มากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	
4.6	77
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศ ในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1.....	
4.7	77
ข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลอง การกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1.....	
4.8	79
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศ ในสภาวะลมสงบครั้งที่ 2.....	
4.9	79
ข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลอง การกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 2.....	
4.10	81
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศ ในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3.....	
4.11	81
ข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลอง การกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3.....	
4.12	90
ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในฤดูฝน และแล้งฝน.....	

ตารางที่	หน้า
4.13 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการ ตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน และแล้งฝน.....	93
4.14 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝนและแล้งฝน.....	98
4.15 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน วิทยาลัย ฤดูฝนและแล้งฝน.....	101
4.16 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝนและแล้งฝน.....	104
4.17 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี.....	112
4.18 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์.....	115
4.19 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย.....	118
4.20 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ.....	121

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ (Air Pollution System).....	4
2.2	บริเวณของชั้นบรรยากาศแบ่งตามการไหลของอากาศ.....	6
2.3	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นที่ผิวชนิดต่างๆ.....	8
2.4	การลดลงของอุณหภูมิแบบ adiabatic lapse rate.....	9
2.5	การคงตัวของบรรยากาศที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral condition).....	10
2.6	การคงตัวของบรรยากาศที่มีสภาพไม่คงตัว (unstable condition).....	10
2.7	การคงตัวของบรรยากาศที่มีสภาพคงตัว (stable condition).....	11
2.8	ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในแนว 3 ทิศทาง.....	12
2.9	การเจือจางมลสารโดยความเร็วลม.....	13
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเข้มข้นมลสาร.....	14
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง.....	15
2.12	ลักษณะของ plume เมื่อมองจากด้านข้างจากแหล่งกำเนิดแบบ point source.....	21
2.13	การแพร่กระจายของ plume แบบ Gaussian.....	22
2.14	การกระจายแบบระฆังคว่ำหรือ Normal Distribution.....	22
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายแนวราบกับระยะทางตามลม จากแหล่งกำเนิด.....	24
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายแนวตั้งกับระยะทางตามลม จากแหล่งกำเนิด.....	25
2.17	รูปแบบของเมืองที่พิจารณาแบบ box model.....	26
3.1	สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ.....	37
3.2	สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมือง.....	38
3.3	สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์.....	39
3.4	สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย.....	40
3.5	สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ.....	40
3.6	อุปกรณ์วัดความเร็วลม Ultrasonic anemometer.....	41
3.7	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ micro log.....	42

ภาพที่	หน้า
3.8 อุปกรณ์วัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ MultiraeIR.....	42
3.9 การต่อ personal pump เข้ากับถุงเก็บอากาศ (air bag).....	43
3.10 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดลอง.....	43
3.11 การต่อถุงเก็บอากาศเข้ากับเครื่อง MultiraeIR.....	44
3.12 สถานีตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ (ถนนสาทร).....	46
3.13 สถานีตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย (ถนนสาทร).....	46
3.14 สถานีตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ (ถนนสุขุมวิท).....	47
3.15 อุปกรณ์ตรวจวัดคาร์บอนมอนนอกไซด์ CO Analyzer (M300E).....	47
3.16 การบันทึกภาพการจราจรเพื่อคำนวณค่าปริมาณการปลดปล่อยมลสาร.....	48
3.17 แผนผังการวิจัยการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในเขต กรุงเทพมหานคร.....	51
3.18 แผนผังการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ.....	52
3.19 แผนผังการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบใน GAMMA model.....	53
4.1 ร้อยละของข้อมูลที่ความเร็วลมต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมง ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2540-2546...55	55
4.2 ร้อยละของข้อมูลที่ความเร็วลมต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมง ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง ปี พ.ศ. 2540 - 2546.....55	55
4.3 ร้อยละการเกิดลมสงบในแต่ละเดือน จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมง ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2540 - 2546.....	57
4.4 ร้อยละการเกิดลมสงบในแต่ละเดือน จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมง ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง ปี พ.ศ. 2540 - 2546.....57	57
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วลมเฉลี่ย (mean wind speed; knot) เฉลี่ยทั้งปี ของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2540 - 2546.....58	58
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนนอกไซด์ รายชั่วโมงของสถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี ปี พ.ศ. 2546.....60	60
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนนอกไซด์ รายชั่วโมงของสถานีเคหะชุมชนดินแดง ปี พ.ศ. 2546.....60	60
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนนอกไซด์ รายชั่วโมงของสถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง ปี พ.ศ. 2546.....61	61

ภาพที่	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ รายชั่วโมงของสถานีสิงหราชพิทยาคม ปี พ.ศ. 2546.....	61
4.10 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ จากสถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี ปี พ.ศ. 2546.....	63
4.11 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ จากสถานีเคหะชุมชนดินแดง ปี พ.ศ. 2546.....	63
4.12 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ จากสถานีเคหะชุมชนห้วยขวาง ปี พ.ศ. 2546.....	64
4.13 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ จากสถานีสิงหราชพิทยาคม ปี พ.ศ. 2546.....	64
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อย CO และความเข้มข้นของ CO ใน บรรยากาศรายชั่วโมง บริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ วันที่ 8 – 13 กันยายน พ.ศ. 2547.....	66
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อย CO และความเข้มข้นของ CO ใน บรรยากาศรายชั่วโมง บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย วันที่ 15 – 20 กันยายน พ.ศ. 2547.....	67
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อย CO และความเข้มข้นของ CO ใน บรรยากาศรายชั่วโมง บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญญ์ วันที่ 22 – 27 กันยายน พ.ศ. 2547.....	67
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ครั้งที่ 1 วันที่ 8 – 13 กันยายน พ.ศ. 2547 (ฤดูฝน).....	68
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ครั้งที่ 2 วันที่ 18 – 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 (ฤดูแล้งฝน).....	69
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ครั้งที่ 1 วันที่ 15 – 20 กันยายน พ.ศ. 2547 (ฤดูฝน).....	69
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ครั้งที่ 2 วันที่ 25 – 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 (ฤดูแล้งฝน).....	70

ภาพที่	หน้า
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ครั้งที่ 1 วันที่ 22 – 27 กันยายน พ.ศ. 2547 (ฤดูฝน).....	70
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ครั้งที่ 2 วันที่ 11 – 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547(ฤดูแล้งฝน).....	71
4.23 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝน.....	73
4.24 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้งฝน.....	73
4.25 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูฝน.....	74
4.26 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้งฝน.....	74
4.27 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝน.....	75
4.28 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน.....	75
4.29 ตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดลอง.....	76
4.30 ผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1.....	78
4.31 ผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 2.....	80
4.32 ผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3.....	82
4.33 การเคลื่อนที่ของควันรูป ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่เวลาต่างกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง.....	83
4.34 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที.....	84
4.35 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที.....	84
4.36 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที.....	85

ภาพที่	หน้า
4.37 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที.....	85
4.38 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที.....	86
4.39 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที.....	86
4.40 ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน x, y และ z ในสภาวะลมสงบจากการทดลอง.....	88
4.41 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมในทิศทาง ทิศลบ และศูนย์ (ไม่มีการเคลื่อนที่) สำหรับสภาวะลมสงบจากการทดลอง.....	88
4.42 สัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง จากข้อมูล การทดลองในสภาวะลมสงบ.....	89
4.43 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในฤดูฝน.....	91
4.44 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในฤดูฝน.....	91
4.45 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในฤดูแล้งฝน.....	92
4.46 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในฤดูแล้งฝน.....	92
4.47 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณ พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน.....	94
4.48 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณ พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน.....	94

ภาพที่	หน้า
4.49 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณ พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูแล้งฝน.....	95
4.50 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณ พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูแล้งฝน.....	95
4.51 สัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง จากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูฝน.....	96
4.52 สัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง จากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูแล้งฝน.....	96
4.53 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝน....	99
4.54 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝน....	99
4.55 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้งฝน.....	100
4.56 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้งฝน.....	100
4.57 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน วิทยาลัย ฤดูฝน.....	102
4.58 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน วิทยาลัย ฤดูฝน.....	102
4.59 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน วิทยาลัย ฤดูแล้งฝน.....	103

ภาพที่	หน้า
4.60 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน วิทยาลัย ฤดูแล้งฝน.....	103
4.61 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝน.....	105
4.62 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝน.....	105
4.63 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน...	106
4.64 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน...	106
4.65 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์.....	110
4.66 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	111
4.67 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์.....	111
4.68 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	112
4.69 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์.....	113
4.70 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์.....	114

ภาพที่	หน้า
4.71 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนต์ลูอีสฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	114
4.72 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนต์ลูอีสฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	115
4.73 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณั.....	116
4.74 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณั.....	117
4.75 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	117
4.76 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	118
4.77 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณั.....	119
4.78 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณั.....	120
4.79 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	120
4.80 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่.....	121
4.81 รูปแบบของข้อมูลอุตุณิยมหาวิทยาลัยสำหรับ GAMMA-MET.....	123

ภาพที่	หน้า
4.82 รูปแบบของข้อมูลผลสารสำหรับ GAMMA-Calm.....	123
4.83 หน้าจอ GAMMA model.....	124
4.84 หน้าจอ GAMMA-MET.....	125
4.85 ข้อมูลคุณสมบัติมหาวิทยาลัยสำหรับ GAMMA-Calm.....	126
4.86 หน้าจอของ GAMMA-Calm.....	127
4.87 ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในสภาวะลมสงบ.....	127



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นเมืองที่มีการจราจรคับคั่งเมืองหนึ่ง มักก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ ขึ้นอย่างมาก โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จัดเป็นมลภาวะทางอากาศชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น หากได้รับในระดับที่สูงก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของหัวใจอย่างฉับพลัน (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ชีระ เกรอต, 2543) ดังนั้นจากปัญหามลภาวะอากาศที่มีความรุนแรงมากขึ้น ในปัจจุบันจึงได้มีการนำเอาแบบจำลองคุณภาพอากาศมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศเพื่อวางมาตรการในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลภาวะทางอากาศ แต่เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในปัจจุบันนั้นอาจมีข้อจำกัดในบางสถานการณ์ เช่น แบบจำลองที่ใช้สมการ Gaussian ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานในการคำนวณความเข้มข้นของมลสารที่นิยมใช้นั้น พบว่ามีความเหมาะสมสำหรับคำนวณค่าความเข้มข้นที่ความเร็วลมสูงกว่า 1 เมตรต่อวินาที แต่ไม่เหมาะสมสำหรับในกรณีที่ความเร็วลมต่ำหรือสภาวะที่เป็นลมสงบ เนื่องจากว่าในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำหรือสภาวะลมสงบนั้น plume มีรูปร่างไม่แน่นอนและไม่ได้มีการกระจายตัวเป็นลักษณะรูปโคน (cone-shaped plume) ซึ่งเป็นลักษณะของ Gaussian (Sharan, Yadav และ Singh, 1995) นอกจากนี้สูตรในการคำนวณของ Gaussian นั้นเป็นส่วนกลับของความเร็วลม ดังนั้นเมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำมากหรือเข้าใกล้ศูนย์จะทำให้เกิดปัญหาในการคำนวณ โดยค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง (overestimate) และ Gaussian model นั้นมองข้ามการกระจายตามแนวลม (downwind diffusion) ซึ่งพบในสภาวะลมสงบ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลมในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบ three cup anemometer ซึ่งมีข้อจำกัดในการวัดที่ 0.5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นในการคำนวณของแบบจำลองเมื่อเจอสภาวะลมสงบซึ่งเครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดได้ ทำให้ทิศทางและความเร็วลมที่ตรวจวัดได้ไม่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณ ดังนั้นแบบจำลองอาจใช้ค่าความเร็วลมของชั่วโมงที่แล้วมาคำนวณ (นภาพพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช, 2544) จึงทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ สำหรับในสภาวะลมสงบนี้จะเกิดการแปรปรวนของลม ทำให้การเคลื่อนที่ของลมไม่มีทิศทางและไม่มี ความแน่นอน ซึ่งทำให้มลสารกระจายตัวได้ไม่ดีและมีการสะสมของมลสาร ดังนั้นความเข้มข้นในสภาวะนี้จึงมีค่าสูง ก่อให้เกิดกรณีรุนแรง (worst case) และมีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูง โดยที่อันตราย

หรือความเสี่ยงจากสารที่ปลดปล่อยนั้น พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมลดลง (Deaves และ Lines, 1998) และโดยทั่วไปพบว่าสภาพความเร็วลมต่ำหรือลมสงบนั้นมักเกิดในเขตร้อน เวลากลางวัน และเกิดพร้อมกับสภาพอากาศที่มีความคงตัว (stable) (Sharan et al., 1995) ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ในปี พ.ศ. 2540 - 2546 พบว่าโดยเฉลี่ยในเขตกรุงเทพมหานครพบสภาพลมสงบถึงประมาณร้อยละ 40 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับสภาวะลมสงบหรือความเร็วลมต่ำนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ผลที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองคุณภาพอากาศมีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศในอนาคต เพื่อหาแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลภาวะอากาศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาสภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร
- 2) ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ
- 3) พัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศให้มีความเหมาะสมสำหรับสภาวะลมสงบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ข้อมูลการกระจายตัวของมลสารในอากาศจากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2546 จากสถานีตรวจวัดในกรุงเทพมหานคร โดยทำการศึกษาทั้งหมด 4 สถานี คือ

- (1) สถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี
- (2) สถานีเคหะชุมชนดินแดง
- (3) สถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง
- (4) สถานีสิงหราชพิทยาคม

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface meteorological data) จากการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลมรายชั่วโมง ปี พ.ศ. 2540 - 2546 โดยทำการศึกษา 2 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ และสถานีอุตุนิยมวิทยาخنสงคอนเมือง

3) ทดลองการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับสภาวะลมสงบในห้องปิด ที่มีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 3 เมตร โดยใช้รูปเป็นแหล่งกำเนิด ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง

4) ทำการเก็บตัวอย่างสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม และ อุณหภูมิ ราย 5 นาที ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ราย 5 นาที และปริมาณการจราจรใน เขตเมือง (Urban area) โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ จุดฝน (เดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2547) และ จุดแล้งฝน (เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2547) โดยแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลา 5 วัน

5) พัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในแบบจำลองคุณภาพอากาศ GAMMA

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แบบจำลองคุณภาพอากาศที่มีความเหมาะสมในการคำนวณความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ในสภาวะลมสงบในเขตเมือง



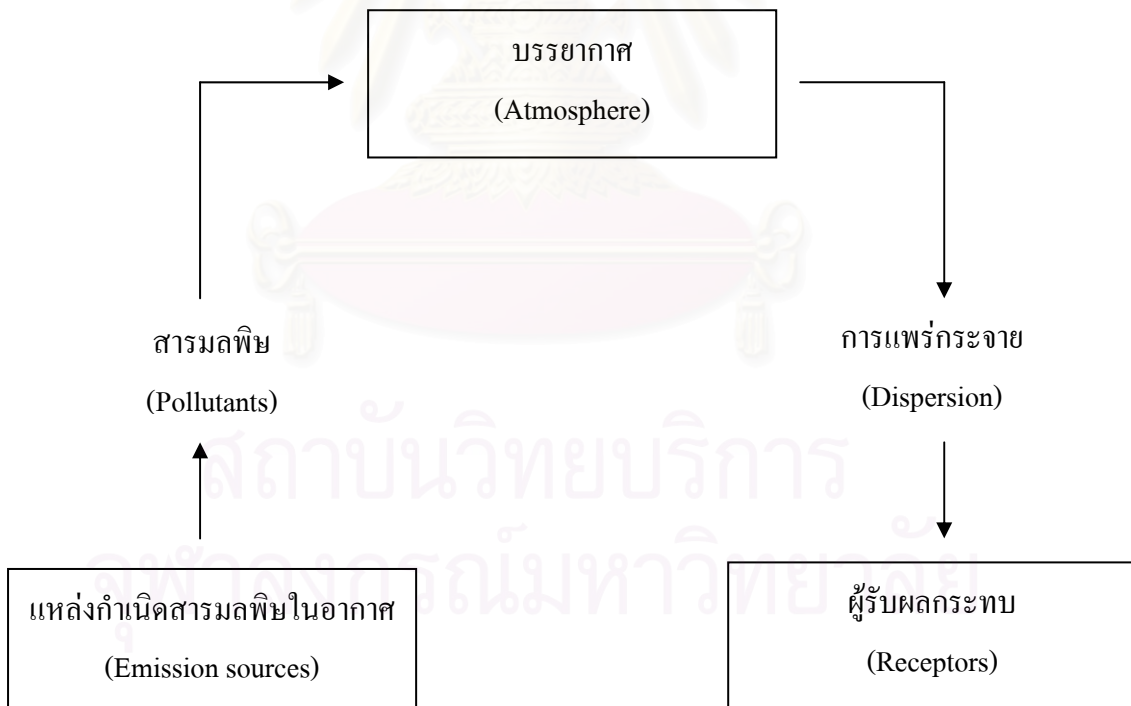
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื่องจากการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมและความเป็นเมืองอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้กระบวนการปลดปล่อยมลสารต่างๆ ส่งผลกระทบต่อบรรยากาศ ซึ่งพบว่าในปัจจุบันปัญหาภาวะทางอากาศเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อทั้งมนุษย์ สัตว์ และยังก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยองค์ประกอบหลักที่ก่อให้เกิดระบบภาวะมลพิษทางอากาศ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ (Emission sources) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere) และผู้รับผลกระทบ (Receptor) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ (Air Pollution System)

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547

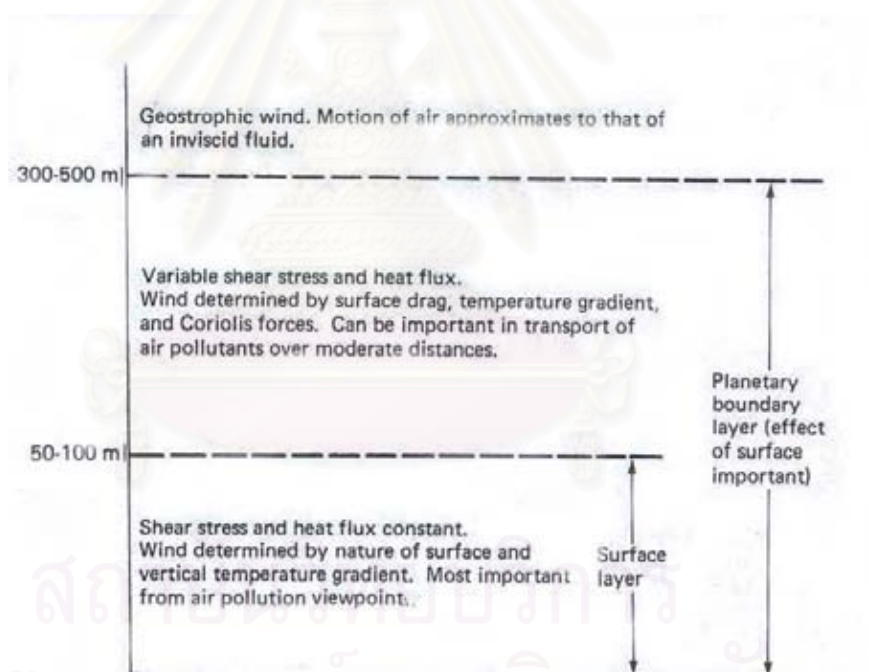
เมื่อมลสารถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นตัวก่อและระบายสารมลพิษทางอากาศออกสู่บรรยากาศภายนอก โดยอาจเป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ (1) แหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) (2) แหล่งกำเนิดที่ไม่ใช่จุด (non-point source) ได้แก่ area source, volume source และ line source (3) multiple source คือมีแหล่งกำเนิดหลายแบบรวมกัน อาจมีทั้ง point source และ non-point source รวมกัน (Rossano, 1969) และเมื่อสารมลพิษออกมาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ จะมีอากาศหรือบรรยากาศเป็นตัวกลางให้สารมลพิษที่ระบายออกสู่บรรยากาศมีการแพร่กระจายออกไป โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีและทางอุตุนิยมวิทยา โดยกระบวนการทางเคมี ได้แก่ เมื่อมลสารถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดอาจเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นชนิดอื่น ซึ่งอาจมีความรุนแรงมากขึ้นหรือน้อยลง เช่น ปฏิกิริยา photochemical เป็นต้น หรือบางครั้งอาจหายไปจากบรรยากาศโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้ไม่พบที่ผู้รับ (Nevers, 1995) ส่วนกระบวนการทางด้านอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น โดยลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ เนื่องจากลมเป็นตัวพัดพามลสารเมื่อออกมาจากแหล่งกำเนิด และเป็นตัวเจือจางมลสาร โดยความเข้มข้นของมลสารนั้นแปรผกผันกับความเร็วลมสำหรับแหล่งกำเนิดระดับพื้น ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อความสูงผสม (mixing height) ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่ามลสารมีการผสมกัน (mixed) ได้ดีหรือไม่ จากนั้นสารมลพิษต่างๆ จะแพร่กระจายไปสู่ผู้รับผลกระทบทำให้ได้รับความเสียหาย เช่น อาจทำลายสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ ทำให้พืชเสียหาย หรือทำลายคุณสมบัติอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อม

2.2 ชั้นเขตแดนของบรรยากาศ (Planetary Boundary Layer)

บรรยากาศสามารถแบ่งในแนวตั้งได้เป็น 2 ชั้น คือจากผิวพื้นขยายขึ้นไปถึงประมาณ 500 เมตร เรียกว่า Planetary Boundary Layer (PBL) และชั้นที่อยู่เหนือชั้นนี้ขึ้นไป เรียกว่า Geostrophic Layer ดังภาพที่ 2.2 โดยในการศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นเป็นการศึกษาในส่วนของชั้น PBL ซึ่งจากภาพเห็นได้ว่าในชั้นนี้ยังประกอบไปด้วยชั้นพื้นผิว (Surface layer) โดยอยู่สูงจากพื้นประมาณ 50 – 100 เมตร หรือร้อยละ 10 ของความสูงของ PBL (Schnelle และ Dey, 2000) โดยในชั้นนี้จะได้รับอิทธิพลมาจากพื้นผิว สิ่งกีดขวางต่างๆ และยังเป็นชั้นที่แรงเสียดทานจากพื้นผิวมีบทบาทสำคัญมาก นอกจากนี้ PBL ยังเป็นชั้นที่เกิดความปั่นป่วน (turbulence) อย่างต่อเนื่องในบริเวณที่ใกล้กับพื้นผิว โดยความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการกระจายตัวของบรรยากาศ และเกิดการผสมกันของมลสารที่ปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดภายในชั้นนี้ และจัดได้ว่ากระบวนการที่สำคัญต่างๆ ใน PBL นั้นเกิดจากความปั่นป่วนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในบางครั้งความหนาของชั้น

PBL อาจกำหนดจากความหนาของบริเวณที่เกิดความปั่นป่วนเหนือพื้นผิว จึงเรียกชั้นนี้ว่าความลึกผสมหรือความสูงผสม (mixing depth) (Venkatram และ Wyngaard, 1988)

มลสารเมื่อถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด จะมีการกระจายตัวอยู่ในชั้น PBL เท่านั้น โดยการกระจายที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วลมเฉลี่ย และลักษณะของความปั่นป่วนในบรรยากาศ ซึ่งความปั่นป่วนในชั้น PBL ทำหน้าที่ให้เกิดการกระจายของ plume ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด และเกิดการผสมกันของมลสาร ทำให้ความเข้มข้นของมลสารลดลง หากไม่มีความปั่นป่วนในบรรยากาศ หรือมีความปั่นป่วนน้อยมาก จะทำให้ความเข้มข้นของมลสารลดลงโดยอาศัยกระบวนการแพร่กระจาย (diffusion) เท่านั้น ซึ่งเกิดช้ามาก (Venkatram และ Wyngaard, 1988) โดยพบว่าเมื่อความปั่นป่วนเกิดขึ้นมาก มลสารสามารถกระจายตัวได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งพบในบรรยากาศแบบไม่คงตัว มักเกิดช่วงหน้าร้อนในเวลากลางวันที่อากาศแจ่มใส ส่วนในตอนกลางคืนที่สภาวะลมอ่อน ความปั่นป่วนจะเกิดขึ้นน้อยทำให้ความหนาของชั้นความปั่นป่วนต่ำประมาณ 20 – 30 เมตร (Schnelle และ Dey, 2000)



ภาพที่ 2.2 บริเวณของชั้นบรรยากาศแบ่งตามการไหลของอากาศ

ที่มา : Seinfeld, 1986

2.3 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence)

ความปั่นป่วน (Turbulence) หมายถึงธรรมชาติการไหลของของไหลซึ่งแสดงให้เห็นในรูปของความไม่แน่นอน ไม่สามารถทำนายได้ เป็นการเคลื่อนที่อย่างไม่ราบเรียบในบรรยากาศ (Arya, 1999) ซึ่งความปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดขึ้นเมื่อการไหลของอากาศมีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (eddy) หมายถึง ส่วนของอากาศที่เคลื่อนไหวแบบอิสระในลักษณะขึ้นลง (fluctuating) (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2543) โดยกระแสวนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวระนาบ และในแนวตั้ง ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการกระจายตัวและการเจือจางของมลสารในอากาศ โดยพบว่าเมื่อมีการปั่นป่วนของบรรยากาศลดลง ความเข้มข้นของมลสารที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดจะมีค่าสูงขึ้น แต่หากบรรยากาศมีความปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของมลสารจะมีค่าลดลง เนื่องจากการกระจายตัวมากขึ้น โดยลักษณะการปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดจากสาเหตุหลักๆ คือ ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence) และความปั่นป่วนทางกล (Mechanical Turbulence)

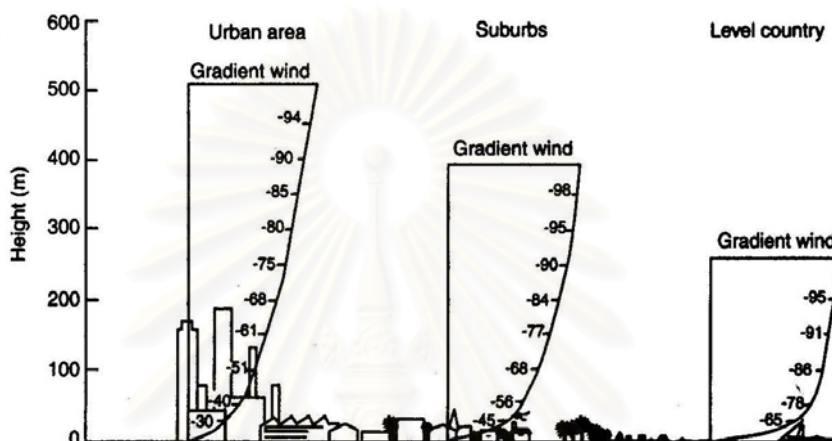
2.3.1 ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence)

ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน เกิดจากความร้อนของอากาศใกล้ผิวโลกเนื่องจากความร้อนจากพื้นผิว โดยในเวลากลางวันเมื่อแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับพื้นผิวที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากเมฆหรือภูเขาบดบังพระอาทิตย์ในบางพื้นที่ แต่ในบางพื้นที่ไม่ถูกบดบัง ตำแหน่งของมุมที่พระอาทิตย์ส่องแตกต่างกัน ทำให้ปริมาณแสงที่ได้รับไม่เท่ากัน หรือลักษณะของพื้นผิวต่างกันทำให้ความสามารถในการรับความร้อนต่างกันเนื่องจากความจุความร้อน (heat capacity) ของพื้นผิวแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นความร้อนจากแสงแดดที่แตกต่างกันของผิวโลก ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศและอุณหภูมิ จึงเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ (Bach, 1972) ซึ่งบริเวณเหนือพื้นผิวที่อุ่นกว่า ให้นำ (conduction) จะถ่ายโอนพลังงานจากพื้นไปที่โมเลกุลของอากาศที่อยู่ใกล้พื้น อากาศที่อุ่นเหนือพื้นจะลอยตัวขึ้นและเกิดการขยายตัว ส่วนอากาศเย็นที่อยู่ใกล้ก็จะถูกพัดเข้ามาแทนที่อากาศที่ลอยขึ้น (Jacobson, 1999)

2.3.2 ความปั่นป่วนทางกล (Mechanical Turbulence)

ความปั่นป่วนลักษณะนี้เกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศผ่านผิวโลกที่มีสิ่งกีดขวางซึ่งอาจเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติหรือเกิดจากมนุษย์ทำขึ้น เมื่อลมพัดเหนือวัตถุที่สูง

จากพื้นผิว เช่นสิ่งปลูกสร้างหรือพืชพรรณ ทำให้เกิดกระแสนของอากาศ ซึ่งความปั่นป่วนเป็นผลมาจากกระแสนที่มีขนาดต่างๆ กัน ทำให้เกิดการผสมของอากาศทั้งในแนวดิ่งและแนวระนาบ โดยความปั่นป่วนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม และความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness) (Godish, 2003) ซึ่งความเร็วลมที่ใกล้กับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากจะต่ำกว่าความเร็วลมเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่มีความขรุขระน้อย ดังภาพที่ 2.3

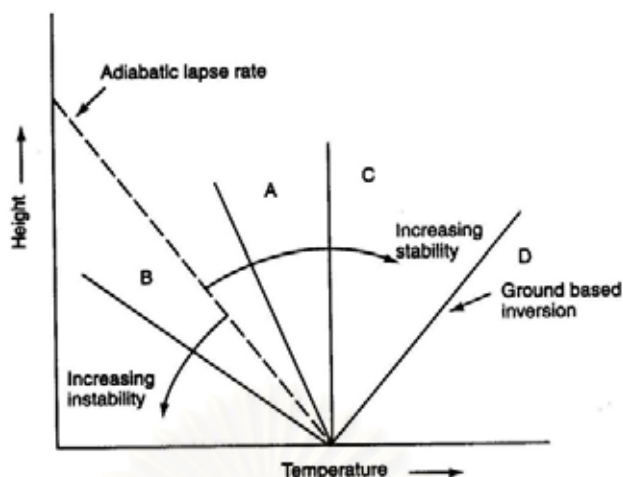


ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นที่ผิวชนิดต่างๆ

ที่มา : Godish, 2003

2.4 สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric Stability)

ลักษณะลมฟ้าอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเวลาต่อเวลา หรือวันต่อวันนั้นเป็นผลเนื่องมาจากสภาพการคงตัวของบรรยากาศที่เกิดขึ้นเหนือพื้นผิวนั้นๆ ดังนั้น สภาพการคงตัวของบรรยากาศ จึงเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายลักษณะหรือสภาพของบรรยากาศสำหรับการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระดับ (vertical direction) และแนวระนาบ (horizontal direction) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศอ้างอิงที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิเท่ากับ adiabatic lapse rate คือประมาณ 1 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร (Godish, 2003) ดังภาพที่ 2.4 โดยสภาพการคงตัวของบรรยากาศในธรรมชาติมีหลายแบบ อาจเกิดขึ้นเป็นลักษณะแบบเดี่ยวๆ หรือแบบผสมก็ได้ตามแต่สภาพของลักษณะอากาศในขณะนั้น (รังสรรค์ อากาศพิษกุล, 2547)



ภาพที่ 2.4 การลดลงของอุณหภูมิแบบ adiabatic lapse rate

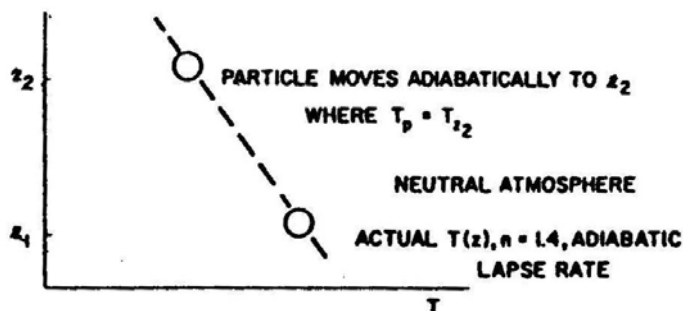
ที่มา : Godish, 2003

- หมายเหตุ :
- A หมายถึง subadiabatic คืออุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่น้อยกว่า adiabatic lapse rate
 - B หมายถึง superadiabatic คืออุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่มากกว่า adiabatic lapse rate
 - C หมายถึง isothermal lapse rate คืออุณหภูมิต่างที่เมื่อเทียบกับความสูง
 - D หมายถึง inversion คืออุณหภูมิของบรรยากาศเพิ่มขึ้นตามความสูง

การเคลื่อนไหวของอากาศอาจพิจารณาได้โดยสมมติว่ากลุ่มอากาศเป็นลูกทรงกลมเล็กๆ ซึ่งกลุ่มอากาศนั้นจะลอยขึ้นไปในบรรยากาศโดยผ่านเขตที่ความกดอากาศต่ำกว่า และในขณะที่ลอยตัวขึ้นอากาศจะมีการขยายตัว ซึ่งการขยายตัวนี้เป็นงานที่กระทำต่อสิ่งรอบตัว ดังนั้นอุณหภูมิจของกลุ่มอากาศนั้นจะลดลง (วงศัพนธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2543) จากการเคลื่อนไหวของอากาศสามารถแบ่งสภาพบรรยากาศออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1) สภาพอากาศที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral condition)

หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราประมาณ 1 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร กลุ่มอากาศเมื่อลอยขึ้นถึงตำแหน่งใหม่ (z_2) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่สิ่งรอบตัว และหยุดนิ่งอยู่ตรงจุดนั้น เพราะมีความกดอากาศและความหนาแน่นเท่ากับสิ่งรอบตัวทำให้ไม่มีแรงลอยตัว กลุ่มอากาศจะไม่พยายามกลับไปตำแหน่งเริ่มต้นของมัน หรือพยายามที่จะเคลื่อนที่ต่อไป ดังภาพที่ 2.5

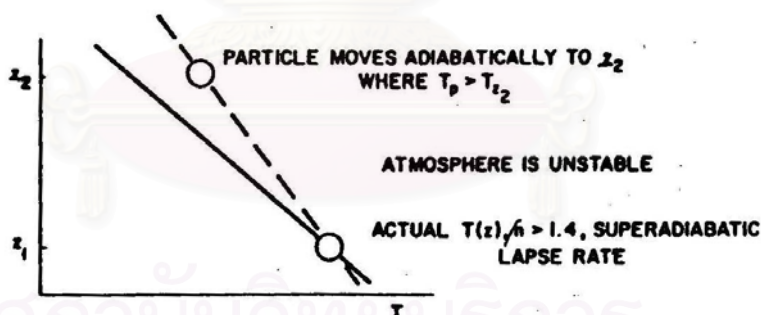


ภาพที่ 2.5 การคงตัวของบรรยากาศที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral condition)

ที่มา : Perkins, 1974

2) สภาพอากาศที่มีสภาพไม่คงตัว (unstable condition)

หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่มากกว่า 1 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร ในสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้มากกว่าในสภาพเป็นกลาง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของมวลอากาศ และบรรยากาศภายนอกมีสูงกว่า เมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงเดียวกันเมื่อมวลอากาศอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง การเคลื่อนไหวของกลุ่มอากาศคือเมื่อกลุ่มอากาศลอยขึ้นไปยังจุด z_2 อุณหภูมิสุดท้ายที่ z_2 จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศรอบๆ กลุ่มอากาศนั้นจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศรอบๆ ตัว ดังนั้นกลุ่มอากาศก็จะลอยขึ้นไปเรื่อยๆ ดังภาพที่ 2.6



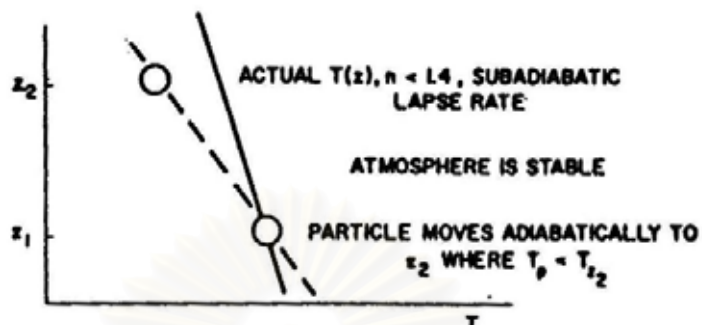
ภาพที่ 2.6 การคงตัวของบรรยากาศที่มีสภาพไม่คงตัว (unstable condition)

ที่มา : Perkins, 1974

3) สภาพอากาศที่มีสภาพคงตัว (stable condition)

หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่น้อยกว่า 1 องศา ต่อ 100 เมตร ในสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้ต่ำกว่าในสภาพเป็นกลาง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของมวลอากาศ และบรรยากาศภายนอกมีน้อยกว่า เมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงเดียวกันเมื่อมวลอากาศอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง เมื่อกลุ่มอากาศลอยตัวขึ้นไปถึง z_2 มันจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งรอบตัว แต่มีความกดอากาศเท่ากัน ดังนั้น กลุ่มอากาศนั้นจะหนักกว่าอากาศ

รอบๆ ตัว และพยายามที่จะตกกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งในสภาวะนี้มลสารจะกระจายอย่างช้าๆ และความแปรปรวนถูกบังคับไม่ให้เกิด

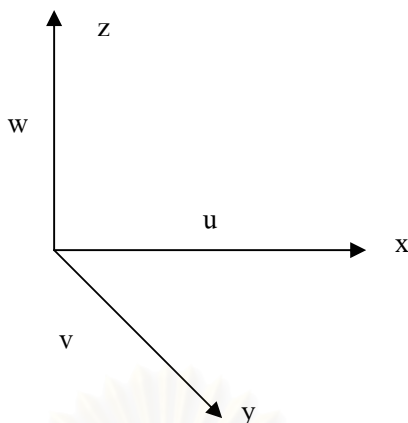


ภาพที่ 2.7 การคงตัวของบรรยากาศที่มีสภาพคงตัว (stable condition)

ที่มา : Perkins, 1974

2.5 ลม (wind)

ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาหลักๆ ที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสาร ได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม และความปั่นป่วนในบรรยากาศ ซึ่งลมเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ โดยลมเป็นตัวพัดพา และเจือจางมลสารเมื่อออกมาจากแหล่งกำเนิด ไม่ว่าจะแหล่งกำเนิดอยู่ที่พื้น หรือสูงจากพื้นก็ตาม มลสารจะถูกเจือจางด้วยลมที่พัดผ่านแหล่งกำเนิด นอกจากนี้ลมยังก่อให้เกิด Mechanical Turbulence มากขึ้น ซึ่งเพิ่มการผสมและการเจือจางของมลสารได้มากขึ้น โดยลมจะพัดในทุกทิศทาง ที่สำคัญคือมีการเคลื่อนที่ใน 3 ทิศทางได้แก่ แนวแกน x, y และ z ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งความเร็วลมตามแนวแกน x, y และ z ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ใช้สัญลักษณ์แทนความเร็วลมคือ u, v และ w ตามลำดับ (Ellis และ Middleton, 2002) เรียกว่าองค์ประกอบของลม (wind component) โดยที่ u เป็นความเร็วลมในทิศตะวันออก-ตะวันตก คือถ้า u เป็นบวกแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก แต่ถ้า u เป็นลบแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก สำหรับ v นั้นเป็นความเร็วลมในทิศเหนือ-ใต้ คือถ้า v เป็นบวกแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้ แต่ถ้า v เป็นลบแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ ส่วน w นั้น เป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง คือถ้าเป็นบวกแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นลบแสดงว่าอากาศมีการเคลื่อนที่ลง (Yim, Chou และ Huang, 2000)



ภาพที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในแนว 3 ทิศทาง
ที่มา : เกษม จันทรแก้ว, 2541

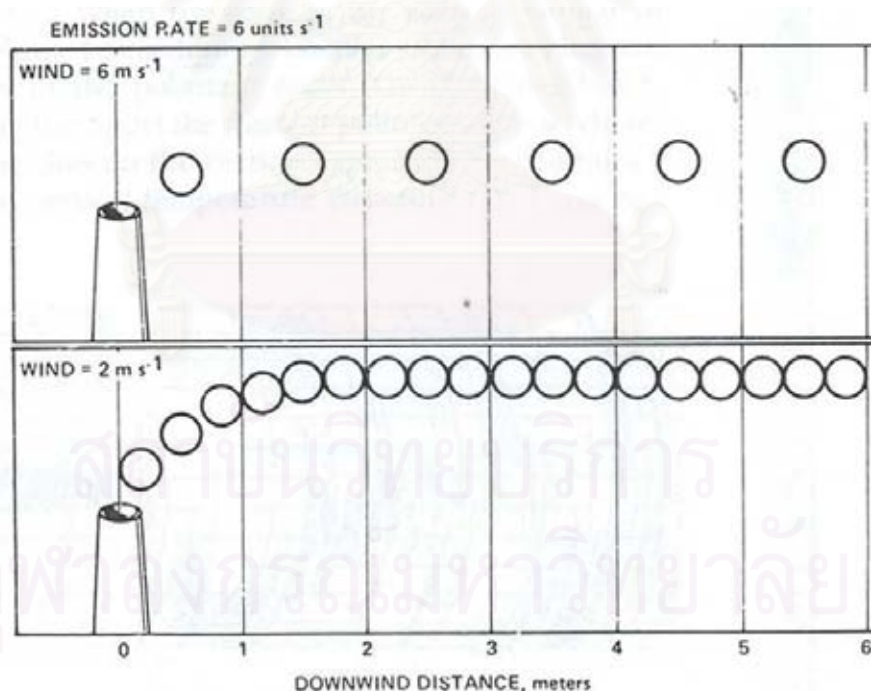
2.5.1 ทิศทางลม (wind direction)

เมื่อมลสารถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด ทิศทางลมจะมีอิทธิพลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของมลสาร และบริเวณที่มลสารกระจายออกไป ซึ่งทิศทางลมเป็นตัวกำหนดว่ามลสารถูกพัดไปทางไหน เนื่องจากลมมักไม่ได้พัดไปในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา และมักไม่คงที่ทั้งในช่วงเวลาสั้นๆ หรือเป็นเวลานาน ซึ่งค่าเฉลี่ยของทิศทางลมมีความสำคัญในการพิจารณาบริเวณที่สามารถได้รับมลสารจากแหล่งกำเนิด เนื่องจากเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของ plume หากลมถูกพัดไปยังผู้รับโดยตรงจะทำให้ความเข้มข้นของมลสารที่ผู้รับลดลงเหลือประมาณร้อยละ 10 ภายใต้สภาพอากาศที่ไม่คงตัว (unstable condition) ร้อยละ 50 ภายใต้สภาพอากาศที่เป็นกลาง (neutral condition) และร้อยละ 90 ภายใต้สภาพอากาศที่คงตัว (stable condition) (Boubel et al., 1994)

เนื่องจากในประเทศไทยนั้น ทิศทางลมมีความไม่แน่นอนสูง แม้แต่ในชั่วโมงหนึ่งๆ ลมก็อาจพัดไปได้หลายทิศทาง ทั้งนี้เพราะประเทศไทยเป็นเมืองร้อน มีแสงอาทิตย์ส่องมาก ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่พื้นดิน น้ำ และอากาศมีสูง (เพราะพื้นดินดูดซับความร้อนได้มากกว่าอากาศหรือน้ำ) ดังนั้น ลมจึงเกิดขึ้นจากการยกตัวของอากาศที่อยู่ใกล้พื้นดิน และการพัดเข้าไปแทนที่ของอากาศที่เย็นกว่า ซึ่งในการประเมินความเข้มข้นของมลสารโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า หากทิศทางลมนั้นมีความแปรปรวนมากๆ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้มากเช่นกัน

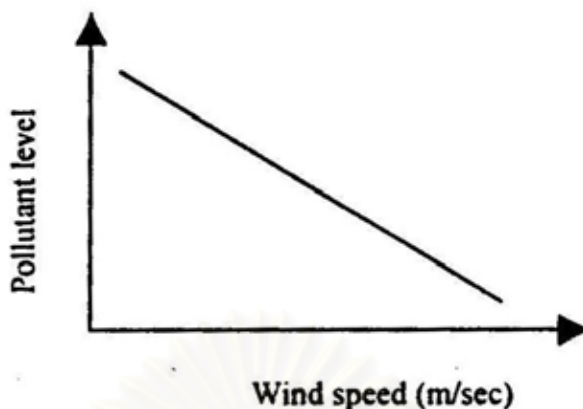
2.5.2 ความเร็วลม (wind speed)

ความเร็วลมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการประเมินการกระจายตัวของมลสารที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดเช่นเดียวกับทิศทางลม เนื่องจากมลสารจะถูกเจือจางโดยความเร็วลมที่พัดผ่านแหล่งกำเนิด และยังมีผลต่อเวลาและระยะทางในการเคลื่อนที่ของ plume จากแหล่งกำเนิดไปยังผู้รับ ซึ่งการเจือจางของมลสารเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับที่ plume เคลื่อนที่ โดยภาพที่ 2.9 แสดงผลของความเร็วลมในการเจือจางมลสารจากแหล่งกำเนิด สำหรับมลสารที่มีอัตราการปลดปล่อย 6 หน่วยต่อวินาที เห็นได้ชัดว่าที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที มลสาร 1 หน่วยจะอยู่ระหว่างช่องในแนวตั้งซึ่งขนานกับระยะนาบ 1 เมตร แต่เมื่อความเร็วลมลดลงเหลือ 2 เมตรต่อวินาที จะมิมลสารอยู่ 3 หน่วยระหว่างช่องในแนวตั้งซึ่งขนานกับระยะนาบ 1 เมตร ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าที่ความเร็วลมสูงความเข้มข้นของมลสารมีค่าต่ำ เนื่องจากการกระจายและการเจือจางเกิดขึ้น ส่วนที่ความเร็วลมต่ำจะมีการสะสมตัวของมลสารทำให้ความเข้มข้นของมลสารมีค่าสูง ซึ่งความเข้มข้นของมลสารนั้นแปรผกผันกับความเร็วลม (Harrop, 2002) ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 การเจือจางมลสาร โดยความเร็วลม

ที่มา : Boubel et al., 1994

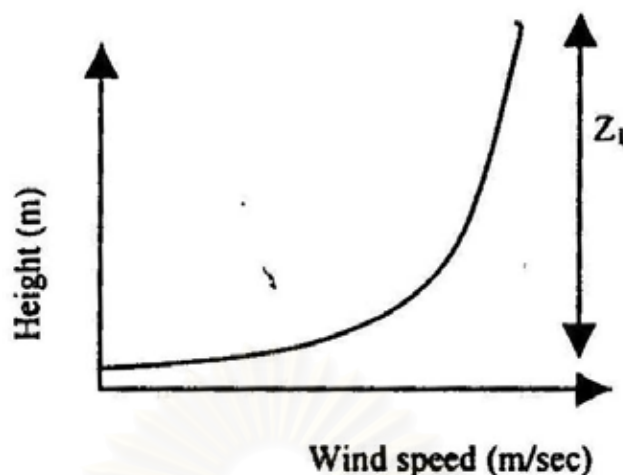


ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเข้มข้นมลสาร
ที่มา : Harrop, 2002

ความเร็วลมนั้นมีผลมาจากความกดอากาศในแนวนอน และความแตกต่างของ อุณหภูมิ (ความแตกต่างของความกดอากาศสูง ความเร็วลมมีค่าสูงตามไปด้วย) และโดยทั่วไป ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูงในบริเวณ 200 – 300 เมตร ของบรรยากาศจากพื้นผิวโลก เนื่องจากมีอิทธิพลของแรงเสียดทานที่พื้นทำให้ความเร็วลมใกล้พื้นลดลง ดังนั้นความเร็วลม ด้านบนจึงสูงกว่าด้านล่าง ดังภาพที่ 2.11 โดยแรงเสียดทานเป็นสัดส่วนกับความขรุขระของผิวโลก (surface roughness) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง surface roughness และความเร็วลมสำหรับเขตเมือง (urban) กึ่งเมือง (suburban) และชนบท (rural) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.3 ข้างต้น สำหรับการ เปลี่ยนแปลงความเร็วลมตามความสูงสามารถประมาณได้ด้วย Power law (สมการที่ 2.1) (Boubel et al., 1994)

$$u(z) = u(z_a) \left(\frac{z}{z_a}\right)^p \dots\dots\dots(2.1)$$

- $u(z)$ = ความเร็วลมที่ความสูง z
- $u(z_a)$ = ความเร็วลมที่ความสูงของจุดตรวจวัด (z_a)
- p = exponent (0.1 – 0.4) ขึ้นอยู่กับความคงตัวของบรรยากาศ



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง

ที่มา : Harrop, 2002

2.6 สถานะลมสงบ (Calm wind condition)

ลมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการพิจารณาการกระจายตัวของมลสาร โดยเฉพาะในสถานะที่ความเร็วลมต่ำหรือในสถานะลมสงบ มลสารมีการกระจายตัวได้ไม่ดี และก่อให้เกิดการสะสมตัวของมลสารได้มากกว่าในสถานะที่ความเร็วลมสูง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาหมอกภาวะทางอากาศ ดังนั้นในกรุงเทพมหานครซึ่งจัดเป็นเขตเมือง มักพบว่าเกิดสถานะลมสงบสูง จึงควรให้ความสำคัญต่อสถานะนี้เพื่อประเมินการกระจายตัวของมลสารได้อย่างถูกต้อง

2.6.1 นิยาม

สถานะลมสงบนั้นไม่มีนิยามที่แน่นอน มักแตกต่างกันแล้วแต่ผู้เขียน เช่น U.S.EPA. (2000) ได้นิยามว่า ลมสงบเป็นช่วงที่มีการเคลื่อนที่ของอากาศน้อย หรือเมื่อความเร็วลมต่ำกว่าค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (anemometer) หรืออุปกรณ์วัดทิศทางลม (wind vane) สามารถตรวจวัดได้ Smith (1992) ได้นิยามไว้ว่า ความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ หมายถึงความเร็วลมเฉลี่ย (mean wind speed) ซึ่งมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า root-mean-square turbulent horizontal velocity (σ_u) และนิยามที่ดีอีกอย่างหนึ่งที่ Smith ได้ให้ไว้คือ ความเร็วลมซึ่ง anemometer ไม่สามารถแสดงค่าได้ นอกจากนี้ Deaves และ Lines (1998) ได้นิยามว่าสถานะที่ลมไม่แรงพอที่จะทำให้ wind vane เปลี่ยนทิศทางได้ ซึ่งประมาณ 1 knot (0.515 เมตรต่อวินาที) ดัง

แสดงในตารางที่ 2.1 โดยความถูกต้องของการตรวจวัดความเร็วลมในสภาวะลมสงบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ตารางที่ 2.1 วิธีการมาตรฐานสำหรับประเมินความเร็วลมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา และการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ซึ่งวัดในช่วงมากกว่า 10 นาที

อุปกรณ์	การแสดงผลของอุปกรณ์ที่ระดับความเร็วลม			
	ลมสงบ (calm)	1 ms ⁻¹	1.5 ms ⁻¹	≥ 2 ms ⁻¹
anemometer	ไม่เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่	เคลื่อนที่เล็กน้อย	เคลื่อนที่
wind vane	ไม่เคลื่อนที่	เคลื่อนที่เล็กน้อย	เคลื่อนที่เล็กน้อย	เคลื่อนที่

ที่มา : ดัดแปลงจาก Smith, 1992

สำหรับประเทศไทยนั้น ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลมแบบ cup anemometer ซึ่งถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพดีในสภาวะที่ลมแรง ดังนั้นจึงไม่เป็นที่น่าเชื่อถือในสภาวะที่ลมอ่อนหรือความเร็วลมต่ำ โดยสถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานครทั้งกรมควบคุมมลพิษ และกรมอุตุนิยมวิทยา จะใช้ three cup anemometer เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดความเร็วลม ซึ่งมีข้อจำกัดในการวัดอยู่ที่ 0.5 เมตรต่อวินาที คือ ให้ค่าถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ที่ 0.5 เมตรต่อวินาทีหรือมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น ถ้าความเร็วลมมีค่าต่ำกว่านี้ อุปกรณ์จะไม่สามารถตรวจวัดได้

เนื่องจากสภาวะลมสงบนั้นไม่มีนิยามที่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งใช้ three cup anemometer เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดความเร็วลม ดังนั้นสภาวะลมสงบที่กล่าวถึงในที่นี้จึงนิยามว่า สภาวะลมสงบ หมายถึง สภาวะที่ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที เช่นเดียวกับ Deaves และ Lines ได้นิยามไว้

2.6.2 ลักษณะของสภาวะลมสงบ

2.6.2.1 สาเหตุของการเกิดลมสงบ

ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบ จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง (อุณหภูมิต่ำ) ไปยังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่า (อุณหภูมิสูง) โดยลมที่พัดจะมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามค่าความแตกต่างของความกดอากาศ (สุวพันธ์์ นิลานน, 2534) ซึ่งถ้าความแตกต่างของความกดอากาศมีค่าสูง ความเร็วในการเคลื่อนที่จะมากกว่าบริเวณที่มีความแตกต่างระหว่างความกดอากาศไม่มากนัก ดังนั้นหากความแตกต่างของความกดอากาศไม่มากจะทำให้

ความเร็วลมมีค่าต่ำหรือเกิดสภาวะลมสงบขึ้น โดยพบว่าลมสงบนั้นมักเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดอินเวอร์ชัน (สภาพที่อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นตามความสูง) ซึ่งในสภาพนี้บรรยากาศจะมีความคงตัว และมักพบในเวลากลางคืน เนื่องจากบริเวณพื้นผิวมีการคายความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันอย่างรวดเร็ว ทำให้อากาศที่สัมผัสพื้นเย็นกว่าอากาศที่อยู่ด้านบน ซึ่งในที่ที่มีลมแรงๆ อินเวอร์ชันนี้จะลดลง เนื่องจากความแปรปรวนทางกลที่เกิดขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อความสูงสม่ำเสมอขึ้น ดังนั้นลมสงบจึงสนับสนุนให้เกิดอินเวอร์ชันขึ้น (U.S.EPA., 2005)

2.6.2.2 การเคลื่อนที่ของมวลอากาศในสภาวะลมสงบ

การเคลื่อนที่ของมวลอากาศประกอบด้วย 2 กระบวนการที่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระดับหรือแนวดิ่ง (vertical movement) เรียกว่า การเคลื่อนที่ด้วยการพา (convection) ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระนาบหรือแนวนอน (horizontal movement) เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบ advection โดยการเคลื่อนที่แบบ convection จัดเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนในลักษณะที่โมเลกุลของตัวนำ (อากาศ) เคลื่อนที่ตามความร้อนด้วย โดยจะเป็นไปตามกระบวนการลดของอุณหภูมิแบบอเดียบาติก (adiabatic cooling process) คือเมื่อมวลอากาศมีอุณหภูมิสูงหรือมีความกดอากาศต่ำ จะเกิดการลอยตัวขึ้นไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า พร้อมทั้งขยายตัวออกเพื่อลดอุณหภูมิตัวเอง จนกระทั่งอุณหภูมิของมวลอากาศมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ มวลอากาศจะหยุดการเคลื่อนที่ นอกจากนั้นอากาศที่เย็นกว่า (ความกดอากาศสูง) ที่อยู่ด้านล่างก็จะไหลเข้ามาแทนที่ (สุรัตน์ บัวเลิศ, 2547) โดยในสภาวะลมสงบนั้น พบว่าการเคลื่อนที่ของมวลอากาศเป็นการเคลื่อนที่แบบ convection เป็นส่วนใหญ่ ส่วนการเคลื่อนที่แบบ advection จะเข้าใกล้ศูนย์คือเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งโดยปกติการลอยขึ้นของ plume จะถูกขัดขวางโดยลมในแนวนอน ทำให้ plume โค้งลง แต่การลอยขึ้นของ plume ในสภาวะลมสงบหรือมีลมอ่อนนั้น plume จะลอยขึ้นตรงๆ แล้วค่อยๆ กระจายออก แต่ไม่โค้งไปตามลม (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2543)

ในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำ หรือสภาวะลมสงบนั้นพบว่าเกิดขึ้นบ่อยครั้งในเกือบทุกส่วนของโลก โดยเฉพาะในบริเวณเขตร้อนชื้น ซึ่งมักเกิดพร้อมกับสภาวะที่เป็นอินเวอร์ชัน (อุณหภูมิแปรผันตามความสูง) โดยพบประมาณร้อยละ 30 – 40 ของเวลาทั้งหมด (Sharan, Singh และ Yadav, 1996) และพบว่าความถี่ในการเกิดลมสงบนั้น พบบริเวณเขตร้อนในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ (Sharan et al., 1995) ในสภาวะที่ท้องฟ้าโปร่ง สภาพอากาศเป็นแบบคงตัว (stable) บางครั้งอาจพบในตอนรุ่งเช้า ส่วนกรณีของลมสงบที่เกิดในเวลากลางวันนั้นจะเกิดขึ้นบริเวณใจกลางของพื้นที่กว้าง ซึ่งมีความความกดอากาศสูงในช่วงฤดูหนาวหรือฤดูร้อน (Smith, 1992) โดย Agarwal et al. (1995) กล่าวว่าที่ความเร็วลมต่ำนั้นจะเกิด free convection ในเวลากลางวัน คือ การพาความร้อนอิสระ เป็นการพาความร้อนที่โมเลกุลของตัวกลางเคลื่อนที่ไปเพราะมีความหนาแน่น

ต่างกัน (รังสรรค์ อาภาศัพท์กุล, 2547) ส่วนในเวลากลางคืนจะเกิดสภาวะคงตัวสูง นอกจากนี้ในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำมากๆ หรือสภาวะลมสงบนั้น มีความแปรปรวนของทิศทางลมสูง ดังนั้นการเคลื่อนที่ของลมจึงไม่สามารถกำหนดทิศทางที่แน่นอนได้ (Deaves และ Lines, 1998) ทำให้การจำลองสถานการณ์การกระจายตัวของมลสารในสภาวะนี้เป็นเรื่องยาก เพราะเป็นปัญหาในการกำหนดทิศทางลมที่ถูกต้อง นอกจากนี้ในสภาวะนี้ยังเกิดการแกว่งไปมาของบรรยากาศในแนวนอนอย่างมาก ซึ่งเรียกว่า meandering คือคุณสมบัติของการเคลื่อนที่ของบรรยากาศโดยธรรมชาติในสภาวะความเร็วลมต่ำ ซึ่งทำให้ plume มีการขยายออกกว้าง และช่วงในการแกว่งไปมานี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น (Oettl et al., 2005)

2.6.3 ลักษณะปัญหาในสภาวะลมสงบ

เนื่องจากลมเป็นตัวทำให้มลสารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดมีการกระจายตัวในบรรยากาศ และเป็นตัวเจือจางมลสาร ดังนั้นความเร็วลมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่สุดในการพิจารณาการกระจายของสารพิษ หรือมลสารต่างๆ ในบรรยากาศ โดยในสภาวะลมสงบนั้นพบว่ามลสารที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดนั้นไม่ถูกพัดพาไปโดยลม เนื่องจากลมไม่แรงพอที่จะพัดมลสารให้กระจายไป แต่เกิดการสะสมอยู่บริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิด และมีการเจือจางน้อยมาก ซึ่งพบว่าช่วงของการเกิดอันตราย (ระยะทางที่มีผลโดยมลสารที่ปลดปล่อย) และความเสียหายจากสารที่ปลดปล่อยนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมลดลง (Deaves และ Lines, 1998) ดังนั้นในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำ หรือสภาวะลมสงบและบรรยากาศมีความคงตัว (stable) มักก่อให้เกิดสถานการณ์ที่มีความรุนแรง (worst case) หรือกรณีการกระจายตัวรุนแรง สำหรับการกระจายตัวของมลสารทั้งที่อยู่ใกล้และอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดมลสาร (Cirillo และ Poli, 1992) และยังมีผลให้ความเข้มข้นของมลสารที่ระดับพื้นมีค่าสูงที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อแหล่งกำเนิดสิ่งแวดล้อม และต่อประชาชนในบริเวณใกล้เคียง แม้บางครั้งพบว่าความถี่ในการเกิดลมสงบต่ำ แต่การกระจายตัวในสภาวะนี้อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงสูง (Lines, Daycock และ Deaves, 2001) นอกจากนี้ Deaves และ Lines (1998) ยังกล่าวว่าที่ความเร็วลมน้อยกว่า 1 knot บริเวณที่มีความเสี่ยงสูงจะอยู่ตรงกลางของจุดที่ปลดปล่อยมลสาร และขยายออกไป 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจากลักษณะของลมสงบซึ่งมีความแปรปรวนของทิศทางลมสูง ดังนั้นจึงส่งผลให้การกระจายตัวของมลสารในสภาวะนี้มีความไม่แน่นอนด้วย ทำให้ centerline ของ plume เป็นแบบ multi peaked เพราะการกระจายอย่างไร้จุดหมายของ plume และนำไปสู่การกระจายตัวในแนวนอนที่เพิ่มขึ้น (Sharan et al., 1995)

เนื่องจากสภาวะลมสงบเป็นสภาวะที่ก่อให้เกิดสถานการณ์รุนแรง ดังนั้นจึงเป็นสภาวะหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกแบบจำลองสำหรับทำนายความเข้มข้นของ

มลสาร ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่ใช้ในการประเมินการกระจายตัวของมลสารนั้น มีความเหมาะสมน้อยที่สุดในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ และสภาพบรรยากาศแบบคงตัว และในสภาวะนี้มักถูกมองข้ามเนื่องจากแบบจำลองคุณภาพอากาศส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้ได้ ในสภาวะนี้ เพราะโดยทั่วไปสัมประสิทธิ์การกระจายที่ใช้ในแบบจำลองได้มาโดยการทดลอง และสังเกตจากการเก็บข้อมูลก๊าซติดตาม (tracer gas) ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช่ความเร็วลมต่ำ และสภาพบรรยากาศแบบคงตัว (Sharan et al., 1995) ซึ่งในสภาวะนี้เป็นสภาวะที่ยากในการจำลองสถานการณ์การกระจายตัวของอากาศ รวมถึงยังมีข้อจำกัดของอุปกรณ์ตรวจวัด ดังนั้นจึงทำให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาวะนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้น้อยมาก สำหรับแบบจำลองคุณภาพอากาศที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันคือ Gaussian model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้งานง่าย แต่พบว่าไม่เหมาะสมสำหรับสภาวะที่ความเร็วลมต่ำกว่า 1 เมตรต่อวินาที (Lines, Deaves และ Atkins, 1997) เนื่องจากในสภาวะที่ลมแรงถึงปานกลาง มลสารที่ถูกปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องจะมีลักษณะเป็นรูปโคนในทิศทางตามลมจากแหล่งกำเนิด ทำให้ลักษณะของ plume เป็นแบบ Gaussian แต่สำหรับในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำหรือสภาวะที่ลมสงบนั้น plume จะมีรูปร่างและการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน และไม่ได้มีการกระจายตัวเป็นลักษณะรูปโคน (cone-shaped plume) ในแนวแกน x นอกจากนี้การกระจายของ plume ในแนวแกน x ไม่ได้มีการกระจายแบบระฆังคว่ำ (normal distribution) ซึ่งเป็นลักษณะของ Gaussian (Sharan et al., 1995) แต่จะมีการเคลื่อนที่ลอยตัวสูงขึ้น และมีการกระจายตัวในแนวตั้ง (vertical) เด่นชัดกว่าการกระจายตัวในทิศทางเดียวกับลม (แกน x) โดยสมการของ Gaussian นั้นมองข้ามการกระจายในลักษณะนี้ทำให้เป็นปัญหาสำหรับสภาวะลมสงบ ซึ่งทำให้ค่าความเข้มข้นของมลสารที่คำนวณได้จากแบบจำลอง Gaussian นั้นมีค่ามากกว่าความเป็นจริง (overestimate) นอกจากนี้สูตรที่ใช้ในการคำนวณความเข้มข้นเป็นส่วนกลับของความเร็วลม ดังนั้นที่ความเร็วลมต่ำมากๆ หรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์จะมีผลทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริงมาก และในสภาวะนี้เป็นสภาวะที่มีความแปรปรวนของทิศทางลมสูง ไม่สามารถกำหนดทิศทางลมที่แน่นอนได้ ดังนั้นแบบจำลองอาจใช้ค่าความเร็วลมของชั่วโมงที่แล้วมาคำนวณ (นพภาพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช, 2544) จึงทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ

Gaussian plume model ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เช่น R-91 model พบว่าสามารถคำนวณได้ที่ความเร็วลมต่ำสุด 1 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น และ UK-ADMS model สามารถคำนวณได้ในช่วงความเร็วลมตั้งแต่ 1 เมตรต่อวินาทีถึง 50 เมตรต่อวินาที และเชื่อถือได้น้อยมากที่ความเร็วลมน้อยกว่า 2 เมตรต่อวินาที (Lines et al., 1997)

สำหรับกรุงเทพมหานคร Bualert (2001) พบว่า ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีค่าสูงที่พบในเขตกรุงเทพมหานคร เป็นสาเหตุมาจากสภาพอุตุนิยมวิทยา คือสภาวะลมสงบ (calm) ซึ่งเป็นปัญหาหลักของกรุงเทพมหานคร และสภาพบรรยากาศแบบคงตัว (stable) โดย

แบบจำลอง GAMMA-MET แสดงให้เห็นว่า สภาวะอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เป็นแบบ stable โดยร้อยละ 5 ของสภาพอากาศเป็น class E (stable) และร้อยละ 47 เป็น class F (very stable) โดยร้อยละ 47 ของเวลาทั้งหมดในกรุงเทพมหานครเป็นสภาวะลมสงบ (ความเร็วลมน้อยกว่า 1 knot) ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก นอกจากนี้ กิตติพร บุญฤทธิ์ (2534) ยังพบว่าเมื่อเกิดลมสงบในปริมาณที่สูงขึ้น (ร้อยละของการเกิดลมสงบมีค่ามาก) ปริมาณของตะกั่วในบรรยากาศจะมีค่าสูงด้วย ซึ่งการเกิดลมสงบ และปริมาณตะกั่วที่มาจากรถยนต์มีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วในบรรยากาศในระดับปานกลาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการเกิดลมสงบ – ปริมาณตะกั่วจากรถยนต์ - ปริมาณตะกั่วในบรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 0.6583 และ 0.5782

2.7 แบบจำลองคุณภาพอากาศ

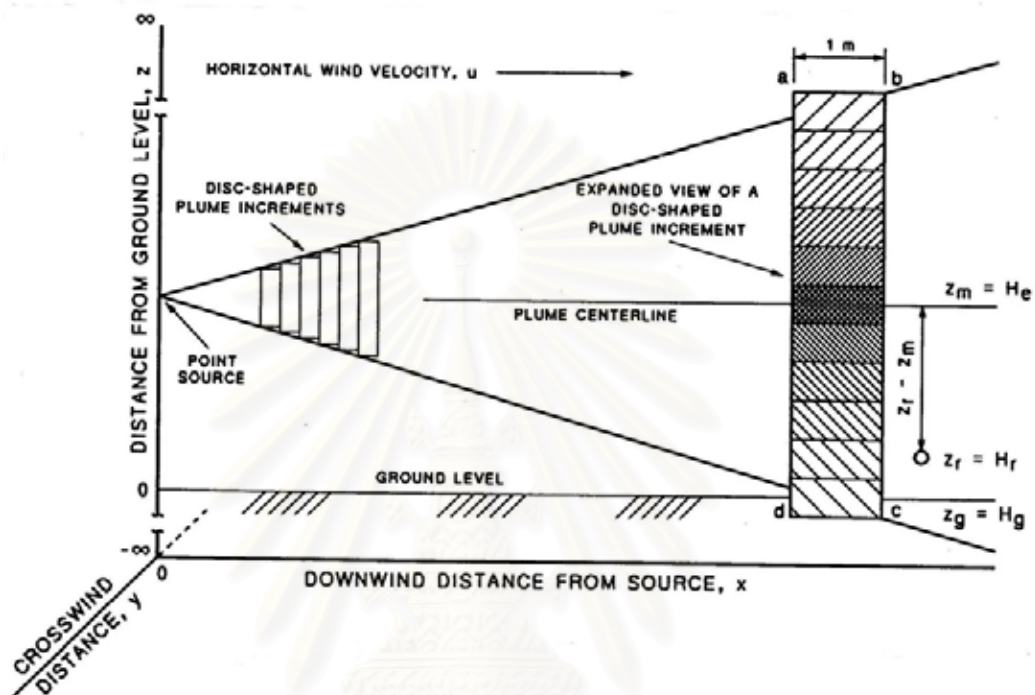
การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศในบรรยากาศนั้น เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศต่อผู้รับมลพิษ โดยการศึกษาผลกระทบที่ดีที่สุดนั้น ได้แก่ การตรวจวัดมลพิษทางอากาศโดยตรงด้วยเครื่องมือทางฟิสิกส์ หรือทางเคมี (นภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช, 2544) แต่เนื่องจากการตรวจวัดโดยตรงทำได้จำกัด และสามารถบอกความเข้มข้น ณ ตำแหน่งที่ตรวจวัดเท่านั้น ไม่สามารถบอกความเข้มข้นของจุดอื่นที่ไม่ได้ทำการตรวจวัดได้ และไม่สามารถทำนายความเข้มข้นของมลสารในอนาคตได้ ดังนั้นแบบจำลองจึงช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของมลภาวะทางอากาศในสิ่งแวดล้อม และประเมินการได้รับมลสารในตำแหน่งซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้

2.7.1 Gaussian Model

2.7.1.1 ลักษณะการกระจายตัวแบบ Gaussian

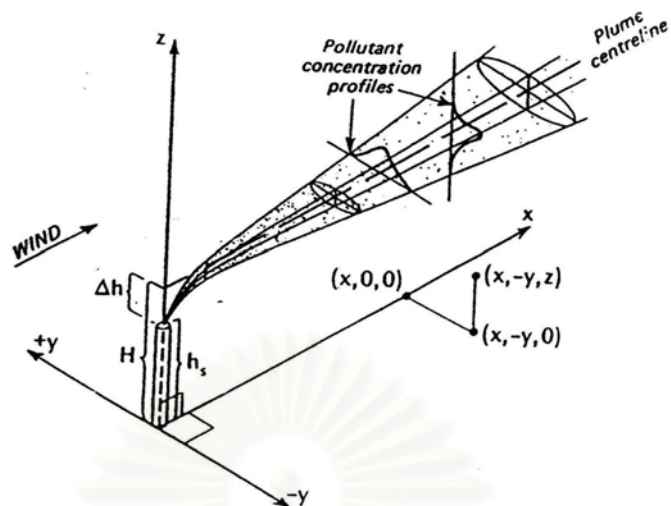
Gaussian model เป็นแบบจำลองชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งแนวคิดของ Gaussian model คือเมื่อสารมลพิษถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแบบ point source อย่างต่อเนื่องสู่บรรยากาศภายนอก สามารถมองเห็นในรูปของควัน โดยควันนั้นจะยกตัวลอยขึ้นสูง แล้วจึงเบี่ยงเบนไปตามอิทธิพลของลมที่พัดพาไป ลมนั้นช่วยให้กลุ่มควันเจือจางออกไป กลุ่มควันดังกล่าวมีการขยายตัว เจือจางออกไปจากแนวเส้นกึ่งกลางของกลุ่มควัน ทั้งในแนวระนาบ (ทิศขวางลม) และแนวตั้ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปกรวยเมื่อมองจากด้านข้าง (ภาพที่ 2.12) โดยการแพร่กระจายของควันในแนวระนาบและแนวตั้ง ถูกสมมติว่าเกิดขึ้นโดยการแพร่กระจายซึ่งตั้งฉากกับทิศทางลม (Harrop, 2002) (ภาพที่ 2.13) ความเข้มข้นของมลสารเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งตามลมจากแหล่งกำเนิด ทางด้านขวางลมจะเกิดกระบวนการกระจายตัว ส่วนทางด้านตามลมนั้น ผล

ของการพา (convection) มีอิทธิพลมากกว่าการกระจาย (diffusion) (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2543) ซึ่งการกระจายในทิศตามลมจะถูกละเอียด และถือว่าการกระจายในแนวตั้งและในแนวขวางลมเกิดขึ้นเท่านั้น (Beychok, 1994)



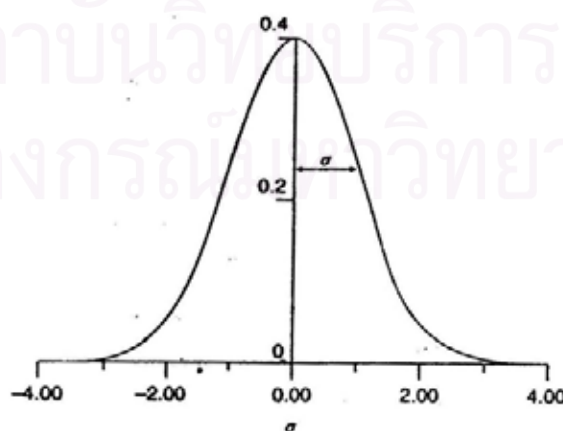
ภาพที่ 2.12 ลักษณะของ plume เมื่อมองจากด้านข้างจากแหล่งกำเนิดแบบ point source
ที่มา : Beychok, 1994

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.13 การแพร่กระจายของ plume แบบ Gaussian
ที่มา : Colls, 2002

จากภาพที่ 2.13 เห็นได้ว่ารูปแบบในการกระจายของควันแบบ Gaussian นั้นมีรูปร่างเป็นแบบระฆังคว่ำ หรือทางสถิติเรียกว่า Normal Distribution ดังภาพที่ 2.14 คือความเข้มข้นตรงกลางของกลุ่มควันมีค่าสูงที่สุด และเจือจางลงตรงด้านข้าง ซึ่งความเข้มข้นของมลสารที่มีค่าสูงที่สุดตรงกลางเรียกว่า centerline โดยความเข้มข้นของมลสารบริเวณ centerline จะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิด และความเข้มข้นของมลสารทั้งด้านบนและด้านล่างของ centerline จะลดลงอย่างสมมาตร (Beychok, 1994) โดยการกระจายลักษณะนี้เกิดขึ้นในแนวระนาบ (ทิศทางลม) และแนวตั้งเท่านั้น



ภาพที่ 2.14 การกระจายแบบระฆังคว่ำหรือ Normal Distribution
ที่มา : Colls, 2002

2.7.1.2 Gaussian plume equation

สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของมลสารจากการกระจายของ plume ในลักษณะ Gaussian จากแหล่งกำเนิดแบบ point source เป็นดังสมการที่ 2.2 (Colls, 2002)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \frac{-y^2}{2\sigma_y^2} \left\{ \exp \frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} + \exp \frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \dots\dots\dots(2.2)$$

- โดยที่ C = ความเข้มข้นของมลสาร (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ที่ตำแหน่ง (x,y,z)
 x เมตรจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับในทิศเดียวกับลม (เมตร)
 y เมตรในทิศขวางลมจาก centerline (เมตร)
 z เมตรเหนือพื้น (เมตร)
- Q = อัตราการปลดปล่อยมลสาร (กรัมต่อวินาที)
 u = ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)
 H = ความสูงของแหล่งกำเนิด (เมตร)
 σ_y = สัมประสิทธิ์ของการกระจายในแนวแกน y (เมตร)
 σ_z = สัมประสิทธิ์ของการกระจายในแนวแกน z (เมตร)

2.7.1.3 สัมประสิทธิ์การกระจาย (Diffusion Coefficients)

σ_y และ σ_z เป็นฟังก์ชันของสภาพบรรยากาศ ดังตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งชนิดการคงตัวของบรรยากาศตามสภาพบรรยากาศ ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การกระจาย σ_y และ σ_z กับระยะทางตามลม และสภาพการคงตัวของบรรยากาศสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.15 และ 2.16

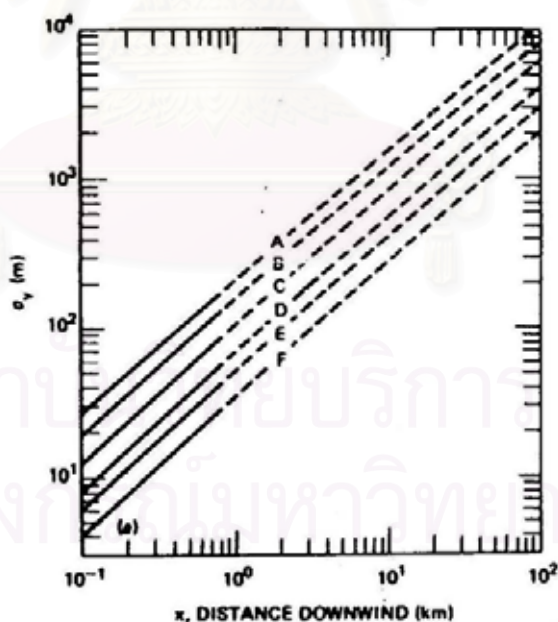
สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดการคงตัวของบรรยากาศตามแบบของ Passqill

ความเร็วลมที่ ความสูง 10 เมตร (m/s)	กลางวัน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์			กลางคืน	
	แรง	ปานกลาง	น้อย	เมฆมากหรือ เมฆระดับต่ำ $\geq 4/8$	เมฆ $\leq 3/8$
< 2	A	A – B	B	-	-
2-3	A – B	B	C	E	F
3-5	B	B – C	C	D	E
5-6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

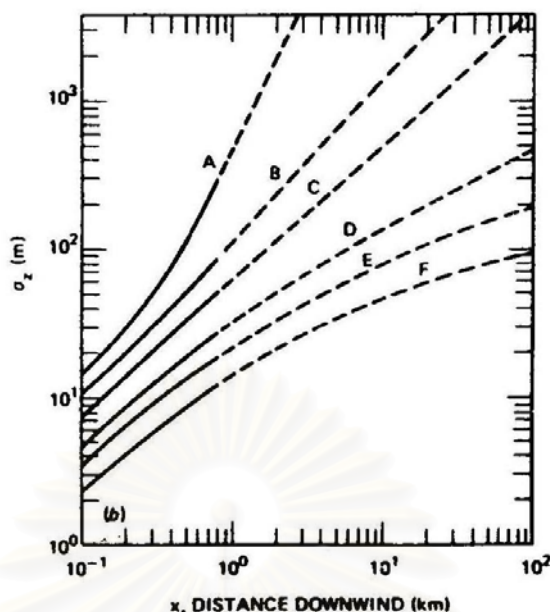
หมายเหตุ A: extremely unstable, B: moderately unstable, C: slightly unstable, D: neutral,
E: slightly stable, F: moderately stable

ที่มา : Gifford, 1976 อ้างถึงใน Hanna, Briggs และ Hosker, 1982



ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายแนวราบกับระยะทางตามลมจากแหล่งกำเนิด

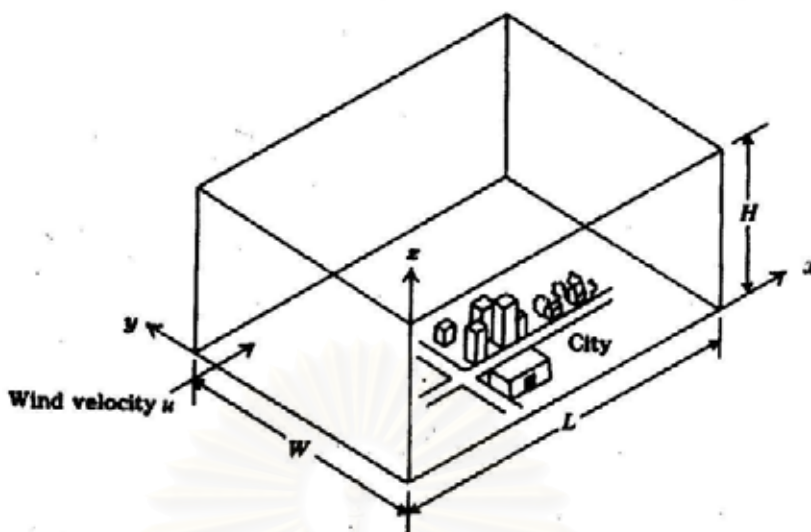
ที่มา : Turner, 1994



ภาพที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระจายแนวดิ่งกับระยะทางตามลมจากแหล่งกำเนิด
ที่มา : Turner, 1994

2.7.2 Box model

Box model เป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุดในบรรดาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด เป็นรูปแบบในการคำนวณการกระจายในรูปแบบเรขาคณิต เช่น ก่อตั้งสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยขอบเขตของแบบจำลองถูกกำหนดให้เป็น single cell หรือกล่อง โดยที่ด้านก้นกล่องคือพื้นดิน และฐานของอินเวอร์ชันอยู่ด้านบนของกล่อง ทิศตะวันออก-ตก และทิศเหนือ-ใต้ อยู่บริเวณด้านข้างของกล่อง ซึ่งแบบจำลองนี้อยู่บนพื้นฐานของ mass balance (Schnelle และ Dey, 2000) โดยความเข้มข้นของมลสารในกล่องเป็นเนื้อเดียวกันและผสมกันอย่างรวดเร็ว โดยมีรูปแบบการผสมในแบบเดียวกัน หากพิจารณาบริเวณที่สนใจเป็นเมืองที่อยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังภาพที่ 2.17 โดยกล่องที่สนใจต้องเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ W ความยาวเท่ากับ L และมีหนึ่งด้านขนานกับทิศทางลม ความปั่นป่วน (turbulence) ในบรรยากาศจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทำให้มีการผสมกันของมลสารจนถึงความสูงผสม (H) และไม่มีการผสมกันเหนือชั้นนี้ ลมพัดในทิศ x ด้วยความเร็ว u ซึ่งความเร็วลมจะต้องคงที่ และไม่ขึ้นกับเวลา ตำแหน่ง หรือสิ่งปลูกสร้างเหนือพื้น และไม่มีการผ่านเข้าออกด้านบนหรือด้านข้างซึ่งขนานกับทิศทางลมของกล่อง (Nevers, 1995)



ภาพที่ 2.17 รูปแบบของเมืองที่พิจารณาแบบ box model

ที่มา : Nevers, 1995

เมื่อพิจารณาว่ามีลมพัดเข้าไปในกล่องด้วยความเร็ว U และมีความเข้มข้น C_{in} สมมติว่าไม่มีมลสารออกจากกล่อง และมีการผสมกันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในกล่อง จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Rate of change} \\ \text{of pollution} \\ \text{in box} &= \text{rate of pollution entering} - \text{rate of pollution leaving} + \text{rate of pollution Generation or decay} \end{aligned}$$

สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของมลสารด้วย Box model สามารถคำนวณได้ 3 สภาวะ คือ สภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ (absoluted steady state condition) สภาวะคงที่ (steady state condition) และสภาวะไม่คงที่ (unsteady condition) โดยคำนวณได้ดังนี้ (Kiely, 1997)

สภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ (absoluted steady state condition) เป็นการกระจายในกล่องแบบ diffusion โดยไม่ขึ้นกับความเร็วลม ดังสมการที่ 2.3

$$C = \frac{q}{WLH} + C_0 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของมลสารในกล่อง (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร; $g.m^{-3}$)

C_0	=	ความเข้มข้นพื้นฐาน (background concentration; กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
q	=	ปริมาณการปลดปล่อยมลสาร (กรัม)
L	=	ความยาวของกล่อง (เมตร)
W	=	ความกว้างของกล่อง (เมตร)
H	=	ความสูงของกล่อง (เมตร)

สภาวะคงที่ (steady state condition) เป็นสภาวะที่มีปัจจัยทางด้านอุณหภูมิตัวเข้า มาเกี่ยวข้อง คือ ความเร็วลม ซึ่งความเร็วลมมีค่าคงที่ ดังสมการที่ 2.4 (Kiely, 1997)

$$C = \frac{q_s L}{UH} + C_0 \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

โดยที่ C	=	ความเข้มข้นของมลสารในกล่อง (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
C_0	=	ความเข้มข้นพื้นฐาน (background concentration; กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
q_s	=	อัตราการปลดปล่อยมลสาร (กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร; $g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)
L	=	ความยาวของกล่อง (เมตร)
U	=	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
H	=	ความสูงของกล่อง (เมตร)

สภาวะไม่คงที่ (unsteady condition) ซึ่งความเข้มข้นของมลสารในกล่องขึ้นอยู่กับ เวลา สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.5 (Kiely, 1997)

$$C(t) = \frac{q_s L}{UH} \left(1 - e^{(-Ut)/L} \right) \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

โดยที่ $C(t)$	=	ความเข้มข้นของมลสารในกล่องที่เวลา t (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
q_s	=	อัตราการปลดปล่อยมลสาร (กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร)
L	=	ความยาวของกล่อง (เมตร)
U	=	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
H	=	ความสูงของกล่อง (เมตร)
T	=	เวลา (วินาที)

2.8 แบบจำลองคุณภาพอากาศ GAMMA

Gaussian model for Managing Air Quality (GAMMA) เป็นแบบจำลองการกระจายตัวของมลสารซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลอง ISC (Industrial Source Complex) เป็นแบบจำลองประเภทแหล่งกำเนิดแบบ virtual point source คือการสมมติว่า plume ในแหล่งกำเนิดเป็นแบบพื้นที่ (area source) สามารถมองเป็นแหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) ได้ (Turner, 1970 อ้างถึงใน Bualert, 2001) โดยมีสมการพื้นฐานมาจาก Gaussian ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ boundary layer parameter เป็นตัวอธิบายการกระจายตัวของมลสาร โดยข้อดีของสมการแบบ virtual point source คือให้ผลดีที่สุดสำหรับพื้นที่ที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งแบบจำลองสามารถทำนายความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) โดยให้ค่าเป็นรายชั่วโมง ซึ่ง GAMMA ประกอบด้วย 3 โปรแกรมย่อยได้แก่ GAMMA-MET, GAMMA-L และ GAMMA-ST

GAMMA-MET เป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นฐาน และคำนวณค่า boundary layer parameter เช่น friction velocity (u^*), Monin-Obukhov length (L) เพื่อแบ่งกลุ่มลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ และเตรียมข้อมูลสำหรับการทำงานของ GAMMA ต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลของอุตุนิยมวิทยาใน 3 พื้นที่ที่แตกต่างกัน คือ เมือง (urban) กึ่งเมือง (sub-urban) และชนบท (rural)

GAMMA-L เป็นแบบจำลองการกระจายของมลสารแบบระยะยาว (long-term) ซึ่งจะทำนายค่าความเข้มข้นของมลสารจากแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่เป็นค่าเฉลี่ยรายปี ขนาดของพื้นที่คือ 0.25×0.25, 0.5×0.5 และ 1×1 ตารางกิโลเมตร

GAMMA-ST เป็นแบบจำลองการกระจายของมลสารแบบระยะสั้น (short-term) ซึ่งจะทำนายค่าความเข้มข้นของมลสารจากแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง ขนาดของพื้นที่คือ 1×1 ตารางกิโลเมตร

เพิ่มข้อมูลสำหรับแบบจำลอง GAMMA แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) เพิ่มข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ปี เดือน วัน เวลา ปริมาณเมฆ (total cloud cover; octa or deca) ปริมาณแสง (radiation; Wm^{-2}) ความเร็วลม (knot) ทิศทางลม (ทิศที่ลมพัดมา; องศา) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความสูงฐานเมฆ (cloud base height; × 10 เมตร)

2) เพิ่มข้อมูลมลสาร เป็นข้อมูลของมลสารซึ่งมีแหล่งกำเนิดเป็นพื้นที่ ประกอบด้วยข้อมูลมลสารมีหน่วยเป็น หน่วยของมวลต่อหน่วยของพื้นที่ต่อหน่วยของเวลา (ตันต่อตารางกิโลเมตรต่อปี ; $tonne km^{-2} year^{-1}$) ตำแหน่งของแหล่งกำเนิด (ศูนย์กลางของพื้นที่แหล่งกำเนิด) และลักษณะของแหล่งกำเนิด (rural, sub-urban และ urban)

GAMMA พัฒนามาจาก ISC model ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ steady-state Gaussian plume equation โดยใช้ virtual point source approach ในการทำนายความเข้มข้นของมลสารจาก area source ดังสมการที่ 2.6

$$C(x, y, 0; h) = \frac{Q_A K V x_0^2}{\sqrt{2 \pi u \sigma_z}} \times \left[\operatorname{erf} \left(\frac{y + x_0/2}{\sqrt{2} \sigma_y} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y - x_0/2}{\sqrt{2} \sigma_y} \right) \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

โดยที่

- Q_A = อัตราการปลดปล่อยมลสาร (emission rate) สำหรับแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (ตันต่อตารางกิโลเมตรต่อปี; tonne km² year⁻¹)
- K = Units scaling coefficient
- V = Vertical term
- x₀ = ความยาวของขนาด area source (เมตร)
- u = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
- σ_y = สัมประสิทธิ์ของการกระจายในแนวแกน y (เมตร)
- σ_z = สัมประสิทธิ์ของการกระจายในแนวแกน z (เมตร)

2.8.1 GAMMA-MET

GAMMA-MET เป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นฐาน และ boundary layer parameters สำหรับ GAMMA โดยคำนวณจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน คือ เมือง กึ่งเมือง และชนบท ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของ GAMMA-MET คือ การประเมินความคงตัวของบรรยากาศจาก Pasquill-Gifford และ Monin-Obukhov โดยจะทำการคำนวณดังนี้

การคำนวณ Monin-Obukhov length

โดย Monin-Obukhov length คำนวณจากสมการที่ 2.7

$$L = -\frac{u_*^3 C_p \rho T}{kgH} = -\frac{u_*^3 z_i}{kw_*^3} \approx -\frac{z_i}{k} \left(\frac{u_*}{w_*} \right)^3 \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยที่

u_*	=	ความเร็วเสียดทาน (friction velocity; เมตร)
C_p	=	ความร้อนจำเพาะ (specific heat)
ρ	=	ความหนาแน่นอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
T	=	อุณหภูมิ (เคลวิน)
K	=	Von karman constant (0.4)
g	=	แรงโน้มถ่วงของโลก (9.8 เมตรต่อวินาที)
H	=	sensible heat flux (วัตต์ต่อตารางเมตร)
z_i	=	ความสูงผสม (เมตร)
w_*	=	convective velocity scale (เมตร)

การคำนวณ sensible heat flux

สมดุลของพลังงานบนพื้นโลกสามารถแสดงได้ในรูปของสมดุลของ net radiation

และ anthropogenic flux ดังสมการ

$$R_N + Q_f = H + \lambda E + G \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

โดยที่

R_N	=	net radiation (วัตต์ต่อตารางเมตร)
Q_f	=	anthropogenic flux (วัตต์ต่อตารางเมตร)
λE	=	latent heat flux (วัตต์ต่อตารางเมตร)
G	=	heat flux adsorbed by ground (วัตต์ต่อตารางเมตร)
H	=	sensible heat flux (วัตต์ต่อตารางเมตร)

การคำนวณ friction velocity (u_*)

1) สภาวะไม่คงตัว (Unstable conditions)

GAMMA-MET ใช้เทคนิคในการคำนวณเหมือนกับแบบจำลองของ USEPA เช่น

METPRO, PCRAMMET ในการคำนวณ friction velocity

$$u_* = \frac{\bar{k}u}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right) - \Psi + \Psi_0} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

โดยที่

- k = Von Karman constant (0.4)
- z_{ref} = ความสูงอ้างอิง (10 เมตร)
- z₀ = ความสูงของความขรุขระพื้นผิว (เมตร)
- \bar{u} = ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)

2) สภาวะคงตัว (Stable conditions)

GAMMA-MET ใช้วิธีการคำนวณบนพื้นฐานของ Venkatram สำหรับในสภาวะ

คงตัว

$$u_* = \frac{C_D \bar{u}}{2} \left(1 + \left[1 - \left[\frac{2u_0}{(C_D)^{0.5} \bar{u}} \right]^2 \right]^{0.5} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

โดยที่

- $C_D = \frac{k}{\ln(z_{ref}/z_0)}$
- $u_0 = \left(\frac{\beta_m z_{ref} g \theta_*}{T} \right)^{0.5}$
- $\beta_m = 4.7$
- $\theta_* = 0.09(1-0.5N^2)$

2.9 Advection Diffusion Equation

สมการ advection-diffusion equation สำหรับคำนวณความเข้มข้นของมลสาร โดยการกระจายของมลสารในบรรยากาศถูกควบคุมโดย สมการการกระจายพื้นฐาน ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ Gradient-transport theory ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S + R \dots (2.11)$$

โดยที่ C	=	ความเข้มข้นเฉลี่ยของมลสาร
S	=	source term
R	=	removal term
u, v, w	=	องค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ
K_x, K_y, K_z	=	สัมประสิทธิ์การกระจายของลมในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ

จากสมการที่ 2.11 ทำให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น โดยพิจารณาในสภาวะคงตัว (steady-state condition) สามารถลดรูปสมการได้ดังนี้

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

โดยที่ K_x	=	αU_x
K_y	=	βU_y
K_z	=	γU_z

ดังนั้นสมการที่ 2.11 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha U_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta U_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\gamma U_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

จากสมการที่ 2.13 ทำการอินทิเกรตได้เป็น

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{U \pi x^2 \sqrt{\beta \gamma}} \left[1 + \frac{\alpha}{x^2} \left(\frac{y^2}{\beta} + \frac{z^2}{\gamma} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{2}\alpha + 1\right)} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

โดย α , β และ γ คือ turbulence parameters ซึ่งขึ้นอยู่กับความคงตัวของบรรยากาศ

$$\text{โดยที่ } \alpha = \left(\frac{\sigma_u}{U} \right)^2$$

$$\beta = \left(\frac{\sigma_v}{U}\right)^2$$

$$\gamma = \left(\frac{\sigma_w}{U}\right)^2$$

$\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$ คือ turbulence intensities ซึ่งหากไม่สามารถตรวจวัดได้โดยตรง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ friction velocity และ convective velocity ดังนี้ (Sharan, Yadav และ Modani, 2002)

ในสภาวะบรรยากาศคงตัว (stable condition)

$$\alpha = 6.25 \left(\frac{u^*}{U}\right)^2$$

$$\beta = 3.61 \left(\frac{u^*}{U}\right)^2$$

$$\gamma = 1.69 \left(\frac{u^*}{U}\right)^2$$

โดยที่ u^* คือ friction velocity

ในสภาวะบรรยากาศไม่คงตัว (unstable condition)

$$\alpha = \beta = 0.31 \left(\frac{w^*}{U}\right)^2$$

$$\gamma = 0.16 \left(\frac{w^*}{U}\right)^2$$

โดยที่ w^* คือ convective velocity scale

$$\text{โดยที่ } w^* = \left(\frac{g}{\theta} (\overline{w'\theta'})_{z_i}\right)^{1/3}$$

เนื่องจากสมการ advection-diffusion equation คำนวณการกระจายของมลสารในทุกทิศทาง ซึ่งรวมการกระจายในแนวนอน (advection) คือประกอบด้วยการกระจายในแนวตามลม (downwind diffusion term) โดยพบการกระจายลักษณะนี้ในสภาวะลมสงบ ซึ่งไม่ถูกพิจารณาใน

Gaussian equation ทำให้ Gaussian ไม่เหมาะสำหรับสถานะนี้ ดังนั้นสมการที่ 2.14 จึงเหมาะสมสำหรับการคำนวณความเข้มข้นของมลสารในสภาวะลมสงบจากแหล่งกำเนิดแบบ point source

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sharan et al. (1995) ศึกษาการกระจายตัวในสภาวะความเร็วลมต่ำโดยใช้วิธีการประเมินสัมประสิทธิ์การกระจาย (dispersion coefficients) ที่แตกต่างกัน คือ วิธีการมาตรฐาน (standard), split sigma, split sigma theta, segmented plume (I), segmented plume (II), short-term averaging และ U_{min} approach สำหรับสูตรที่ใช้ในการแสดงผลนั้นมาจาก advection-diffusion equation โดยประกอบด้วยเทอมของการกระจายตามแนวนอนซึ่งถูกมองข้ามใน Gaussian plume equation โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองด้วยวิธีการดังกล่าว กับข้อมูลจากการทดสอบการกระจายภายใต้สภาวะความเร็วลมต่ำ สภาพบรรยากาศแบบคงตัว ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ได้แก่ SF_6 ปล่อยที่ความสูง 1.5 เมตร และเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.76 เมตร ในรัศมี 100, 200 และ 400 เมตร จากจุดปล่อยมลสาร ตรวจวัดข้อมูลความเร็วลม และอุณหภูมิ ที่ความสูงหลายระดับห่างจากแหล่งกำเนิด 200 เมตร จากผลการศึกษาพบว่า segmented plume (II) ซึ่งทำการแบ่งช่วงในการทดสอบออกเป็นช่วงเล็กๆ และแยกการคำนวณที่ละช่วงเนื่องจากเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนของทิศทางลม โดยข้อมูลในการทดสอบรายชั่วโมงถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ คือช่วงละ 2 นาที ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด เนื่องจากวิธีการนี้จะให้ผลในลักษณะที่เป็น multi-peaked ซึ่งเป็นลักษณะที่พบตามธรรมชาติในกรณีความเร็วลมต่ำ สภาพบรรยากาศแบบคงตัว

Sharan et al. (1996) ทำการพัฒนาสูตรคำนวณการกระจายตัวของมลสารในสภาวะความเร็วลมต่ำ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพิจารณาการกระจายในทุกทิศทาง โดยใช้ advection-diffusion equation โดยการเก็บข้อมูลการกระจายของ SF_6 ในสภาวะความเร็วลมต่ำและสภาพบรรยากาศแบบไม่คงตัว (unstable) ที่ Indian Institute of Technology (IIT) Delhi ซึ่ง SF_6 ถูกปล่อยที่ความสูง 1 เมตรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่ครึ่งชั่วโมงหลังของการปลดปล่อยที่ความสูง 0.5 เมตร ในรัศมี 50, 100 และ 150 เมตรจากจุดที่ปล่อยมลสาร ตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ความสูง 1, 2, 4, 8, 15 และ 30 เมตร เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ออกมาจากการเก็บตัวอย่างกับข้อมูลที่ได้ออกมาจากระบบจำลองโดยใช้ advection-diffusion equation และใช้ค่า convective velocity scale ในการประเมิน turbulence parameter ซึ่งพบว่ายังมีข้อจำกัดสำหรับการทำนายความเข้มข้นในบริเวณเหนือลมของแหล่งกำเนิด ซึ่งการกระจายบริเวณเหนือลมนี้มักพบใกล้แหล่งกำเนิดในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำ

Sharan et al. (2002) ทำการวิเคราะห์แบบจำลองสำหรับการกระจายของมลสารในสภาวะความเร็วลมต่ำ เพื่ออธิบายข้อมูลการกระจายตัวในสภาวะ weakly convective โดยทำการเก็บข้อมูล

ที่ IIT Delhi โดยการปล่อย SF_6 ด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บข้อมูลความเร็วลมที่เสา 4 ระดับ คือ 2, 4, 15 และ 30 เมตร สำหรับความเร็วลมเสียดทาน Monin-Obukhov length (L) และ bulk Richardson number (Ri_b) คำนวณจาก Monin-Obukhov similarity theory ทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองซึ่งใช้ advection-diffusion equation ในการคำนวณ และทำการประเมิน turbulence parameter โดยใช้ friction velocity และ convective velocity ซึ่งพบว่า friction velocity มีความเหมาะสมและให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากกว่า convective velocity เมื่อพิจารณาการกระจายใกล้แหล่งกำเนิดในสภาวะความเร็วลมต่ำ

Oettl et al. (2001) คำนวณความเข้มข้นของการกระจายมลสาร (NO_x) บริเวณใกล้กับถนนหลัก Elimake ใน Finland ตอนใต้ เพื่อทำการเปรียบเทียบการแสดงผลของ 2 แบบจำลอง กับข้อมูลการทดลองในสภาวะความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ สภาพอากาศแบบคงตัว โดยแบบจำลองที่ใช้คือ Gaussian finite line source dispersion model (CAR-FMI, Contaminants in the Air from a Road – Finnish Meteorological Institute) และ Lagrangian dispersion model (GRAL, Graz Lagrange Model) ผลจากการศึกษาพบว่า CAR-FMI มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (index of agreement values) อยู่ในช่วง 0.76 – 0.87 และมีแนวโน้มสูงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย (fraction bias = +14%) สำหรับ GRAL มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ในช่วง 0.81 – 1.00 และมีแนวโน้มต่ำกว่าความเป็นจริง (fraction bias = -16%) ซึ่งพบว่า GRAL ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากกว่า CAR-FMI ในสภาวะที่ความเร็วลมต่ำ เนื่องจาก GRAL มีการคำนวณการกระจายในแนวนอนเพิ่มขึ้นมา ซึ่งพบการกระจายลักษณะนี้ในสภาวะความเร็วลมต่ำ เพราะสภาวะนี้ลมมีการเคลื่อนที่อย่างไม่มีความหมาย ส่งผลให้การกระจายในแนวนอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ CAR-FMI จะไม่มีการคำนวณในลักษณะนี้

Cirillo และ Poli (1992) ศึกษาโดยใช้แบบจำลองการกระจายซึ่งใช้สมการ Gaussian เป็นสมการพื้นฐานในการคำนวณ โดยมีวิธีการคำนวณ dispersion parameter ที่แตกต่างกัน 4 แบบจำลอง เปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้นของมลสาร (SF_6) ซึ่งปล่อยที่ความสูง 1.5 เมตร และเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.76 เมตร ห่างจากแหล่งกำเนิด 400 เมตร ตรวจวัดข้อมูลความเร็วลม และอุณหภูมิที่ความสูง 2, 4, 8, 16, 32 และ 61 เมตร ทำการทดลองภายใต้สภาวะความเร็วลมต่ำ และสภาพอากาศแบบคงตัว ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองให้ผลดีเฉพาะในกรณีที่ผู้รับอยู่ในระยะใกล้แหล่งกำเนิด สำหรับสภาวะลมสงบเท่านั้น

Goyal, Singh และ Bandyopadhyay (1994) ศึกษาโดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ SO_2 , อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอย (SPM) และ NO_x จากการตรวจวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลองใน Agra ประเทศอินเดีย โดยใช้แบบจำลอง Gaussian 2 แบบจำลอง คือ Gaussian plume model (IITLT) และ Climatological Dispersion Model (CDM) ประเมินความเข้มข้นของมลสารจากแหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (area source) โดย IITLT ถือว่าลมสงบอยู่ในช่วงความเร็วลมน้อยกว่า 2 เมตรต่อวินาที และมีวิธีการคำนวณตัวแปรการกระจายที่แตกต่างกันสำหรับ

สภาวะลมแรงกับสภาวะลมสงบ ส่วน CDM ลมสงบจะอยู่ในช่วง 0-1.54 เมตรต่อวินาที และใช้ตัวแปรการกระจายที่เหมือนกันทั้งสภาวะที่ลมแรงและลมสงบ ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 2 แบบจำลองให้ผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจากการตรวจวัด โดยค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ที่ 0.6 และ 0.54 สำหรับ IITLT และ CDM ตามลำดับ

Moreira, Tirabassi และ Carvalho (2005) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการกระจายในสภาวะความเร็วลมต่ำ ซึ่งพิจารณาการกระจายตามแนวลม โดยใช้ advection-diffusion equation และพิจารณา Planetary boundary layer เป็นระบบหลายชั้น (multilayer) การกระจายของกระแสสวน (eddy diffusivities) เป็นฟังก์ชันของระยะทางจากแหล่งกำเนิด และสามารถแสดงได้อย่างถูกต้องสำหรับการกระจายใกล้แหล่งกำเนิดในสภาวะความเร็วลมต่ำ การแสดงของแบบจำลองถูกประเมินเทียบกับข้อมูลการทดลอง ซึ่งทำการเก็บข้อมูลที่ Idaho National Engineering Laboratory (INEL) และ Indian Institute of Technology (IIT) ภายใต้สภาวะความเร็วลมต่ำ โดยปล่อย SF_6 ที่ความสูง 1.5 เมตร และเก็บตัวอย่างที่ความสูง 0.76 เมตร ห่างจากแหล่งกำเนิด 100, 200 และ 400 เมตร ตรวจวัดลมที่ระดับความสูง 2, 4, 8, 16, 32 และ 61 เมตร จากการศึกษาพบว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองในสภาวะบรรยากาศคงตัว ความเร็วลมต่ำนั้น มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลองมาก แสดงให้เห็นว่าการกระจายของกระแสสวนในแนวตั้งขึ้นอยู่กับระยะทางจากแหล่งกำเนิด และให้ผลดีที่สุดที่ความเร็วลมต่ำกว่า 1 เมตรต่อวินาที ซึ่งข้อจำกัดของแบบจำลองนี้คือ ไม่มีการคำนวณความเข้มข้นในทิศทางลมของแหล่งกำเนิด ซึ่งการกระจายบริเวณนี้จะเกิดขึ้นใกล้กับแหล่งกำเนิดเมื่อความเร็วลมต่ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร

การศึกษาสภาพการเกิดลมสงบในกรุงเทพมหานคร โดยทำการศึกษาความถี่และช่วงเวลาในการเกิดลมสงบ เพื่อทราบถึงปริมาณและระยะเวลาที่เกิดสภาวะลมสงบโดยส่วนใหญ่ในเขตเมือง รวมถึงลักษณะการกระจายตัวและความเข้มข้นของมลสารในสภาวะนี้ เพื่อทราบถึงลักษณะของปัญหาเมื่อเกิดสภาวะลมสงบ โดยทำการศึกษาดังนี้

3.1.1 ศึกษาความถี่และช่วงเวลาในการเกิดลมสงบ

ศึกษาจากข้อมูลการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา 2 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (ศูนย์ฯ สิริกิติ์) (ภาพที่ 3.1) และสถานีอุตุนิยมวิทยาخنสงคอนเมือง (ภาพที่ 3.2) ปี พ.ศ. 2540 - 2546 โดยทำการศึกษาข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 3.1 สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ



ภาพที่ 3.2 สถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมือง

3.1.2 ศึกษาลักษณะปัญหาในสภาวะลมสงบ

ศึกษาจากข้อมูลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ 4 สถานี คือ สถานีการไฟฟ้า ย่อยธนบุรี เคหะชุมชนดินแดง สนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง และสถานีสิงหราชพิทยาคม ปี พ.ศ. 2546 โดยทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลม และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์รายชั่วโมง

3.2 ศึกษาสภาพลมสงบในบริเวณพื้นที่ศึกษา

ศึกษาข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา 3 สถานี ได้แก่ บริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ (ถนนสาทร) บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย (ถนนสาทร) และ บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ (ถนนสุขุมวิท) โดยทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลความเร็วลม และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ ราย 5 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด แต่ละสถานีเก็บตัวอย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลา 5 วัน ดังนี้

1) บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์

ฤดูฝน วันที่ 8 – 13 กันยายน พ.ศ. 2547

ฤดูแล้งฝน วันที่ 18 – 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547

2) บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย

ฤดูฝน วันที่ 15 – 20 กันยายน พ.ศ. 2547

ฤดูแล้งฝน วันที่ 25 – 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547

3) บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ

ฤดูฝน วันที่ 22 – 27 กันยายน พ.ศ. 2547

ฤดูแล้งฝน วันที่ 11 – 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547

เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเข้มข้นของมลสาร ซึ่งลักษณะของพื้นที่ศึกษาเป็นดังนี้

- โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ซึ่งอยู่บริเวณถนนสาทรใต้ ใกล้สถานีรถไฟฟ้าสุรศักดิ์ ดังภาพที่ 3.3 โดยลักษณะของพื้นที่ที่ตั้งจุดตรวจวัดเป็นสนามหญ้าบริเวณหน้าตึกโรงพยาบาลเซนหลุยส์ และใกล้กับลานจอดรถของโรงพยาบาล เครื่องมือตรวจวัดตั้งอยู่ห่างจากถนนสาทร 25 เมตร

- โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย บริเวณถนนสาทรใต้ ใกล้สถานีรถไฟฟ้าสุรศักดิ์ ดังภาพที่ 3.4 บริเวณหน้าหอประชุม ใกล้กับต้นไม้และสนามฟุตบอล อยู่ห่างจากถนนสาทร 140 เมตร ห่างจากถนนประวัญ 15 เมตร และถนนศรีเวียง 21 เมตร

- โรงเรียนแสงหิรัญ บริเวณถนนสุขุมวิท ใกล้สถานีรถไฟฟ้าอ่อนนุช ดังภาพที่ 3.5 จุดตรวจวัดตั้งอยู่บริเวณหน้าอาคารเรียน เป็นพื้นคอนกรีตใกล้กับสนามบาสเกตบอล อยู่ห่างจากถนนสุขุมวิท 25 เมตร



ภาพที่ 3.3 สถานีตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิตามพื้นที่และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์



ภาพที่ 3.4 สถานีตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย



ภาพที่ 3.5 สถานีตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณ
โรงเรียนแสงหิรัญ

3.3 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ

ลักษณะการกระจายตัวของอากาศเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาถึงลักษณะการกระจายตัวของมลสารในสภาวะต่างๆ เนื่องจากสภาพอากาศที่แตกต่างกันส่งผลให้การกระจายตัวของอากาศแตกต่างกันด้วย ดังนั้นในการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบนั้น สามารถทำได้โดยพิจารณาจากการเคลื่อนที่ของลม และโดยทำการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายตัวและความเข้มข้นของมลสารในสภาวะดังกล่าว

3.3.1 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวและองค์ประกอบของลมในสภาวะลมสงบ ดังนี้

1) เลือกสถานที่สำหรับใช้ทำการทดลอง โดยมีลักษณะเป็นห้องที่มีการระบายอากาศต่ำ และมีลมเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเป็นลักษณะลมสงบ คือ ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที โดยใช้ Ultrasonic anemometer (วัดได้ต่ำสุด 0.01 เมตรต่อวินาที) เป็นเครื่องมือวัด ดังภาพที่ 3.6 ซึ่งห้องที่ใช้ทำการทดลองคือห้องเรียนภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป โดยมีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 3 เมตร



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์วัดความเร็วลม Ultrasonic anemometer

2) ตรวจสอบอุณหภูมิตามระดับความสูงของห้องทดลอง คือ ที่ระดับพื้น ที่ความสูง 1.15 เมตร และ 2.35 เมตร โดยใช้ micro log เป็นอุปกรณ์วัด ดังภาพที่ 3.7

3) ตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทดลอง เพื่อใช้เป็นความเข้มข้นพื้นฐาน (background concentration) โดยใช้ MultiRAE IR (ภาพที่ 3.8) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด

หลักการที่ใช้ในการวัดสำหรับ MultiRAE IR คือ Non Dispersive Infrared Detection (NDIR) โดยมีช่วงในการวัดสำหรับคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ 0 – 500 ppm และมีอัตราการไหลของ pump คือ 0.15 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิอยู่ในช่วง -20 องศาเซลเซียสถึง 45 องศาเซลเซียส สามารถ down load ข้อมูลไปยัง PC และ up load จาก PC ผ่านสาย RS-232 ไปที่ serial port ของ PC



ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ micro log



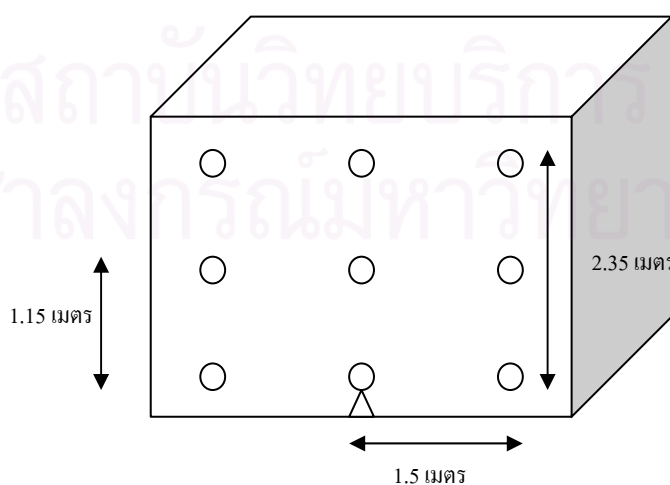
ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ MultiraeIR

4) ปล่องก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพื่อใช้เป็นก๊าซติดตาม (tracer gas) บริเวณกลางห้องทดลองโดยใช้รูปเป็นแหล่งกำเนิด

5) เก็บตัวอย่างของมลสารทั้งแนวตั้ง (vertical) และแนวนอน (horizontal) โดยใช้ personal pump ซึ่งมีอัตราการไหลอากาศ (flow rate) 0.5 ลิตรต่อนาที เก็บอากาศเข้าถุงเก็บอากาศ (air bag) โดยต่อ personal pump เข้ากับถุงเก็บอากาศ ดังภาพที่ 3.9 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของมลสารในสถานะดังกล่าว โดยทำการเก็บในแนวตั้ง 3 ระดับ คือ ที่ระดับพื้น ที่ความสูง 1.15 เมตร และ 2.35 เมตร จากแหล่งกำเนิด และในแนวนอนที่ระยะห่าง 1.5 เมตร จากแหล่งกำเนิดทั้ง 2 ข้าง รวมทั้งหมด 9 จุด ดังภาพที่ 3.10 โดยเก็บตัวอย่างแรกหลังจากปล่อยมลสารแล้ว 10 นาที และทุก 10 นาทีถัดไป เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บเป็นเวลา 2 นาทีต่อจุด

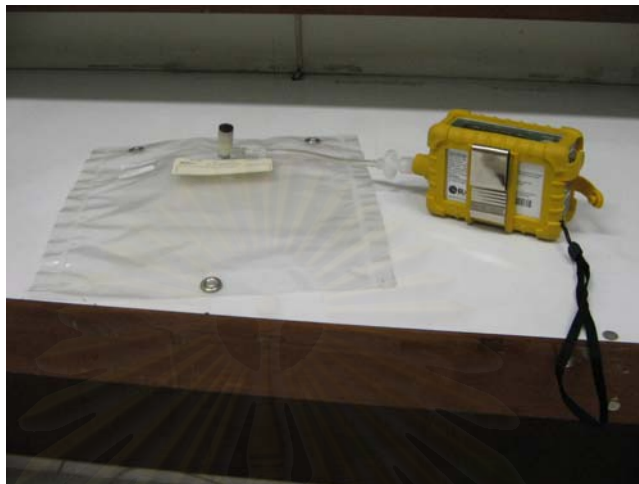


ภาพที่ 3.9 การต่อ personal pump เข้ากับถุงเก็บอากาศ (air bag)



ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดลอง

6) นำตัวอย่างอากาศที่ได้ในถุงเก็บอากาศมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ MultiraeIR โดยทำการต่อถุงเก็บอากาศเข้ากับเครื่อง MultiraeIR ดังภาพที่ 3.11 จากนั้นทำการ download ข้อมูลจากเครื่อง MultiraeIR ไปยังคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.11 การต่อถุงเก็บอากาศเข้ากับเครื่อง MultiraeIR

7) วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของมลสาร จากข้อมูลความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ ณ เวลาที่ต่างกัน และตำแหน่งต่างกัน

8) วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศจากองค์ประกอบของลม (wind component) ในห้องทดลอง จากข้อมูลการตรวจวัดของอุปกรณ์วัดความเร็วลม (Ultrasonic anemometer) โดยทำการวิเคราะห์ความเร็วลมในแนวแกน x , y และ z ได้แก่ u , v และ w ตามลำดับ

3.3.2 ศึกษาองค์ประกอบของลมบริเวณพื้นที่ศึกษา

ศึกษาการเคลื่อนที่ของลมโดยพิจารณาจากองค์ประกอบของลม คือ ความเร็วลมในแนวแกน x , y และ z ได้แก่ u , v และ w ตามลำดับ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ด้วย Ultrasonic anemometer โดยศึกษาจากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในหัวข้อ 3.2

3.4 การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบ

3.4.1 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอากาศในสภาวะลมสงบ เช่น Gaussian model, Box model, Advection-diffusion equation เป็นต้น

3.4.2 ทดสอบแบบจำลอง Box model ในสภาวะลมสงบ

คำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะลมสงบโดยใช้แบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ (absoluted steady state condition) และในสภาวะไม่คงที่ (unsteady condition) เปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี โดยใช้ Factor of Two (FAC2), Fraction Bias Test (FB) และ Correlation Coefficient (R) โดยมีวิธีการดังนี้

1) เก็บตัวอย่างข้อมูลภาคสนาม โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 สถานี คือ บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ถนนสาทร (ภาพที่ 3.12) บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ถนนสาทร (ภาพที่ 3.13) และบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ถนนสุขุมวิท (ภาพที่ 3.14) โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ฤดู คือ ในช่วงฤดูฝน (เดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2547) และฤดูแล้งฝน (เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2547) และเก็บตัวอย่างตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันต่อ 1 สถานี ข้อมูลที่ทำการเก็บได้แก่

(1) เก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ราย 5 นาที ด้วยวิธี Non-Dispersive Infrared Detection โดยใช้ CO Analyzer ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น 300E (M300E) (ภาพที่ 3.15)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.12 สถานีตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ (ถนนสาทร)



ภาพที่ 3.13 สถานีตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย (ถนนสาทร)



ภาพที่ 3.14 สถานีตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ (ถนนสุขุมวิท)



ภาพที่ 3.15 อุปกรณ์ตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ CO Analyzer (M300E)

M300E เป็นเครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดย M300E จะสร้างแสงอินฟราเรดส่องผ่าน Gas filter Correlation (GFC) ไปยัง Sample chamber ที่บรรจุ Sample gas และจะสะท้อนอยู่ภายในและออกมา ผ่านการกรองด้วย Bang-pass filter ที่ให้ช่วงความยาวคลื่น 4.7 ไมโครเมตรผ่านได้ ส่วนที่ผ่านออกมาจะถูกตรวจจับด้วยตัวตรวจจับแสง และทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นแรงดัน GFC มีลักษณะคล้ายล้อที่ทำจากเหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ช่อง เพื่อให้แสงอินฟราเรดผ่าน โดยช่องหนึ่งทำหน้าที่เป็น Measure cell ซึ่งถูกเติมด้วย N_2 เพียงอย่างเดียว ในขณะที่อีกช่องหนึ่งทำหน้าที่เป็น Reference cell ที่เติมด้วย N_2 และ CO เมื่อ GFC หมุน อินฟราเรดจะส่องผ่าน 2 ช่องนี้สลับกัน เมื่อแสงส่องผ่าน Reference cell CO ใน Gas filter

จะดูดกลืนช่องความยาวคลื่น 4.7 ไมโครเมตร ตรงข้ามกับ Measure cell เมื่อแสงส่องผ่านจะไม่มี การดูดกลืน ทำให้เกิดการขึ้นลงของสัญญาณแสงที่ตรวจจับความเข้มของแสงด้วย Photo-detector output จึงออกมาในรูป Square wave

(2) ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลา คือ ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิ ราย 5 นาที ด้วย Ultrasonic anemometer

(3) ข้อมูลปริมาณการจราจรเพื่อคำนวณค่าปริมาณการปลดปล่อยมลสาร (emission) ด้วยวิธีการนับรถจากวิดีโอ ดังภาพที่ 3.16 โดยแบ่งประเภทยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภท คือ รถยนต์เครื่องยนต์เบนซิน (รถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั่วไป) รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (รถกระบะ, รถตู้) รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (รถบรรทุกขนาดตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป, รถโดยสารประจำทาง (ปรับอากาศ/ไม่ปรับอากาศ), รถทัวร์) และรถจักรยานยนต์



ภาพที่ 3.16 การบันทึกภาพการจราจรเพื่อคำนวณค่าปริมาณการปลดปล่อยมลสาร

วิธีการคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยมลสาร (emission)

แบ่งประเภทยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภท คือ รถยนต์เครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ และรถจักรยานยนต์ และคำนวณดังสมการ

Emission (กรัม) = ปริมาณยานพาหนะ(คัน) × emission factor (กรัม/กิโลเมตร/คัน) × ระยะทาง(กิโลเมตร)

ซึ่งค่า emission factor สำหรับยานพาหนะนั้นขึ้นอยู่กับประเภท และ ความเร็วของยานพาหนะ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราการระบายสารมลพิษที่ความเร็วต่างๆ จากยานพาหนะ

ความเร็ว (กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	อัตราการระบายสารมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (กรัม/กิโลเมตร/คัน)			
	เครื่องยนต์เบนซิน	เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก	เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดใหญ่	รถจักรยานยนต์
5.0	121.575	3.84	23.46	101.72
7.5	83.750	3.38	20.68	72.58
10.0	64.60	3.00	18.31	54.66
12.5	53.063	2.67	16.28	43.08
15.0	45.375	2.39	14.54	35.27
20.0	35.775	1.92	11.75	25.78
25.0	30.10	1.59	9.68	20.49
30.0	26.313	1.33	8.12	17.12
35.0	23.144	1.13	6.90	14.64
40.0	20.719	0.98	5.99	12.78
50.0	17.244	0.79	4.76	9.93

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2543

2) คำนวณค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วย Box model สภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ โดยใช้ปริมาณการปลดปล่อยมลสาร และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการเก็บตัวอย่างข้อมูลภาคสนาม

3) เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างข้อมูลภาคสนาม กับผลที่ได้จาก Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ โดยใช้ Factor of Two (FAC2), Fraction Bias Test (FB) และ Correlation Coefficient (R)

4) สรุปผลการศึกษา

3.4.3 สร้างชุดคำสั่งสมการสำหรับสภาวะลมสงบ

เขียนชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับคำนวณการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ โดยให้คำนวณค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในแบบจำลองคุณภาพอากาศ GAMMA

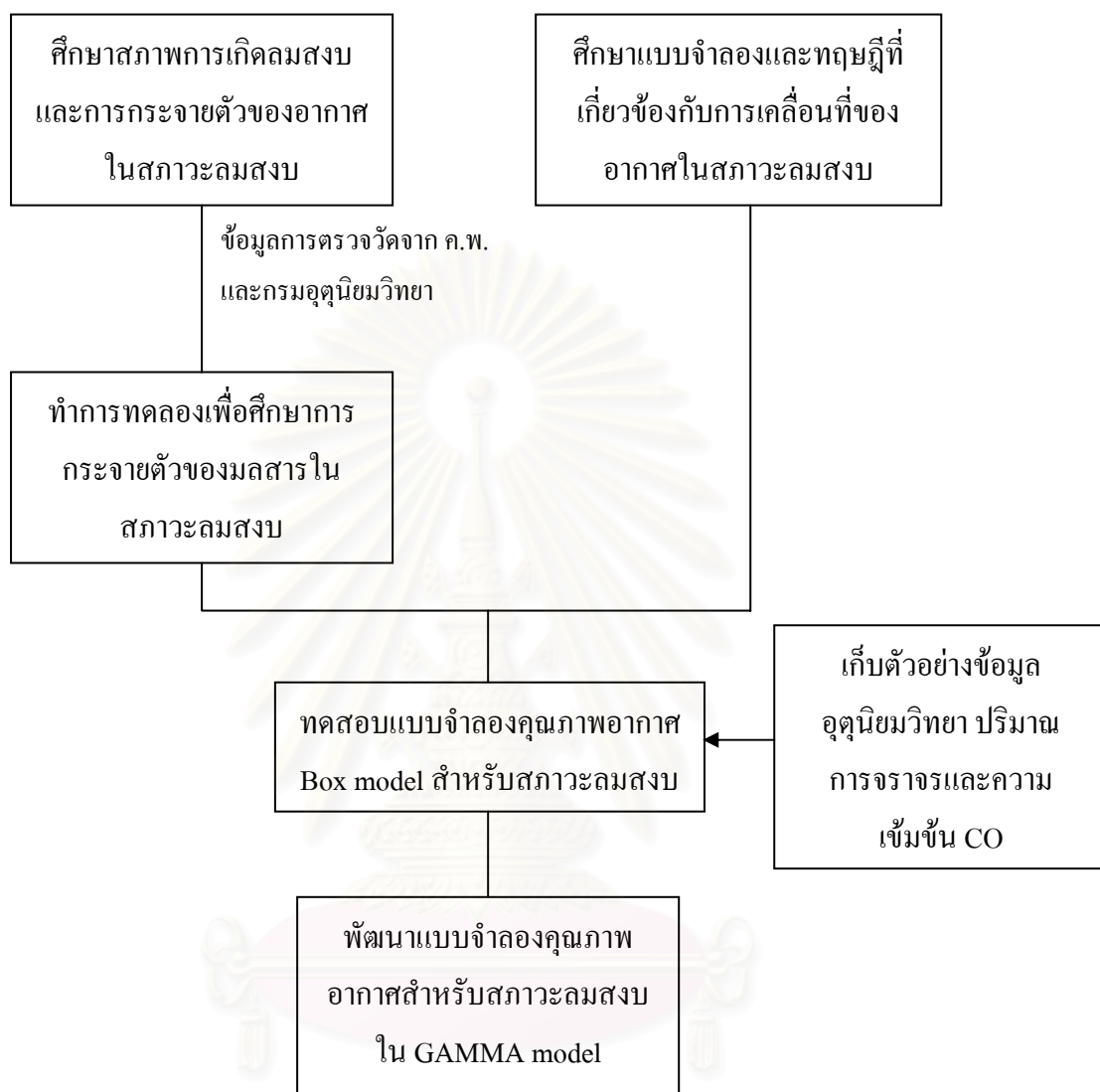
โดยใช้สมการ Box model สำหรับสภาวะลมสงบคือที่ความเร็วลมต่ำกว่า 0.5 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น ถ้าความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จะคำนวณโดยใช้สมการเดิมของแบบจำลอง GAMMA

3.4.4 ทดสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง

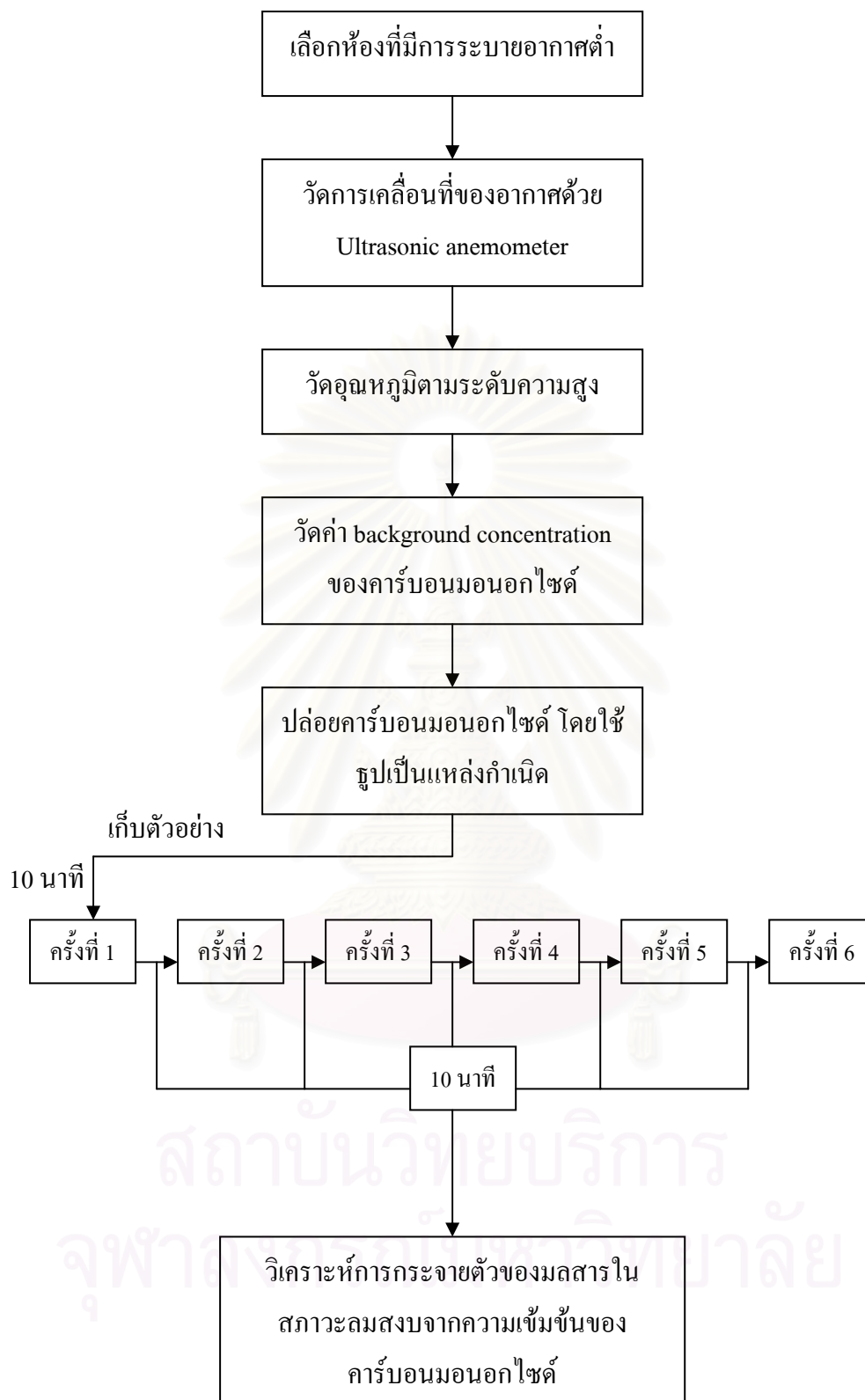
ทดสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง โดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองคุณภาพอากาศ GAMMA ซึ่งพัฒนาสำหรับสภาวะลมสงบ และจากการคำนวณในหัวข้อ 3.4.2



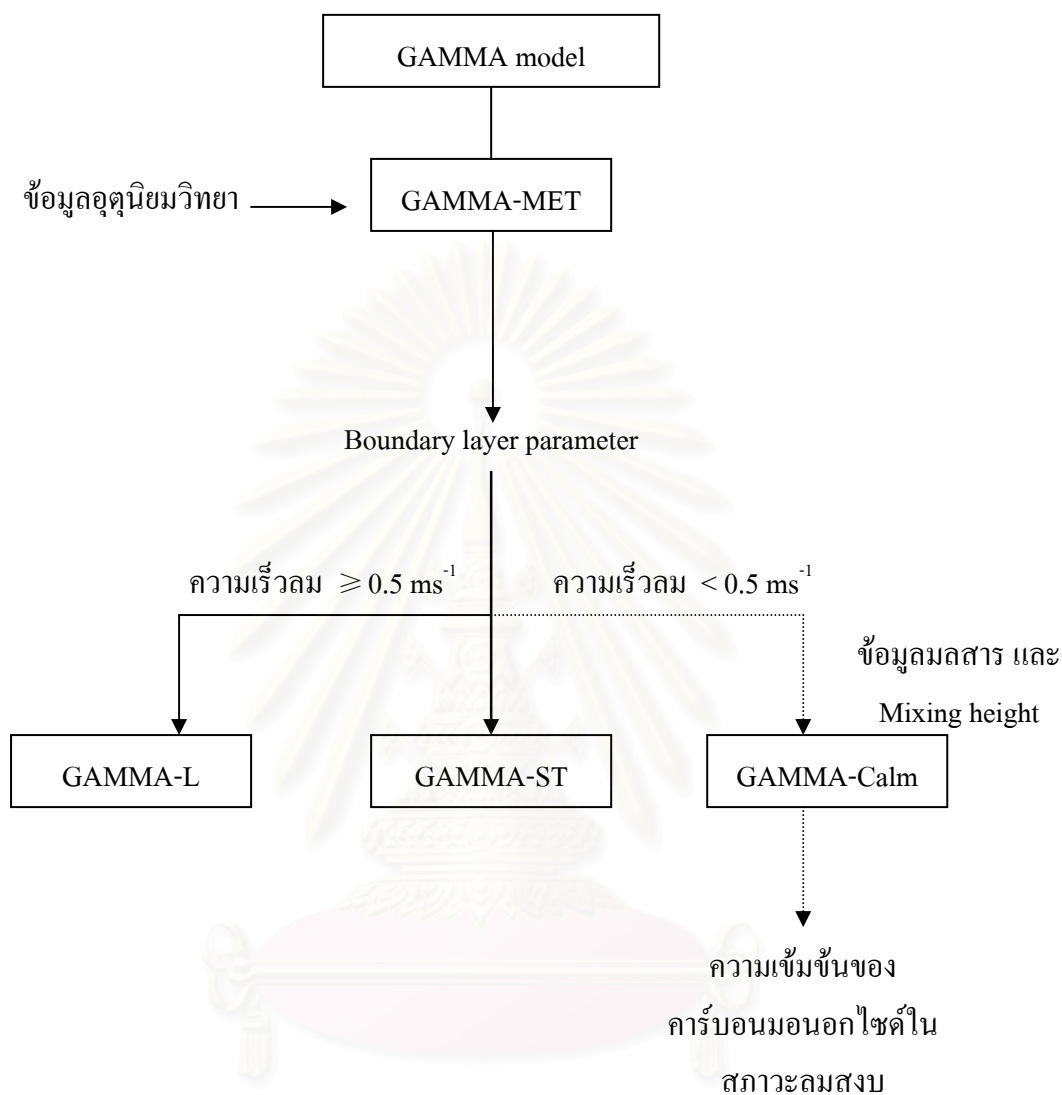
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.17 แผนผังการวิจัยการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 3.18 แผนผังการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ



ภาพที่ 3.19 แผนผังการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบใน GAMMA model

หมายเหตุ : — โปรแกรมเดิม

----- โปรแกรมที่พัฒนาใหม่

บทที่ 4

ผลการศึกษา

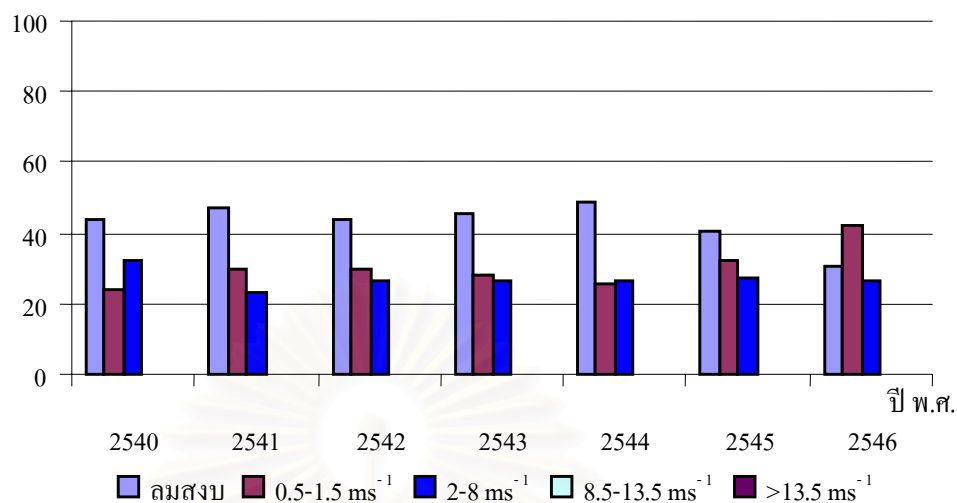
4.1 สภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร

การศึกษาสภาพการเกิดลมสงบในเขตเมือง ซึ่งลมสงบมักเกิดขึ้นบ่อยในเขตเมืองอย่างเช่น กรุงเทพมหานคร เป็นต้น และอาจก่อให้เกิดปัญหารุนแรงได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงปริมาณความถี่และช่วงเวลาในการเกิดสภาวะลมสงบ รวมถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเกิดสภาวะลมสงบ โดยผลจากการศึกษาเป็นดังนี้

4.1.1 ความถี่และช่วงเวลาในการเกิดลมสงบ

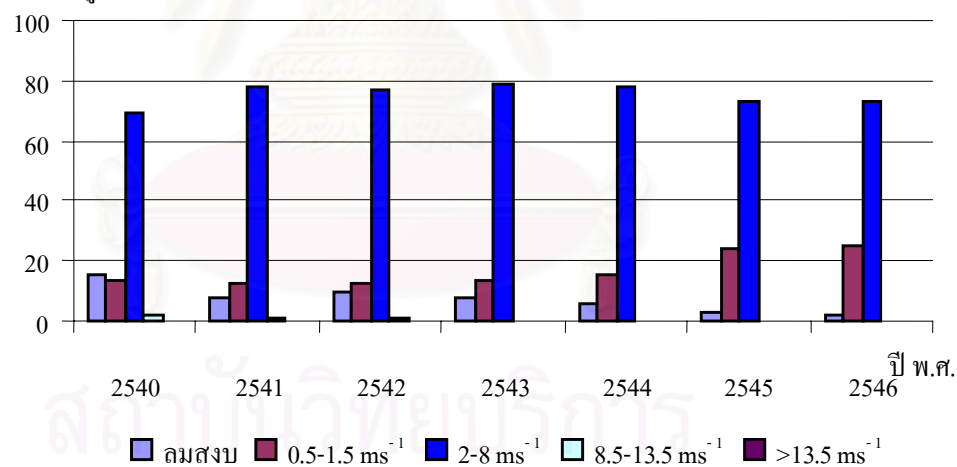
จากข้อมูลการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา 2 สถานี คือ สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (ศูนย์ฯ สิริกิติ์) และสถานีอุตุนิยมวิทยาخنสงคอนเมือง โดยพิจารณาจากความเร็วลมในช่วงต่างๆ คือ ต่ำกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที (ลมสงบ), 0.5-1 เมตรต่อวินาที, 2-8 เมตรต่อวินาที, 8.5-13 เมตรต่อวินาที และ มากกว่า 13.5 เมตรต่อวินาที จากข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงตลอดทั้งปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 - 2546 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ พบว่าสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2540 - 2546 นั้นพบสภาวะลมสงบ (ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที) เป็นส่วนใหญ่ และพบในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับความเร็วลมช่วงอื่นๆ โดยร้อยละของการเกิดลมสงบมีค่าเกินร้อยละ 40 ของเวลาทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่สูง แต่สำหรับในปี พ.ศ. 2546 พบว่าปริมาณที่เกิดลมสงบนั้นน้อยกว่าปีอื่น โดยความเร็วลมส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 0.5 - 1 เมตรต่อวินาที ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ความเร็วลมต่ำเช่นกัน (ภาพที่ 4.1) สำหรับสถานีอุตุนิยมวิทยาخنสงคอนเมืองพบว่า โดยส่วนใหญ่ความเร็วลมอยู่ในช่วง 2-8 เมตรต่อวินาที โดยพบสภาวะลมสงบน้อยมากในทุกปี (ภาพที่ 4.2)

ร้อยละของข้อมูลความเร็วลม



ภาพที่ 4.1 ร้อยละของข้อมูลที่มีความเร็วลมต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2540 - 2546

ร้อยละของข้อมูลความเร็วลม



ภาพที่ 4.2 ร้อยละของข้อมูลที่มีความเร็วลมต่างๆ จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาขอนแก่นเมือง ปี พ.ศ. 2540 - 2546

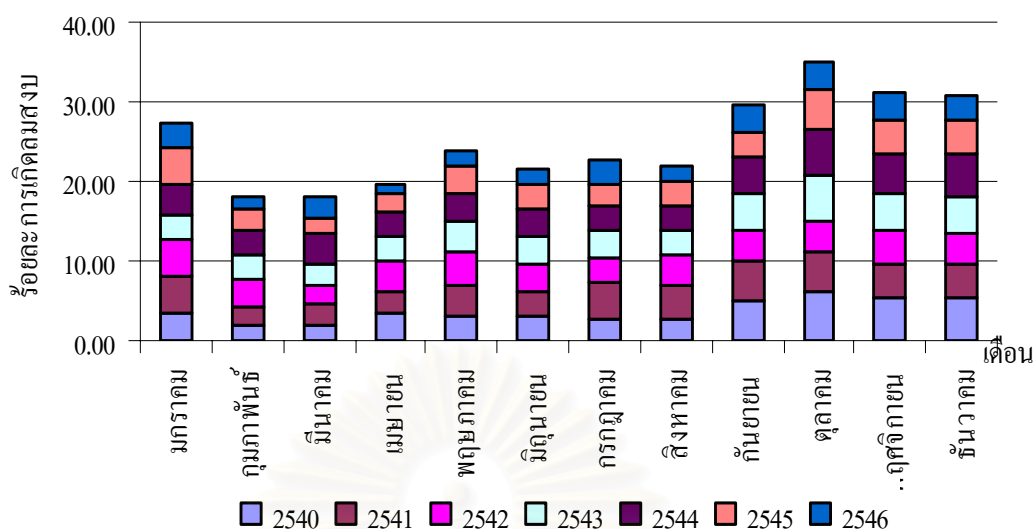
ข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยาทั้ง 2 สถานี ในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – 2546 แสดงให้เห็นว่า ในกรุงเทพมหานครพบสภาวะลมสงบ (calm condition) โดยเฉลี่ยร้อยละ 42.86 สำหรับสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ และร้อยละ 7.08 สำหรับสถานีอุตุนิยมวิทยาขอนแก่นเมือง (ตารางที่ 4.1) ซึ่งพบว่าสถานีตรวจอากาศเฉลิม

พระเกียรติกรุงเทพฯ เกิดสภาวะลมสงบสูงมากเนื่องจากเป็นบริเวณที่ตั้งอยู่ในเขตที่มีลักษณะเป็นเมือง และมีตึกล้อมรอบอยู่บริเวณสถานีตรวจวัด ทำให้ความเร็วลมบริเวณนี้มีค่าต่ำ ส่วนสถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมืองพบว่าสภาวะลมสงบนั้นเกิดน้อยมาก เนื่องจากสถานีตรวจวัดของคอนเมืองนั้นตั้งอยู่บริเวณหอบังคับการบินของสนามบินคอนเมือง โดยอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (anemometer) ตั้งอยู่ที่ความสูง 11 เมตรจากพื้นดิน ซึ่งพ้นจาก surface roughness ประกอบกับเป็นที่โล่งกว้าง อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีการขึ้นลงของเครื่องบิน ดังนั้นจึงอาจมีผลมาจากเครื่องบินเวลาที่เครื่องบินมีการขึ้นและลง ส่งผลให้ความเร็วลมบริเวณนี้มีค่าสูง และไม่ค่อยพบสภาวะลมสงบ

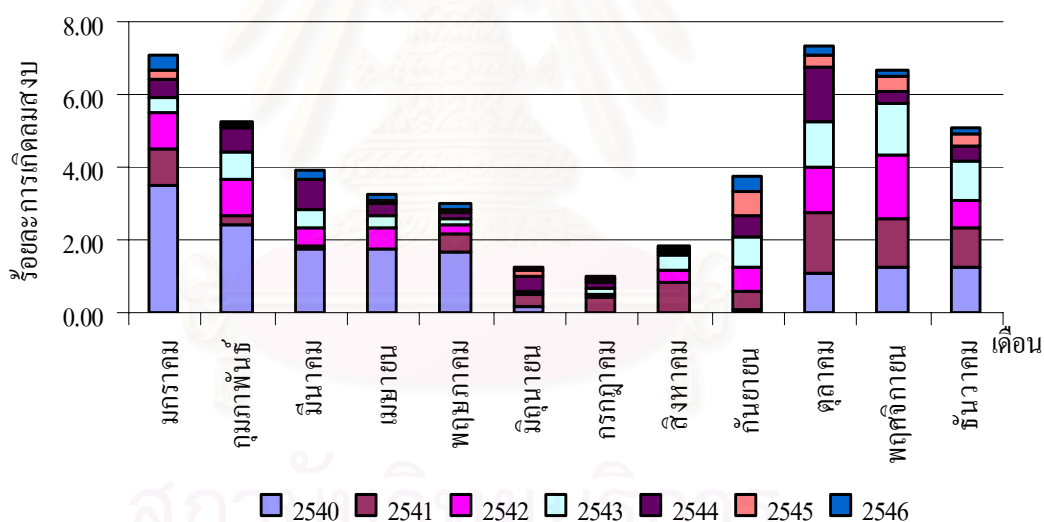
ตารางที่ 4.1 ร้อยละการเกิดลมสงบบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ และสถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมือง ปี พ.ศ. 2540 - 2546

ปี พ.ศ.	สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (%)	สถานีคอนเมือง (%)
2540	43.85	15.00
2541	47.06	8.00
2542	43.80	8.21
2543	45.52	7.35
2544	48.31	6.11
2545	40.71	2.48
2546	30.80	2.40
เฉลี่ย	42.86	7.08

การเกิดสภาวะลมสงบในแต่ละเดือนจะแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาร้อยละของการเกิดลมสงบในแต่ละเดือนจากข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ และสถานีคอนเมือง ปี พ.ศ. 2540 – 2546 พบว่าสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ สภาวะลมสงบเกิดสูงในช่วงเดือนมกราคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ดังภาพที่ 4.3 ส่วนสถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมืองพบสภาวะลมสงบสูงในช่วงเดือนมกราคม ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ดังภาพที่ 4.4 ซึ่งทั้ง 2 สถานีพบสภาวะลมสงบสูงที่สุดในเดือนตุลาคม และรองลงมาคือเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝน และฤดูหนาว แต่สำหรับในช่วงฤดูร้อนพบสภาวะลมสงบน้อยมาก



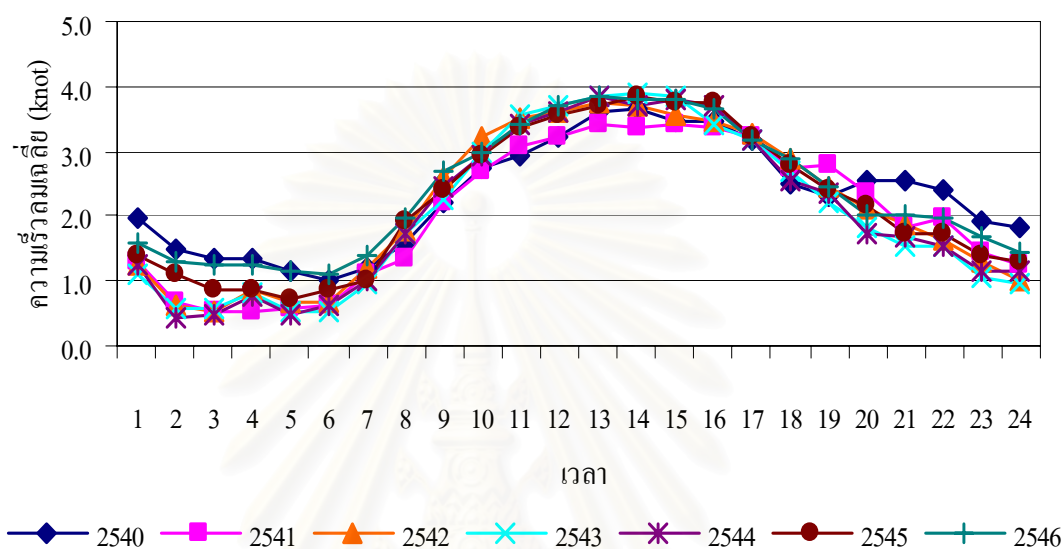
ภาพที่ 4.3 ร้อยละการเกิดลมสงบในแต่ละเดือน จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2540 - 2546



ภาพที่ 4.4 ร้อยละการเกิดลมสงบในแต่ละเดือน จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยาخنส่งคอนเมือง ปี พ.ศ. 2540 - 2546

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบสภาวะลมสงบ และความเร็วลมต่ำในปริมาณที่สูงมาก แต่สถานีคอนเมืองพบในปริมาณน้อย เพราะความเร็วลมส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2 – 8 เมตรต่อวินาที เนื่องจากสภาพของพื้นที่ ดังนั้นจึงพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเร็วม จากข้อมูลการตรวจวัดของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ เท่านั้น เนื่องจากเป็นสถานีที่พบสภาวะลมสงบเกิดขึ้นสูง โดยพิจารณาจาก

ข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมง พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วลมเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2540 - 2546 ของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีรูปแบบของความเร็วลมในแต่ละวัน (01.00 น. - 24.00 น.) เป็นรูปแบบเดียวกัน คือ ความเร็วลมต่ำหรือเกิดสภาวะลมสงบในช่วงเวลา กลางคืนถึงเช้า (ประมาณ 19.00 น. - 7.00 น.) ส่วนในช่วงสายถึงเย็น (ประมาณ 8.00 น. - 18.00 น.) ความเร็วลมค่อนข้างสูง เหมือนกันทุกปี ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วลมเฉลี่ย (mean wind speed; knot) เฉลี่ยทั้งปี ของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2540 - 2546

4.1.2 ลักษณะปัญหาในสภาวะลมสงบ

จากการศึกษาความถี่และช่วงเวลาในการเกิดสภาวะลมสงบพบว่า ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเขตเมื่อนั้นเกิดสภาวะลมสงบสูงมาก ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงลักษณะของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดสภาวะลมสงบ โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการตรวจวัดดังนี้

ข้อมูลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ 4 สถานี ปี พ.ศ. 2546 ได้แก่

- 1) สถานีการไฟฟ้าอโยธยาบุรี
- 2) สถานีเคหะชุมชนดินแดง
- 3) สถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง
- 4) สถานีสิงหาราชพิทยาคม

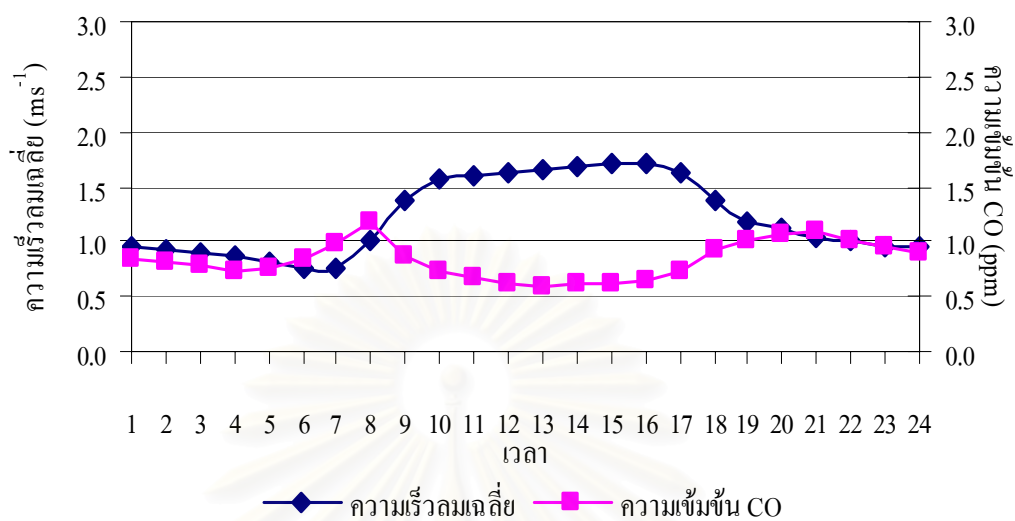
จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมควบคุมมลพิษทั้ง 4 สถานี พบสภาวะลมสงบ (ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที) เป็นปริมาณ 14.49% โดยพบในเวลากลางวัน 2.97% เวลากลางคืน 11.52% สำหรับสถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี, 1.00% สำหรับสถานีเคหะชุมชนดินแดง เป็นเวลากลางวัน 0.60% และเวลากลางคืน 0.40%, 7.31% สำหรับสถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง เป็นเวลากลางวัน 1.79% และเวลากลางคืน 5.52% และสถานีสิงหราชพิทยาคมพบเป็นปริมาณ 15.54% โดยเป็นเวลากลางวัน 3.27% และ 12.27% ในเวลากลางคืน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละการเกิดลมสงบจากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมรายชั่วโมงของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2546

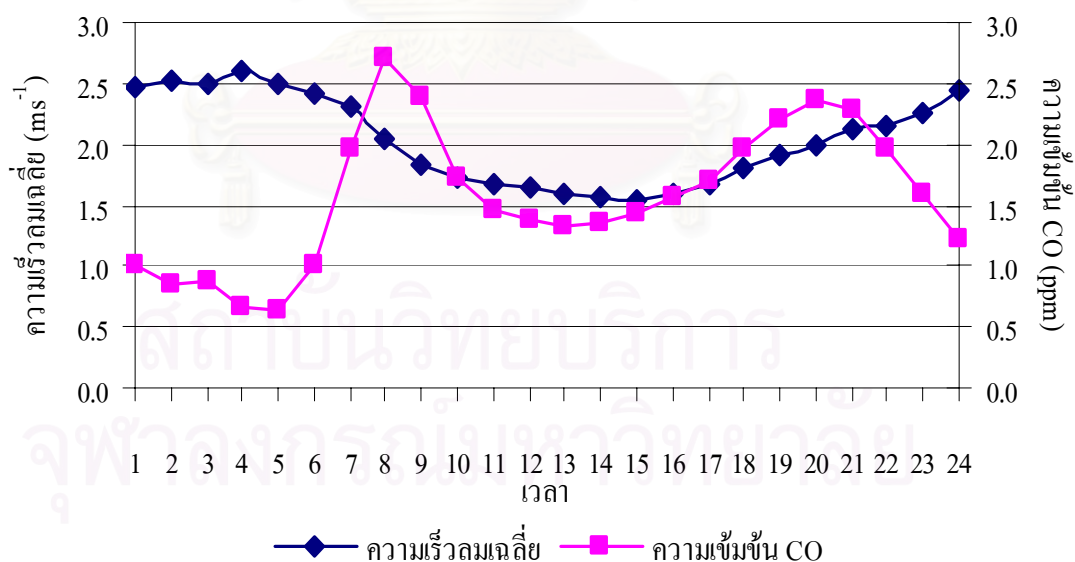
สถานีตรวจวัด	จำนวน ข้อมูล	ร้อยละการเกิดลมสงบ (%)		
		รวม	กลางวัน	กลางคืน
สถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี	8,307	14.49	2.97	11.52
สถานีเคหะชุมชนดินแดง	8,032	1.00	0.60	0.40
สถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง	8,210	7.31	1.79	5.52
สถานีสิงหราชพิทยาคม	8,353	15.54	3.27	12.27

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงของทั้ง 4 สถานี พบว่าแนวโน้มของความสัมพัทธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยลักษณะของกราฟความเร็วลมในเวลากลางคืนถึงเข้ามีลักษณะต่ำ ส่วนในเวลากลางวันกราฟมีลักษณะสูง เนื่องจากในเวลากลางคืนบริเวณพื้นผิวมีการคายความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันอย่างรวดเร็ว ทำให้อากาศที่สัมผัสพื้นเย็นกว่าอากาศที่อยู่ด้านบน ผลให้เกิดอินเวอร์ชันและบรรยากาศมีความคงตัว ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับสภาวะที่เป็นลมอ่อน ส่วนในเวลากลางวันสภาพบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว มีความปั่นป่วนเกิดขึ้นสูงทำให้ความเร็วลมสูง และพบว่าเมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำ ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าสูง ซึ่งสภาวะนี้มักเกิดในช่วงกลางคืนถึงตอนเช้า (ประมาณ 19.00 น. – 7.00 น.) แต่เมื่อความเร็วลมมีค่าสูง ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าต่ำ โดยมักเกิดในช่วงตอนสายถึงตอนเย็น (ประมาณ 8.00 น. – 18.00 น.) โดยพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงสุด (peak) 2 ครั้งในช่วงเวลา 1 วัน คือช่วงเช้า (ประมาณ 8.00 น.) และช่วงเย็น (ประมาณ 20.00 น.) ซึ่งเป็นช่วงชั่วโมงเร่งด่วนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น (rush hours) ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูง ดังภาพที่ 4.6 ถึง 4.9 สำหรับสถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรี สถานีเคหะชุมชนดินแดง สถานีสนามกีฬา

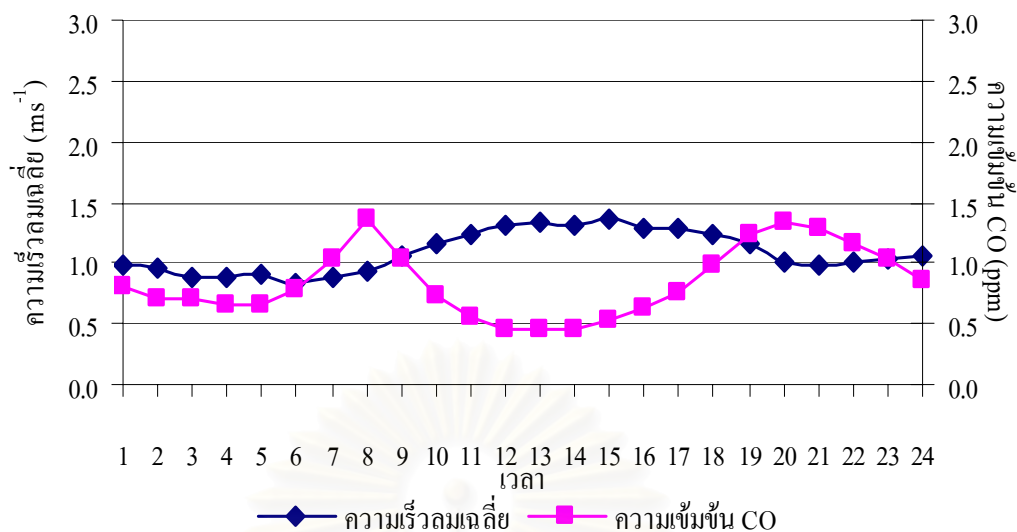
การเคหะชุมชนห้วยขวาง และสถานีสิงหราชพิทยาคม ตามลำดับ



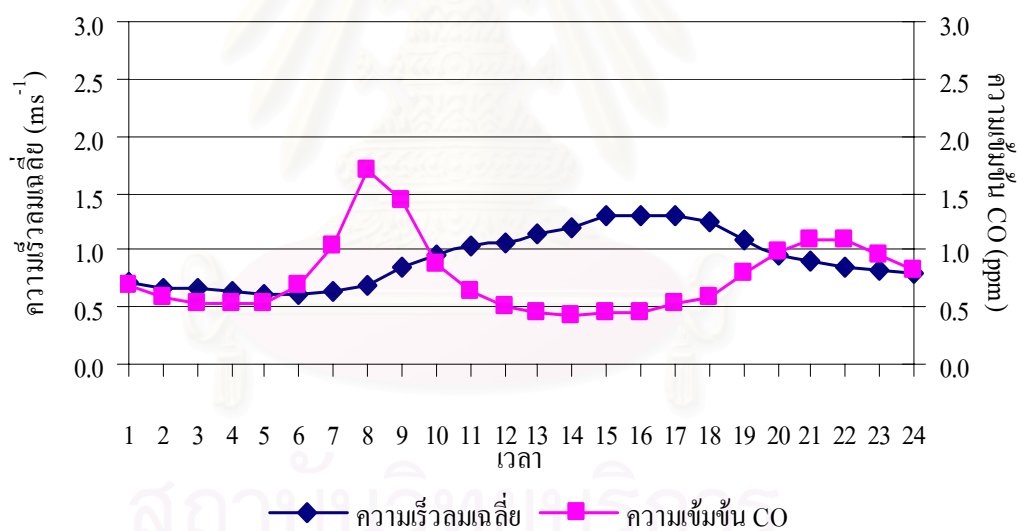
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงของสถานีการไฟฟ้าอยุธยาธนบุรี ปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงของสถานีเคหะชุมชนดินแดง ปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงของสถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง ปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงของสถานีสิงหาราชภัฏ ปี พ.ศ. 2546

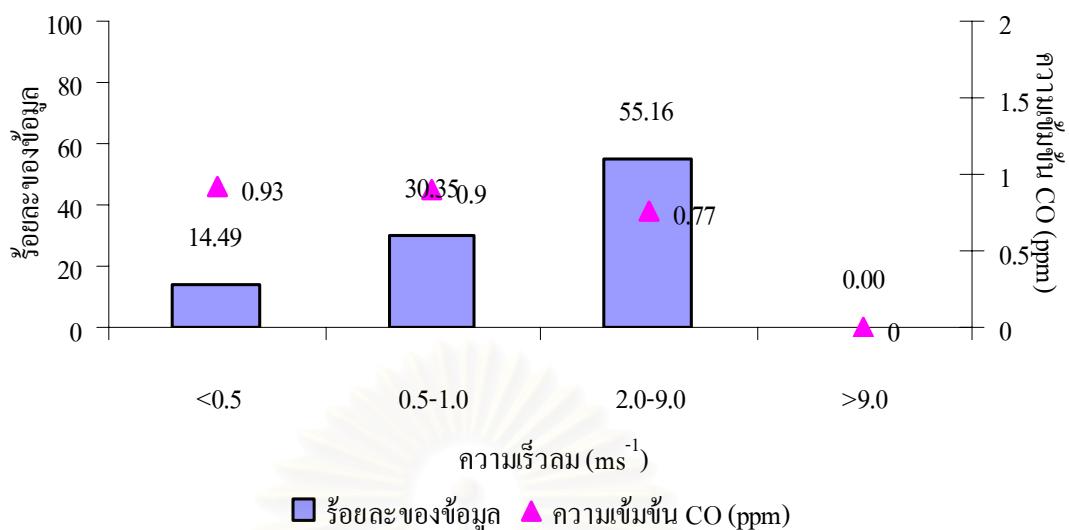
สภาวะลมสงบจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สนับสนุนให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงเช่นกัน นอกเหนือจากปริมาณการจราจร ซึ่งหากพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาทีพบว่า ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยในสภาวะลมสงบของทั้ง 4 สถานี มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที และสูงกว่าค่าความเข้มข้น

คาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยทั้งปี ดังตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าในสภาวะลมสงบนั้น ความเข้มข้นของมลสารมีค่าสูงกว่าในช่วงความเร็วลมสูง ซึ่งเกิดมาจากการสะสมตัวของมลสารในสภาวะนี้

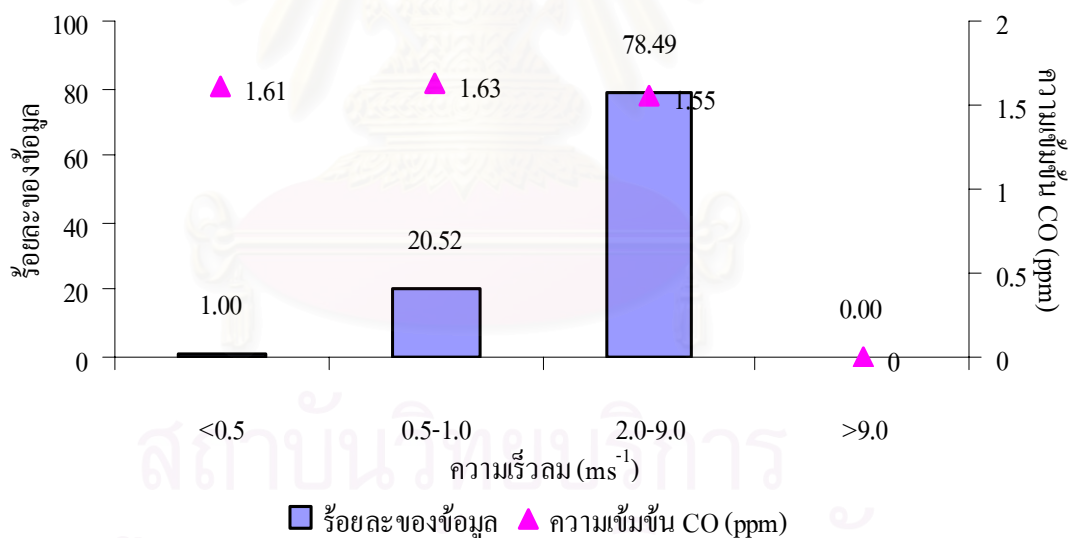
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2546

สถานีตรวจวัด	จำนวนข้อมูล	ความเข้มข้น CO เฉลี่ยทั้งปี (ppm)	ความเข้มข้น CO เฉลี่ยในสภาวะลมสงบ (ppm)	ความเข้มข้น CO เฉลี่ยที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 ms ⁻¹ (ppm)
การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี	8,307	0.83	0.93	0.82
เคหะชุมชนดินแดง	8,032	1.57	1.61	1.59
เคหะชุมชนห้วยขวาง	8,210	0.84	1.12	0.82
สิงหราชพิทยาคม	8,353	0.77	1.13	0.70

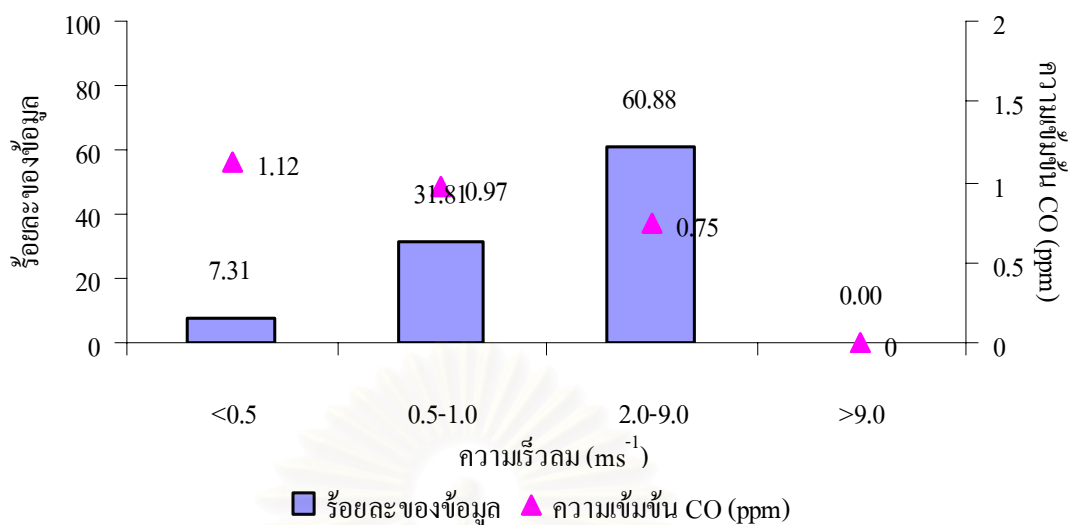
หากพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความเร็วลมในช่วงต่างๆ คือ น้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที, 0.5 – 1 เมตรต่อวินาที, 2 – 9 เมตรต่อวินาที และมากกว่า 9 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำ ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าสูง และมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเร็วลมมีค่าสูงขึ้น เช่นเดียวกันทั้ง 4 สถานี โดยในสภาวะลมสงบหรือความเร็วลมต่ำ ความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วลมสูงๆ ถึงแม้ว่าความถี่ในการเกิดลมสงบและความเร็วลมต่ำน้อยกว่า โดยเฉพาะที่ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที (ลมสงบ) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงที่สุด แต่เกิดในปริมาณต่ำที่สุด ส่วนที่ความเร็วลม 2 – 9 เมตรต่อวินาที ซึ่งพบในปริมาณที่มาก แต่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุด โดยพบว่าความเร็วลมยิ่งสูง ความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ก็ยิ่งมีค่าต่ำ ดังภาพที่ 4.10 ถึง 4.13 สำหรับสถานีการไฟฟ้าอ้อยธนบุรี สถานีเคหะชุมชนดินแดง สถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง และสถานีสิงหราชพิทยาคม ตามลำดับ



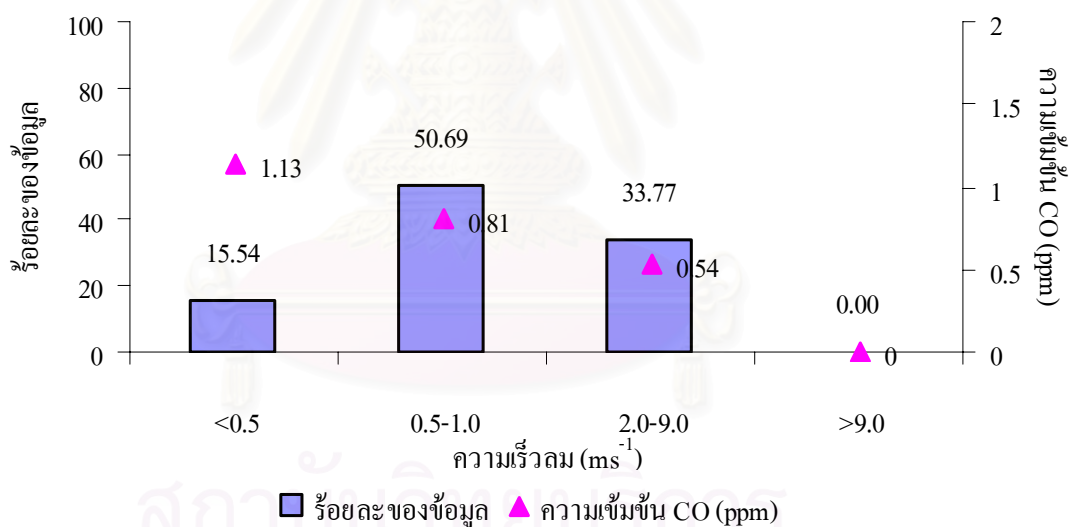
ภาพที่ 4.10 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์จากสถานีการไฟฟ้าย่อยธนบุรี ปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4.11 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์จากสถานีเคหะชุมชนดินแดง ปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4.12 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์จากสถานีเคหะชุมชนห้วยขวาง ปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 4.13 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์จากสถานีสิงหราชพิทยาคม ปี พ.ศ. 2546

4.2 สภาพลมสงบในบริเวณพื้นที่ศึกษา

ศึกษาข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ปี พ.ศ. 2547 โดยทำการเก็บข้อมูลความเร็วลม และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ราย 5 นาที ซึ่งบริเวณเก็บตัวอย่าง ได้แก่

- 1) บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ (ถนนสาทร)
- 2) บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย (ถนนสาทร)
- 3) บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ (ถนนสุขุมวิท)

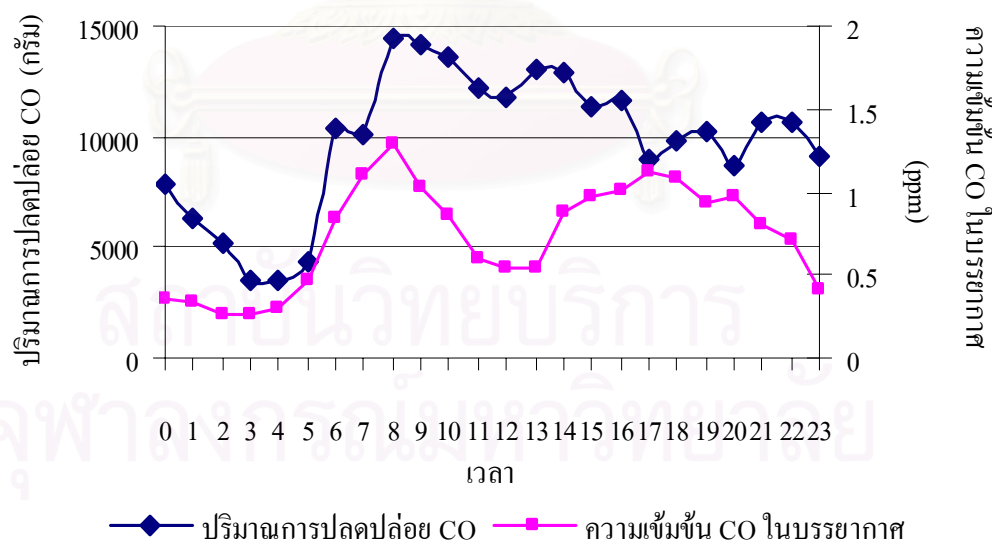
จากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมราย 5 นาที บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี พบสภาวะลมสงบ (ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที) ทั้งหมด 10.86 % ในครั้งที่ 1 (ฤดูฝน) และ 6.78 % ในครั้งที่ 2 (ฤดูแล้งฝน) และเมื่อพิจารณาแต่ละสถานีพบว่าบริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ในฤดูฝน พบสภาวะลมสงบเป็นปริมาณ 3.60% เป็นเวลากลางวัน 0.62% เวลากลางคืน 2.98% และฤดูแล้งฝนพบ 3.92% เป็นเวลากลางวัน 1.05% เวลากลางคืน 2.88%, บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยฤดูฝนพบปริมาณ 10.76% เป็นเวลากลางวัน 3.59% เวลากลางคืน 7.17% และฤดูแล้งฝนพบ 5.27% เป็นเวลากลางวัน 2.50% เวลากลางคืน 2.77% และสุดท้ายบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญในฤดูฝน พบปริมาณ 18.32% เป็นเวลากลางวัน 2.66% เวลากลางคืน 15.66% และฤดูแล้งฝนปริมาณ 12.89% เวลากลางวัน 0.85% เวลากลางคืน 12.04% ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ร้อยละการเกิดลมสงบจากข้อมูลการตรวจวัดความเร็วลมราย 5 นาทีบริเวณพื้นที่ศึกษา

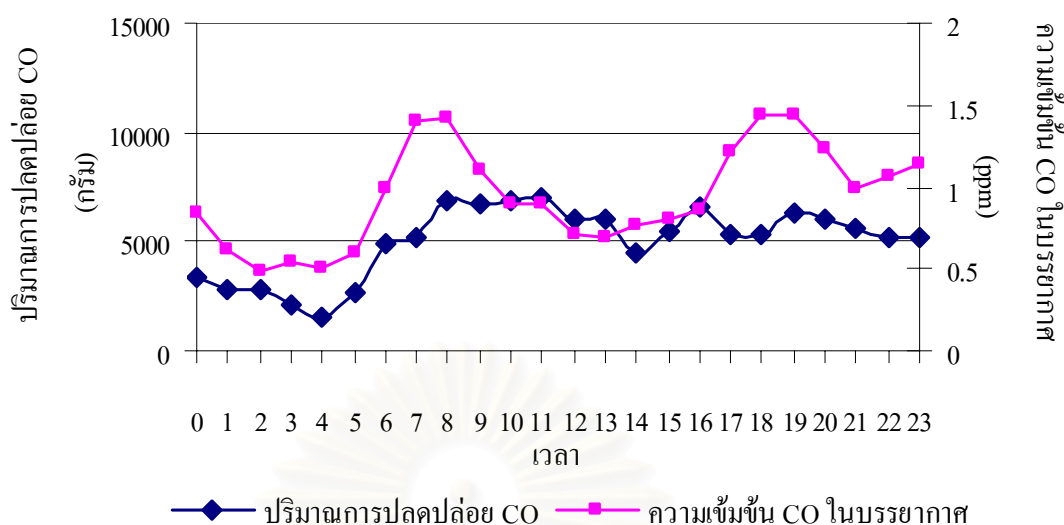
สถานีตรวจวัด	ฤดู	จำนวนข้อมูล	ร้อยละการเกิดลมสงบ		
			รวม	กลางวัน	กลางคืน
โรงพยาบาลเซนต์หลุยส์	ฝน	1,444	3.60	0.62	2.98
	แล้งฝน	1,529	3.92	1.05	2.88
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน	ฝน	1,450	10.76	3.59	7.17
	แล้งฝน	1,442	5.27	2.50	2.77
โรงเรียนแสงหิรัญ	ฝน	1,430	18.32	2.66	15.66
	แล้งฝน	1,296	12.89	0.85	12.04

ความถี่ของการเกิดลมสงบ พบว่าบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญเกิดสภาวะลมสงบสูงกว่าบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยและโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ เนื่องจากจุดตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญตั้งอยู่ใกล้กับอาคารเรียน และบริเวณรอบๆ ของโรงเรียนมีอาคารล้อมรอบ ในขณะที่โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย จุดตรวจวัดตั้งอยู่ใกล้กับต้นไม้และสนามฟุตบอลซึ่งเป็นที่โล่ง ส่วนบริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์จุดตรวจวัดตั้งอยู่บริเวณสนามหญ้าหน้าโรงพยาบาล จึงพบปริมาณลมสงบต่ำที่สุด และพบว่าในฤดูฝนเกิดสภาวะลมสงบมากกว่าในฤดูแล้งฝน ยกเว้นบริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ซึ่งพบปริมาณลมสงบในฤดูแล้งฝนมากกว่า แต่พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าลมสงบเกิดในเวลากลางคืนมากกว่าในเวลากลางวัน

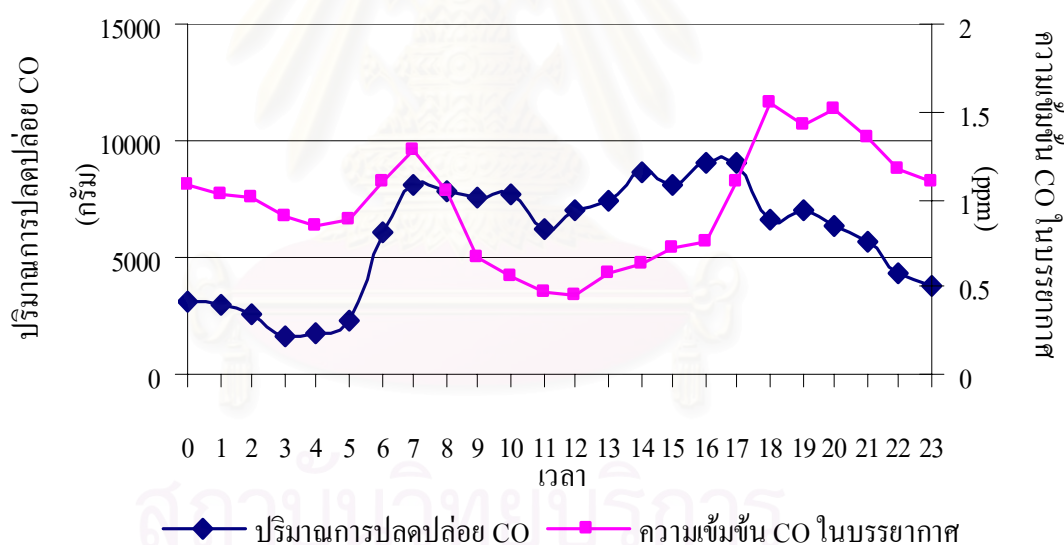
เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ จากปริมาณการจราจร (กรัม) และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศรายชั่วโมง พบว่าคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามีค่าต่ำในเวลากลางคืน ส่วนในเวลากลางวันมีค่าสูง และใกล้เคียงกัน แล้วค่อยๆ ลดต่ำลงตั้งแต่เวลาประมาณ 17.00 น. แต่ยังคงมีค่าสูงจนถึงเวลา 24.00 น. สำหรับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศ พบว่าไม่เป็นเช่นเดียวกับปริมาณ การปลดปล่อยจากการจราจรคือ ช่วงที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมามาก ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศกลับมีค่าต่ำ ในขณะที่เมื่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ปลดปล่อยออกมามีค่าน้อย ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศมีค่าสูง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อย กับความเข้มข้น คาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ (ภาพที่ 4.14) พบว่า เมื่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ใน บรรยากาศกลับมีแนวโน้มลดลง และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อย ลดลง เช่นเดียวกับบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย (ภาพที่ 4.15) สำหรับบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญเห็นได้ชัดเจนว่า ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อย ออกมามีค่าสูงที่สุด แต่ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศกลับลดลงมาต่ำ มาก และต่ำกว่าในช่วงที่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามีค่าน้อยที่สุด (ภาพที่ 4.16)



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อย CO และความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศรายชั่วโมง บริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ วันที่ 8 – 13 กันยายน พ.ศ. 2547



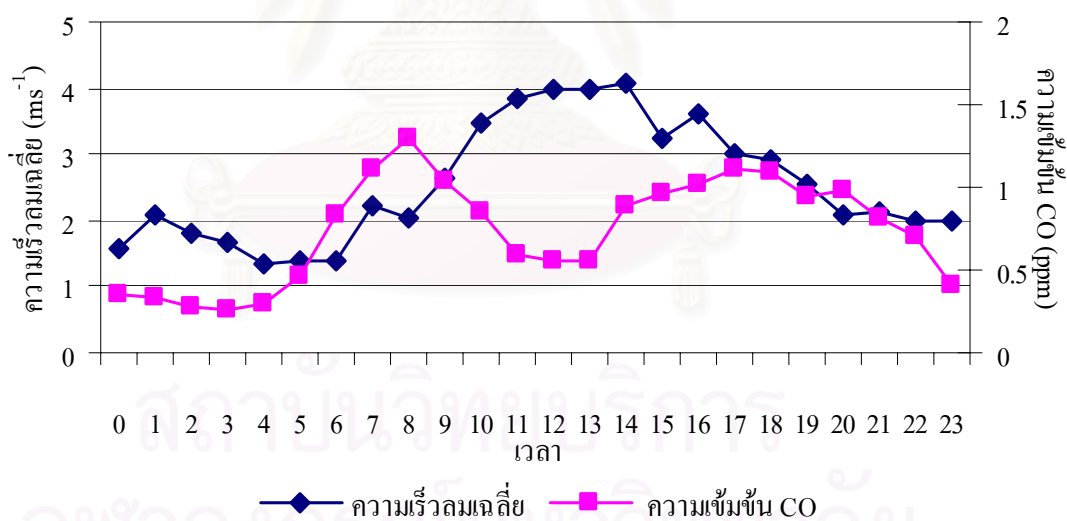
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อย CO และความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศรายชั่วโมง บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย วันที่ 15 – 20 กันยายน พ.ศ. 2547



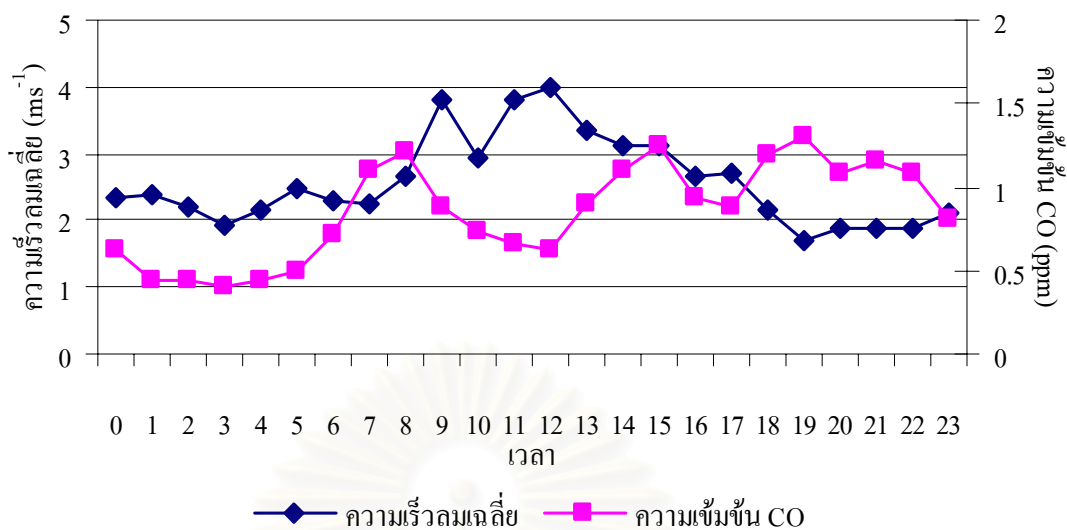
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อย CO และความเข้มข้นของ CO ในบรรยากาศรายชั่วโมง บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ วันที่ 22 – 27 กันยายน พ.ศ. 2547

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศ พบว่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่ได้มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศเท่านั้น แต่ยังคงมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมง จาก

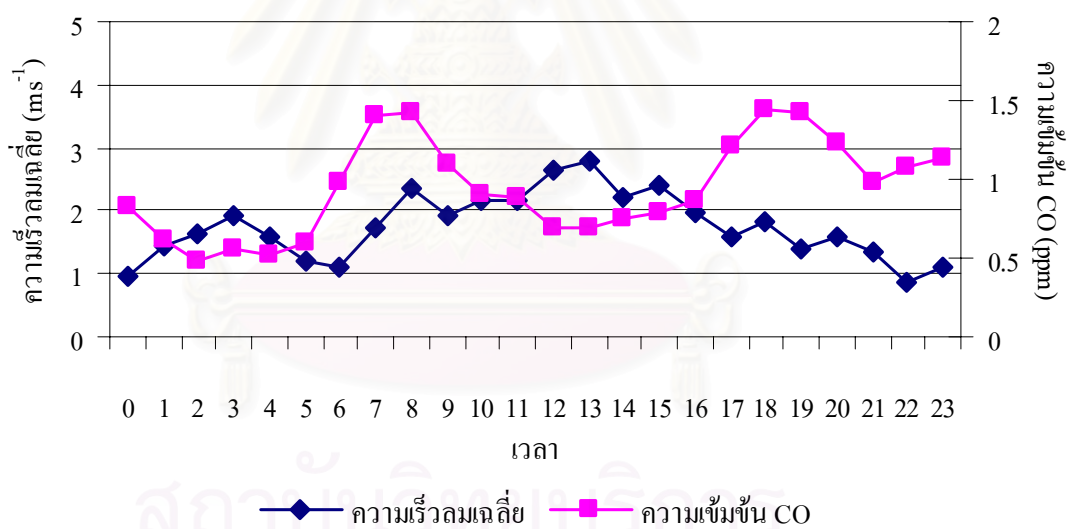
ข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงสุด (peak) 2 ครั้งในช่วงเวลา 1 วัน คือช่วงเช้า (ประมาณ 7.00 - 8.00 น.) และช่วงเย็น (ประมาณ 18.00 - 20.00 น.) ซึ่งเป็นช่วงชั่วโมงเร่งด่วนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น (rush hours) ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงเช่นเดียวกับข้อมูลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมง จากทั้ง 3 สถานี ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน พบว่า เมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำ ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าสูง ในทางกลับกันเมื่อความเร็วลมมีค่าสูง ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าต่ำ โดยรูปแบบของความเร็วลมเป็นเช่นเดียวกับข้อมูลจากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษคือ ความเร็วลมต่ำในช่วงกลางคืนถึงตอนเช้า (ประมาณ 19.00 น. - 7.00 น.) ส่วนในช่วงสายถึงตอนเย็น (ประมาณ 8.00 น. - 18.00 น.) ความเร็วลมจะมีค่าสูง สำหรับบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ (ภาพที่ 4.17 และ 4.18) และโรงเรียนแสงหิรัญ (ภาพที่ 4.21 และ 4.22) แต่สำหรับบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยนั้น ในเวลากลางคืนความเร็วลมมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในครั้งที่ 2 ที่ความเร็วลมในตอนกลางคืนสูงเท่ากับในตอนกลางวัน แต่ยังคงมีค่าต่ำอยู่ (ภาพที่ 4.19 และ 4.20)



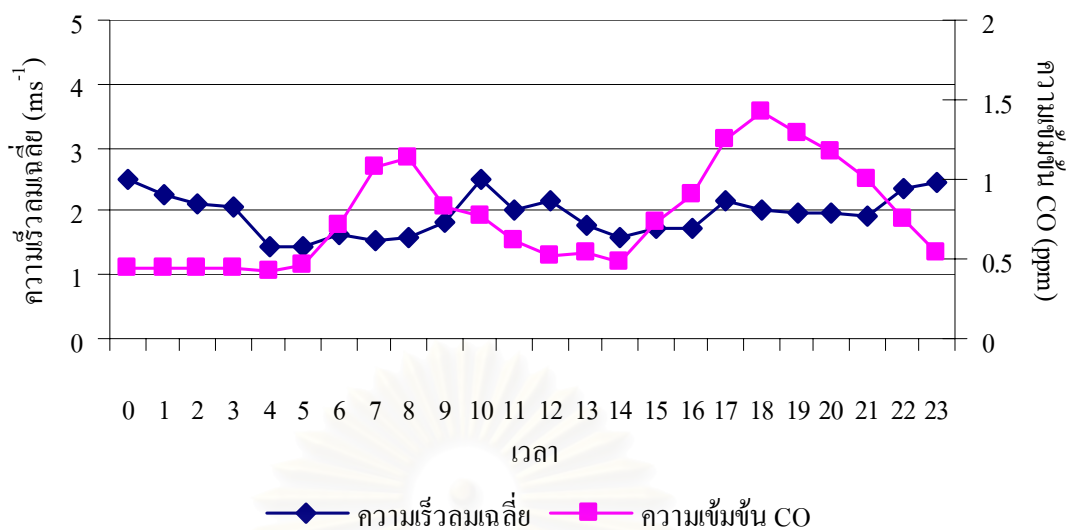
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ครั้งที่ 1 วันที่ 8 - 13 กันยายน พ.ศ. 2547 (ฤดูฝน)



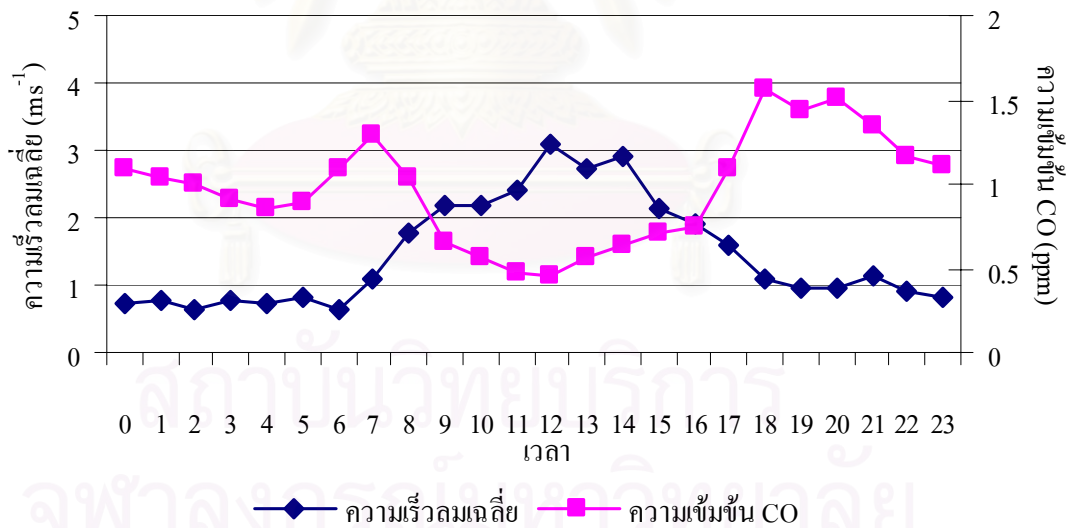
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ครั้งที่ 2 วันที่ 18 – 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 (ฤดูแล้งฝน)



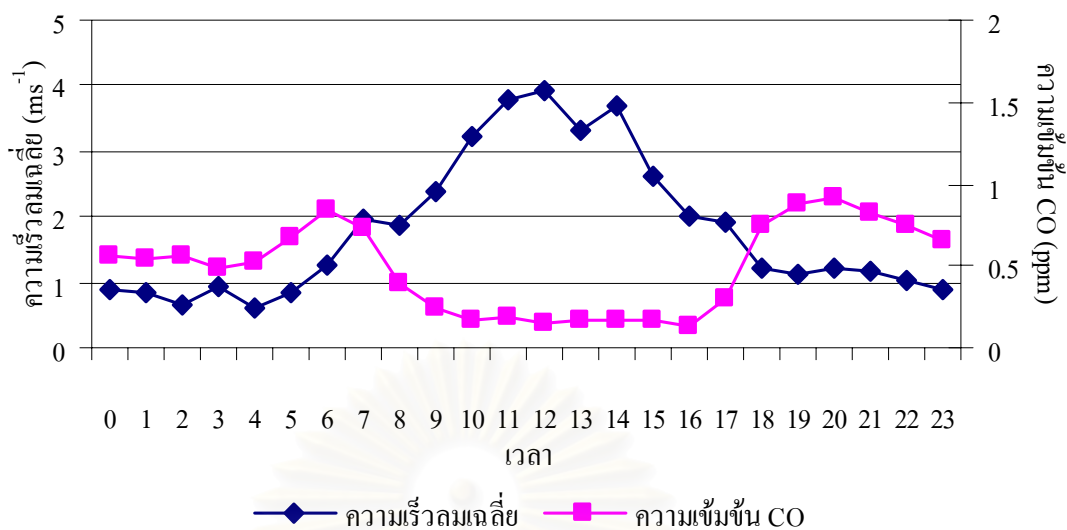
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ครั้งที่ 1 วันที่ 15 – 20 กันยายน พ.ศ. 2547 (ฤดูฝน)



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ครั้งที่ 2 วันที่ 25 – 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 (ฤดูแล้งฝน)



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ครั้งที่ 1 วันที่ 22 – 27 กันยายน พ.ศ. 2547 (ฤดูฝน)



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วลมรายชั่วโมง และความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ รายชั่วโมงบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ครั้งที่ 2 วันที่ 11 – 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 (ฤดูแล้งฝน)

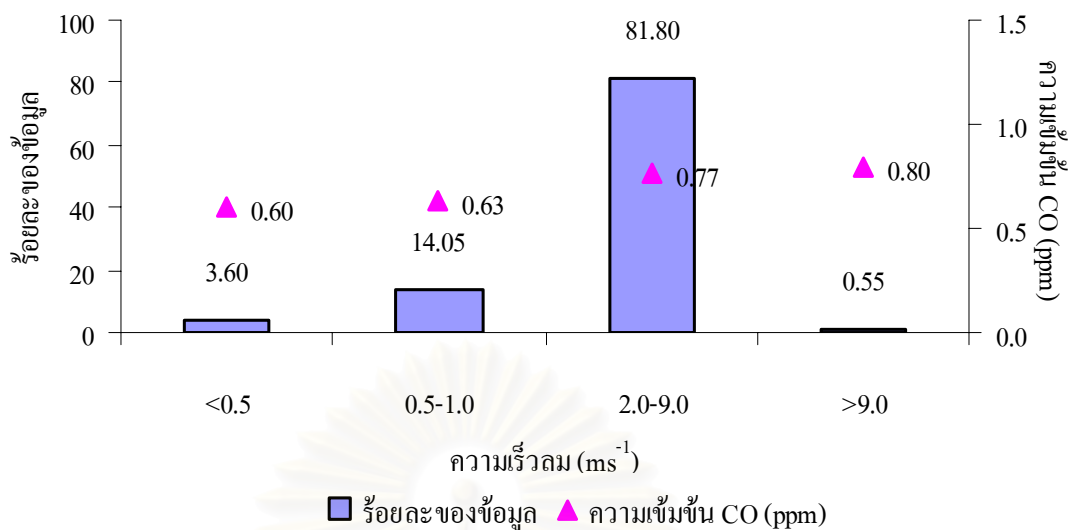
จากข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ และความเร็วลมราย 5 นาที บริเวณพื้นที่ศึกษา หากพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างสถานีละ 2 ครั้ง ผลที่ได้พบว่าที่ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที หรือสภาวะลมสงบนั้นมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที และมีค่ามากกว่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยรวม ยกเว้นบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยในสภาวะลมสงบน้อยกว่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที ดังตารางที่ 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

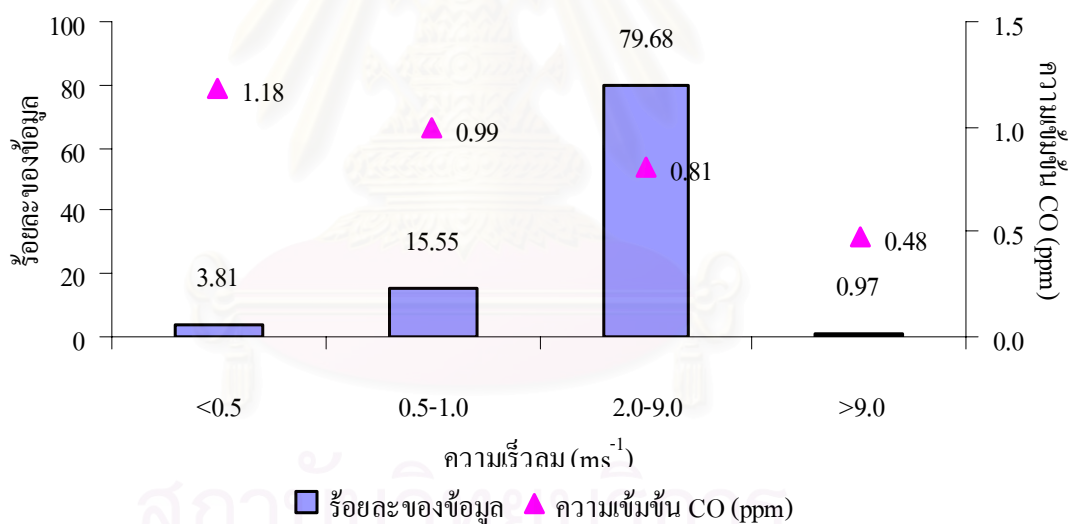
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา

สถานีตรวจวัด	ฤดู	จำนวนข้อมูล	ความเข้มข้น CO เฉลี่ย (ppm)	ความเข้มข้น CO เฉลี่ยในสภาวะลมสงบ (ppm)	ความเข้มข้น CO เฉลี่ยที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 ms ⁻¹ (ppm)
โรงพยาบาล-เซนหลุยส์	ฝน	1,444	0.75	0.60	0.75
	แล้งฝน	1,529	0.86	1.18	0.85
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน	ฝน	1,450	0.94	1.40	0.88
	แล้งฝน	1,442	0.76	0.82	0.76
โรงเรียนแสงหิรัญ	ฝน	1,430	0.97	1.21	0.91
	แล้งฝน	1,296	0.53	0.76	0.50

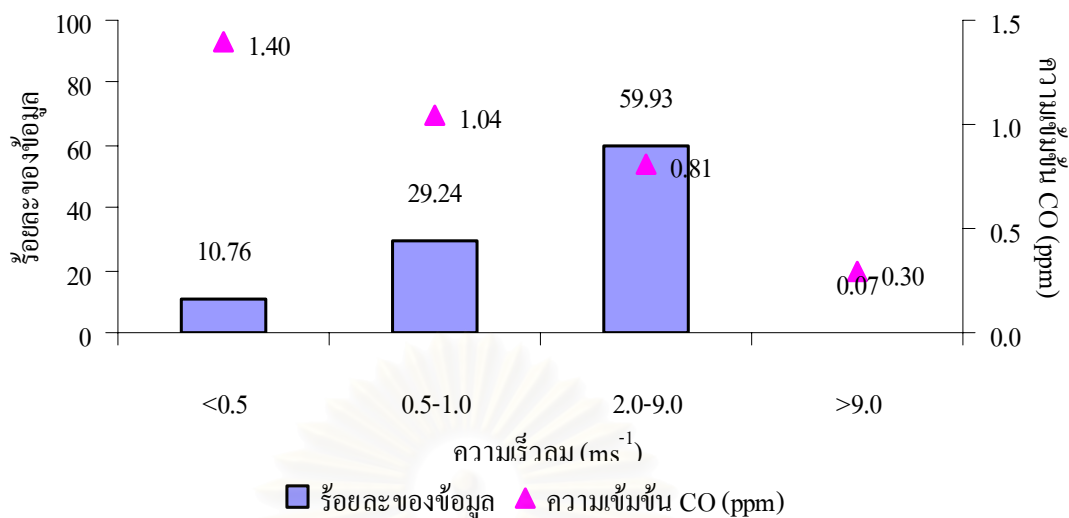
หากพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความเร็วลมช่วงต่างๆ คือ น้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที, 0.5 – 1 เมตรต่อวินาที, 2 – 9 เมตรต่อวินาที และมากกว่า 9 เมตรต่อวินาที พบว่าเป็นเช่นเดียวกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ คือสภาวะลมสงบหรือความเร็วลมต่ำ ความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงกว่าที่ความเร็วลมสูงๆ แม้ว่าจะพบสภาพนี้ในปริมาณที่ต่ำกว่า ยกเว้นบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝน (ภาพที่ 4.23) ที่แนวโน้มของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการตรวจวัด พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีค่าสูงและเกิดในช่วงที่ความเร็วลมสูงนั้นเกิดในช่วงเวลา 16.00 น.- 19.00 น. เป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นช่วงที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นบริเวณหน้าโรงพยาบาล ดังนั้นจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงแม้ว่าความเร็วลมสูง และจุดตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ยังตั้งอยู่ใกล้กับลานจอดรถของโรงพยาบาล ซึ่งอาจมีผลมาจากรถที่เข้ามาจอดภายในโรงพยาบาลด้วย ส่วนในฤดูแล้งฝนของโรงพยาบาลเซนหลุยส์ (ภาพที่ 4.24) บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยทั้งในฤดูฝนและแล้งฝน (ภาพที่ 4.25 และ 4.26) และบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญทั้งฤดูฝนและแล้งฝน (ภาพที่ 4.27 และ 4.28) เป็นเช่นเดียวกับข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ



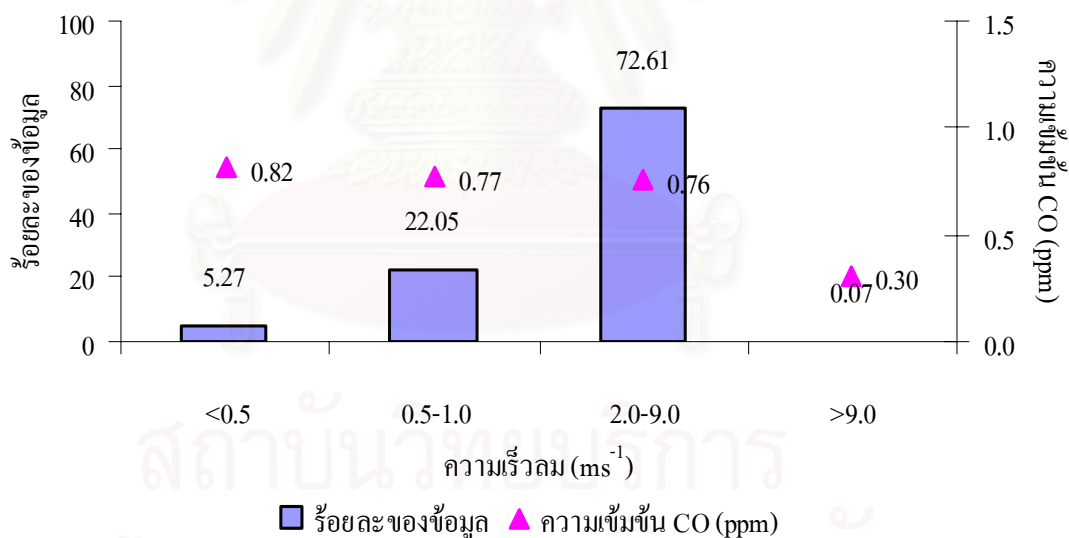
ภาพที่ 4.23 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณ
โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้ง



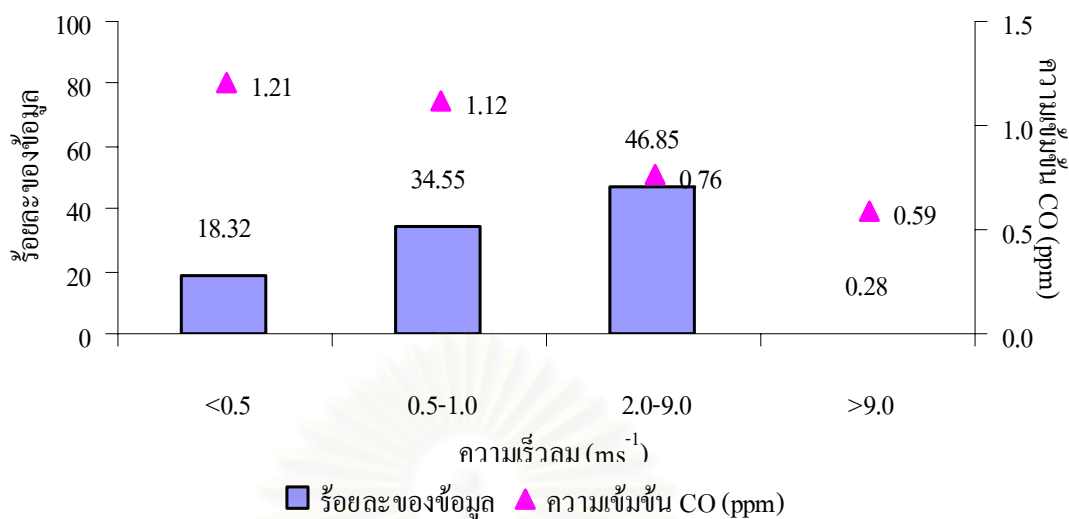
ภาพที่ 4.24 ร้อยละของการช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์
บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแฉ้งฝน



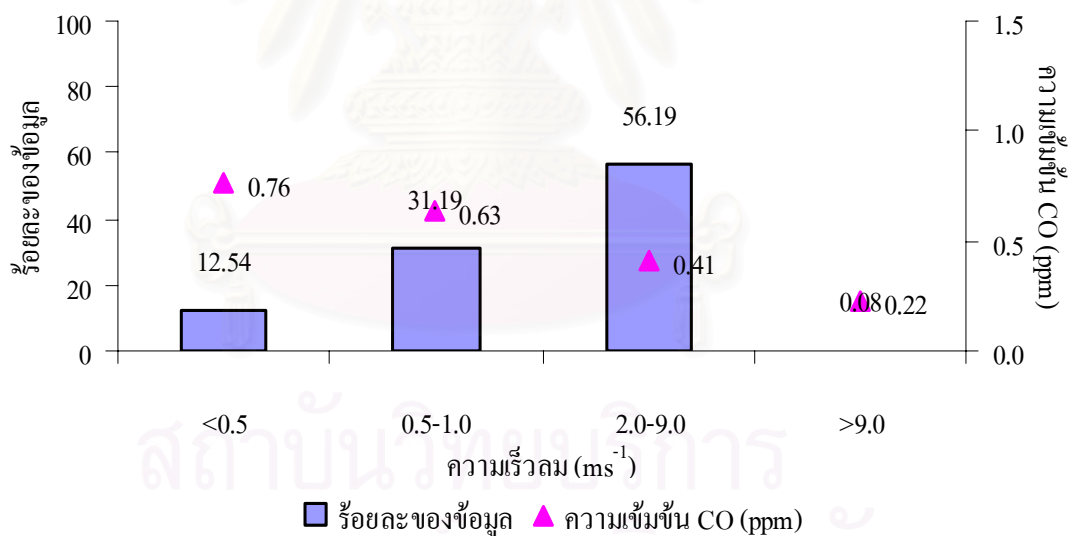
ภาพที่ 4.25 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณ
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ดุสิต



ภาพที่ 4.26 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณ
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ดุสิต



ภาพที่ 4.27 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณ
โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝน



ภาพที่ 4.28 ร้อยละของช่วงความเร็วลม และความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณ
โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง

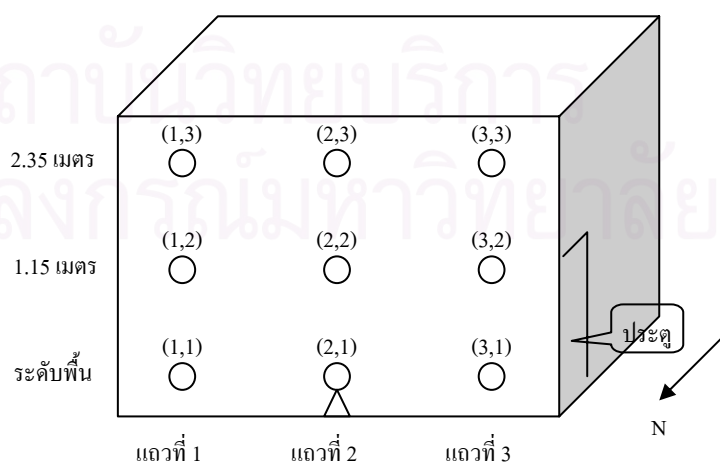
4.3 ลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ

4.3.1 การกระจายตัวและองค์ประกอบของลมในสภาวะลมสงบ

การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบ ซึ่งทำการทดลอง โดยศึกษาจากการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้รูปเป็นแหล่งกำเนิด และทำการทดลองในห้องซึ่งมีการระบายอากาศต่ำ อยู่ในสภาวะลมสงบ คือ ความเร็วลมในห้องน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที (ประมาณ 0.1 – 0.2 เมตรต่อวินาที ตรวจวัดโดย Ultrasonic anemometer) และวัดความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทดลอง ที่เวลาต่างกัน และตำแหน่งต่างกัน มีตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างอากาศ คือ (x,y) โดยที่ x หมายถึงตำแหน่งของแถว ส่วน y หมายถึงระดับของความสูง ดังนี้

แถวที่ 1	$x = 1$
แถวที่ 2	$x = 2$
แถวที่ 3	$x = 3$
ระดับพื้น	$y = 1$
ระดับ 1.15 เมตร	$y = 2$
ระดับ 2.35 เมตร	$y = 3$

โดยสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 ตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดลอง

จากการทดลองเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดลอง 9 จุด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างห่างกันครั้งละ 10 นาที ดังนั้น 1 การทดลอง จะได้จำนวนตัวอย่าง 6 ครั้ง ครั้งละ 9 ตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองครั้งที่ 1 สามารถแสดงได้ดังตาราง 4.6 สำหรับข้อมูลอุณหภูมิตัวอย่าง และตารางที่ 4.7 สำหรับข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลอุณหภูมิตัวอย่างสำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1

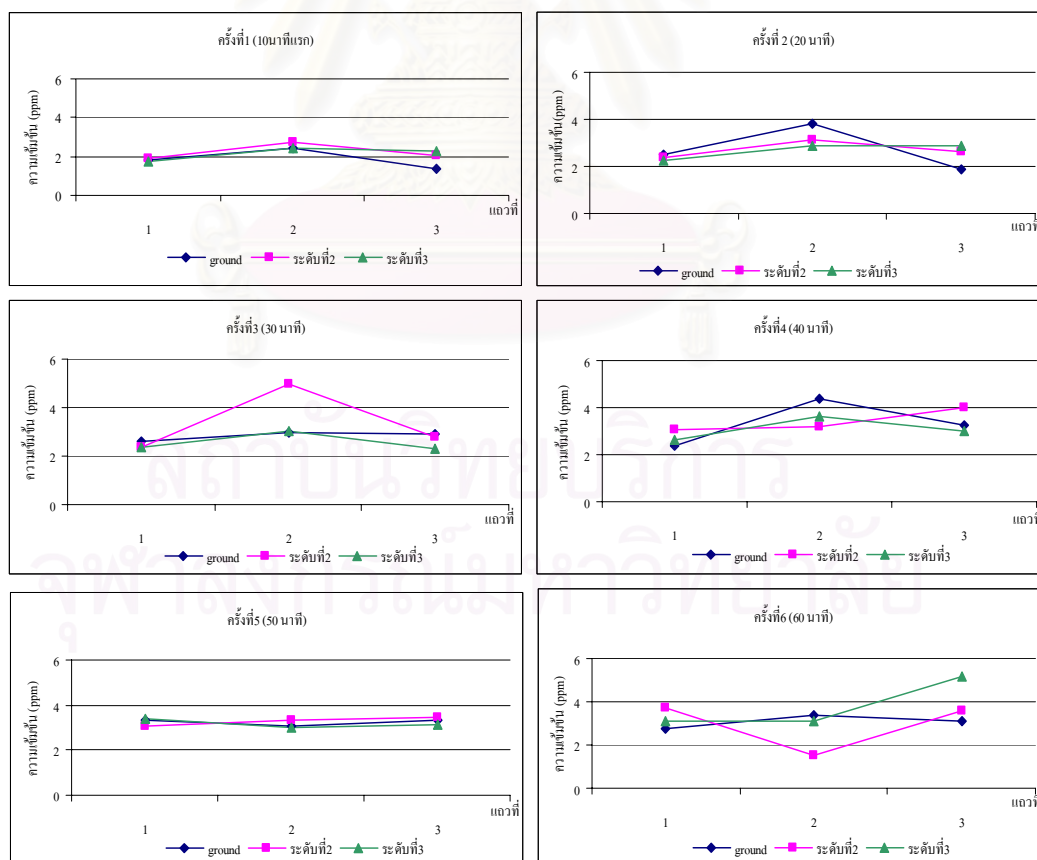
ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความเร็วลม (ms^{-1})
	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	
1	27.67	28	27.67	0.2
2	27.67	28	27.67	0.1
3	27.67	28	28	0.1
4	27.67	28	28	0.2
5	28	28.5	28	0.2
6	28	28.5	28	0.1

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1

ครั้งที่	ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)								
	แถวที่ 1			แถวที่ 2			แถวที่ 3		
	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร
1	1.8	1.9	1.75	2.45	2.75	2.45	1.35	2.05	2.3
2	2.5	2.4	2.25	3.8	3.15	2.9	1.85	2.6	2.9
3	2.6	2.35	2.35	2.95	4.95	3.05	2.9	2.8	2.3
4	2.35	3.05	2.6	4.35	3.2	3.65	3.25	4	3
5	3.35	3.05	3.4	3.05	3.3	3	3.3	3.45	3.1
6	2.75	3.7	3.1	3.35	1.5	3.1	3.1	3.6	5.2

ข้อมูลความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1 (ตารางที่ 4.7) เป็นผลการทดลองปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยใช้รูปเป็นแหล่งกำเนิด และทำการเก็บตัวอย่างดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

ผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 2 ทุกระดับมีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากควันรูปจะลอยขึ้นไปตรงๆ ทำให้ความเข้มข้นของแถวนี้มีค่าสูงกว่าแถวอื่น ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที (ครั้งที่ 2) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 2 ยังคงมีค่าสูงกว่าแถวอื่นอยู่ โดยความเข้มข้นที่ระดับพื้นของแถวที่ 2 มีค่าสูงที่สุด และปริมาณความเข้มข้นของทุกตำแหน่งมีค่าสูงขึ้นไปกว่า 10 นาทีแรก เช่นเดียวกับครั้งที่ 3 แต่ในครั้งที่ 3 ความเข้มข้นที่ระดับที่ 2 ของแถวที่ 2 มีค่าสูงที่สุด และทั้ง 3 ครั้งพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 1 และแถวที่ 3 ทุกระดับมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที (ครั้งที่ 4) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 1 และ 3 จะเริ่มแตกต่างกัน และความเข้มข้นที่ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 มีแนวโน้มสูงกว่าที่ระดับพื้น ต่อมาครั้งที่ 5 (50 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ทุกตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกันหมด และครั้งที่ 6 (60 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 2 ระดับที่ 2 จะมีค่าต่ำที่สุด แต่ที่ระดับพื้นกับระดับที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแถวที่ 1 ความเข้มข้นที่ระดับที่ 2 มีค่าสูงที่สุดและแถวที่ 3 ความเข้มข้นที่ระดับที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ดังภาพที่ 4.30



ภาพที่ 4.30 ผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 1

ผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8 สำหรับข้อมูลอุณหภูมิตัวของอากาศใน และตารางที่ 4.9 สำหรับข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลอุณหภูมิตัวของอากาศสำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศใน สภาวะลมสงบครั้งที่ 2

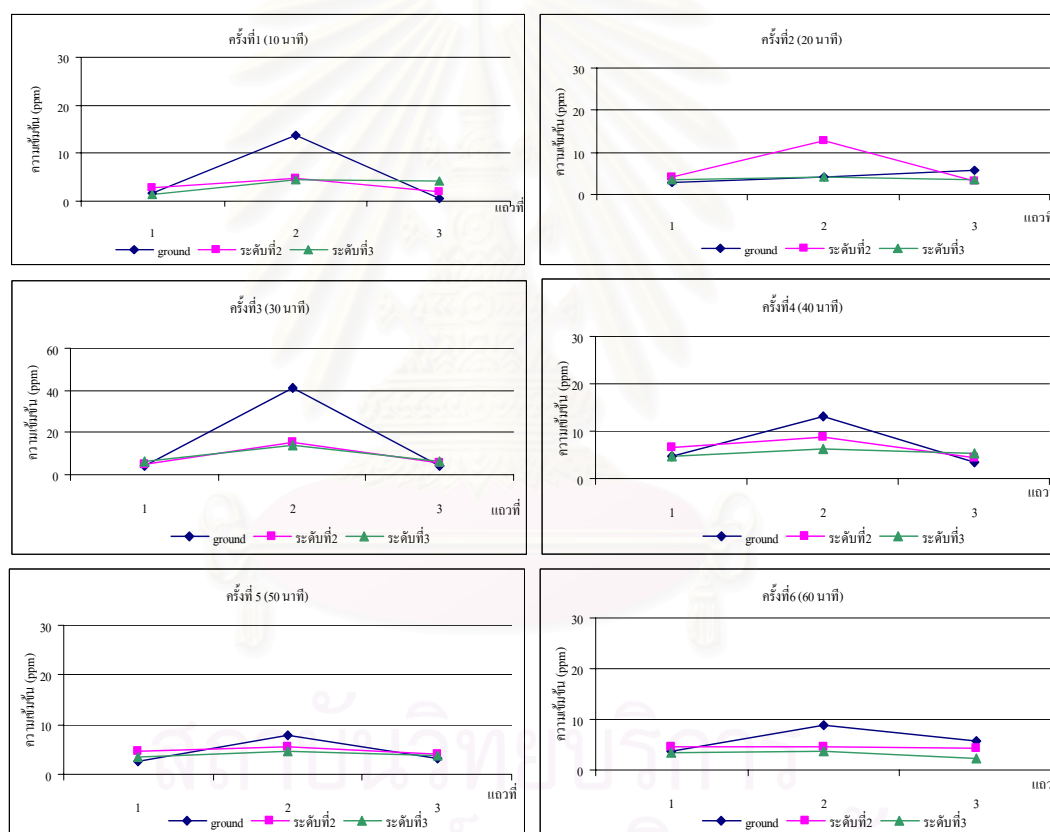
ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความเร็วลม (ms ⁻¹)
	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	
1	29.33	29.67	29.67	0.1
2	29.33	29.67	30	0.1
3	29.33	30	30	0.1
4	29.33	30	30	0.1
5	29.33	30	30	0.2
6	29.33	30	30	0.1

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจาย ตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 2

ครั้งที่	ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)								
	แถวที่ 1			แถวที่ 2			แถวที่ 3		
	ระดับ พื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	ระดับ พื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	ระดับ พื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร
1	1.65	2.85	1.35	13.65	4.75	4.6	0.6	1.9	4.3
2	2.95	4.25	3.5	4.3	12.9	4.05	5.75	3.15	3.4
3	4.15	5.2	6.45	41.4	15.1	14	4.1	5.55	6
4	4.65	6.45	4.7	13.2	8.7	6.25	3.45	4.25	5.25
5	2.75	4.75	3.6	7.9	5.6	4.7	3.3	4	3.8
6	3.8	4.5	3.5	8.75	4.45	3.85	5.85	4.3	2.35

ข้อมูลความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับการเก็บตัวอย่างการทดลอง การกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 2 พบว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 (10 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 2 ทุกระดับจะมีค่าสูงกว่าแถวอื่นๆ โดยเฉพาะที่ระดับ พื้นมีค่าสูงที่สุด ต่อมาครั้งที่ 2 (20 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ แถวที่ 2 ระดับที่ 2 เริ่มมีค่าสูงขึ้น และสูงกว่าตำแหน่งอื่น ซึ่งในตำแหน่งอื่นมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับในครั้งที่ 3 (30

นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ระดับพื้นมีค่าสูงขึ้น และสูงกว่าในทุกตำแหน่ง โดยความเข้มข้นของแถวที่ 1 และแถวที่ 3 ทั้ง 3 ระดับมีค่าใกล้เคียงกัน ต่อมาครั้งที่ 4 (40 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ตำแหน่งพื้นของแถวที่ 2 ยังคงมีค่าสูงที่สุด ซึ่งแถวที่ 1 และ 3 ทุกระดับยังมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแถวที่ 2 ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ยังคงสูงกว่าแถวที่ 1 และ 3 ต่อมาครั้งที่ 5 (50 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้ง 3 แถว ในทุกตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และครั้งที่ 6 (60 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์แถวที่ 2 ที่ระดับพื้นเริ่มมีค่าสูงขึ้น ส่วนแถวที่ 1 และแถวที่ 3 ความเข้มข้นทุกระดับยังคงใกล้เคียงกัน แต่ระดับที่ 3 ของทุกแถวความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าในระดับอื่น ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 ผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 2

ผลการทดลองครั้งที่ 3 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 สำหรับข้อมูลอุณหภูมิตัว และตารางที่ 4.11 สำหรับข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยาสำหรั้งการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3

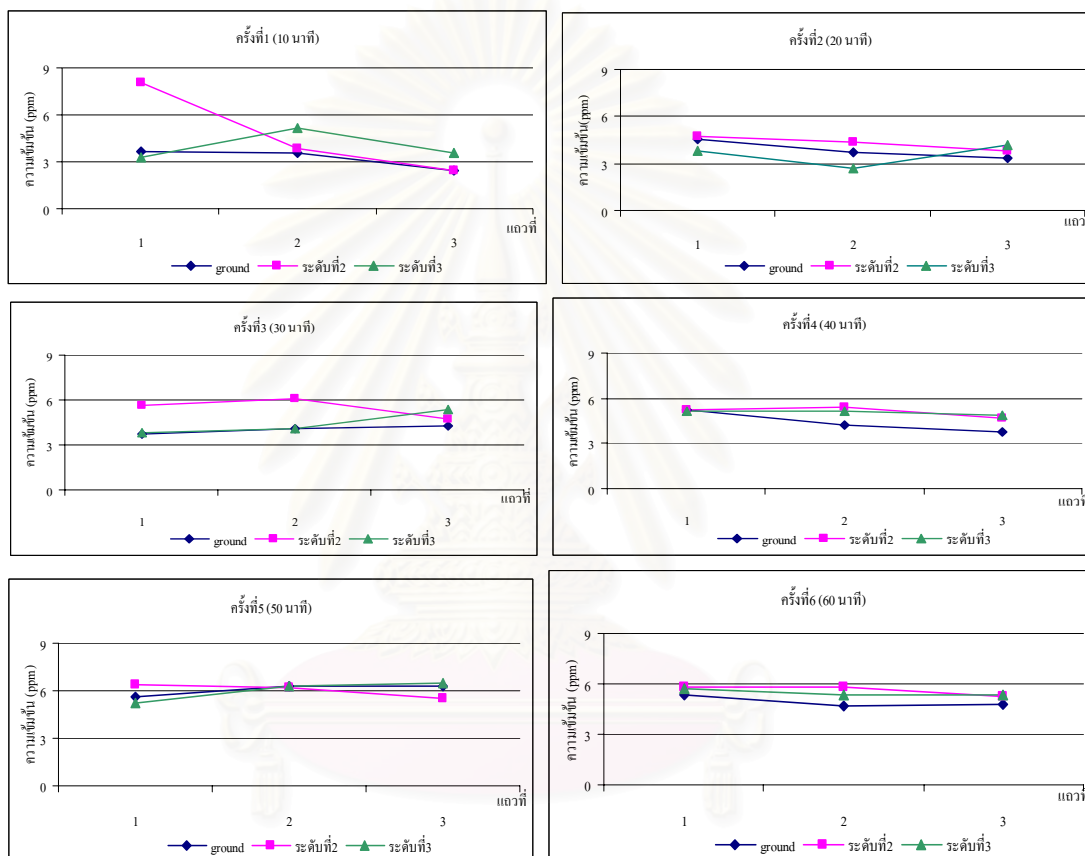
ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความเร็วลม (ms^{-1})
	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	
1	29.67	30	30	0.2
2	29.67	30	30	0.1
3	29.67	30	30	0.1
4	29.67	30	30.5	0.2
5	29.67	30.5	30	0.1
6	29.67	30	30	0.1

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรั้งการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3

ครั้งที่	ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)								
	แถวที่ 1			แถวที่ 2			แถวที่ 3		
	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร	ระดับพื้น	1.15 เมตร	2.35 เมตร
1	3.7	8.1	3.25	3.55	3.8	5.15	2.45	2.45	3.55
2	4.55	4.75	3.85	3.75	4.4	2.7	3.3	3.85	4.2
3	3.75	5.65	3.8	4.1	6.1	4.1	4.3	4.7	5.35
4	5.25	5.2	5.1	4.2	5.45	5.15	3.75	4.7	4.85
5	5.65	6.35	5.25	6.3	6.15	6.25	6.25	5.5	6.5
6	5.35	5.8	5.7	4.65	5.85	5.3	4.8	5.25	5.3

ข้อมูลความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรั้งการเก็บตัวอย่างการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3 พบว่าการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 (10 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์แถวที่ 1 ที่ระดับที่ 2 มีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากมีแรงลมที่สามารถพัดให้ควันรูปที่ลอยขึ้นมากระจายออกไปด้านข้าง จึงทำให้ความเข้มข้น ณ จุดนี้มีค่าสูงกว่าจุดอื่น และความเข้มข้นในระดับที่ 3 ของทุกแถวค่อนข้างสูง แสดงว่าควันมีการลอยตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ต่อมาในนาทีที่ 20 (ครั้งที่ 2) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์แถวที่ 1 ระดับที่ 2 มีค่าลดลง และที่ระดับที่ 2 ของทุกแถวมีแนวโน้มสูงกว่าระดับอื่น เช่นเดียวกับในนาทีที่ 30 (ครั้งที่ 3) ที่ระดับที่ 2 ของทุกแถวมีค่าสูง ส่วนที่ระดับพื้น และระดับที่ 3 ความเข้มข้นจะใกล้เคียงกันทุกแถว

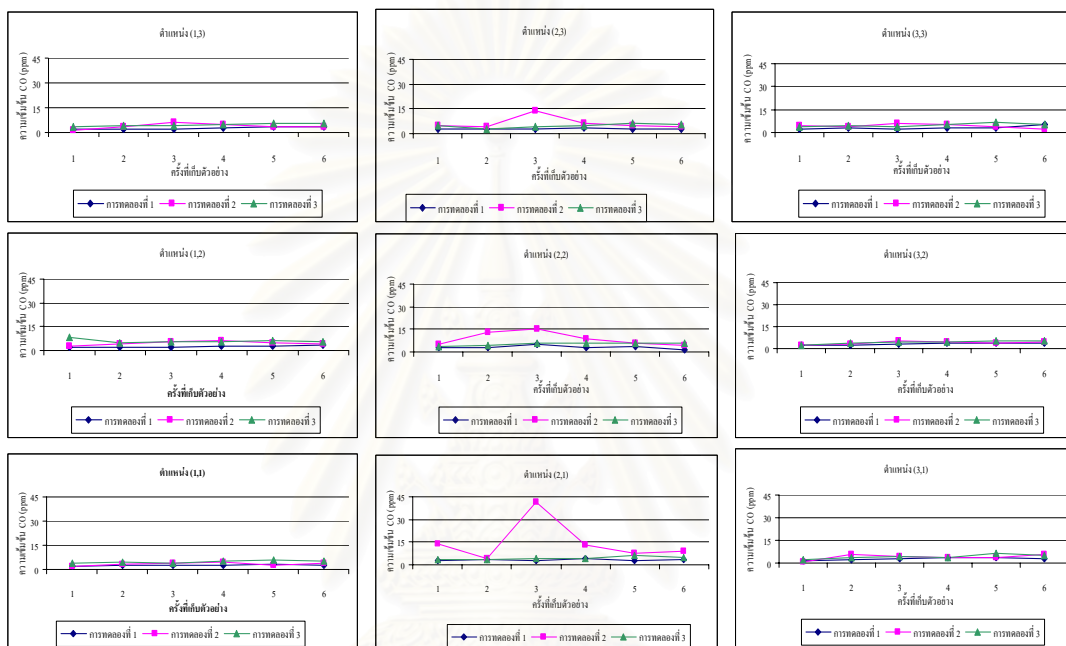
ต่อมาในนาที่ที่ 40 (ครั้งที่ 4) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ระดับพื้นของแถวที่ 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย นาที่ที่ 50 (ครั้งที่ 5) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ทุกตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และครั้งสุดท้าย (60 นาที) ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์แถวที่ 2 ระดับที่ 2 เริ่มมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ที่ระดับพื้นความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าต่ำกว่าทุกระดับ ส่วนแถวที่ 1 และแถวที่ 3 ความเข้มข้นทุกระดับยังคงใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 ผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบครั้งที่ 3

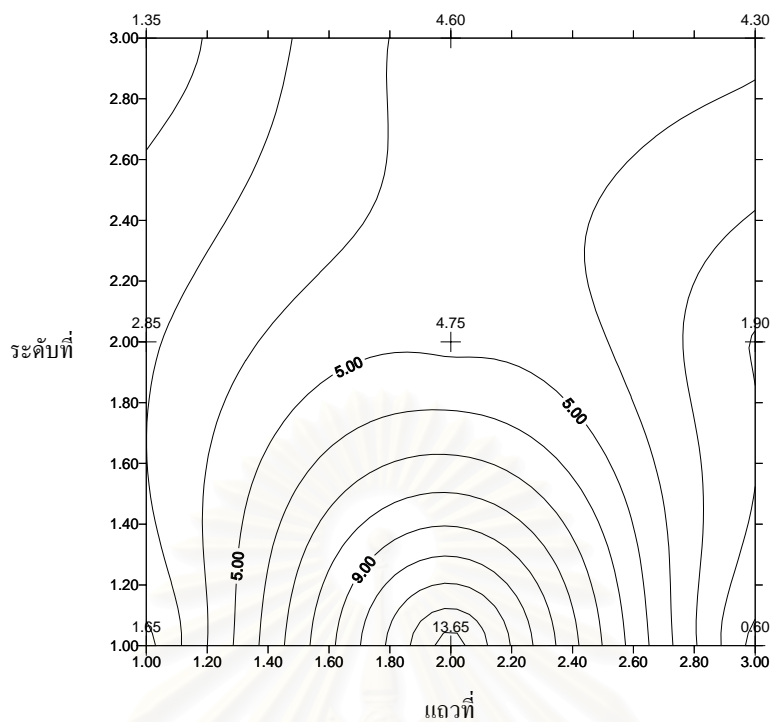
หากพิจารณาการเคลื่อนที่ของควันรูป จากค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในแต่ละตำแหน่งเพื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของควันเมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆ จนถึง 1 ชั่วโมง พบว่าการเคลื่อนที่ของควันรูปบริเวณกลางห้อง (ตำแหน่งที่ (2,1) (2,2) และ (2,3)) ซึ่งเป็นแถวที่ตรงกับตำแหน่งของรูป ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตำแหน่ง (2,1) มีค่าสูงที่สุด ส่วนตำแหน่งที่ (2,2) และ (2,3) มีความเข้มข้นน้อยกว่าที่ตำแหน่ง (2,1) แต่ยังคงมีความเข้มข้นมากกว่าแถวที่ 1 (ตำแหน่ง (1,1) (1,2) และ (1,3)) และแถวที่ 3 (ตำแหน่ง (3,1) (3,2) และ (3,3)) ซึ่งความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในแถวที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที จากนั้นความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดลง ส่วนในตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าความ

เข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์สูงมาก เนื่องจากควันรูปที่ปล่อยนั้นถูกปล่อยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจมีผลให้ค่าความเข้มข้น ณ ตำแหน่งนี้มีค่าสูงจนกว่ารูปจะหมด ส่วนแถวที่ 1 และแถวที่ 3 มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตอนแรก และเริ่มลดลงเมื่อผ่านไประยะหนึ่งสำหรับตำแหน่งที่ (1,3) และ (3,3) ซึ่งตำแหน่งที่ (1,3) และ (3,3) มีค่าสูงกว่าในตำแหน่งที่ (1,1) (1,2) (3,1) และ (3,2) โดยตำแหน่งที่ (1,1) และ (3,1) มีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังภาพที่ 4.33

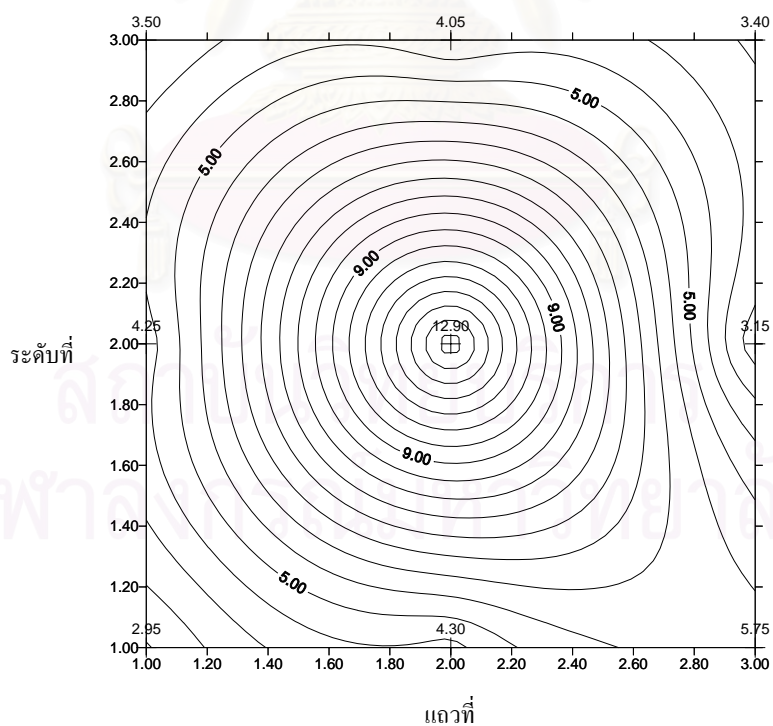


ภาพที่ 4.33 การเคลื่อนที่ของควันรูป ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่เวลาต่างกันในเวลา 1 ชั่วโมง ของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

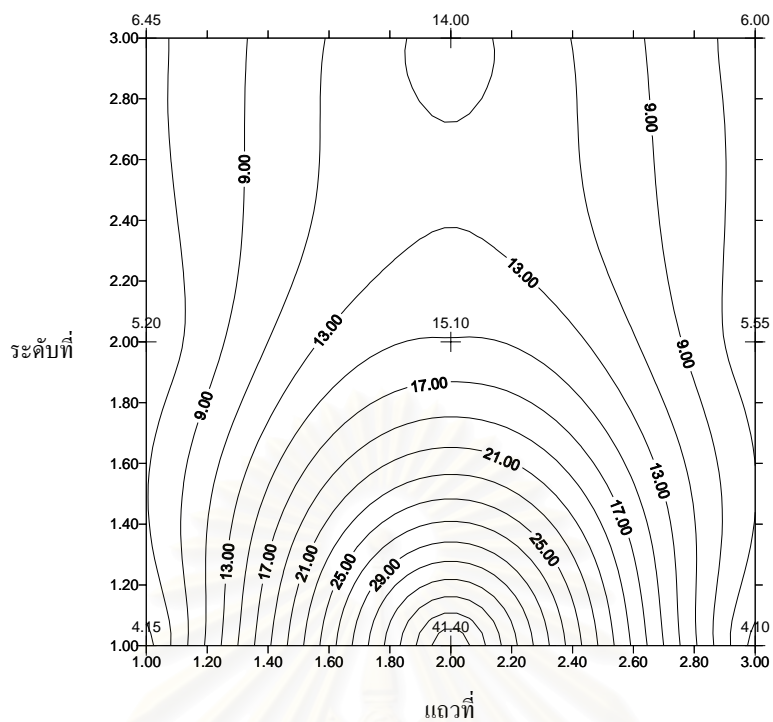
หากนำข้อมูลจากการทดลองมา plot เป็นภาพเพื่อแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของควันรูปในสภาวะลมสงบ โดยแสดงจากข้อมูลการทดลองในครั้งที่ 2 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมากที่สุดมีค่าสูงที่สุด (ภาพที่ 4.34) หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นบริเวณกลางห้องมีค่าสูงที่สุด (ภาพที่ 4.35) และเมื่อ 30 นาทีผ่านไป ควันรูปเริ่มกระจายออกไปทั่วห้อง ทำให้ความเข้มข้นทุกตำแหน่งในห้องมีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 4.36) และที่เวลา 40 นาที ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เริ่มลดลง แต่มีการกระจายออกไปมากขึ้น (ภาพที่ 4.37) จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทดลองมีค่าใกล้เคียงกันทั้งห้อง จนถึงนาทีที่ 60 (ภาพที่ 4.38 และ 4.39)



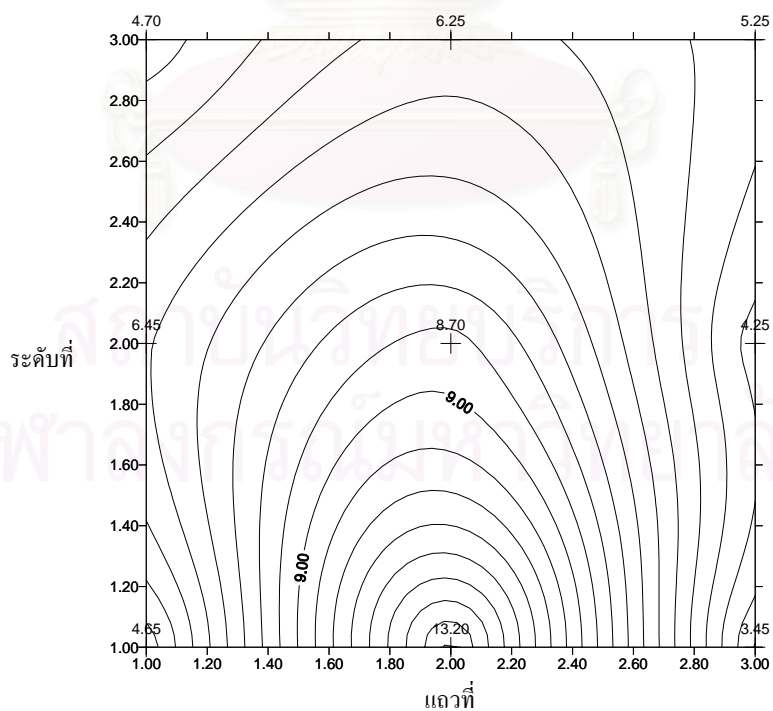
ภาพที่ 4.34 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที



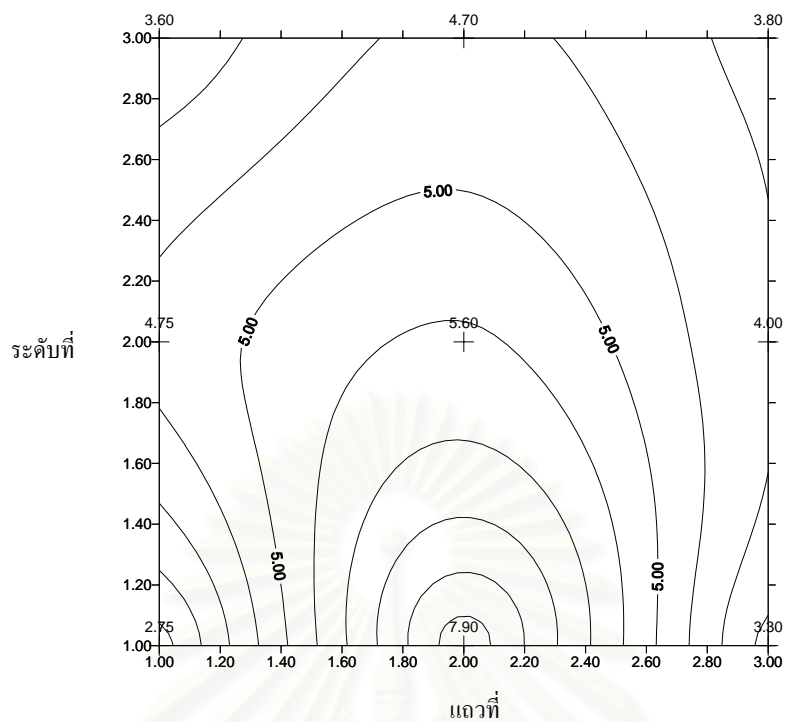
ภาพที่ 4.35 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที



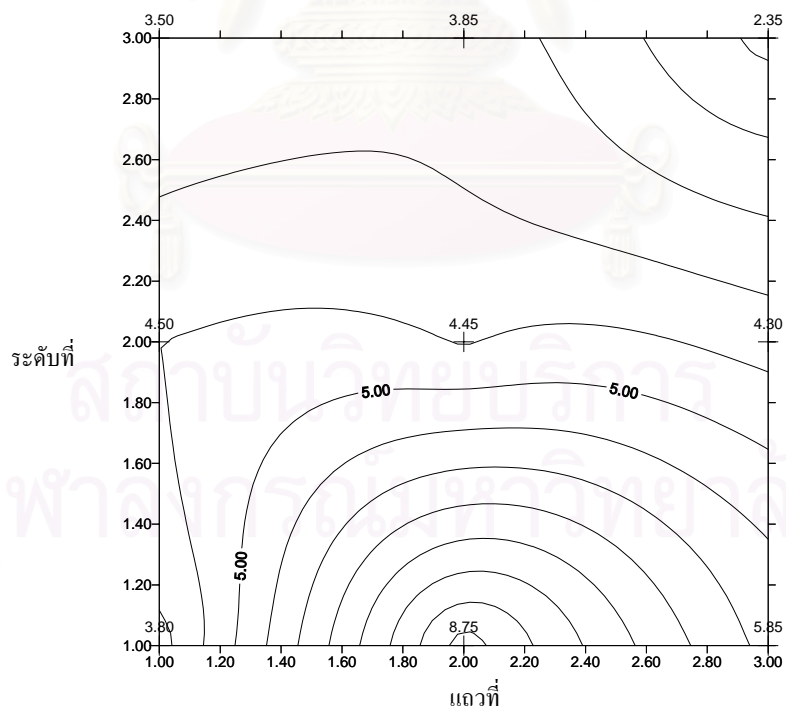
ภาพที่ 4.36 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที



ภาพที่ 4.37 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที



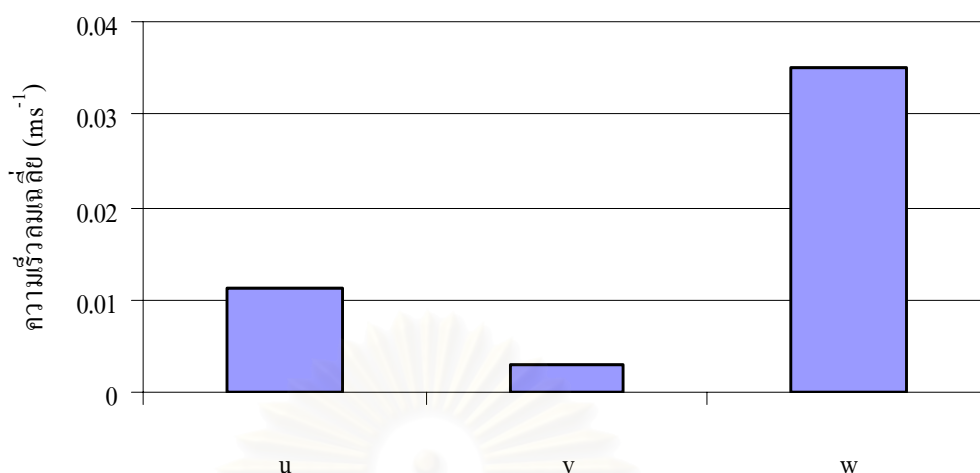
ภาพที่ 4.38 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที



ภาพที่ 4.39 การเคลื่อนที่ของ plume ในสภาวะลมสงบจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที

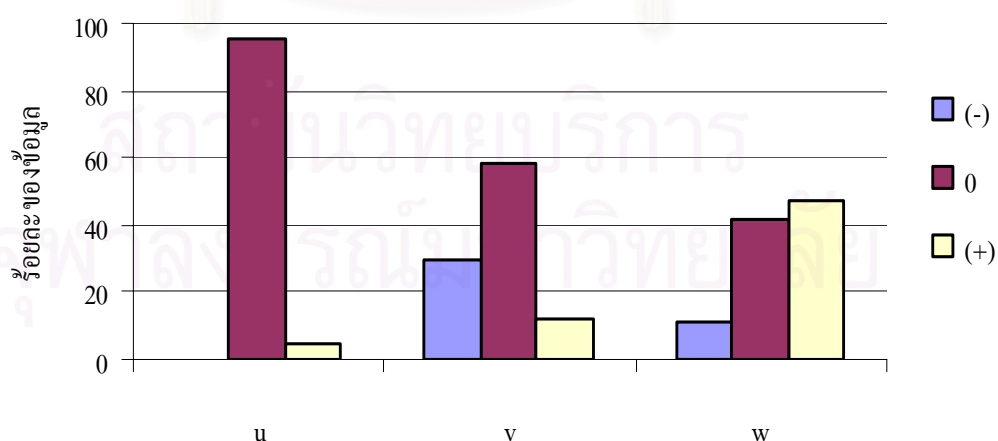
สำหรับผลการทดลองการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบทั้ง 3 ครั้ง สามารถสรุปได้ว่าควันรูปเมื่อออกจากแหล่งกำเนิด จะมีการลอยตัวขึ้นเนื่องจากควันรูปมีความร้อนซึ่งอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ (อุณหภูมิของควันรูปเท่ากับ 34.33 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของอากาศอยู่ในช่วง 27.67 – 30.5 องศาเซลเซียส) ดังนั้นควันรูปจึงมีการเคลื่อนที่แบบ Adiabatic cooling process คือเมื่อมวลอากาศมวลหนึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก มวลอากาศนั้นจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น เนื่องจากมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความกดต่ำ พร้อมทั้งขยายตัวออกเพื่อลดอุณหภูมิตัวเองให้เท่าหรือน้อยกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ ดังนั้นควันรูปจึงลอยตัวสูงขึ้นเมื่อออกมาจากแหล่งกำเนิด และเนื่องจากในห้องทดลองเป็นสภาวะลมสงบ ซึ่งไม่มีแรงลมพอกที่จะพัดให้ควันรูปกระจายไปตามทิศทางของลมในแนวระนาบ ควันรูปจึงลอยตัวสูงขึ้น หลังจากนั้นควันจึงขยายตัวออกไปบริเวณด้านข้าง เพื่อลดอุณหภูมิของตัวมันลงให้เท่ากับบรรยากาศ เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งพบว่าควันรูปกระจายออกไปทั่วห้องด้วยความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าเมื่อควันลอยตัวสูงขึ้นไป และขยายตัวออกเพื่อลดอุณหภูมิของมันเองถึงจุดหนึ่งจะมีการกระจายตัวกลับลงมาด้านล่าง ซึ่งมีผลให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทดลองมีค่าใกล้เคียงกันทั้งห้อง

จากการศึกษาองค์ประกอบของลมในห้องทดลองซึ่งเป็นสภาวะลมสงบ โดยพิจารณาจากความเร็วลมในแนวแกน x , y และ z ซึ่งได้แก่ u , v และ w ตามลำดับ โดย u และ v เป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ซึ่งถ้า u เป็นบวกแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก แต่ถ้า u เป็นลบแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และ v เป็นบวกแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้ แต่ถ้า v เป็นลบแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ ส่วน w นั้นเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ถ้าเป็นบวกแสดงว่าอากาศเคลื่อนที่ขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นลบแสดงว่าอากาศมีการเคลื่อนที่ลง สำหรับสภาวะลมสงบในห้องทดลอง ซึ่งความเร็วลมในห้องทดลองมีค่า 0.1 – 0.2 เมตรต่อวินาที พบว่าองค์ประกอบของลมในแนวแกน z (w) มีความเร็วลมในการเคลื่อนที่สูงที่สุด รองลงมาคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u) และ y (v) ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.40



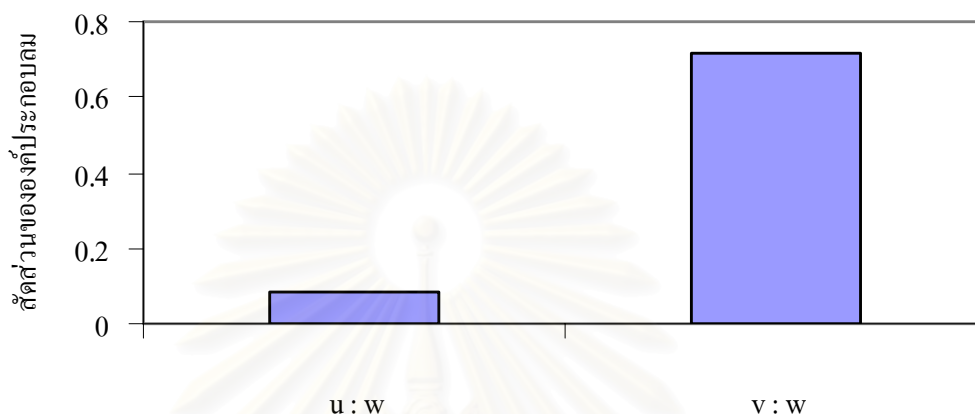
ภาพที่ 4.40 ความเร็วมวลเคลื่อนที่ในแนวแกน x, y และ z ในสภาวะลมสงบจากการทดลอง

หากพิจารณาการเคลื่อนที่ของลมทั้ง 3 ทิศทางในสภาวะลมสงบ เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในสภาวะนี้ โดยศึกษาจากการเคลื่อนที่ของลมในทิศบวกและลบ ทั้ง 3 แกน พบว่า u หรือการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน x โดยส่วนใหญ่มีค่าเป็นศูนย์คือ ไม่มีการเคลื่อนที่และพบการเคลื่อนที่ต่ำมากในทิศบวก สำหรับ v หรือการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน y พบว่าไม่มีการเคลื่อนที่สูงเช่นเดียวกัน แต่ยังคงมีการเคลื่อนที่มากกว่าในแนวแกน x ซึ่งพบในทิศที่เป็นลบมากกว่า ส่วน w หรือการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z พบว่ามีการเคลื่อนที่ของลมมากกว่าในแนวแกน x และ y โดยมีการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ในทิศบวก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมในทิศบวก ทิศลบ และศูนย์ (ไม่มีการเคลื่อนที่) สำหรับสภาวะลมสงบจากการทดลอง

เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน x กับการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z ($u : w$) และสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน y กับการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z ($v : w$) พบว่ามีค่าต่ำ และมีค่าน้อยกว่า 1 ดังภาพที่ 4.42 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z หรือในแนวตั้ง มีการเคลื่อนที่สูงกว่าในแนวระนาบ



ภาพที่ 4.42 สัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง จากข้อมูลการทดลองในสภาวะลมสงบ

การกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบจากองค์ประกอบของลม พบว่าในสภาวะลมสงบนั้นลมมีการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ (แกน x และ y) น้อยมาก โดยการเคลื่อนที่ของลมส่วนใหญ่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน z) ซึ่งพบว่า w มีค่าสูงที่สุด และสูงมากในทิศที่เป็นบวก แสดงว่าอากาศในสภาวะนี้มีการลอยตัวขึ้นแทนที่จะโค้งไปด้านข้างในแนวระนาบ ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก u และ v พบว่าอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และทิศเหนือ แต่เกิดขึ้นน้อยมาก ไม่เด่นชัดเท่ากับการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง โดยการทดลองนี้เป็นการทดลองในอุณหภูมิจากห้อง ซึ่งอุณหภูมิในห้องทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกัน

4.3.2 องค์ประกอบของลมบริเวณพื้นที่ศึกษา

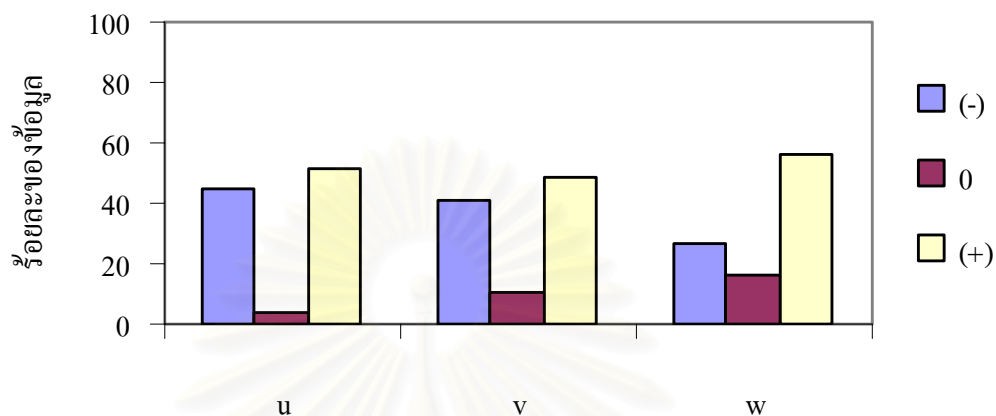
พิจารณาองค์ประกอบของลมในแนวแกน x , y และ z ซึ่งได้แก่ u , v และ w ตามลำดับ ในสภาวะลมสงบ และที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี พบว่าในสภาวะลมสงบ ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x , y และ z เวลากลางวันและกลางคืน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน และแล้งฝน

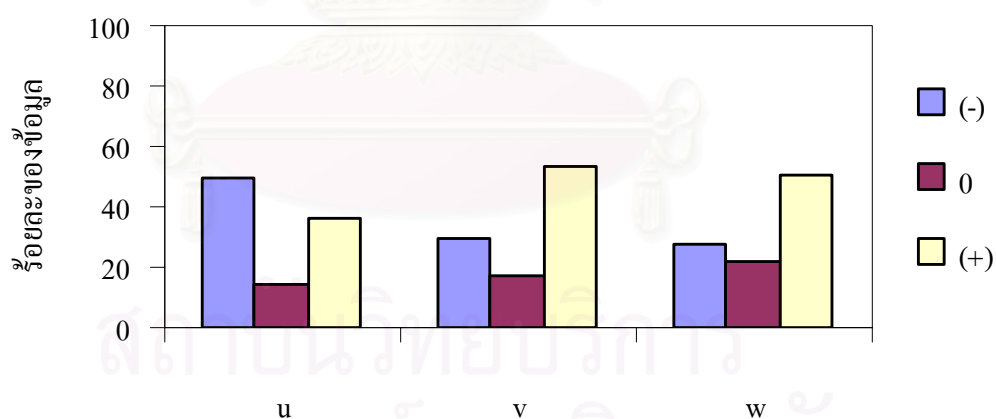
องค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z	ความถี่ในการเกิด (%)											
	ฤดูฝน						ฤดูแล้งฝน					
	กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางคืน		
	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)
u	44.87	3.85	51.28	49.49	14.29	36.22	71.15	7.69	21.15	41.13	16.13	42.74
v	41.03	10.26	48.72	29.34	17.35	53.32	55.77	9.62	34.62	37.50	15.32	47.18
w	26.92	16.67	56.41	28.06	21.68	50.26	59.62	19.23	21.15	27.42	26.61	45.97

ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน และกลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน และฤดูแล้งฝน พบว่าในฤดูฝนการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน x, y และ z ในเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.43) มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านบวกมากกว่า โดยมีปริมาณใกล้เคียงกันสำหรับแนวแกน x และ y (แนวระนาบ) คืออากาศเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก - ตะวันตก และทิศเหนือ - ใต้ ใกล้เคียงกัน แต่มีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และทิศใต้มากกว่า ส่วนในแนวแกน z (แนวตั้ง) การเคลื่อนที่ในทิศบวกสูงกว่าทิศลบมาก และสูงกว่าการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ แสดงว่าอากาศมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้นเป็นส่วนใหญ่ สำหรับในเวลากลางคืน (ภาพที่ 4.44) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งยังคงเป็นเช่นเดียวกับในเวลากลางวัน คือ w มีการเคลื่อนที่สูงในทิศบวก ส่วนในแนวระนาบนั้นอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจาก u มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านลบมากกว่าด้านบวกต่างจากเวลากลางวัน และ v มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านบวกมากกว่าด้านลบเช่นเดียวกับในเวลากลางวัน สำหรับในฤดูแล้งฝนเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.45) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศมีความแตกต่างจากในฤดูฝน คือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่ลงมากกว่าการลอยตัวขึ้น เนื่องจากพบการเคลื่อนที่ของ w ในด้านลบมากกว่าด้านบวก ส่วนการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบพบว่าทั้ง u และ v มีการเคลื่อนที่ในด้านลบมากกว่าด้านบวก ซึ่งต่างจากในฤดูฝน แสดงว่าอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่ และในเวลากลางคืนสำหรับฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.46) พบว่าการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นเช่นเดียวกับเวลากลางคืนของฤดูฝน คืออากาศมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้น ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระนาบนั้นอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้มากกว่าทิศเหนือ

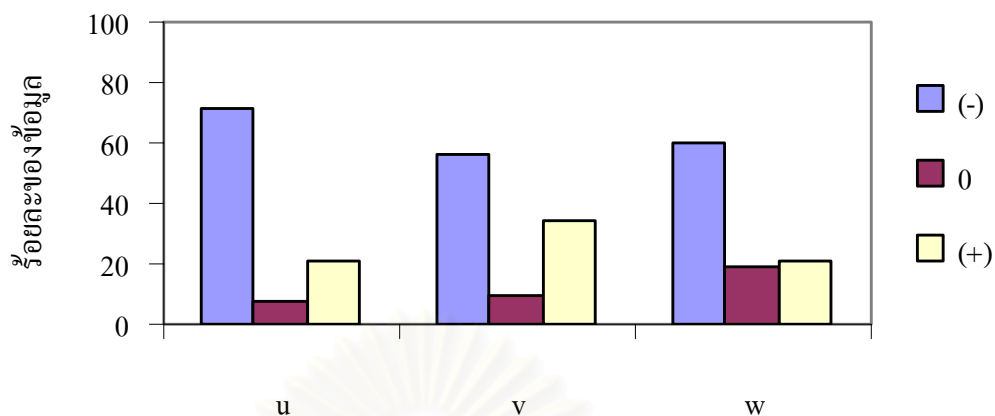
แต่สำหรับทิศตะวันออก และทิศตะวันตกนั้นมีการเคลื่อนที่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และจากตารางที่ 4.12 เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมเป็นศูนย์ (ไม่มีการเคลื่อนที่) พบว่า ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน ในฤดูฝนและแล้งฝน w จะพบมากที่สุด



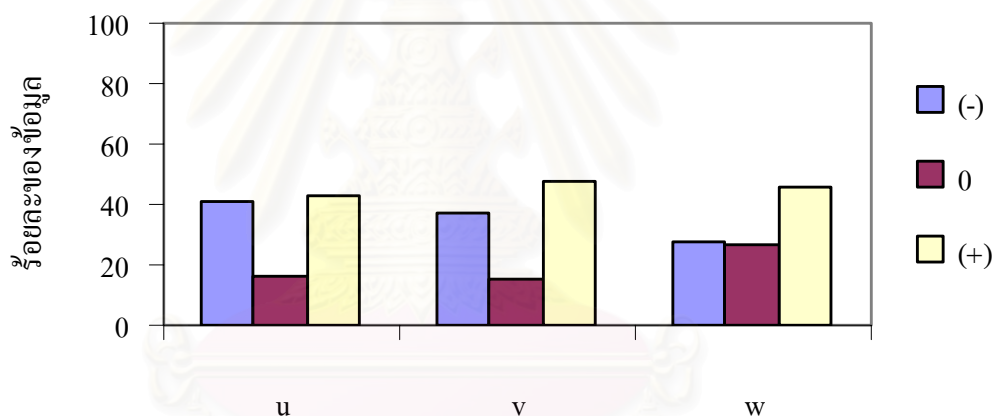
ภาพที่ 4.43 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน



ภาพที่ 4.44 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน



ภาพที่ 4.45 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูแล้งฝน



ภาพที่ 4.46 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืนในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูแล้งฝน

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z ซึ่งได้แก่ u, v และ w ตามลำดับ ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี พบว่าในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืน เป็นดังตารางที่

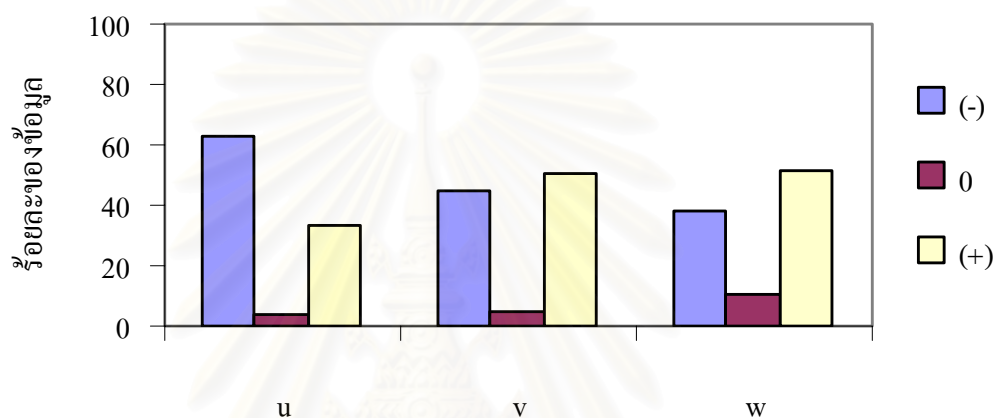
4.13

ตารางที่ 4.13 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันและกลางคืนที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา ทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน และแล้งฝน

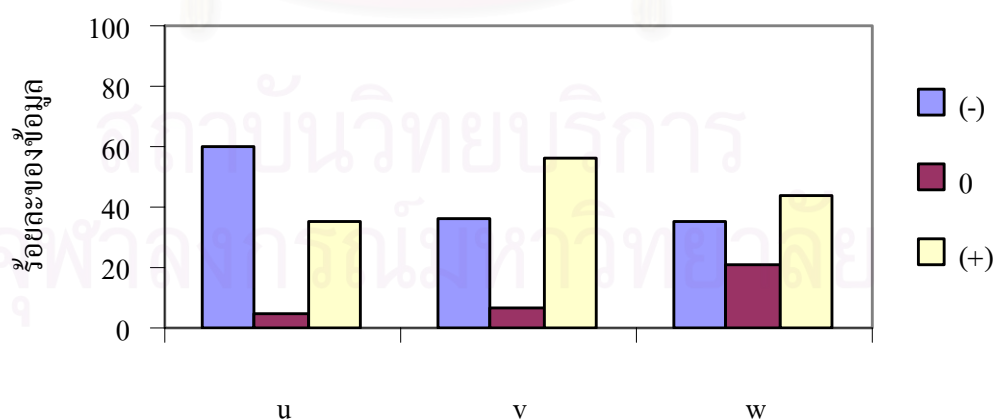
องค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z	ความถี่ในการเกิด (%)											
	ฤดูฝน						ฤดูแล้งฝน					
	กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางคืน		
	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)
u	63.22	3.38	33.40	59.77	5.02	35.21	64.79	2.97	32.24	50.72	6.43	42.85
v	44.38	5.15	50.47	36.50	7.14	56.36	60.35	4.69	34.95	40.54	7.69	51.76
w	37.83	10.87	51.30	35.26	21.35	43.38	56.81	19.87	23.32	51.04	17.87	31.09

ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน และกลางคืนที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน และฤดูแล้งฝน พบว่าในฤดูฝนการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน x, y และ z ในเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.47) จะเคลื่อนที่ไปทางด้านบวกรมากกว่า สำหรับ v และ w เป็นเช่นเดียวกับในสภาวะลมสงบ คือในแนวตั้งอากาศมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้นมากกว่าเคลื่อนที่ลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะลมสงบพบว่าน้อยกว่าในสภาวะลมสงบ (จากตารางที่ 4.12 และ 4.13) เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเป็นส่วนใหญ่ต่างจากในสภาวะลมสงบ ส่วนการเคลื่อนที่ทางทิศเหนือ-ใต้ใกล้เคียงกัน สำหรับในเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.48) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งยังคงเป็นเช่นเดียวกับในเวลากลางวัน คือ w มีการเคลื่อนที่สูงในทิศบวกรคือมีการเคลื่อนที่ขึ้น แต่พบในปริมาณใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ลง ส่วนในแนวระนาบนั้นอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจาก u มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านลบมากกว่าด้านบวกร และ v มีการเคลื่อนที่ไปทางด้านบวกรมากกว่าด้านลบเช่นเดียวกับในเวลากลางวัน สำหรับในฤดูแล้งฝนเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.49) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศแตกต่างจากในฤดูฝน คือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่ลงมากกว่าการลอยตัวขึ้น เพราะพบการเคลื่อนที่ของ w ในด้านลบมากกว่าด้านบวกรมาก ส่วนการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบพบว่าทั้ง u และ v จะมีการเคลื่อนที่ในด้านลบมากกว่าด้านบวกร แสดงว่าอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับในสภาวะลมสงบ ส่วนในเวลากลางคืนสำหรับฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.50) พบว่าการ

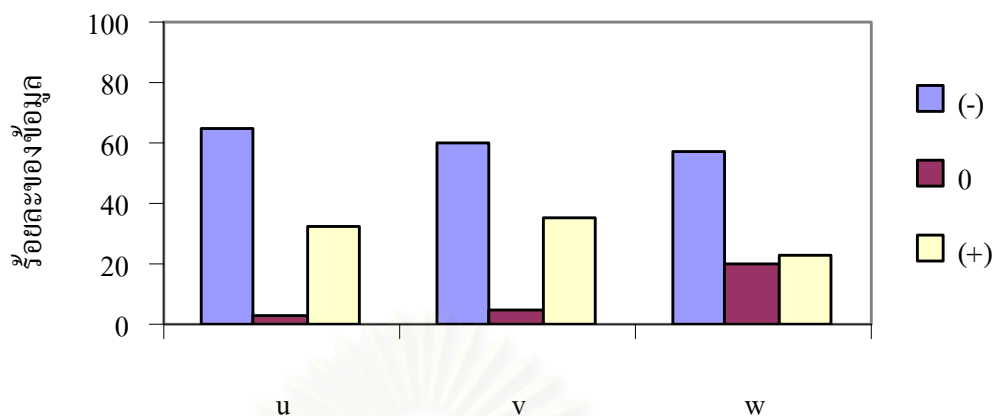
เคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นเช่นเดียวกับเวลากลางวัน คืออากาศจะเคลื่อนที่ลงมากกว่าลอยตัวขึ้น ส่วน การเคลื่อนที่ในแนวระนาบนั้นอากาศมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้มากกว่าทิศเหนือ และทิศ ตะวันออกมากกว่าทิศตะวันตก แต่พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับในสภาวะลมสงบ และ จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมเป็นศูนย์ (ไม่มีการเคลื่อนที่) พบว่า ทั้งเวลากลางวัน และกลางคืนในฤดูฝนและแล้งฝน w จะพบมากที่สุด ส่วน u ในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที พบว่าความเร็วลมเป็นศูนย์น้อยมาก



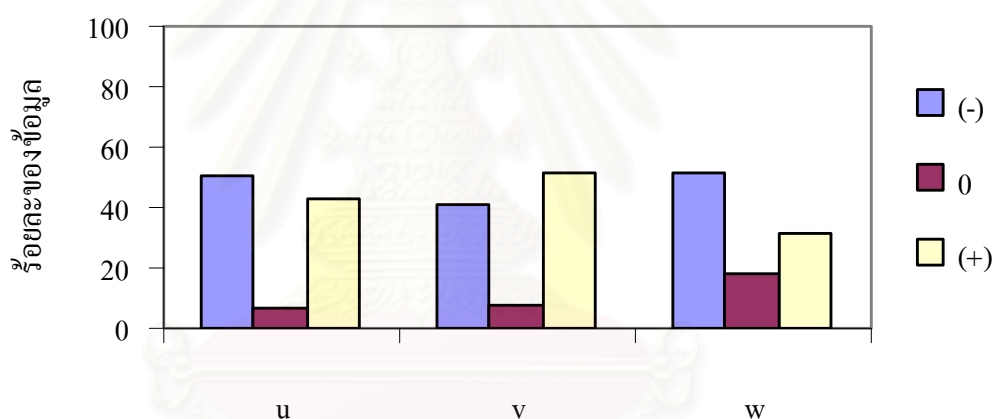
ภาพที่ 4.47 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x , y และ z เวลา กลางวัน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีใน ฤดูฝน



ภาพที่ 4.48 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x , y และ z เวลา กลางคืน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูฝน



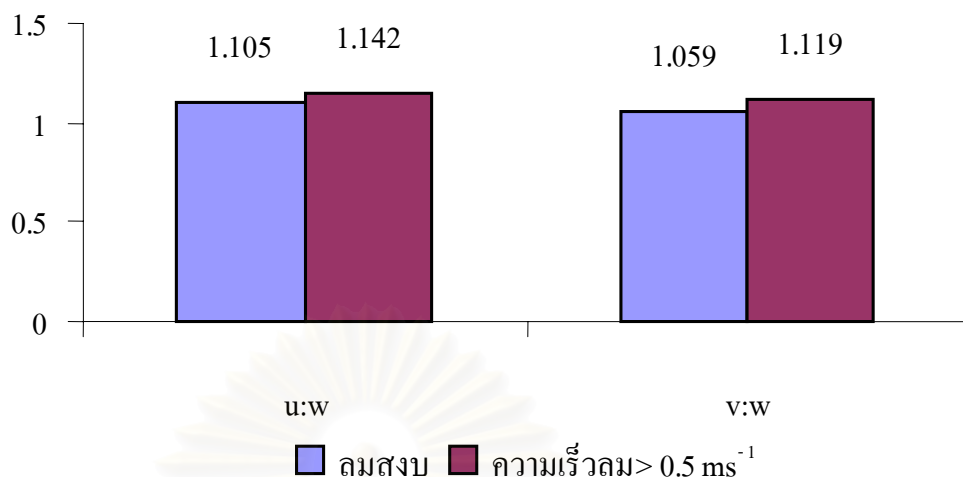
ภาพที่ 4.49 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวัน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูแล้งฝน



ภาพที่ 4.50 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางคืน ที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีในฤดูแล้งฝน

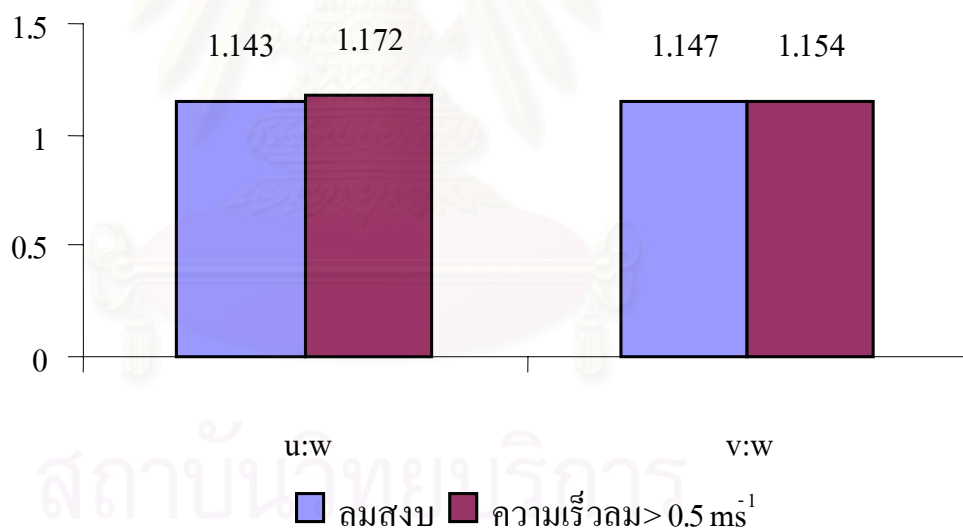
เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน x กับการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z ($u : w$) และสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน y กับการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z ($v : w$) ในสภาวะลมสงบ และสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝนจากข้อมูลการตรวจวัดพบว่าในสภาวะลมสงบ $u : w$ และ $v : w$ มีค่าต่ำกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที เช่นเดียวกันทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน ดังภาพที่ 4.51 และ 4.52 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของลมในแนวแกน z หรือแนวตั้ง ในสภาวะลมสงบนั้นมีการเคลื่อนที่สูงกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที

สัดส่วนขององค์ประกอบลม



ภาพที่ 4.51 สัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง จากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูฝน

สัดส่วนขององค์ประกอบลม



ภาพที่ 4.52 สัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง จากข้อมูลการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูแล้งฝน

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของอากาศในสภาวะลมสงบ สามารถสรุปได้ว่าในสภาวะลมสงบมีความเร็วลมในแนวแกน z หรือ w สูงกว่าในแนวอื่น ซึ่งเห็นได้ชัดจากข้อมูลการทดลองในสภาวะลมสงบในห้องทดลองซึ่งเป็นสภาวะลมสงบแบบสมบูรณ์มีการผ่านเข้าออกของอากาศน้อยมาก (ความเร็วลมเท่ากับ 0.1 – 0.2 เมตรต่อวินาที) ความเร็วลมในแนวแกน z มีค่าสูงกว่า

แนวแกน x และ y มาก (ภาพที่ 4.40) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดสภาวะลมสงบ การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งมีอิทธิพลมากกว่าในแนวระนาบ และจากการทดลองพบว่าในแนวดิ่งการเคลื่อนที่ของอากาศสูงกว่าในแนวระนาบด้วยเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะในแนวแกน x ซึ่งความเร็วลมส่วนใหญ่มีค่าเป็นศูนย์ (ภาพที่ 4.41) และพบการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งในทิศที่เป็นบวกมากกว่าในทิศที่เป็นลบ แสดงว่าอากาศในสภาวะนี้มีการลอยตัวขึ้น ซึ่งเกิดเนื่องมาจากความร้อนบริเวณพื้นผิวที่ทำให้อากาศบริเวณพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงเกิดการลอยตัว หากเป็นสภาวะที่มีลมแรง ลมจะเป็นตัวพัดทำให้การลอยตัวขึ้นของอากาศเกิดได้น้อยลง สำหรับข้อมูลจากการตรวจวัดเมื่อพิจารณาระหว่างสภาวะลมสงบ และสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที พบว่าในสภาวะลมสงบนั้นการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบ (u และ v) โดยส่วนใหญ่มีการเคลื่อนที่ทางด้านบวกและด้านลบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที การเคลื่อนที่ในแนวระนาบค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่า สำหรับการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งมีอิทธิพลมากขึ้นในสภาวะลมสงบเช่นกัน แม้ว่าการเคลื่อนที่ในแนวระนาบยังคงเด่นชัดกว่า เพราะจากสัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวดิ่ง พบว่าในสภาวะลมสงบสัดส่วนมีค่าต่ำกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ในสภาวะลมสงบการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งมีการเคลื่อนที่ขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที มีการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งด้านบวกเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างจากด้านลบ และพบในปริมาณที่น้อยกว่าในสภาวะลมสงบ

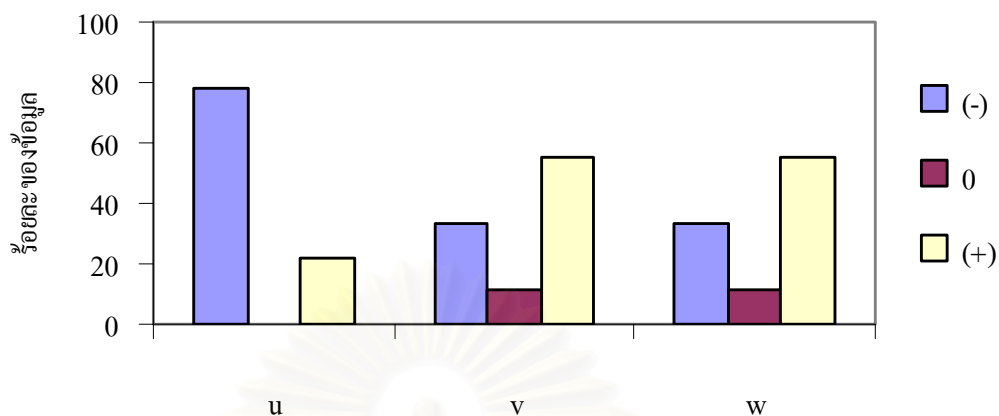
หากพิจารณาองค์ประกอบของลมในแนวแกน x , y และ z ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยแยกพิจารณาแต่ละสถานี เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของอากาศในสภาวะลมสงบจากลักษณะของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน พบว่าความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x , y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์เป็นดังตารางที่ 4.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

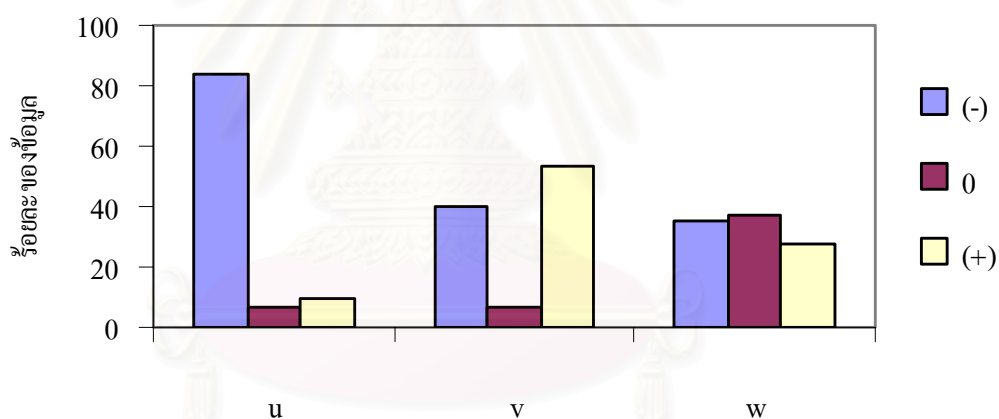
ตารางที่ 4.14 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณ โรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้งและแล้งฝน

องค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z	ความถี่ในการเกิด (%)											
	ฤดูแล้ง						ฤดูแล้งฝน					
	กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางคืน		
	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)
u	77.78	0	2.22	83.72	6.98	9.30	38.46	7.69	53.85	32.61	15.22	52.17
v	33.33	11.11	55.56	39.53	6.93	53.49	92.31	7.69	0	78.26	8.70	13.04
w	33.33	11.11	55.56	34.88	37.21	27.91	46.15	23.08	30.77	36.96	45.65	17.39

ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืน ในสภาวะลมสงบจากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้ง และแล้งฝน พบว่าในฤดูแล้งเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.53) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้น ส่วนการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศ ตะวันออก และไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ และในเวลากลางคืนสำหรับฤดูแล้ง (ภาพที่ 4.54) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่ลงมากกว่าลอยตัวขึ้น ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ เป็นเช่นเดียวกับในเวลากลางวันคือเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ สำหรับในฤดูแล้งฝน พบว่าในเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.55) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่ลงมากกว่าลอยตัวขึ้นต่างจากในฤดูแล้ง และการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบจะมีการเคลื่อนที่ตรงข้ามกับในฤดูแล้ง คือมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในเวลากลางคืน (ภาพที่ 4.56) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นแบบเดียวกับในเวลากลางวัน คือมีการเคลื่อนที่ลงในแนวตั้ง และเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่

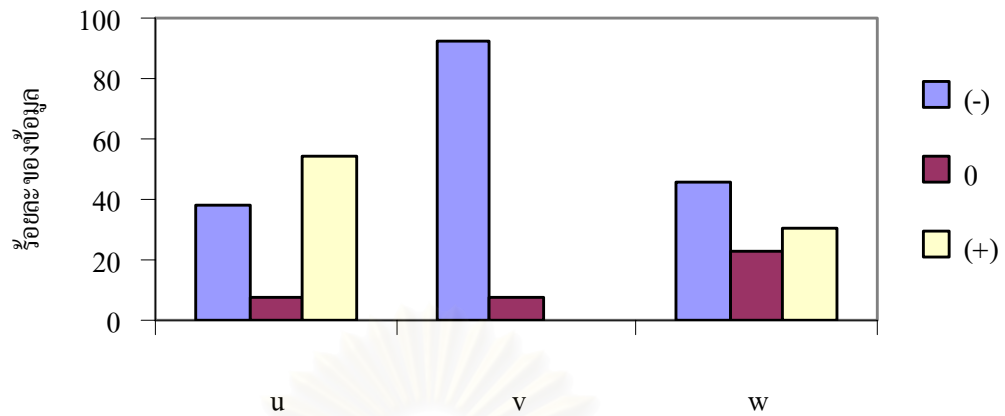


ภาพที่ 4.53 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้ง

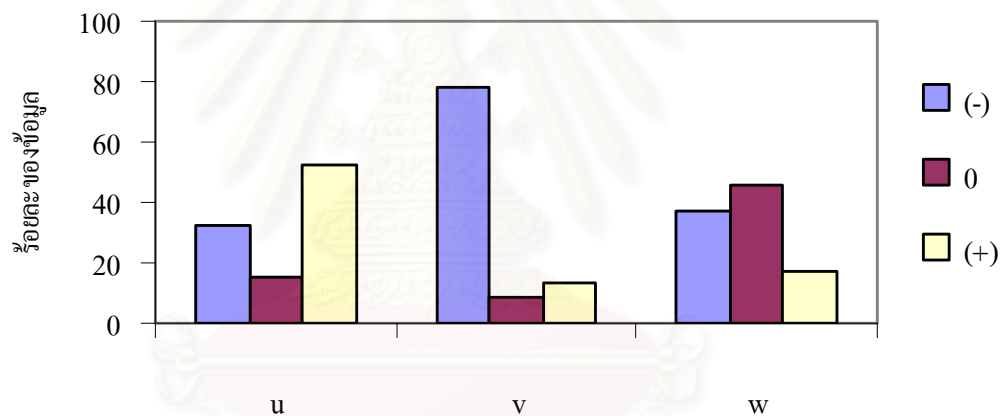


ภาพที่ 4.54 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.55 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้งฝน



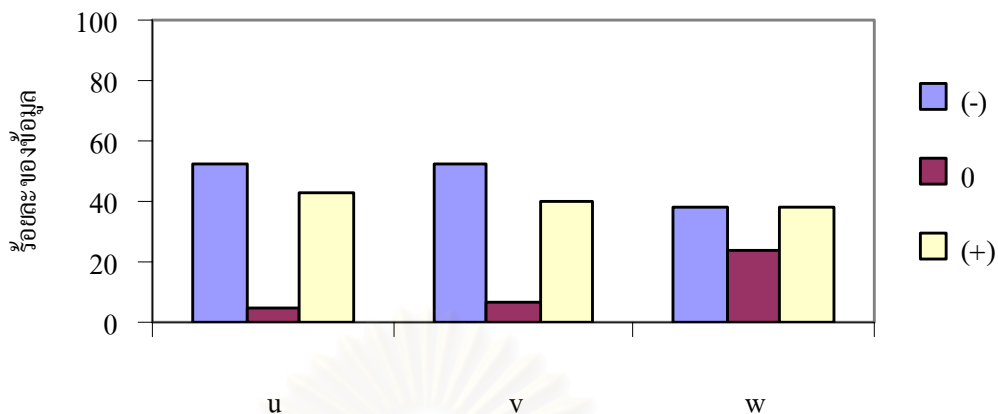
ภาพที่ 4.56 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้งฝน

สำหรับบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย พบว่าความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ เป็นดังตารางที่ 4.15

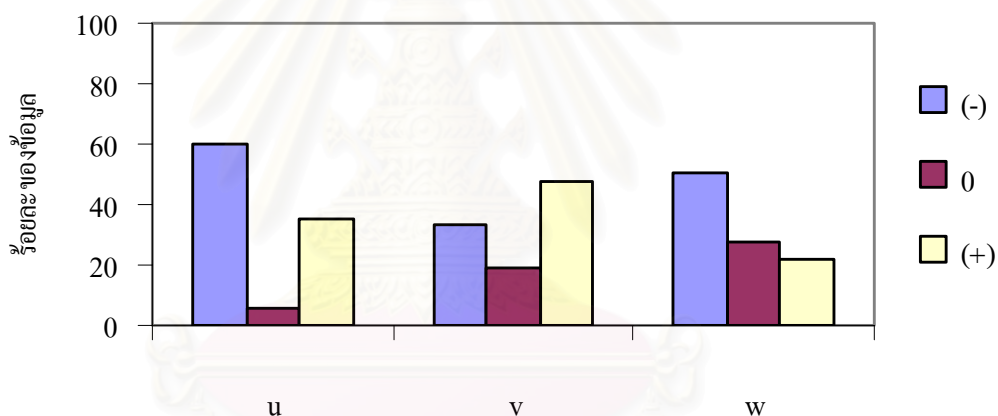
ตารางที่ 4.15 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูฝนและแล้ง ฝน

องค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z	ความถี่ในการเกิด (%)											
	ฤดูฝน						ฤดูแล้งฝน					
	กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางคืน		
	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)
u	52.38	4.76	42.86	59.65	5.26	35.09	79.31	10.34	10.34	84.78	10.87	4.35
v	52.38	7.14	40.48	33.33	19.30	47.37	41.38	10.34	48.28	34.78	2.17	63.04
w	38.10	23.81	38.10	50.88	27.19	21.93	58.62	20.69	20.69	60.87	28.26	10.87

ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูฝนและแล้งฝน พบว่าในฤดูฝนเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.57) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้นและเคลื่อนที่ลงในปริมาณที่เท่ากัน ส่วนการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบใกล้เคียงกันทั้งด้านบวกและด้านลบ แต่ยังคงมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และไปทางทิศเหนือมากกว่า และในเวลากลางคืนสำหรับฤดูฝน (ภาพที่ 4.58) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่ลงมากกว่าลอยตัวขึ้น ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ พบว่ามีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ และสำหรับในเวลากลางวันของฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.59) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งเคลื่อนที่ลงมากกว่าลอยตัวขึ้น และการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนในเวลากลางคืน (ภาพที่ 4.60) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นแบบเดียวกับในเวลากลางวัน คือมีการเคลื่อนที่ลงในแนวตั้ง และเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศใต้เป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกัน

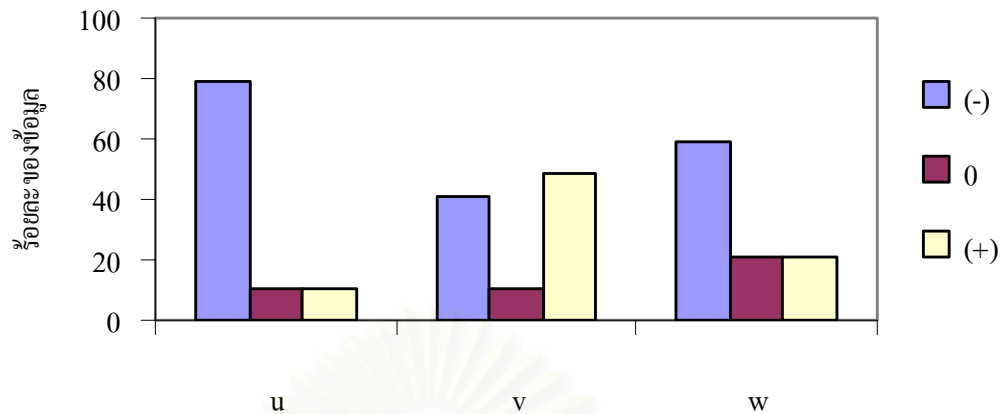


ภาพที่ 4.57 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้ง

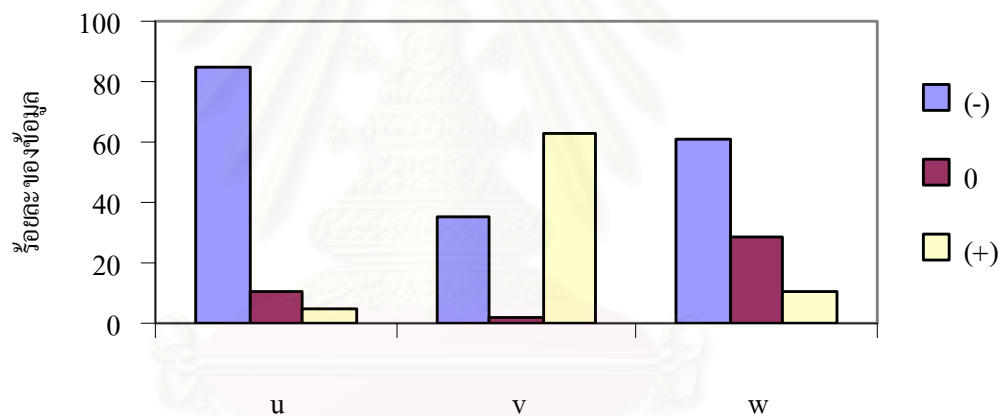


ภาพที่ 4.58 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.59 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้งฝน



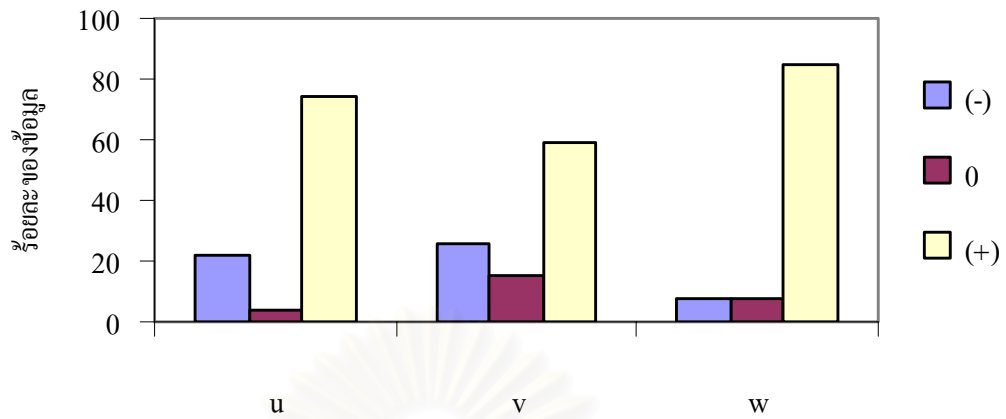
ภาพที่ 4.60 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้งฝน

สำหรับบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ พบว่าความถี่ในการเคลื่อนที่ของลม จากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ เป็น ดังตารางที่ 4.16

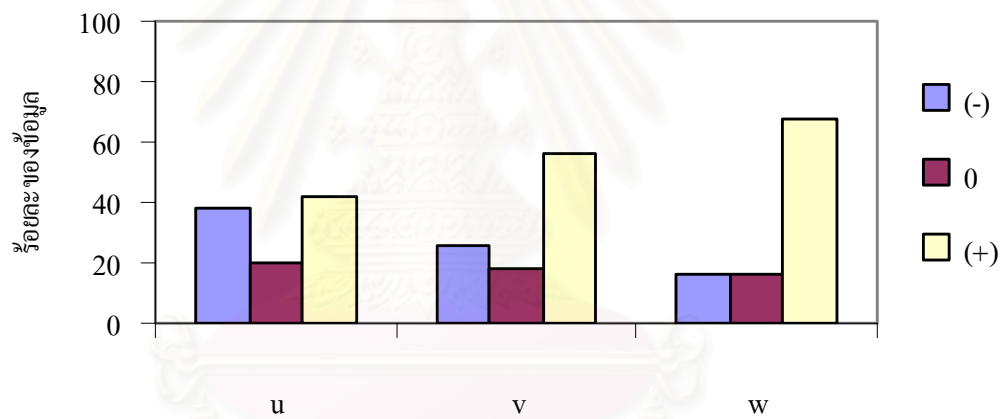
ตารางที่ 4.16 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวันและกลางคืนในสภาวะลมสงบ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝนและแล้งฝน

องค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z	ความถี่ในการเกิด (%)											
	ฤดูฝน						ฤดูแล้งฝน					
	กลางวัน			กลางคืน			กลางวัน			กลางคืน		
	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)	(-)	0	(+)
u	22.22	3.70	74.07	38.30	20	41.70	90.00	0.00	10.00	30.77	17.95	51.28
v	25.93	14.81	59.26	25.53	18.30	56.17	50.00	10.00	40.00	26.28	21.15	52.56
w	7.41	7.41	85.19	15.74	16.17	68.09	80.00	10.00	10.00	14.74	20.51	64.74

ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลากลางวันและกลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝนและแล้งฝน พบว่าในฤดูฝนเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.61) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้นสูงมาก ซึ่งจากภาพเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ในด้านบวกสูงกว่าในด้านลบมาก ส่วนการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ และในเวลากลางคืนสำหรับฤดูฝน (ภาพที่ 4.62) การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งเป็นเช่นเดียวกับในเวลากลางวันคือมีการเคลื่อนที่ของอากาศแบบลอยตัวขึ้นสูงมาก แต่พบน้อยกว่าในเวลากลางวัน ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระนาบพบว่าการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และไปทางทิศใต้เช่นเดียวกัน แต่การเคลื่อนที่ทางทิศตะวันตกใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ในทิศตะวันออกสำหรับฤดูแล้งฝนในเวลากลางวัน (ภาพที่ 4.63) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่ลงมากกว่าลอยตัวขึ้นสูงมาก และการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบนั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก และทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่ ต่างจากในฤดูฝน ส่วนในเวลากลางคืนของฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.64) พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่แบบลอยตัวขึ้นมากกว่าเคลื่อนที่ลง และเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก และทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ในแนวระนาบซึ่งตรงข้ามกับในเวลากลางวัน

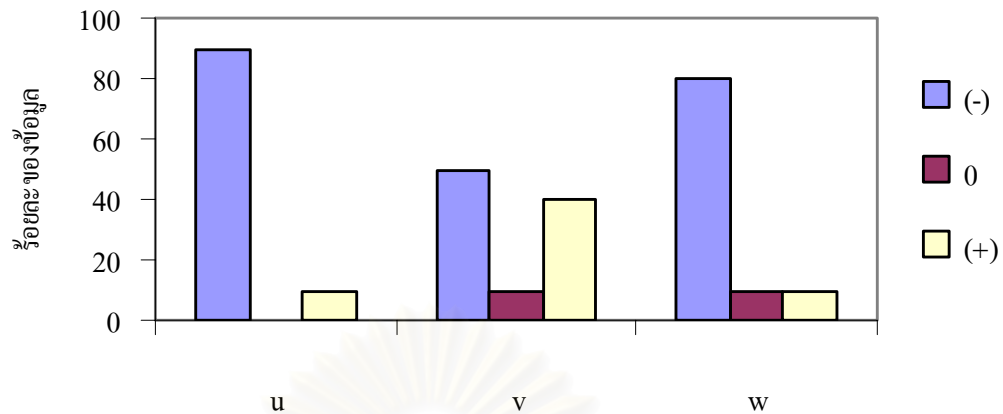


ภาพที่ 4.61 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅษณ์

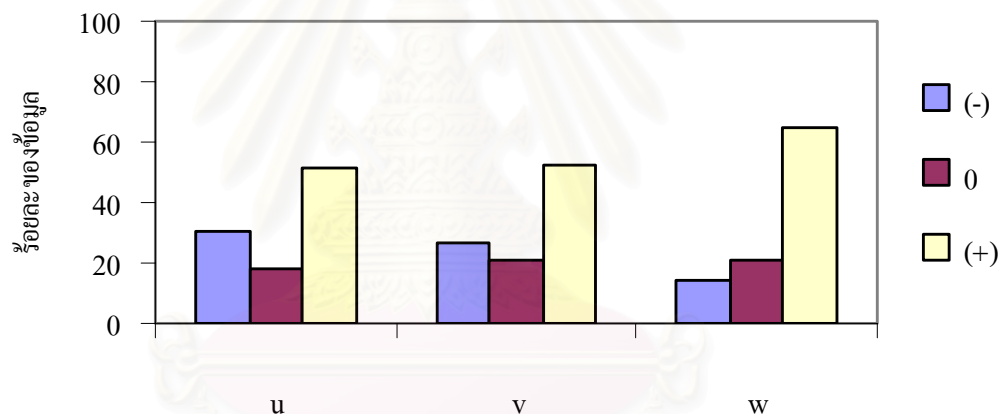


ภาพที่ 4.62 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅษณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.63 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางวัน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน



ภาพที่ 4.64 ความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมจากองค์ประกอบของลมในแนวแกน x, y และ z เวลา กลางคืน ในสภาวะลมสงบ จากการตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน

จากการศึกษาความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของอากาศในสภาวะลมสงบจากลักษณะของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน พบว่าสิ่งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง (แกน z) เนื่องจากบริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ซึ่งเครื่องมือตรวจวัดตั้งอยู่บนพื้นสนามหญ้า ดังนั้นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของอากาศจะเกิดขึ้นน้อย ทั้งเคลื่อนที่ขึ้น (ทิศบวก) และเคลื่อนที่ลง (ทิศลบ) และส่วนใหญ่พบเปอร์เซ็นต์ความเร็วลมเป็นศูนย์สูงมาก เนื่องจากเมื่อพื้นผิวซึ่งเป็นสนามหญ้าได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนที่ได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำและการสังเคราะห์แสงมากกว่าในการเผาผลาญอากาศ จึงทำให้ความร้อนบริเวณพื้นผิวไม่สูงมาก ดังนั้นอากาศจึงเกิดการลอยตัวขึ้นน้อยมาก สำหรับบริเวณ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยเครื่องมือ

ตรวจวัดตั้งอยู่บริเวณพื้นคอนกรีต แต่อยู่ใกล้กับต้นไม้ และสนามฟุตบอลซึ่งเป็นที่โล่ง จึงเป็นเช่นเดียวกับโรงพยาบาลเซนหลุยส์ คือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งส่วนใหญ่เป็นลักษณะเคลื่อนที่ลง (ทึสลบ) มากกว่าเคลื่อนที่ขึ้น (ทึสบวก) และสุดท้ายบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ซึ่งเครื่องมือตรวจวัดตั้งอยู่บริเวณพื้นคอนกรีตใกล้กับสนามบาสเกตบอล และล้อมรอบด้วยอาคารเรียน พบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งส่วนใหญ่มีการเคลื่อนที่ขึ้น (ทึสบวก) มากที่สุด เนื่องจากพื้นคอนกรีตเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะมีความร้อนสูงและส่งผลให้อากาศบริเวณเหนือพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย ดังนั้นอากาศร้อนจึงเกิดการลอยตัวขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิของตัวเองลง ทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญเด่นชัดกว่าโรงพยาบาลเซนหลุยส์ และโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย

4.4 การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับสภาวะลมสงบ

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น Gaussian model, Advection-diffusion equation และ Box model พบว่า Gaussian model นั้นไม่เหมาะสมสำหรับในสภาวะลมสงบ เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวในสภาวะลมสงบไม่ได้มีลักษณะแบบ Gaussian รวมถึงสมการของ Gaussian ซึ่งเป็นส่วนกลับของความเร็วมซึ่งให้ค่ามากกว่าความเป็นจริงมากเมื่อความเร็วมมีค่าต่ำ ส่วน Advection-diffusion equation นั้นคำนวณการกระจายของมลสารในทุกทิศทาง ซึ่งพบการกระจายลักษณะนี้ในสภาวะลมสงบ แต่เนื่องจาก Advection-diffusion equation เป็นสมการสำหรับแหล่งกำเนิดแบบ point source ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ได้กับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากแหล่งกำเนิดเป็นแบบ area source และสุดท้าย Box model โดยจากการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศ และองค์ประกอบของลมในสภาวะลมสงบ พบว่าเมื่อเกิดสภาวะลมสงบ การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่มากขึ้น ส่งผลให้มลสารที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดลอยตัวขึ้นมากกว่าที่จะโค้งไปตามลมในแนวระนาบ โดยจากการทดลองในสภาวะลมสงบในห้องทดลองเห็นได้ว่ามลสารเมื่อออกจากแหล่งกำเนิดจะค่อยๆ ลอยตัวสูงขึ้น และแพร่กระจาย (diffusion) ออกไปด้านข้าง จนถึงระยะเวลาหนึ่งมลสารมีการกระจายไปทั่วห้อง ทำให้ความเข้มข้นของมลสารในห้องทดลองมีค่าใกล้เคียงกันทั้งห้อง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสมมติฐานของ Box model คือการคำนวณด้วย Box model นั้นความเข้มข้นของมลสารในกล่องมีค่าเท่ากันทั้งกล่อง ดังนั้น Box model จึงมีความเหมาะสมสำหรับในสภาวะลมสงบ

4.4.1 การทดสอบแบบจำลอง Box model ในสภาวะลมสงบ

การทดสอบแบบจำลองคุณภาพอากาศโดยใช้ Box model ในสภาวะลมสงบ โดย Box model เป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุดในการประเมินความเข้มข้นของมลสารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเป็นกล่อง และสมมติว่ามลสารในกล่องมีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าตรวจวัดจริงกับค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง ทั้งในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ (absolute steady state condition) และสภาวะไม่คงที่ (unsteady condition) โดยวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ Factor of Two (FAC2), Fraction Bias Test (FB) และ Correlation Coefficient (R) โดยมีสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้ (Chang และ Hanna, 2004)

$$FAC2 = 0.5 \leq \frac{C_p}{C_o} \leq 2.0$$

$$FB = \frac{\overline{(C_o - C_p)}}{0.5(\overline{C_o} + \overline{C_p})}$$

$$R = \frac{\overline{(C_o - C_o)(C_p - C_p)}}{\sigma_{C_p} \sigma_{C_o}}$$

โดยที่

C_p = ผลที่ได้จากแบบจำลอง

C_o = ผลที่ได้จากการตรวจวัด

σ_C = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

Factor of two เป็นการคำนวณถึงอัตราส่วนความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง หาก Factor of two อยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 2.0 แสดงว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัด ซึ่งวิธีของ Factor of two เป็นวิธีการคำนวณที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากไม่มีอิทธิพลของข้อมูลที่มีค่าสูงมากหรือต่ำมากเข้ามาเกี่ยวข้อง (Chang และ Hanna, 2004)

Fraction Bias Test เป็นการคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการตรวจวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ -2.0 ถึง +2.0 โดยที่ -2.0 หมายความว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าจากการตรวจวัดมาก

(Extreme Over Prediction) และ +2.0 หมายความว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก (Extreme Under Prediction) หากผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Fraction Bias Test มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าข้อมูลจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง และข้อมูลจากการตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก (Chang และ Hanna, 2004)

Correlation Coefficient เป็นผลจากความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง โดย Correlation Coefficient บอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีมากน้อยเพียงใด หาก Correlation Coefficient มีค่าใกล้เคียง 1 หรือ -1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันแบบสมบูรณ์ แต่หากค่าที่ได้ห่างจาก 1 หรือ -1 มาก แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันน้อย (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2544)

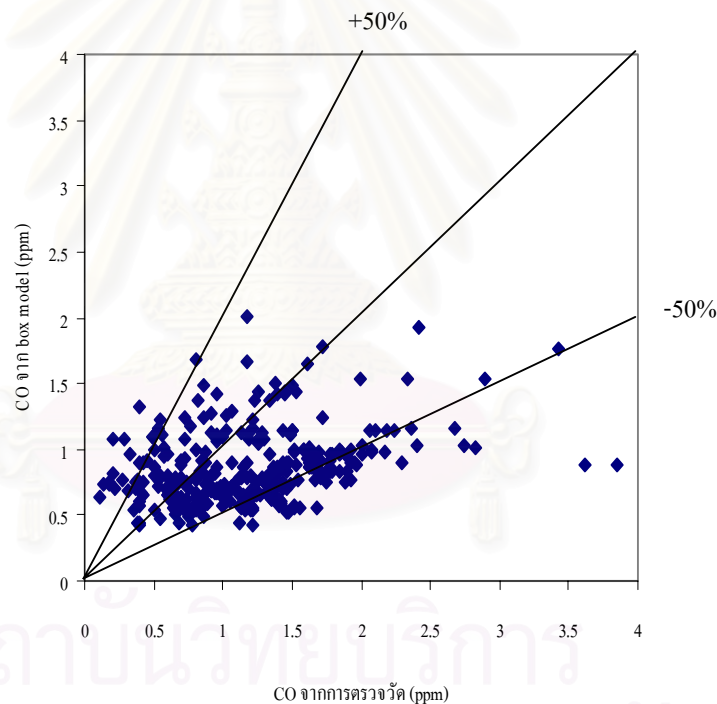
ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี (ภาคผนวก ก) กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ จากสมการที่ 2.3 และสภาวะไม่คงที่ จากสมการที่ 2.5 โดยปริมาณการปลดปล่อยมลสารมาจากปริมาณการจราจรในเวลาที่เกิดสภาวะลมสงบ (ภาคผนวก ข) และคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณการปลดปล่อยมลสาร (กรัม)} = \text{ปริมาณยานพาหนะ (คัน)} \times \text{EF (กรัม/กิโลเมตร/คัน)} \\ \times \text{ระยะทาง (กิโลเมตร)}$$

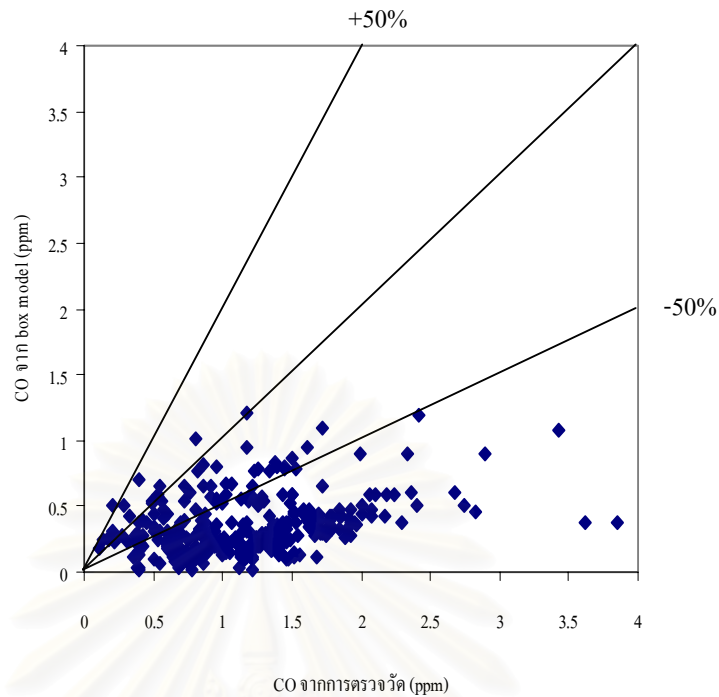
ซึ่งค่า emission factor ขึ้นอยู่กับประเภท และความเร็วของยานพาหนะ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้คิดความยาวของกล่อง (L) เท่ากับ 250 เมตร และความกว้างของกล่อง (W) 250 เมตร ส่วนความสูงของกล่อง (H) ได้จากการคำนวณโดยใช้ GAMMA-MET สำหรับในสภาวะคงที่นั้นใช้ค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์พื้นฐาน (background concentration) จากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ โดยเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10

ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ในสภาวะลมสงบ เมื่อพิจารณาจาก FAC2 ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ฤดูฝน (ภาพที่ 4.65) และฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.67) พบว่าสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ให้ผลดีกว่าในสภาวะไม่คงที่ทั้งฤดูฝน (ภาพที่ 4.66) และฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.68) เนื่องจากสภาวะลมสงบนั้นเป็นสภาวะที่คงที่ มลสารที่ออกจากแหล่งกำเนิดจึงมีการสะสมตัว ไม่ถูกพัดพาไปโดยลม ดังนั้นความเข้มข้นของมลสารในสภาวะนี้จึงไม่ขึ้นอยู่กับเวลาและความเร็วลมในขณะนั้น ทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริง

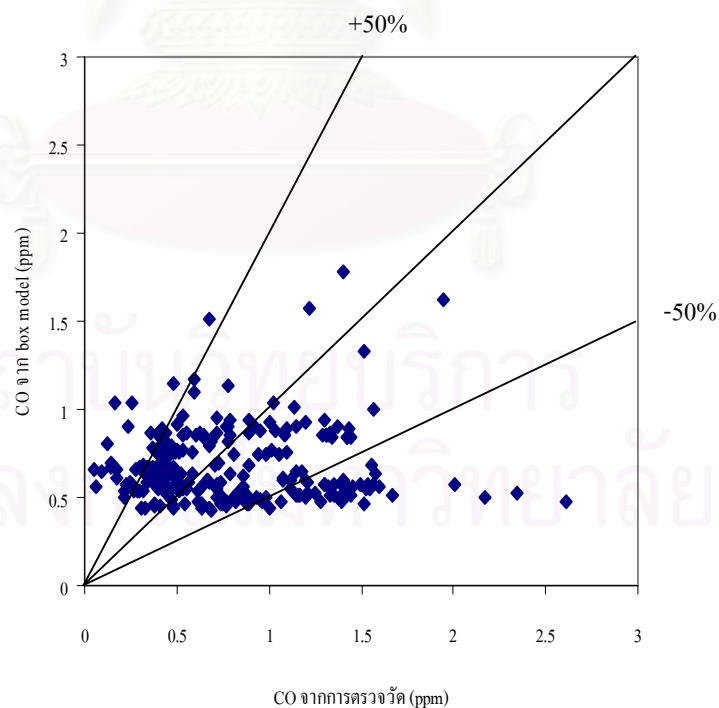
มากกว่าในสภาวะไม่คงที่ สำหรับ FB ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดไม่มากนัก ส่วนในสภาวะไม่คงที่พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่าในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ เนื่องจากในสภาวะไม่คงที่ความเร็วลมมีผลต่อความเข้มข้นของมลสารเมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ความเข้มข้นของมลสารมีค่าต่ำเพราะถูกพัดพาไปโดยลม ในสภาวะที่ความเร็วลมปานกลางถึงความเร็วลมสูง แต่ในสภาวะลมสงบ มลสารเมื่อออกจากแหล่งกำเนิดไม่ถูกพัดพาไปโดยลม ทำให้มีการสะสมตัวและมีความเข้มข้นสูง แบบจำลองในสภาวะไม่คงที่จึงให้ค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก และเมื่อพิจารณาค่า R พบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ และสภาวะไม่คงที่ มีค่าใกล้เคียงกันคือข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะในฤดูแล้งฝน ดังตารางที่ 4.17



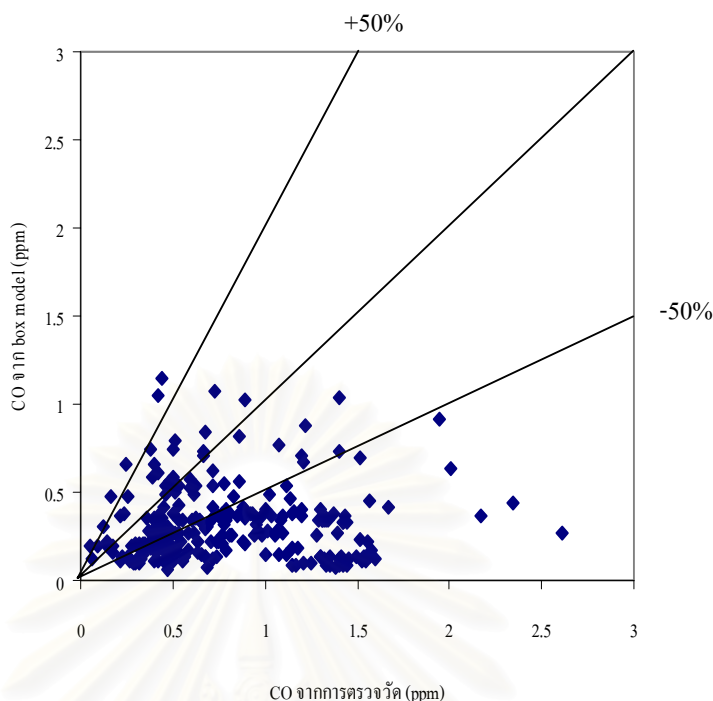
ภาพที่ 4.65 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ



ภาพที่ 4.66 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ถุดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะไม่คงที่



ภาพที่ 4.67 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ถุดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะคงที่ แบบสมบูรณ์



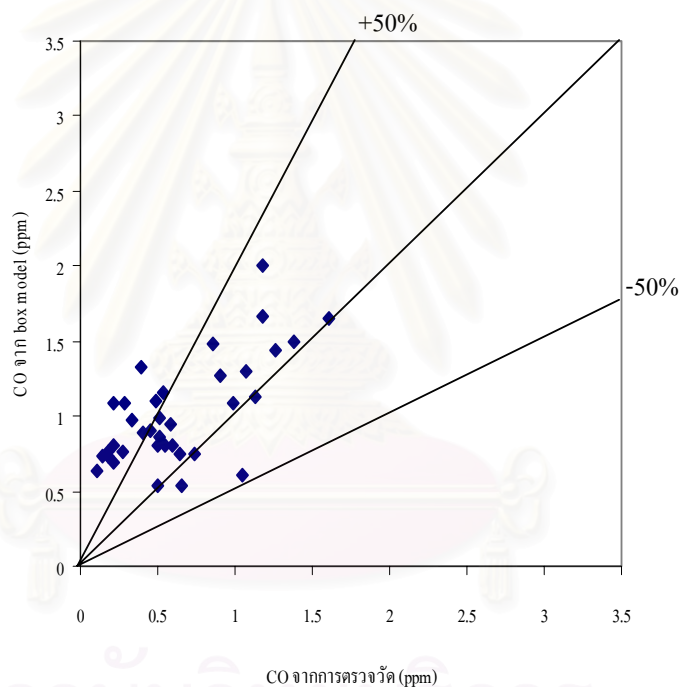
ภาพที่ 4.68 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี ถุดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่

ตารางที่ 4.17 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี

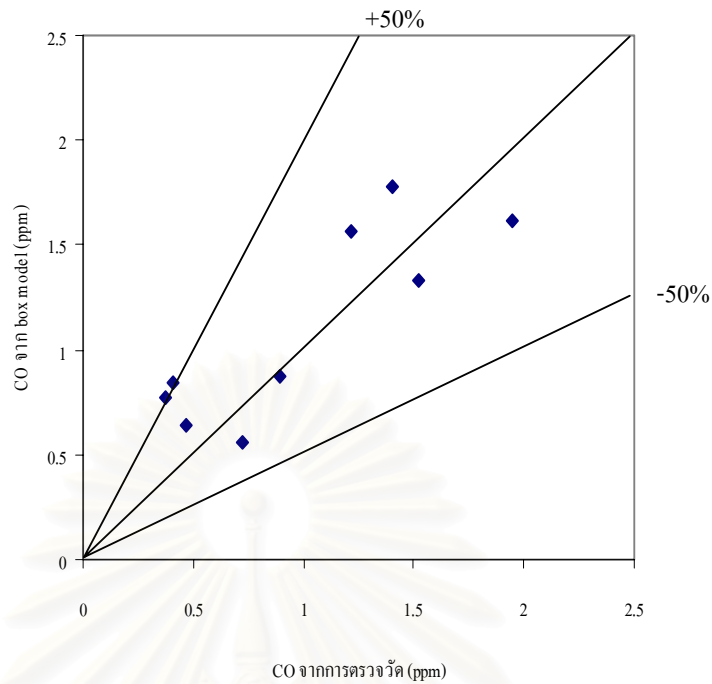
ฤดู	absoluted steady state condition			unsteady condition		
	FAC2 (%)	FB	R	FAC2 (%)	FB	R
ฝน	74.43	0.3115	0.3360	22.01	1.0820	0.3396
แล้งฝน	71.77	0.1423	0.0605	37.10	0.8435	0.0598

หากพิจารณาโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ โดยแยกพิจารณาแต่ละสถานี เมื่อพิจารณาจาก FAC2 บริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ในสภาวะลมสงบ ถุดูฝน พบว่าในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ (ภาพที่ 4.69) มีค่าน้อยกว่าในสภาวะไม่คงที่ (ภาพที่ 4.71) ส่วนในฤดูแล้งฝน FAC2 ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ (ภาพที่ 4.70) ให้ผลดีกว่าในสภาวะไม่คงที่ (ภาพที่ 4.72) สำหรับ FB ในฤดูฝน ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองในสภาวะคงที่แบบ

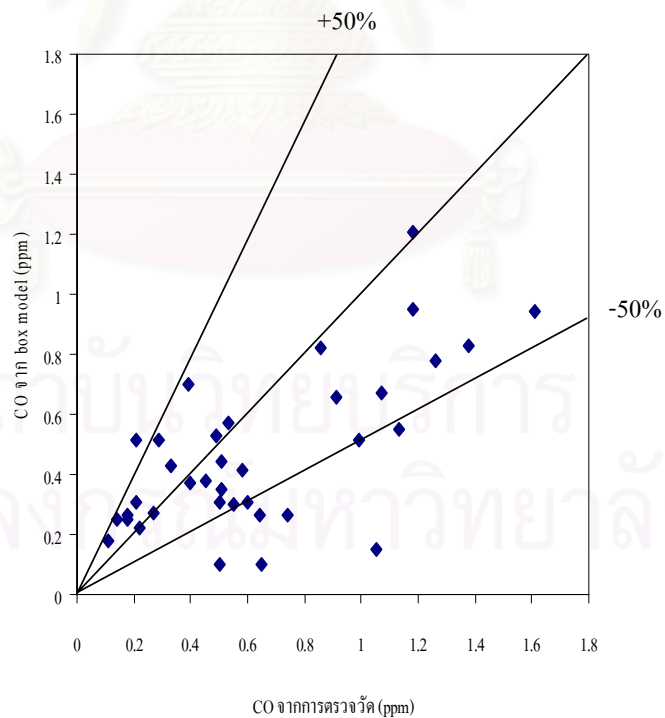
สมบรูณ์มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ส่วนในสภาวะไม่คงที่พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด และในฤดูแล้งฝน พบว่า FB ในสภาวะคงที่แบบสมบรูณ์ ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด แต่มีค่าสูงกว่าไม่มากนัก ในขณะที่ในสภาวะไม่คงที่พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก เมื่อพิจารณา R ในฤดูฝนพบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งในสภาวะคงที่แบบสมบรูณ์ และสภาวะไม่คงที่ มีค่าเท่ากันคือข้อมูลมีความสัมพันธ์กันปานกลาง ส่วนในฤดูแล้งฝนพบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งในสภาวะคงที่แบบสมบรูณ์ และสภาวะไม่คงที่ มีค่าเท่ากันคือข้อมูลมีความสัมพันธ์กันปานกลาง และมากกว่าในฤดูฝน ดังตารางที่ 4.18



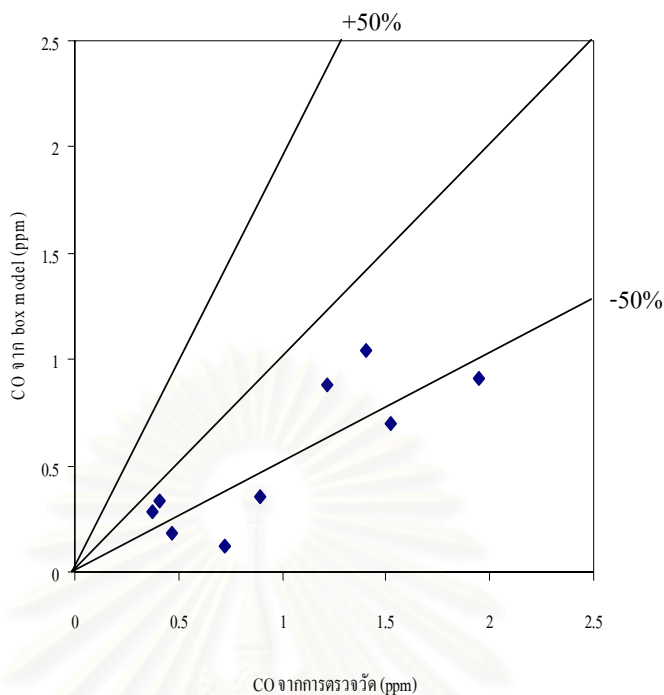
ภาพที่ 4.69 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบรูณ์



ภาพที่ 4.70 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่ แบบสมบูรณ์



ภาพที่ 4.71 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่



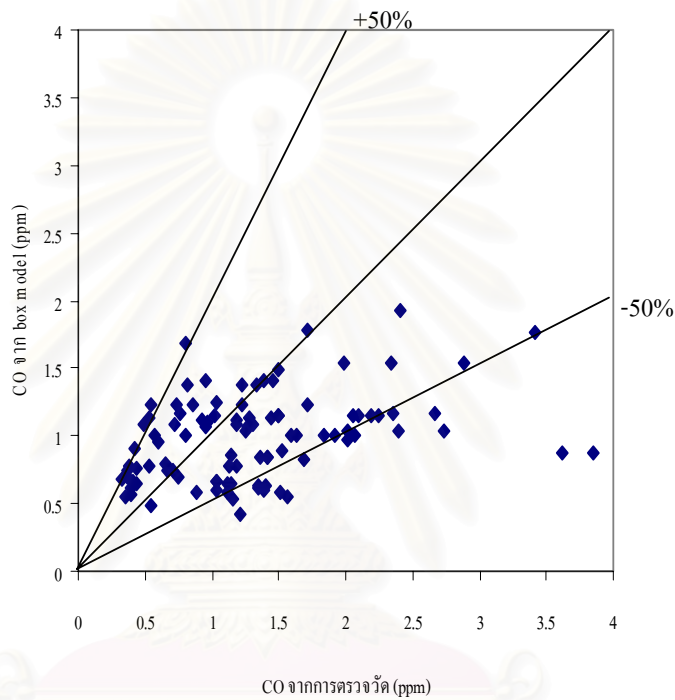
ภาพที่ 4.72 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่

ตารางที่ 4.18 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณ โรงพยาบาลเซนหลุยส์

ฤดู	absoluted steady state condition			unsteady condition		
	FAC2 (%)	FB	R	FAC2 (%)	FB	R
ฝน	58.33	-0.4635	0.6583	80.56	0.3111	0.6583
แล้งฝน	77.78	-0.1084	0.7537	44.44	0.6047	0.7537

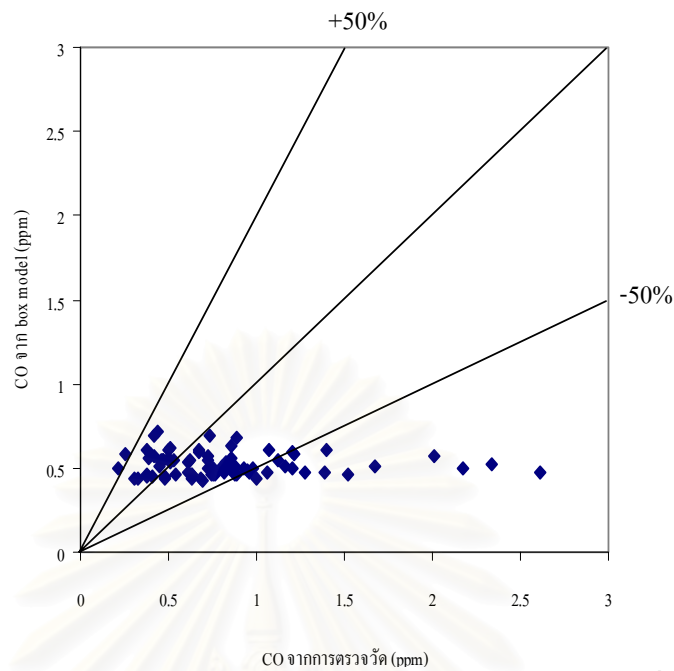
หากพิจารณาโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ ในสภาวะลมสงบ เมื่อพิจารณาจาก FAC2 ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ทั้งในฤดูฝน (ภาพที่ 4.73) และฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.74) พบว่าให้ผลดีกว่าในสภาวะไม่คงที่ (ภาพที่ 4.75 และ 4.76) สำหรับ FB ในฤดูฝน ทั้งในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่ ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยเฉพาะในสภาวะไม่คงที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก ส่วนในฤดูแล้งฝน FB ในสภาวะคงที่

แบบสมบูร์ณ์ มีค่าติดลบแสดงว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด แต่ในสถานะไม่คงที่เป็นเช่นเดียวกับในฤดูฝน คือค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด และเมื่อพิจารณา R ในฤดูฝน และฤดูแล้งฝน พบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งในสถานะคงที่แบบสมบูร์ณ์ และสถานะไม่คงที่มีค่าเท่ากันคือข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในฤดูแล้งฝน พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันต่ำมาก ดังตารางที่ 4.19

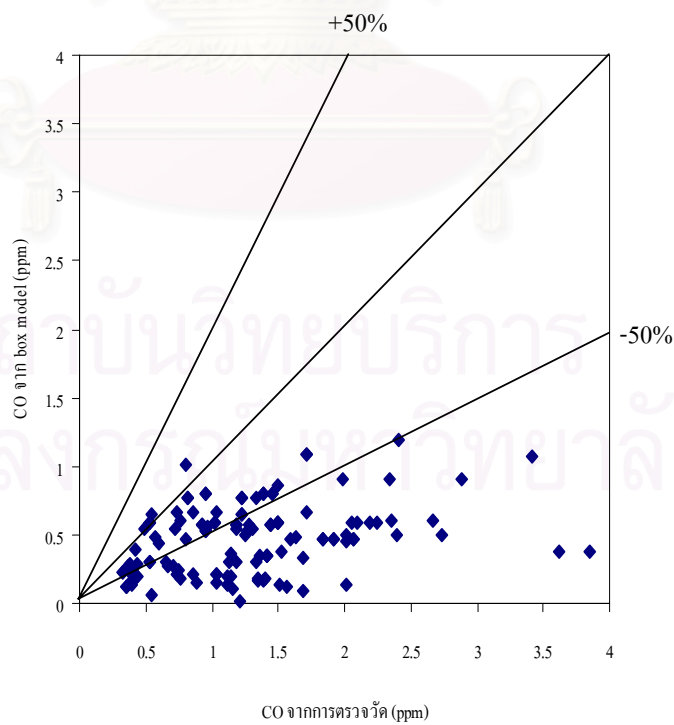


ภาพที่ 4.73 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะคงที่แบบสมบูร์ณ์

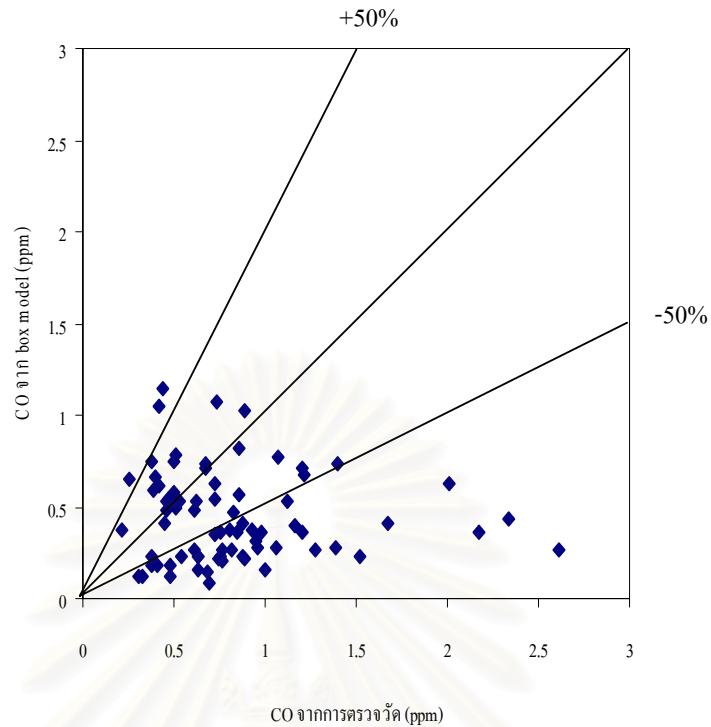
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.74 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ถุดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์



ภาพที่ 4.75 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน ถุดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่



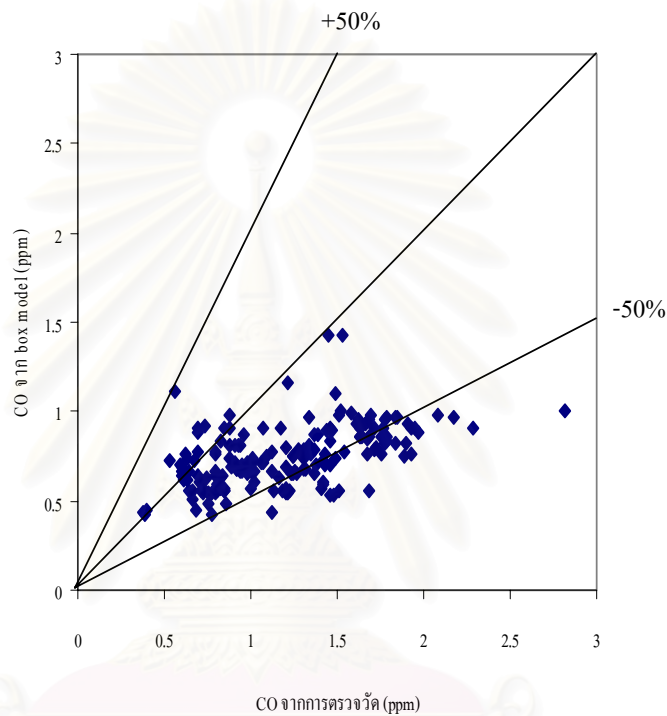
ภาพที่ 4.76 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะไม่คงที่

ตารางที่ 4.19 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์ และสถานะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย

ฤดู	absoluted steady state condition			unsteady condition		
	FAC2 (%)	FB	R	FAC2 (%)	FB	R
ฝน	74.23	0.2783	0.3767	34.02	0.9530	0.3767
แล้งฝน	75.00	-0.6083	-0.0658	40.79	0.5899	-0.0658

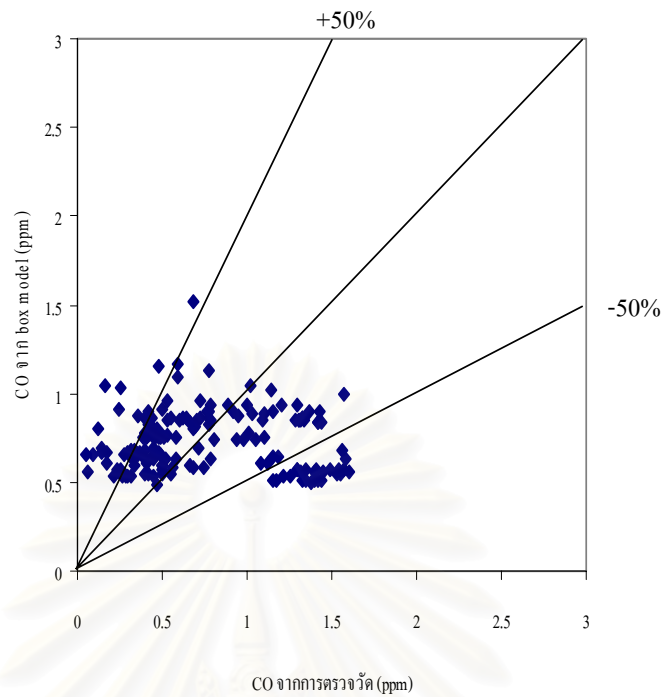
หากพิจารณาโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ Box model ในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์ และสถานะไม่คงที่ ในสภาวะลมสงบ เมื่อพิจารณาจาก FAC2 ในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์ ทั้งในฤดูฝน (ภาพที่ 4.77) และฤดูแล้งฝน (ภาพที่ 4.78) พบว่า ในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์ให้ผลดีกว่าในสถานะไม่คงที่ (ภาพที่ 4.79 และ 4.80) โดยเฉพาะในฤดูฝนให้ผลดีกว่ามาก สำหรับ FB ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน

พบว่าทั้งในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์และสถานะไม่คงที่ ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งในสถานะไม่คงที่ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก และเมื่อพิจารณา R ในฤดูฝน และฤดูแล้งฝน พบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์ และสถานะไม่คงที่ มีค่าเท่ากันคือข้อมูลมีความสัมพันธ์กันปานกลางสำหรับในฤดูฝน และมีความสัมพันธ์กันต่ำมากในฤดูแล้งฝน ดังตารางที่ 4.20

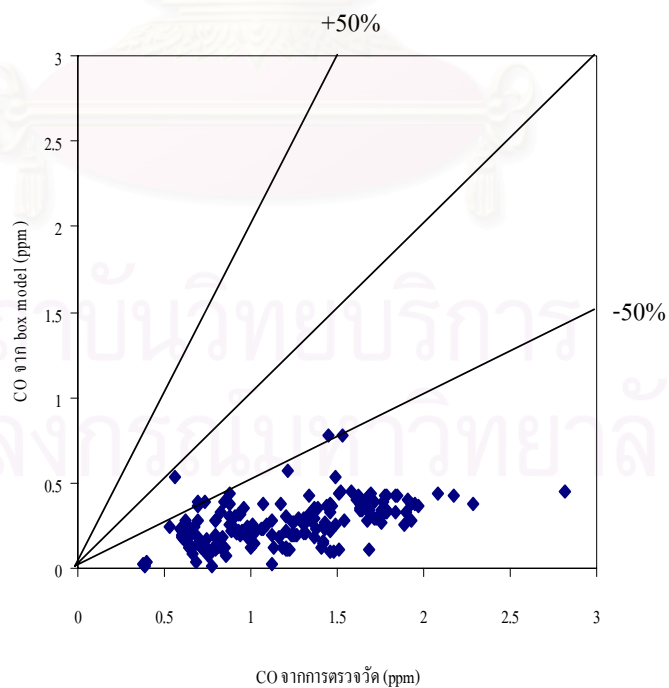


ภาพที่ 4.77 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์

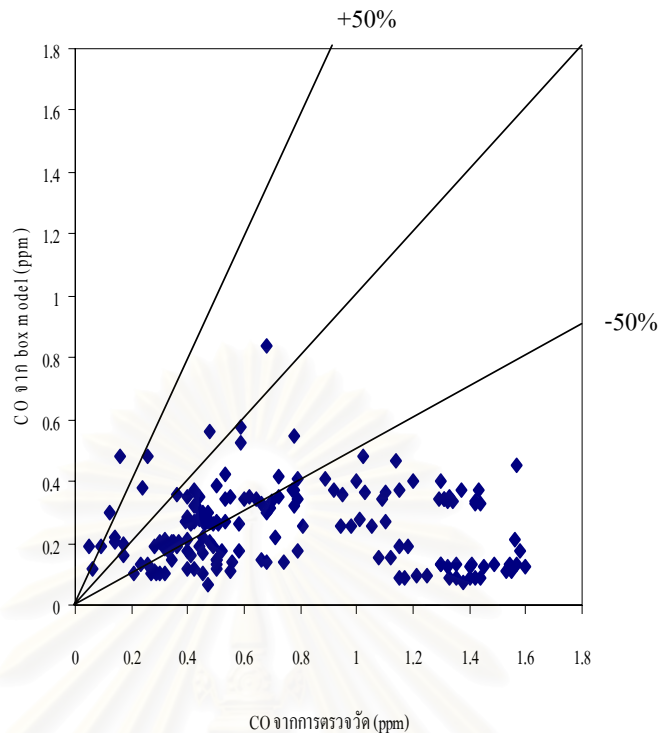
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.78 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะคงที่แบบ สมบูรณ์



ภาพที่ 4.79 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสภาวะไม่คงที่



ภาพที่ 4.80 ผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน และค่าที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะไม่คงที่

ตารางที่ 4.20 ผลของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากแบบจำลอง Box model ในสถานะคงที่แบบสมบูรณ์ และสถานะไม่คงที่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด บริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญ

ฤดู	absoluted steady state condition			unsteady condition		
	FAC2 (%)	FB	R	FAC2 (%)	FB	R
ฝน	77.84	0.4671	0.5185	3.41	1.2863	0.5185
แล้งฝน	69.64	0.0384	-0.0365	34.97	1.0106	-0.0365

เมื่อพิจารณาผลของแบบจำลอง Box model โดยแยกพิจารณาแต่ละสถานี พบว่า FAC2 ของทุกสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้งฝน ยกเว้นโรงพยาบาลเซนหลุยส์ใน ฤดูฝนที่มีค่าต่ำที่สุด คือร้อยละ 58.33 ซึ่งมาตรฐานของ EU Air Quality Framework Directive กำหนดค่า FAC2 สำหรับแบบจำลองคาร์บอนมอนอกไซด์ราย 8 ชั่วโมงไว้ 50% และจากการศึกษาของ Broderick et al. (2004) ซึ่งได้คำนวณความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ราย ชั่วโมงด้วย CALINE4 เทียบกับค่าตรวจวัด และใช้มาตรฐานของคาร์บอนมอนอกไซด์ราย 8 ชั่วโมง พบว่าแบบจำลองยอมรับได้เมื่อ FAC2 มากกว่า 50% ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ซึ่ง

FAC2 สำหรับ Box model สภาวะคงที่แบบสมบูรณ์มีค่ามากกว่า 50% แสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถเป็นที่ยอมรับตามเกณฑ์ของ EU และเมื่อพิจารณาจากค่า R ของทั้ง 3 สถานี พบว่าบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์จะมีค่า R สูงที่สุดเมื่อเทียบกับโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย และโรงเรียนแสวงหิรัญ เนื่องจากจุดตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ตั้งอยู่ใกล้กับถนนสาธารณะซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยไม่มีอาคารตั้งขวาง ดังนั้นเมื่อเกิดสภาวะลมสงบซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้รับที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิด ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัดเป็นความเข้มข้น ณ เวลาที่เกิดลมสงบนั้น ส่วนโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยนั้นตั้งอยู่ห่างจากถนนสาธารณะมาก และสำหรับโรงเรียนแสวงหิรัญซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับถนนสุขุมวิทเช่นกัน แต่เนื่องจากมีอาคารเรียนและตึกสูงกั้นระหว่างถนนและจุดตรวจวัด จึงทำให้ความสัมพันธ์ของข้อมูลบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย และโรงเรียนแสวงหิรัญมีค่าต่ำ โดยเฉพาะในฤดูแล้งฝนจะมีค่าต่ำมาก

4.4.2 การพัฒนาแบบจำลอง Box model สำหรับสภาวะลมสงบ ในแบบจำลอง GAMMA

GAMMA model เป็นแบบจำลองการกระจายตัวของมลสารประเภทแหล่งกำเนิดแบบ virtual point source โดยมีสมการพื้นฐานมาจาก Gaussian equation ประกอบด้วย GAMMA, GAMMA-MET, GAMMA-L และ GAMMA-ST โดย GAMMA model ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ Virtual FORTRAN Professional version 5.0 เนื่องจาก Gaussian equation ไม่เหมาะสมสำหรับในสภาวะลมสงบ ดังนั้นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะลมสงบคือ GAMMA - Calm ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เพิ่มขึ้นมาสำหรับในสภาวะที่ความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณเป็นสมการของ Box model

การทำงานของ GAMMA model ต้องมีการเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อคำนวณค่า boundary layer parameters สำหรับวิเคราะห์ความคงตัวของบรรยากาศ และข้อมูลของมลสารเพื่อคำนวณความเข้มข้นของมลสารในพื้นที่ที่สนใจ โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประกอบด้วย 10 คอลัมน์ ได้แก่ ปี (year), เดือน (month), วัน (day), เวลา (hour), ปริมาณเมฆ (total cloud cover; octa หรือ deca), ปริมาณแสง (radiation; wm^{-2}), ทิศทางลม (wind direction; degree from wind is blowing), ความเร็วลม (wind speed; knot), อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความสูงฐานเมฆ ($\times 10$ เมตร) ดังภาพที่ 4.81 และสำหรับข้อมูลของมลสาร เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะลมสงบ โดยเป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับ GAMMA-Calm ประกอบด้วย 5 คอลัมน์ ได้แก่ ปี (year), เดือน (month), วัน (day), เวลา (hour) และ ปริมาณมลสาร (emission; กรัม) ดังภาพที่ 4.82

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	2004	1	1		-99	-99	-99	-99	-99	-99		
2	2004	1		2	2	-99	350	4	26	-99		
3	2004	1		2	2	-99	0	0	25.5	-99		
4	2004	1	1	3	2	-99	0	0	25	-99		
5	2004	1	1	4	2	-99	0	0	24.5	-99		
6	2004	1	1	5	4	0	0	0	24	-99		
7	2004	1	1	6	4	0	0	0	23	-99		
8	2004	1	1	7	4	1	0	0	22.5	-99		
9	2004	1	1	8	4	39	0	0	23.5	-99		
10	2004	1	1	9	4	110	330	1	26.1	-99		
11	2004	1	1	10	4	182	300	2	28.6	-99		
12	2004	1	1	11	4	232	70	2	29.8	-99		
13	2004	1	1	12	4	272	310	3	31.9	-99		
14	2004	1	1	13	4	276	310	4	33.8	-99		
15	2004	1	1	14	4	254	310	1	32.8	-99		
16	2004	1	1	15	4	164	130	2	33.8	-99		
17	2004	1	1	16	4	156	0	0	33.3	-99		
18	2004	1	1	17	5	71	270	3	31.6	-99		
19	2004	1	1	18	5	15	310	2	30	-99		
20	2004	1	1	19	4	0	330	2	29	-99		
21	2004	1	1	20	3	-99	290	2	27.7	-99		

ภาพที่ 4.81 รูปแบบของข้อมูลคุณนิยมหาวิทยาลัยสำหรับ GAMMA MET
หมายเหตุ : -99 คือ missing value

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	2004	1	1	0	-99							
2	2004	1	1	1	3134.989							
3	2004	1	1	2	1537.164							
4	2004	1	1	3	1383.215							
5	2004	1	1	4	1385.196							
6	2004	1	1	5	1089.492							
7	2004	1	1	6	1312.797							
8	2004	1	1	7	3283.985							
9	2004	1	1	8	4395.457							
10	2004	1	1	9	7019.135							
11	2004	1	1	10	7184.165							
12	2004	1	1	11	4863.772							
13	2004	1	1	12	5456.337							
14	2004	1	1	13	5891.7							
15	2004	1	1	14	2383.469							
16	2004	1	1	15	4166.079							
17	2004	1	1	16	2464.099							
18	2004	1	1	17	5888.553							
19	2004	1	1	18	3271.419							
20	2004	1	1	19	4242.405							
21	2004	1	1	20	3829.52							

ภาพที่ 4.82 รูปแบบของข้อมูลมลสารสำหรับ GAMMA-Calm
หมายเหตุ : -99 คือ missing value

เมื่อเขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา fortran และทำการ compile โปรแกรม จะได้เป็น GAMMA.exe ซึ่งเป็นหน้าจอ DOS ดังภาพที่ 4.83 โดยมีตัวเลือกทั้งหมด 5 ตัวเลือก คือ GAMMA-MET สำหรับคำนวณค่า boundary layer parameters เพื่อวิเคราะห์ความคงตัวของบรรยากาศ GAMMA-L สำหรับคำนวณความเข้มข้นของมลสารรายปี GAMMA-St สำหรับคำนวณความเข้มข้นของมลสารรายชั่วโมง GAMMA-Calm สำหรับคำนวณความเข้มข้นของมลสารรายชั่วโมง ในสภาวะลมสงบ และ Exit คือออกจากโปรแกรม

```

-----
Welcome to GAussian Model for Managing Air Quality, GAMMA
                                         Developed by Surat Bualert
                                         Last updat : 13 July 2002
-----
Today is : Sunday   11 December 2005
Start running at :  2:38:47:78 pm

Model options
(1) Meteorological pre-processor, GAMMA-MET
(2) Long-term dispersion model, GAMMA-L
(3) Short-term dispersion model, GAMMA-St
(4) Short-term dispersion model, GAMMA-Calm
(0) Exit
-----
Please select the option : _

```

ภาพที่ 4.83 หน้าจอ GAMMA model

สำหรับโปรแกรม GAMMA-MET ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ต้องดำเนินการเพื่อนำผลที่ได้ไปใช้สำหรับ GAMMA-L GAMMA-St และ GAMMA-Calm ต่อไป โดย GAMMA-MET มีทั้งหมด 6 ขั้นตอนในการใส่ค่าเพื่อนำไปคำนวณ คือ ชื่อของแฟ้มข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตำแหน่งของจุดตรวจวัด (ละติจูด และลองจิจูด; องศา) ความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness; เมตร) บริเวณจุดตรวจวัด ค่าความร้อน (anthropogenic heat; วัตต์ต่อตารางเมตร) และหน่วยของปริมาณเมฆ (D สำหรับ Deca และ O สำหรับ Octa) ดังภาพที่ 4.84 โดยผลที่ได้จาก GAMMA-MET มีทั้งหมด 6 แฟ้มข้อมูล ได้แก่ MOB_RURAL.DAT, MOB_SURB.DAT, MOB_URBAN.DAT, MET-RURAL.DTA, MET_SURB.DAT และ MET_URBAN.DAT ซึ่ง 3 แฟ้มข้อมูลแรกเป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับ GAMMA-St และ GAMMA-Calm ที่มีลักษณะพื้นที่เป็นชนบท กึ่งชนบท และเมืองตามลำดับ ส่วน 3 แฟ้มข้อมูลสุดท้ายเป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับ GAMMA-L ที่มีลักษณะพื้นที่เป็นชนบท กึ่งชนบท และเมืองตามลำดับ

```

Please select the option : 1
-----
Welcome to GAMMA Meteorological Pre-Processor
Developed by Surat Bualert
Last updat : 25 Febuary 2001
-----
Start running at : 3:17:19:54 pm
1) Please input a filename for calculating ----- : crisstean.txt
-----
On-Site specification :
-----
(1) Location : <decimal system>
London latitude and Longitude = 51.5 and -0.117
Bangkok latitude and Longitude = 13.44 and 100.34
-----
(2) Surface Roughness :      Winter  Spring  Summer  Autumm
-----
Water surface                0.0001  0.0001  0.0001  0.0001
Deciduous Forest             0.5     1.0     1.30    0.8
Coniferous Forest           1.3     1.3     1.3     1.3
Cultivated Land              0.01    0.03    0.2     0.05
Grassland                    0.001   0.05    0.10    0.01
Urban area                    1.0     1.0     1.0     1.0  <0.8 for London>
-----
2) Please input site location <Latitude> ----- : 13.72
3) Please input site location <Longitude> ----- : 100.53
4) Please input measured On-Site surface roughness [m] -- : 1
5) Please input Anthropogenic Heat Flux [W/m2] --- : 3
6) Please input cloud cover unit [Deca or Oktas]--- : D_

```

ภาพที่ 4.84 หน้าจอ GAMMA-MET

สำหรับผลจาก GAMMA-MET ที่นำมาใช้สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของมลสารในสภาวะลมสงบในกรุงเทพมหานครนั้น จะใช้ข้อมูลจาก MOB_URBAN.DAT ซึ่งในแฟ้มข้อมูลประกอบด้วยปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมง ได้แก่ ปี, เดือน, วัน, เวลา, ทิศทางลม, ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที), อุณหภูมิ, ความเร็วเสียดทาน (friction velocity), Monin-Obukhov length, ความสูงผสม (mixing height), Pasquill-Gifford stability class, วัน (0-6; 0 = วันจันทร์), Photolysis rate และ convective scale (ภาพที่ 4.85)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	2004	1	1	0	-99	-99	-99	-99	0	-99	0	0	-28.3161	-99
2	2004	1	1	1	350	2.0576	299	0.27	62.996	322.683	6	5	-28.2181	0
3	2004	1	1	2	0	0.0382	298.5	0.0629	2254.3	50	7	4	-4.6768	0
4	2004	1	1	3	0	0.0381	298	0.0629	2259.64	50	7	4	-4.6847	0
5	2004	1	1	4	0	0.038	297.5	0.0629	2265.02	50	7	4	-4.6925	0
6	2004	1	1	5	0	0.0403	297	0.0629	2076.68	50	6	4	-4.4126	0
7	2004	1	1	6	0	0.0402	296	0.0629	2086.57	50	8	4	-4.4276	0
8	2004	1	1	7	0	0.5144	295.5	0.1128	-34.735	50	3	2	3.74	0.173
9	2004	1	1	8	0	0.5144	296.5	0.1432	-8.9752	147.157	2	1	29.58	0.494
10	2004	1	1	9	330	0.5144	299.1	0.1624	-4.9838	490.065	2	1	77.86	1.0185
11	2004	1	1	10	300	1.0288	301.6	0.265	-13.2792	548.019	2	1	126.82	1.2439
12	2004	1	1	11	70	1.0288	302.8	0.2728	-11.371	733.591	2	1	160.82	1.4838
13	2004	1	1	12	310	1.5432	304.9	0.3614	-22.6937	686.595	2	2	188.02	1.529
14	2004	1	1	13	310	2.0576	306.8	0.4413	-40.5883	600.96	2	2	190.74	1.4697
15	2004	1	1	14	310	0.5144	305.8	0.1812	-3.0495	1369.56	1	1	175.78	1.8821
16	2004	1	1	15	130	1.0288	306.8	0.2618	-14.163	484.467	2	1	114.59	1.1541
17	2004	1	1	16	0	0.5144	306.3	0.1699	-4.0412	751.245	2	1	109.14	1.3143
18	2004	1	1	17	270	1.5432	304.6	0.3178	-56.3934	151.284	3	3	51.34	0.5992
19	2004	1	1	18	310	1.0288	303	0.2095	-62.6718	50	3	3	13.26	0.2638
20	2004	1	1	19	330	0.2793	302	0.1226	330.69	98.7891	6	5	-8.6792	0
21	2004	1	1	20	290	0.2699	300.7	0.1228	347.874	99.0025	7	5	-9.0483	0
22	2004	1	1	21	0	0.0392	299.2	0.0629	2166.31	50	7	4	-4.5468	0
23	2004	1	1	22	0	0.0382	299	0.0629	2248.97	50	7	4	-4.669	0
24	2004	1	1	23	0	0.0381	298.3	0.0629	2256.43	50	7	4	-4.6799	0

ภาพที่ 4.85 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับ GAMMA-Calm

เมื่อได้ผลอุตุนิยมวิทยาจาก GAMMA-MET โดยใช้เพิ่มข้อมูล MOB_URBAN.DAT สำหรับ GAMMA-Calm ต่อไป โดยเลือก GAMMA-Calm บนหน้าจอ GAMMA model จะปรากฏหน้าจอของ GAMMA-Calm ขึ้น ดังภาพที่ 4.86 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนในการใส่ค่าเพื่อคำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์สำหรับในสภาวะลมสงบ ได้แก่ ชื่อของเพิ่มข้อมูลมลสาร ความกว้างและความยาวของกล่อง (W และ L) และความเข้มข้นพื้นฐานของคาร์บอนมอนอกไซด์ จากนั้นแบบจำลองจะทำการคำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นรายชั่วโมง และผลที่ได้จาก GAMMA-Calm เป็นเพิ่มข้อมูลชื่อ Result.dat โดยประกอบด้วย ปี, เดือน, วัน, เวลา และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm) ดังภาพที่ 4.87 ซึ่งผลที่ได้เป็นข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ในชั่วโมงที่เกิดสภาวะลมสงบเท่านั้น


```

D:\thesis\GAMMA_last version\GAMMA.exe
Welcome to GAMMA Calm Program
Developed by Thidarat
Last updat :14 september 2005

1) Please enter a filename for calculating ----- :BCCemis.txt

2) Please enter a value L for calculating [m] -----250

3) Please enter a value W for calculating [m] -----250

4) Please enter CO background concentration [ppm] -0.4

value L for Calculate ---- : 250.0000
value W for Calculate----- : 250.0000
value background concentration : 0.4000000

----- Calculating C ----- :
Result in Filename Result.dat ---- :

```

ภาพที่ 4.86 หน้าจอของ GAMMA-Calm

Microsoft Excel - Result

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	2004	9	1	0	1.008337							
2	2004	9	1	1	0.698283							
3	2004	9	1	2	0.66841							
4	2004	9	1	3	0.668794							
5	2004	9	1	4	0.611413							
6	2004	9	1	5	0.654745							
7	2004	9	1	6	1.03725							
8	2004	9	1	7	1.252928							
9	2004	9	1	8	1.762046							
10	2004	9	1	10	1.146574							
11	2004	9	1	11	1.07348							
12	2004	9	1	12	0.57714							
13	2004	9	1	13	0.533953							
14	2004	9	1	14	0.428066							
15	2004	9	1	17	0.59726							
16	2004	9	1	18	0.878153							
17	2004	9	1	19	1.54266							
18	2004	9	1	21	1.034811							
19	2004	9	1	22	1.223229							
20	2004	9	1	23	1.143109							
21	2004	9	2	0	0.77476							

ภาพที่ 4.87 ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะลมสงบ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สภาพการเกิดลมสงบในเขตกรุงเทพมหานคร และปัญหาที่เกิดขึ้นในสภาวะลมสงบ

การเกิดลมสงบในเขตเมืองอย่างกรุงเทพมหานครนั้น พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – 2546 เกิดสภาวะลมสงบสูงถึงร้อยละ 42.86 เนื่องจากในเขตเมือง (สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ) มีความขรุขระของพื้นผิว (surface roughness) สูง ดังนั้นจึงส่งผลให้ความเร็วลมบริเวณใกล้พื้นผิวมีค่าต่ำ แต่หากเป็นที่โล่งกว้าง ความขรุขระของพื้นผิวน้อย ความเร็วลมจะมีค่าสูงกว่า เห็นได้จากบริเวณคอนเมืองซึ่งเป็นที่โล่งกว้าง พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – 2546 เกิดสภาวะลมสงบต่ำเพียงร้อยละ 7.08 ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ เนื่องจากจุดตรวจวัดบริเวณ โรงเรียนแสงหิรัญตั้งอยู่ใกล้กับอาคารเรียน และมีตึกสูงอยู่ใกล้ๆ จึงพบว่าเกิดสภาวะลมสงบสูงกว่าบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ และ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน วิทยาลัยซึ่งจุดตรวจวัดตั้งอยู่ใกล้กับที่โล่งและเป็นสนามหญ้า นอกจากนี้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาระหว่างปี พ.ศ. 2540 -2546 ยังพบว่าสภาวะลมสงบเกิดสูงในช่วงปลายฤดูฝน และช่วงฤดูหนาวโดยเกิดสูงที่สุดในเดือนตุลาคม สำหรับช่วงเวลาในการเกิดสภาวะลมสงบในแต่ละวันพบว่า ความเร็วลมต่ำหรือสภาวะลมสงบนั้นเกิดในช่วงเวลากลางคืนถึงตอนเช้า (ประมาณ 19.00 น. – 7.00 น.) และมักเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดอินเวอร์ชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sharan et al. (1995) ส่วนในเวลากลางวัน (ประมาณ 8.00 น. – 18.00 น.) ความเร็วลมค่อนข้างสูง โดยจากข้อมูลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษทั้ง 4 สถานี ในปี พ.ศ. 2546 และข้อมูลจากการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ศึกษา 3 สถานี พบว่าสภาวะลมสงบเกิดในเวลากลางคืนมากกว่าเวลากลางวันเช่นกัน

จากการศึกษาบริเวณพื้นที่ศึกษา 3 สถานี พบว่าในช่วงที่ปริมาณการจราจรสูง (เวลากลางวัน) และปริมาณการปลดปล่อยมลสารสูง ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์กลับมีค่าต่ำ ในขณะที่เมื่อปริมาณการจราจรต่ำ (เวลากลางคืน) และปริมาณการปลดปล่อยมลสารต่ำ ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์กลับมีค่าสูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณจราจรไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของมลสารเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่มีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ได้แก่ ความเร็วลม โดยพบว่าความเร็วลมเป็นปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของมลสาร นอกเหนือจากปริมาณการจราจร เพราะเมื่อเกิดสภาวะลมสงบสามารถส่งผลให้เกิดปัญหาฝุ่นแรงขึ้นได้ เนื่องจากลมเป็นตัวพัดพาและเจือจางมลสาร มลสารที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดในสภาวะลมสงบจึงไม่ถูกพัดพาไป มีการกระจายตัวของมลสารน้อยมาก ทำให้เกิด

การสะสมตัวของมลสารในบริเวณใกล้กับแหล่งกำเนิด ส่งผลให้ความเข้มข้นของมลสารในสภาวะนี้มีค่าสูงกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมสูง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดสภาวะลมสงบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าสูง แม้ว่าความถี่ในการเกิดลมสงบมีค่าต่ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lines et al. (2001) ในขณะที่เมื่อความเร็วลมสูงความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าต่ำ ดังนั้นเมื่อเกิดสภาวะลมสงบหรือความเร็วลมต่ำ ความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากมลสารที่ปลดปล่อยออกมาจึงมีมากกว่าในเวลาที่มีความเร็วลมสูง โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดจะมีความเสี่ยงสูงที่สุด

5.2 ลักษณะการกระจายตัวของอากาศและองค์ประกอบของลมในสภาวะลมสงบ

การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบในห้องทดลองจากการเคลื่อนที่ของควันรูปที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อเกิดสภาวะลมสงบควันรูปมีการลอยตัวขึ้นเมื่อออกจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบ Adiabatic Cooling Process ในกรณีที่ควันรูปมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก โดยควันที่ลอยขึ้นจะค่อยๆ ขยายตัวออกและกระจายออกไปด้านข้างด้วยกระบวนการ diffusion เนื่องจากไม่มีแรงจากลมพัดให้ควันโค้งลงในแนวระนาบ และเมื่อถึงระยะที่ควันรูปไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ ควันรูปจะมีการกระจายไปทั่วห้อง จากนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งห้อง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ห้องที่มีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 3 เมตร เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 นาที ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าในสภาวะลมสงบ ความเข้มข้นของมลสารเมื่อออกจากแหล่งกำเนิดจะมีค่าสูงบริเวณที่ใกล้กับแหล่งกำเนิด และกระจายตัวออกไปอย่างช้าๆ จนมีค่าใกล้เคียงกันในพื้นที่นั้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นไปตามสมมติฐานของ Box model คือความเข้มข้นในกล่องมีค่าเท่ากันทุกจุด

สำหรับองค์ประกอบของลมในสภาวะลมสงบพบว่า เมื่อเกิดสภาวะลมสงบการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง (convection) มีอิทธิพลมากขึ้น ในกรณีที่อากาศเหนือพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศที่อยู่ด้านบน ซึ่งจากการทดลองในห้องที่เป็นสภาวะลมสงบแบบสมบูรณ์ พบว่า w หรือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งมีการเคลื่อนที่สูงกว่า u และ v หรือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบ และจากผลการศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีพบว่า แม้การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบมีการเคลื่อนที่สูงกว่า แต่จากสัดส่วนการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้งพบว่า ในสภาวะลมสงบมีสัดส่วนต่ำกว่าในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที แสดงว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งในสภาวะลมสงบยังคงมีสูงกว่าเมื่อเทียบกับในสภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที ส่วนการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระนาบพบว่าในสภาวะลมสงบ u และ v มีการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันทั้งด้านบวกและด้านลบ สำหรับใน

สภาวะที่ความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที u และ v ในด้านบวกและลบมีความแตกต่างกันมากกว่า ดังนั้นทิศทางลมในสภาวะที่ความเร็วลมสูงจึงมีความเด่นชัด ส่วนในสภาวะลมสงบทิศทางลมมีความไม่แน่นอนสูง และพบว่าอากาศมีการลอยตัวขึ้นสูงเมื่อพื้นผิวเป็นพื้นคอนกรีตเช่นบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ แต่หากพื้นผิวเป็นสนามหญ้าการลอยตัวของอากาศจะเกิดน้อยกว่า โดยเฉพาะในเวลากลางวันการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีการลอยตัวขึ้นมากกว่าจมตัวลง เนื่องจากความร้อนบริเวณพื้นผิว ส่วนในเวลากลางคืนอากาศมีการจมตัวลงมากกว่าการลอยตัวขึ้น

5.3 แบบจำลองคุณภาพอากาศสำหรับในสภาวะลมสงบ

จากการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะลมสงบส่วนใหญ่ใช้สมการของ Advection-Diffusion Equation ซึ่งให้ผลดีสำหรับในสภาวะลมสงบมากกว่า Gaussian equation เพราะสมการ Advection-Diffusion Equation พิจารณาการกระจายในทุกทิศทาง แต่เนื่องจาก Advection-Diffusion Equation เป็นสมการสำหรับแหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) ไม่สามารถใช้ได้สำหรับแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (area source) ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ได้กับการเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นปริมาณจากรถถนน ซึ่งแหล่งกำเนิดของคาร์บอนมอนอกไซด์คือยานพาหนะ โดยเป็นแหล่งกำเนิดแบบเส้น (line source) หรือเป็นแบบพื้นที่ตามสภาพของถนน ซึ่งจากการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบพบว่า การกระจายตัวของอากาศและมลสารในสภาวะนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับสมมติฐานของ Box model เพราะเมื่อผ่านไประยะหนึ่งความเข้มข้นของมลสารในห้องทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงนำ Box model มาใช้สำหรับในสภาวะลมสงบ

การทดสอบแบบจำลองคุณภาพอากาศโดยใช้ Box model ในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ และสภาวะไม่คงที่โดยความยาวของกล่อง (L) เท่ากับ 250 เมตร และความกว้างของกล่อง (W) 250 เมตร ส่วนความสูงของกล่อง (H) ได้จากการคำนวณด้วย GAMMA-MET เมื่อพิจารณาสภาวะลมสงบที่เกิดขึ้นทั้งหมด ผลที่ได้พบว่าในสภาวะคงที่แบบสมบูรณ์ให้ผลใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากกว่าในสภาวะไม่คงที่ โดยในสภาวะไม่คงที่ให้ผลที่มีค่าต่ำกว่าการตรวจวัดจริงมาก ส่วนความสัมพันธ์ของข้อมูลยังคงมีค่าต่ำ คือ 0.3360 สำหรับในฤดูฝน และ 0.0605 สำหรับในฤดูแล้งฝน เมื่อแยกพิจารณาแต่ละสถานีพบว่า บริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าสถานีอื่น คือ 0.6583 สำหรับฤดูฝน และ 0.7537 สำหรับฤดูแล้งฝน เนื่องจากจุดตรวจวัดบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดของคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุด แสดงว่าเมื่อเกิดสภาวะลมสงบมลสารที่ออกจากแหล่งกำเนิดมีการกระจายอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิด และมีผลต่อผู้รับที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากกว่าผู้รับที่อยู่ไกลจากแหล่งกำเนิด

5.4 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบในห้องทดลองทำการศึกษาในห้องที่มีขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร และสูง 3 เมตร เท่านั้น จึงควรทำการทดลองในห้องที่มีขนาดต่างๆ กัน เพื่อศึกษาว่าลักษณะการกระจายตัวของอากาศในสภาวะลมสงบมีความแตกต่างกันหรือไม่ และใช้เวลาในการกระจายตัวต่างกันหรือไม่

2) สมการ Advection-Diffusion Equation มีความเหมาะสมสำหรับการกระจายตัวในสภาวะลมสงบ แต่เนื่องจากเป็นสมการสำหรับแหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) จึงไม่สามารถใช้ได้กับการเก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ และการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการปรับสมการเพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับการกระจายตัวของมลสารจากแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (area source) หรือแบบเส้น (line source) แต่พบว่าไม่สามารถทำได้ ดังนั้นจึงควรทำการทดลองในสภาวะลมสงบโดยปล่อยก๊าซติดตามซึ่งมีแหล่งกำเนิดเป็นแบบจุด และทำการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของก๊าซติดตามเพื่อนำไปทดสอบ Advection-Diffusion Equation ว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงหรือไม่ในสภาวะลมสงบ

3) Emission Factor สำหรับการศึกษาในครั้งนี้เป็นข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2543 แต่เนื่องจากค่าของ Emission Factor นั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ดังนั้นหากนำสมการไปใช้ควรคำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลสารจากค่า Emission Factor ที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. รายงานฉบับสมบูรณ์ การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. (ม.ป.ท.), 2543.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- กิตติพร บุญฤทธิ์. การปนเปื้อนของตะกั่วในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร (ช่วงปี พ.ศ.2528 – 2532). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- เกษม จันทร์แก้ว. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541.
- นภาพร พานิช และ แสงสันดี พานิช. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ธนาเพลส แอนด์ กราฟฟิค, 2544.
- รังสรรค์ อากาศ์พะทะกุล. อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ด้านสุทธา การพิมพ์, 2547.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ชีระ เกรอต. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ศิริชัย พงษ์วิชัย. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- สุรัตน์ บัวเลิศ. เอกสารประกอบคำสอน วิชา 2308309 Fundamental Air Pollution. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- สุวพันธ์ นิลายน. อุตุนิยมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

ภาษาอังกฤษ

- Agarwal, P., Yadav, A. K., Gulati, A., Raman, S., Rao, S., Singh, M. P., Nigam, S. and Reddy, N. Surface layer turbulence processes in low wind speeds over land. Atmospheric Environment 29 (1995): 2089-2098.

- Arya, S. P. Air Pollution Meteorology and Dispersion. New York: Oxford University Press, 1999.
- Bach, W. Atmospheric Pollution. New York: McGraw-Hill, 1972.
- Beychok, M. R. Fundamentals of Stack Gas Dispersion. 3rd ed. Irvine, 1994.
- Boubel, W. R., Fox L. D., Turner, D. B., and Stern, A. C. Fundamentals of air pollution. 3rd ed. London: Academic Press, 1994.
- Broderick, B., Budd, U., Misstear, B., Ceburnis, D., and Jennings, S. G. Modelling CO concentrations under free-flowing and congested traffic conditions in Ireland. Proceedings of the 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, pp. 18-22. Germany, 2004
- Bualert, S. Development and application of an advanced Gaussian urban air quality model. Ph. D's Thesis. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Hertfordshire, 2001.
- Chang, J. C. and Hanna S. R. Air quality model performance evaluation. Meteorology and Atmospheric physics 87 (2004): 167-196.
- Cirillo, M. C. and Poli, A. A. An intercomparison of semiempirical diffusion models under low wind speed, stable conditions. Atmospheric Environment 26A (1992): 765-774.
- Colls, J. Air Pollution. 2nd ed. New York: Spon Press, 2002.
- Deaves, D. M. and Lines I. G. The nature and frequency of low wind speed conditions. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 73 (1998): 1-29.
- Ellis, N. L. and Middleton. Field measurements modeling of urban meteorology in Birmingham UK. (n.p.), 2002. (Unpublished Manuscript)
- Gifford, F. A. Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review. Nucl Safety 17 (1976): 71. Cited in Hanna, S. R., Briggs, G. A., and Hosker, R. P. Handbook on Atmospheric Diffusion. USA: Technical Information Center, 1982.
- Godish, T. Air Quality. 4th ed. New York: Lewis, 2003.
- Goyal, P., Singh, M. P., and Bandyopadhyay, T. K. Environmental studies of SO₂, SPM and NO_x, over Agra, with various methods of treating calms. Atmospheric Environment 28 (1994): 3113-3123.
- Harrop, D. O. Air Quality Assessment and Management. New York: Spon Press, 2002.

- Jacobson, Z. M. Fundamentals of atmospheric modeling. USA: Cambridge University Press, 1999.
- Kiely, G. Environmental Engineering. London: McGraw-Hill, 1997.
- Lines, I. G., Deaves, D. M. and Atkins, W. S. Practical modeling of gas dispersion in low wind speed conditions, for application in risk assessment. Journal of Hazardous Materials 54 (1997): 201-225.
- Lines, I. G., Daycock, J. H. and Deaves, D. M. Guidelines for the inclusion of low wind speed conditions into risk assessments. Journal of Hazardous Materials A83 (2001): 153-179.
- Moreira, D. M., Tirabassi, T., and Carvalho, J. C. Plume dispersion simulation in low wind conditions in stable and convective boundary layers. Atmospheric Environment 39 (2005): 3643-3650.
- Nevers, D. N. Air pollution control engineering. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Oettl, D., Goulart, A., Degrazia, G., and Anfossi, D. A new hypothesis on meandering atmospheric flows in low wind speed conditions. Atmospheric Environment 39 (2005): 1739-1748.
- Oettl, D., Kukkonen, J., Almbauer, R. A., Sturm, P. J., Pohjola, M. and Harkonen, J. Evaluation of a Gaussian and a Lagrangian model against a roadside data set, with emphasis on low wind speed conditions. Atmospheric Environment 35 (2001), 2123-2132.
- Perkins, H. C. Air Pollution. New York: McGraw-Hill, 1974.
- Rossano, A. T. Air Pollution Control: Guidebook for Management. New York: McGraw-Hill, 1969.
- Schnelle, K. B., and Dey, Jr./ P. R. Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide. New York: McGraw-Hill, 2000.
- Seinfeld, J. H. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. Canada: John Wiley & Sons, 1986.
- Sharan, M., Singh, M. P. and Yadav, A. K. Mathematical model for atmospheric dispersion in low winds with eddy diffusivities as linear functions of downwind distance. Atmospheric Environment 30 (1996): 1137-1145.
- Sharan, M., Yadav, A. K. and Modani, M. Simulation of short-range diffusion experiment in low-wind convective condition. Atmospheric Environment 36 (2002): 1901-1906.

- Sharan, M., Yadav, A. K. and Singh, M. P. Comparison of sigma schemes for estimation of air pollutant dispersion in low winds. Atmospheric Environment 29 (1995): 2051-2059.
- Smith, F. B. Low wind-speed meteorology. Meteorological Magazine 121 (1992): 141-151.
- Turner, D. B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An introduction of dispersion modeling. 2nd ed. USA: Lewis, 1994.
- Turner, D. B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. USA: PHS Publication, 1970.
Cited in Bualert, S. Development and application of an advanced Gaussian urban air quality model. Ph. D's Thesis. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Hertfordshire, 2001.
- U.S.EPA. Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. (n.p.), 2000. (Unpublished Manuscript)
- U.S.EPA. Temperature Inversions Impact Air Quality[online]. (n.d.). Available from: <http://www.epa.gov/airnow/inversions.html>[2005, September 22]
- Venkatram, A. and Wyngaard, J. C. Air Pollution Modeling. Boston: American Meteorological Society, 1988.
- Yim, J. Z., Chou, C. R. and Huang, W. P. A study on the distributions of the measured fluctuating wind velocity components. Atmospheric Environment 34 (2000): 1583-1590.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้ง

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	8	18:00	0.3	118.7	29.9	1.18
2547	9	8	18:50	0.1	65.8	30.1	1.38
2547	9	8	20:55	0.4	188.8	28.7	0.99
2547	9	9	2:15	0.4	85.2	28	0.64
2547	9	9	2:20	0.2	278.9	28	0.74
2547	9	9	6:45	0.4	304.6	28.2	1.61
2547	9	9	22:30	0.4	174.9	28.5	0.91
2547	9	10	0:20	0.4	352.4	28.2	0.33
2547	9	10	1:10	0.4	188.8	28	0.21
2547	9	10	1:20	0.1	347.3	28.1	0.3
2547	9	10	1:35	0.4	309	28	0.25
2547	9	10	1:40	0.3	103.8	28	0.31
2547	9	10	2:10	0.4	183.3	27.9	0.27
2547	9	10	2:25	0.3	330.3	27.8	0.22
2547	9	10	4:50	0.4	203	27.3	0.18
2547	9	10	4:55	0.3	301.7	27.3	0.14
2547	9	10	5:00	0.2	287	27.2	0.18
2547	9	10	6:45	0.2	20.7	27.2	1.18
2547	9	10	10:05	0.2	103.8	29.9	0.51
2547	9	10	14:25	0.3	244.5	31.5	1.05
2547	9	10	19:40	0.4	353.1	29.3	0.94
2547	9	10	21:50	0.4	85.2	29	0.48
2547	9	11	5:10	0.4	343.9	27.6	0.21
2547	9	11	6:15	0.2	23.6	27.5	0.45

ตาราง ก-1 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	11	6:55	0.4	117	27.6	0.49
2547	9	11	9:50	0.2	209.6	31	1.04
2547	9	11	14:35	0.2	12.1	33	0.5
2547	9	11	20:45	0.4	307.2	30.2	1.07
2547	9	11	21:00	0.4	343.4	30.5	1.26
2547	9	11	21:55	0.3	116.9	30.5	1.43
2547	9	12	1:05	0.3	248.2	29.4	0.4
2547	9	12	3:25	0.2	333.3	28.7	0.08
2547	9	12	4:45	0.3	96.1	28.5	0.11
2547	9	12	5:35	0.4	255.9	28.8	0.31
2547	9	12	5:45	0.3	116.9	28.7	0.69
2547	9	12	6:00	0.4	94.4	28.8	0.39
2547	9	12	6:25	0.1	248.1	28.7	0.55
2547	9	12	13:45	0.4	97.6	34.3	0.46
2547	9	12	15:05	0	188.8	32.2	0.65
2547	9	12	15:50	0.3	241.5	31.8	1.3
2547	9	12	22:10	0.2	249.6	27	0.86
2547	9	12	23:05	0.3	45	27.5	0.53
2547	9	12	23:15	0.4	181.5	27.4	0.49
2547	9	12	23:50	0.1	322.2	27.4	0.24
2547	9	13	0:00	0.4	164.1	27.5	0.5
2547	9	13	0:05	0.3	328.5	27.5	0.6
2547	9	13	0:10	0.3	181.4	27.6	0.58
2547	9	13	1:40	0.4	145.4	26.5	0.04
2547	9	13	5:25	0.1	241.5	24.3	0.2
2547	9	13	6:45	0.3	134.3	24.1	1.13

ตาราง ก-2 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้งฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	19	1:50	0.3	81.1	28.5	0.27
2547	11	19	5:15	0.3	232.3	27.1	0.26
2547	11	19	6:15	0.4	331	26.4	0.84
2547	11	19	6:50	0.4	99.7	26.2	1.03
2547	11	19	12:10	0.3	329.1	-99	0.67
2547	11	19	15:30	0.1	237.8	32.5	4.57
2547	11	19	22:35	0.4	88.2	28.7	1.11
2547	11	20	0:15	0.3	346.3	27.7	1.09
2547	11	20	0:45	0.4	242.8	27.6	0.98
2547	11	20	0:55	0.2	164.3	27.5	0.95
2547	11	20	1:15	0.2	181.5	27.4	1.06
2547	11	20	1:45	0.3	339.7	27.2	0.93
2547	11	20	1:50	0.2	204.5	27.1	0.93
2547	11	20	2:20	0.3	346.5	27.1	1.9
2547	11	20	2:25	0.3	7	27.1	1.77
2547	11	20	2:40	0.1	357.2	27	1.59
2547	11	20	3:00	0.3	260.1	26.9	1.73
2547	11	20	3:25	0.3	287.7	26.9	1.7
2547	11	20	3:45	0.3	255.9	26.7	1.51
2547	11	20	3:50	0.3	101.3	26.6	1.52
2547	11	20	4:05	0.2	86.8	26.5	1.51
2547	11	20	4:40	0.3	166.5	26.4	1.45
2547	11	20	4:50	0.2	225	26.3	1.63
2547	11	20	5:50	0.2	185.6	25.9	1.44
2547	11	20	8:25	0.4	31.2	28	1.36
2547	11	20	17:10	0.4	189.8	30.4	0.78

ตาราง ก-2 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้งฝน
(ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	20	18:05	0.2	160.1	29.9	1.33
2547	11	20	18:50	0.4	315.7	29.7	1.56
2547	11	20	22:25	0.1	21.3	28.9	1.36
2547	11	20	23:40	0.4	276.2	28.5	1.16
2547	11	20	23:45	0.3	127.2	28.4	1.24
2547	11	21	1:55	0.4	356.3	27.5	0.39
2547	11	21	2:25	0.3	189.2	27.2	0.14
2547	11	21	3:10	0.4	140.1	26.9	0.06
2547	11	21	3:20	0.4	84.9	26.8	0.12
2547	11	21	15:55	0.4	120.1	31.5	0.21
2547	11	21	19:00	0.2	111.1	29.9	1.74
2547	11	21	19:05	0.3	268.7	29.9	1.55
2547	11	21	19:55	0.2	327	29.3	1.61
2547	11	21	20:30	0.4	210.5	28.9	0.96
2547	11	21	22:25	0.3	242.8	27.9	1.27
2547	11	21	22:40	0.3	27.7	27.7	1.42
2547	11	21	22:50	0.2	122.3	27.6	1.62
2547	11	21	22:55	0.4	229	27.6	1.67
2547	11	21	23:05	0.3	244.4	27.5	1.69
2547	11	22	6:05	0.2	295.9	24.3	0.19
2547	11	23	14:30	0.4	60.3	31.7	0.58
2547	11	24	7:05	0.4	199.2	25.5	1.52
2547	11	24	14:30	0.4	348.6	33.3	0.72
2547	11	24	17:50	0.4	19.6	31.3	1.22

ตาราง ก-2 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้งฝน
(ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	24	19:05	0.2	273.3	30.9	1.95
2547	11	25	4:15	0.1	225	27.1	0.47
2547	11	25	5:20	0.2	255.9	26.4	0.41



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-3 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	15	16:25	0.2	216	32.8	0.43
2547	9	15	17:15	0.2	220.9	32.5	1.03
2547	9	15	17:35	0.4	172.2	32.4	1.01
2547	9	15	18:50	0.3	254.9	30.2	0.8
2547	9	15	20:35	0.4	97.2	29.4	0.8
2547	9	15	21:30	0.1	201.9	27.4	0.6
2547	9	15	22:15	0.3	160.1	25.4	0.42
2547	9	15	22:45	0.4	255.9	25.7	0.72
2547	9	15	23:10	0.3	199.2	25.8	0.6
2547	9	15	23:20	0.4	255.9	25.9	0.71
2547	9	15	23:35	0.3	272.8	26	0.9
2547	9	16	0:10	0.4	170.2	26.3	0.65
2547	9	16	0:45	0.4	143.9	26.3	0.71
2547	9	16	0:50	0.4	247	26.3	0.75
2547	9	16	1:05	0.4	225	26.3	0.67
2547	9	16	1:20	0.4	57.4	26.4	0.44
2547	9	16	6:45	0.4	49.9	26.9	1.74
2547	9	16	7:00	0.4	54	27	1.03
2547	9	16	11:20	0.3	241.2	31.9	0.45
2547	9	16	13:55	0.4	54	32.9	0.67
2547	9	16	14:25	0.4	30.6	32.8	0.54
2547	9	16	22:00	0.4	120.1	29.4	0.54
2547	9	16	22:35	0.4	49.9	29.4	0.57
2547	9	16	22:55	0.4	257.7	29.2	0.49
2547	9	17	0:50	0.3	160.1	28.5	0.37

ตาราง ก-3 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	17	0:55	0.3	333.3	28.7	0.38
2547	9	17	3:20	0.4	272.4	26.3	0.33
2547	9	17	4:10	0.4	208.3	26.3	0.39
2547	9	17	4:25	0.3	201.9	26.3	0.4
2547	9	17	5:50	0.3	141.6	26.2	0.92
2547	9	17	5:55	0.3	237.1	26.2	1.26
2547	9	17	6:05	0.3	345.2	26.2	1.25
2547	9	17	6:10	0.4	10.1	26.3	0.96
2547	9	17	6:40	0.1	238	26.8	1.5
2547	9	17	6:45	0.3	201.8	26.9	1.28
2547	9	17	7:00	0.3	14	27.1	1.72
2547	9	17	7:10	0.2	85.7	27.1	2.01
2547	9	17	7:45	0.3	170.2	27	2.56
2547	9	17	8:30	0.3	106	26.9	3.42
2547	9	17	8:55	0.4	111.5	27	2.41
2547	9	17	9:30	0.4	160.1	26.9	1.83
2547	9	17	10:45	0.4	189.8	27.9	1.5
2547	9	17	11:15	0.4	136.5	28.1	1.35
2547	9	17	11:45	0.4	203.4	28.2	1.89
2547	9	17	12:35	0.2	85.7	28.6	1.51
2547	9	17	12:40	0.3	345.2	28.7	1.56
2547	9	17	12:45	0.3	160.1	28.8	1.12
2547	9	17	12:55	0.3	177.6	29	0.89
2547	9	17	13:10	0.3	87	29.2	1.16
2547	9	17	13:40	0.3	353.9	29.5	1.06

ตาราง ก-3 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	17	16:10	0.2	216	30.3	1.53
2547	9	17	16:35	0.3	201.9	30.5	1.59
2547	9	17	17:30	0.3	133.9	30.6	1.12
2547	9	17	17:45	0.3	199.2	29.8	3.66
2547	9	17	18:00	0.2	160.1	29.7	3.62
2547	9	17	18:05	0.3	351.2	29.7	3.85
2547	9	17	18:50	0.3	3	28.5	1.99
2547	9	17	18:55	0.4	225	28.6	2.34
2547	9	17	19:00	0.4	217.5	28.6	2.89
2547	9	17	19:20	0.3	86.5	28.4	2.51
2547	9	17	19:25	0.3	333.3	28.5	3.34
2547	9	17	19:35	0.3	277	28.5	3.03
2547	9	17	19:40	0.2	17	28.4	2.73
2547	9	17	19:50	0.4	247	28.3	3.82
2547	9	17	20:05	0.4	107.8	28.6	3.88
2547	9	17	21:00	0.3	107.4	28.4	2.74
2547	9	17	21:05	0.2	278.9	0	2.4
2547	9	17	21:15	0.3	65.8	28.4	2.63
2547	9	17	21:30	0.3	74.6	28.2	2.65
2547	9	17	21:35	0.4	259.2	28.3	2.29
2547	9	17	21:40	0.4	295	28.2	2.25
2547	9	17	21:45	0.2	278.9	28.1	2.48
2547	9	17	22:00	0.3	80.4	28.1	2.36
2547	9	17	22:15	0.3	101.5	28.4	2.67
2547	9	17	22:45	0.3	145.4	28.1	2.24

ตาราง ก-3 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	17	22:50	0.3	123.1	28.1	2.19
2547	9	17	22:55	0.4	326.4	28.1	2.1
2547	9	17	23:00	0.3	303.8	27.9	2.06
2547	9	18	0:00	0.2	241.5	28.1	1.63
2547	9	18	0:50	0.2	77.9	27.6	1.13
2547	9	18	1:10	0.2	65.8	27.7	1.41
2547	9	18	1:15	0.4	263.4	27.6	1.49
2547	9	18	2:30	0.3	276.5	27.3	1.14
2547	9	18	3:00	0.3	257.1	27.6	1.04
2547	9	18	3:05	0.3	188.8	27.7	1.03
2547	9	18	3:50	0.4	5.3	27.1	1.59
2547	9	18	4:15	0.4	157.4	27.4	1.35
2547	9	18	4:25	0.3	163.6	27.4	1.39
2547	9	18	4:35	0.2	138.5	27.5	1.4
2547	9	18	4:40	0.4	339.4	27.5	1.35
2547	9	18	5:05	0.3	339.4	27.1	1.12
2547	9	18	5:10	0.4	303.8	27.2	1.14
2547	9	18	5:15	0.4	295.3	27.1	1.23
2547	9	18	5:25	0.3	268.3	27.4	1.32
2547	9	18	5:45	0.2	195.3	27.4	1.25
2547	9	18	6:10	0.1	241.5	27.2	1.18
2547	9	18	7:05	0.4	20.7	27.1	1.19
2547	9	18	7:10	0.3	290.5	27.4	1.3
2547	9	18	11:05	0.4	339.4	28.4	1.26
2547	9	18	14:00	0.4	358.7	30.7	1.21

ตาราง ก-3 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	18	15:35	0.3	31.4	30.3	1.11
2547	9	18	17:20	0.2	357.2	29.7	2.2
2547	9	18	18:45	0.4	260.6	29.3	1.44
2547	9	18	19:00	0.4	311.6	29.2	1.72
2547	9	18	20:45	0.4	207.1	26.5	0.53
2547	9	18	21:55	0.4	262.7	25.7	0.84
2547	9	18	22:15	0.1	347.3	25.6	0.95
2547	9	18	22:40	0.3	346.2	25.9	1.5
2547	9	18	22:55	0.4	146.1	26.1	1.84
2547	9	18	23:00	0.2	145.4	26.2	1.92
2547	9	18	23:05	0.2	25.5	26.1	2.07
2547	9	18	23:20	0.3	258.2	26.1	1.65
2547	9	18	23:40	0.4	85.2	26.1	1.98
2547	9	18	23:45	0.4	285.5	26	1.98
2547	9	18	23:50	0.4	70.2	26	2
2547	9	19	0:25	0.4	96.2	26.6	1.41
2547	9	19	3:10	0.4	260.6	24.2	0.32
2547	9	19	3:15	0.3	181.3	24.3	0.36
2547	9	19	3:20	0.4	137.1	24.2	0.38
2547	9	19	5:35	0.3	309.8	24	0.4
2547	9	19	5:40	0.3	241.5	24.2	0.46
2547	9	19	7:35	0.4	187.3	25.7	0.54
2547	9	19	13:35	0.4	153.6	31.6	0.46
2547	9	19	15:45	0.4	181.4	32.4	0.46
2547	9	19	16:00	0.3	248.2	32.7	0.49

ตาราง ก-3 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	19	17:35	0.3	78.2	32.7	0.45
2547	9	19	18:10	0.3	194.1	32	0.76
2547	9	19	18:30	0.3	60.3	31.7	0.73
2547	9	19	18:35	0.4	178.1	31.5	0.86
2547	9	19	19:05	0.4	54	31.4	0.92
2547	9	19	19:10	0.1	308.4	31.2	1.19
2547	9	19	19:25	0.2	308.4	30.9	1.88
2547	9	19	19:55	0.4	104.5	31	1.05
2547	9	19	23:45	0.4	112.9	28.5	0.64
2547	9	20	0:00	0.1	308.4	28.4	0.53
2547	9	20	0:50	0.1	194.1	28.1	0.43
2547	9	20	2:15	0.3	156.6	28	0.41
2547	9	20	4:35	0.3	279.8	25.4	0.36
2547	9	20	5:15	0.1	13.8	25.3	0.43
2547	9	20	5:50	0.1	106.1	25.2	0.67
2547	9	20	6:15	0.4	110	25.2	1.22
2547	9	20	6:20	0.3	308.4	25.3	0.95
2547	9	20	6:25	0.3	4.3	25.4	1.45
2547	9	20	6:35	0.3	112.9	25.6	1.39
2547	9	20	6:50	0.2	212	25.9	1.23
2547	9	20	6:55	0.1	153.6	26.1	0.82
2547	9	20	7:00	0.4	171.3	26.2	1.34
2547	9	20	7:30	0.4	153.5	27	3.03
2547	9	20	7:55	0.1	106.1	27.9	1.91
2547	9	20	8:30	0.4	355.4	28.4	2.01
2547	9	20	8:50	0.3	177.8	28.6	1.69

ตาราง ก-4 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูแล้งฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	25	13:15	0.4	162	31.6	0.41
2547	11	25	18:10	0.3	275.7	30.3	2.34
2547	11	25	19:35	0.4	241.5	30	1.52
2547	11	26	1:40	0.2	9.6	27.2	0.21
2547	11	26	6:05	0.4	21.8	25.9	0.54
2547	11	26	8:45	0.2	238.4	27	2.61
2547	11	26	13:15	0.4	35.2	29.9	0.68
2547	11	26	15:40	0.1	31.6	30.9	0.89
2547	11	26	15:45	0.3	99.9	30.8	1.2
2547	11	26	17:10	0.1	145.4	29.9	1.16
2547	11	26	21:00	0.4	353.8	29	0.77
2547	11	26	21:45	0.3	143.8	28.2	0.82
2547	11	27	5:45	0.3	53.8	24.9	0.25
2547	11	27	7:35	0.4	8	25.1	1.12
2547	11	27	9:05	0.4	115	27.2	0.98
2547	11	27	12:45	0.4	192.1	31.2	0.38
2547	11	27	13:25	0.4	178.2	31	0.88
2547	11	27	13:50	0.3	97.9	31.7	0.63
2547	11	27	14:55	0.3	80.4	31.1	0.63
2547	11	27	16:15	0.2	12.1	30.8	0.61
2547	11	27	18:10	0.4	307.9	30.8	1.39
2547	11	27	18:35	0.4	94.4	30.9	1.4
2547	11	27	19:10	0.2	225	30.9	1.2
2547	11	28	3:40	0.1	290.5	26.2	0.4
2547	11	28	4:20	0.3	246.6	26	0.44

ตาราง ก-4 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	28	5:15	0.3	174.1	26	0.51
2547	11	28	5:40	0.1	45	26.3	0.47
2547	11	28	6:00	0.2	252.9	26.2	0.48
2547	11	28	6:15	0.2	100	26.4	0.75
2547	11	28	6:30	0.4	184.4	26.2	0.5
2547	11	28	7:00	0.4	142.3	25.9	0.45
2547	11	28	7:20	0.4	163	26	0.47
2547	11	28	7:30	0.4	142.3	26.1	0.46
2547	11	28	7:50	0.4	278.2	26.4	0.53
2547	11	28	10:20	0.2	125	29.2	0.39
2547	11	28	10:35	0.3	116.7	29.6	0.42
2547	11	28	16:00	0.4	107.1	31.7	0.63
2547	11	28	16:55	0.1	240.4	31.8	0.93
2547	11	28	18:40	0.4	173	30.2	0.88
2547	11	28	19:00	0.1	296	30	0.85
2547	11	28	22:35	0.4	324.7	29	1.07
2547	11	28	23:25	0.2	281	28.7	0.95
2547	11	29	3:05	0.4	114.7	27	0.72
2547	11	29	3:40	0.4	12.7	27.1	0.73
2547	11	29	3:45	0.2	126.3	27.1	0.74
2547	11	29	4:00	0.3	358.7	27.3	0.72
2547	11	29	4:10	0.3	173.5	27.3	0.77
2547	11	29	4:30	0.1	65.8	27	0.81
2547	11	29	5:20	0.3	196.9	26.9	0.75
2547	11	29	5:30	0.4	222.9	26.7	0.69
2547	11	29	7:15	0.4	236	26.5	1.67

ตาราง ก-4 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	29	11:05	0.4	164.5	30.5	0.62
2547	11	29	11:20	0.3	45	30.9	0.33
2547	11	29	11:25	0.3	181.6	31	0.48
2547	11	29	11:30	0.4	80.5	31	0.31
2547	11	29	14:35	0.3	31.6	31.7	0.38
2547	11	29	15:45	0.4	136.5	32	2.01
2547	11	29	15:50	0.3	165.6	32	1.21
2547	11	29	20:15	0.2	214.4	29.6	1
2547	11	29	21:50	0.2	188.8	29.2	1.28
2547	11	29	23:00	0.1	241.5	29.1	0.67
2547	11	30	1:45	0.4	335	28.2	0.86
2547	11	30	2:10	0.4	181.1	28.4	0.72
2547	11	30	4:20	0.1	123.1	27.8	0.38
2547	11	30	5:00	0.2	188.8	27.4	0.67
2547	11	30	5:25	0.3	347.3	27.3	0.61
2547	11	30	5:45	0.3	290.5	27.1	0.42
2547	11	30	6:25	0.4	115	27.2	0.96
2547	11	30	8:55	0.1	145.4	27.3	2.17
2547	11	30	9:50	0.2	160.7	28.3	0.46

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	22	16:50	0.4	49.9	31.4	1.34
2547	9	22	17:40	0.4	80.9	31.5	2.23
2547	9	22	18:35	0.4	225	31	2.82
2547	9	22	19:15	0.3	96.1	30.4	1.27
2547	9	22	19:25	0.1	238	30.3	1.31
2547	9	22	19:35	0.2	225	30.5	1.43
2547	9	22	19:45	0.4	2.6	30.3	1.63
2547	9	22	19:50	0.2	274	30.3	1.7
2547	9	22	20:00	0.3	194.1	30.6	1.93
2547	9	22	20:05	0.4	250.8	30.5	1.95
2547	9	22	20:20	0.2	45	30.3	2.29
2547	9	22	20:50	0.4	308.6	30.2	1.63
2547	9	22	20:55	0.2	255.9	30.2	1.46
2547	9	22	21:00	0.3	342.6	30	1.37
2547	9	22	21:05	0.4	356.3	30.2	1.39
2547	9	22	21:10	0.2	328.3	30.1	1.43
2547	9	22	22:45	0.2	154.1	25.4	0.53
2547	9	22	23:10	0.4	14	25.8	0.56
2547	9	22	23:40	0.4	68.3	26	0.53
2547	9	22	23:55	0.4	356.3	26.4	0.58
2547	9	23	0:05	0.3	49.9	26.5	0.88
2547	9	23	0:10	0.2	17	26.5	1.01
2547	9	23	0:20	0.3	244.8	26.6	0.98
2547	9	23	0:30	0.4	356.1	26.7	1
2547	9	23	0:35	0.1	333.1	26.7	1.01
2547	9	23	1:15	0.3	353.9	26.7	1.02

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	23	1:20	0.3	255.9	26.7	1.06
2547	9	23	1:25	0.4	145.2	26.8	1.12
2547	9	23	1:55	0.3	177.8	27.2	1.21
2547	9	23	2:00	0.1	295.9	27.1	1.23
2547	9	23	2:05	0.1	333.1	27.1	1.27
2547	9	23	2:10	0.2	45	27.1	1.31
2547	9	23	2:50	0.4	104.5	26.8	1.37
2547	9	23	3:00	0.4	49.9	26.8	1.42
2547	9	23	3:10	0.4	296.4	26.9	1.2
2547	9	23	3:35	0.2	225	26.8	1.27
2547	9	23	3:45	0.2	116.9	27	1.25
2547	9	23	3:55	0.1	281	26.8	1.15
2547	9	23	4:00	0.4	283.2	26.8	1.21
2547	9	23	4:10	0.3	248.2	26.8	1.2
2547	9	23	4:15	0.3	55.6	26.7	1.13
2547	9	23	4:20	0.4	45	26.8	1.18
2547	9	23	4:30	0.3	49.9	26.7	1.22
2547	9	23	4:35	0.1	153.6	26.7	1.51
2547	9	23	4:40	0.4	212	26.7	1.68
2547	9	23	4:50	0.4	266	26.6	1.48
2547	9	23	4:55	0.4	68.3	26.6	1.46
2547	9	23	5:05	0.1	116.9	26.5	1.41
2547	9	23	5:10	0.2	351.2	26.6	1.42
2547	9	23	5:15	0.3	308.4	26.6	1.43
2547	9	23	5:20	0.4	177.6	26.6	1.45
2547	9	23	5:40	0.3	194.1	26.5	1.56

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	23	5:45	0.4	250.8	26.5	1.58
2547	9	23	5:50	0.2	116.9	26.6	1.52
2547	9	23	6:05	0.2	225	26.7	1.71
2547	9	23	6:10	0.1	169	26.7	1.67
2547	9	23	6:15	0.2	338.9	26.7	1.63
2547	9	23	6:20	0.3	328.3	26.7	1.64
2547	9	23	6:30	0.2	76	26.8	2.17
2547	9	23	6:35	0.3	2.6	26.8	1.85
2547	9	23	6:50	0.3	345.2	27.1	2.08
2547	9	23	7:25	0.4	82.7	28.1	2.41
2547	9	23	7:45	0.2	107.4	29.1	1.53
2547	9	23	8:50	0.3	154.1	30.9	1
2547	9	23	11:35	0.3	352	33.5	0.46
2547	9	23	18:10	0.3	333.1	32.2	1.66
2547	9	23	18:20	0.4	95.3	32	1.45
2547	9	23	18:25	0.4	96.1	32.1	1.53
2547	9	23	19:10	0.4	351.2	31.4	1.51
2547	9	23	19:55	0.1	308.4	31.1	1.72
2547	9	23	20:00	0.3	263.2	31	1.71
2547	9	23	20:05	0.3	248.2	30.9	1.77
2547	9	23	20:15	0.4	264.2	30.7	1.76
2547	9	23	20:20	0.2	205.2	30.7	1.79
2547	9	23	20:25	0.4	264.2	30.7	1.77
2547	9	23	20:40	0.1	225	30.4	1.62
2547	9	23	20:55	0.3	345.2	30.4	1.68
2547	9	23	21:10	0.3	347.1	30.4	1.97

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	23	21:20	0.4	153.6	30.7	1.99
2547	9	23	21:25	0.3	255.9	30.6	1.99
2547	9	23	21:40	0.4	87.4	30.7	1.95
2547	9	23	22:05	0.4	225	30.7	1.89
2547	9	23	22:20	0.1	256.4	30.5	1.93
2547	9	23	22:35	0.4	225	30.5	1.67
2547	9	23	22:50	0.4	170.2	30.6	1.46
2547	9	23	23:15	0.2	225	30.3	1.39
2547	9	23	23:20	0.4	295.9	30.3	1.4
2547	9	23	23:35	0	193.6	30.3	1.49
2547	9	23	23:40	0.2	153.4	30.2	1.44
2547	9	23	23:50	0.3	60.3	30.3	1.42
2547	9	23	23:55	0.1	45	30.2	1.37
2547	9	24	0:05	0.2	266.1	29.8	1.46
2547	9	24	0:10	0.3	345.2	29.8	1.49
2547	9	24	0:30	0.3	333.3	29.7	1.42
2547	9	24	0:45	0.1	45	29.3	1.43
2547	9	24	0:55	0.3	281.2	29.3	1.38
2547	9	24	1:15	0.3	255.9	29.5	1.21
2547	9	24	1:20	0.1	45	29.5	1.31
2547	9	24	1:25	0	225	29.5	1.33
2547	9	24	1:30	0.4	4.3	29.6	1.36
2547	9	24	2:00	0.1	58.4	29.8	0.95
2547	9	24	2:05	0.4	183.6	29.7	0.91
2547	9	24	2:30	0.4	351.2	29.7	0.83
2547	9	24	3:05	0.1	225	29.3	0.81

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญญคุณุสน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	24	3:40	0.3	345.2	29	0.7
2547	9	24	3:45	0.1	225	28.9	0.81
2547	9	24	4:30	0.1	116.9	28.8	0.76
2547	9	24	4:40	0.3	329.9	28.7	0.72
2547	9	24	4:45	0.4	177.2	28.7	0.67
2547	9	24	5:10	0.1	225	28.4	0.8
2547	9	24	5:40	0.4	220.4	28.5	1.18
2547	9	24	5:45	0.1	116.9	28.4	1.13
2547	9	24	6:00	0.3	3	28.1	1.21
2547	9	24	6:20	0.1	281	28.1	1.07
2547	9	24	6:25	0.2	296.4	28.1	1.17
2547	9	24	6:30	0.4	330.7	28.2	1.58
2547	9	24	6:55	0.3	345.2	28.9	1.52
2547	9	24	7:05	0.1	225	29	1.21
2547	9	24	7:10	0.2	116.7	29.3	1.49
2547	9	24	7:25	0.4	110	29.4	1.54
2547	9	24	8:00	0.4	225	30	1.35
2547	9	24	10:00	0.4	70.2	32.3	0.68
2547	9	24	14:10	0.3	123.1	33	0.86
2547	9	24	18:20	0.3	308.4	31.9	1.79
2547	9	24	18:25	0.2	309.2	32	1.84
2547	9	24	18:35	0.4	153.6	31.7	1.68
2547	9	24	18:55	0.2	174.1	31.6	1.61
2547	9	24	19:15	0.2	292.6	31.3	1.65
2547	9	24	19:45	0.2	154.1	31.2	1.96
2547	9	24	21:00	0.4	298.8	30.8	1.63

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	24	21:10	0.4	225	30.7	1.54
2547	9	24	21:15	0.4	96.1	30.7	1.51
2547	9	24	21:30	0.3	154.1	30.8	1.54
2547	9	24	22:15	0.3	116.7	30.3	1.28
2547	9	24	22:25	0.3	333.3	30.3	1.24
2547	9	24	22:30	0.4	153.5	30.3	1.24
2547	9	24	22:35	0.3	160.8	30.4	1.31
2547	9	24	22:40	0.2	154.1	30.4	1.35
2547	9	24	22:45	0.2	263.2	30.3	1.37
2547	9	24	22:50	0.4	327.5	30.3	1.44
2547	9	24	22:55	0.3	76	30.3	1.47
2547	9	24	23:10	0.4	82.7	30.3	1.31
2547	9	24	23:15	0.4	345.2	30.3	1.31
2547	9	24	23:40	0.2	351.2	30.3	1.2
2547	9	25	0:30	0.3	281.2	29.8	1.09
2547	9	25	1:10	0.4	255.9	29.3	1.12
2547	9	25	1:30	0.4	266	29.2	0.96
2547	9	25	1:35	0.2	207.7	29.1	0.97
2547	9	25	1:45	0.4	45	28.9	1.04
2547	9	25	1:50	0.3	177.2	28.9	1.01
2547	9	25	2:00	0.3	333.4	29.1	0.96
2547	9	25	2:10	0.3	308.6	29	1.01
2547	9	25	2:15	0.1	290.5	29	1.07
2547	9	25	2:20	0.3	343.9	29	1.06
2547	9	25	2:30	0.3	277	29.1	0.97
2547	9	25	2:50	0.4	178.3	29	0.91

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	25	3:10	0.2	225	28.7	0.84
2547	9	25	3:20	0.2	322.2	28.8	0.82
2547	9	25	3:35	0.4	100.6	28.6	0.68
2547	9	25	3:45	0.2	80.4	28.7	0.66
2547	9	25	3:55	0.1	308.4	28.6	0.68
2547	9	25	4:20	0.4	194.9	28.3	0.78
2547	9	25	4:50	0.4	189.4	27.9	0.71
2547	9	25	5:25	0.3	290.5	27.9	0.67
2547	9	25	5:40	0.4	324.7	27.9	0.59
2547	9	25	5:45	0.4	174.9	28	0.6
2547	9	25	6:00	0.3	252.9	28.3	0.6
2547	9	25	6:10	0.3	177.2	28.1	0.6
2547	9	25	6:25	0.3	200.4	28.1	0.69
2547	9	25	6:30	0.3	2.6	28.2	0.8
2547	9	25	6:45	0.3	3	28.6	0.88
2547	9	25	6:50	0.3	154.1	28.6	0.91
2547	9	25	7:00	0.4	110	28.9	0.94
2547	9	25	7:05	0.4	20.2	29.1	0.93
2547	9	25	7:20	0.3	225	29.5	0.74
2547	9	25	10:10	0.2	242.7	34	0.4
2547	9	25	13:05	0.3	248.1	34.4	0.78
2547	9	25	15:05	0.3	347.3	35.7	1.12
2547	9	25	15:35	0.4	346.2	34.5	0.72
2547	9	25	18:50	0.3	10.3	27.2	0.8
2547	9	25	19:00	0.4	140.5	27.7	0.85
2547	9	25	22:25	0.4	227.1	28.9	1.78

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	25	22:30	0.3	60.3	28.8	1.84
2547	9	25	22:35	0.4	177.2	28.8	1.9
2547	9	25	22:55	0.4	141.6	28.5	1.34
2547	9	25	23:00	0.4	27.5	28.5	1.75
2547	9	25	23:20	0.4	104.5	28.6	2.01
2547	9	25	23:50	0.2	212	28.4	1.37
2547	9	25	23:55	0.1	296.4	28.4	1.27
2547	9	26	0:00	0.2	116.9	28.6	1.26
2547	9	26	1:00	0.4	30.6	28.1	1.2
2547	9	26	1:10	0.2	119.3	28.2	1.2
2547	9	26	1:25	0.3	308.6	28	1.04
2547	9	26	1:50	0.4	248.1	28.1	1.14
2547	9	26	1:55	0.4	225	28.3	1.3
2547	9	26	2:15	0.4	199.2	28.4	1.31
2547	9	26	2:20	0.3	76	28.5	1.32
2547	9	26	2:40	0.4	42.9	28.5	1.24
2547	9	26	2:55	0.3	225	28.4	1.16
2547	9	26	3:05	0.3	283.2	28.4	1.02
2547	9	26	3:20	0.4	9.1	28.4	1.17
2547	9	26	3:35	0.4	192.1	28.4	1.07
2547	9	26	3:45	0.4	241.5	28.3	0.89
2547	9	26	3:55	0.4	146.2	28.3	0.87
2547	9	26	4:05	0.3	11	28.2	0.81
2547	9	26	4:10	0.1	252.9	28	0.8
2547	9	26	4:25	0.2	4.3	27.9	0.83
2547	9	26	4:40	0.4	61.7	27.6	0.85

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	26	5:05	0.4	278.2	27.7	0.72
2547	9	26	5:10	0.4	163.1	27.6	0.7
2547	9	26	5:25	0.4	287	27.6	0.67
2547	9	26	5:40	0.2	263.2	27.3	0.72
2547	9	26	5:50	0.4	5.6	27.3	0.73
2547	9	26	6:10	0.2	234.7	27.2	0.8
2547	9	26	6:25	0.3	24.4	27.3	0.88
2547	9	26	6:35	0.3	354.7	27.3	0.94
2547	9	26	6:55	0.4	212	27.9	0.89
2547	9	26	7:05	0.2	308.4	28.3	0.93
2547	9	26	7:10	0.4	173	28.5	1.12
2547	9	26	8:40	0.3	153.6	31.2	0.75
2547	9	26	9:40	0.4	11.8	31.7	0.6
2547	9	26	10:30	0.4	45	34.1	0.38
2547	9	26	10:40	0.3	116.9	33.9	0.39
2547	9	26	17:50	0.4	157.4	33.6	1.31
2547	9	26	18:40	0.4	16	33.5	1.79
2547	9	26	19:00	0.4	264.2	33.2	1.72
2547	9	26	20:25	0.3	290.5	31.6	0.69
2547	9	26	21:05	0.3	225	31	0.83
2547	9	26	22:35	0.4	280.5	30.4	0.63
2547	9	26	22:45	0.4	184	30.7	0.62
2547	9	26	23:55	0.3	45	30.4	0.71
2547	9	27	0:05	0.2	106.1	30.4	0.67
2547	9	27	0:15	0.4	264.2	30.1	0.63
2547	9	27	2:05	0.4	355.4	29	0.6

ตาราง ก-5 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	9	27	2:10	0.2	212	29.1	0.59
2547	9	27	2:50	0.3	74.6	28.6	0.64
2547	9	27	2:55	0.4	175.2	28.8	0.66
2547	9	27	3:50	0.4	165.8	28.4	0.71
2547	9	27	4:10	0.3	333.4	28.3	0.66
2547	9	27	6:10	0.3	76	27.9	0.69
2547	9	27	6:30	0.4	255.9	28	0.73
2547	9	27	6:45	0.3	113.5	28	0.88
2547	9	27	7:25	0.4	263.2	29	1.5
2547	9	27	8:55	0.2	102.5	31.6	0.98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-6 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	11	13:25	0.4	47.4	35.6	0.34
2547	11	11	17:20	0.4	110	34.3	0.26
2547	11	11	19:20	0.3	305.8	31.9	1.03
2547	11	11	22:10	0.4	250.8	31.1	0.66
2547	11	11	22:35	0.3	78.2	31.1	0.68
2547	11	11	22:40	0.4	313.5	31.2	0.69
2547	11	11	23:00	0.3	248.2	31.1	0.64
2547	11	11	23:10	0.1	45	31.1	0.51
2547	11	11	23:50	0.2	263.2	30.9	0.58
2547	11	12	0:00	0.4	112.9	30.8	0.53
2547	11	12	0:05	0.4	212	30.8	0.5
2547	11	12	1:10	0.3	78.2	30.3	0.49
2547	11	12	1:45	0.4	87.4	30.2	0.48
2547	11	12	2:00	0.4	23.6	30.3	0.41
2547	11	12	2:10	0.3	106.1	30.2	0.49
2547	11	12	2:15	0.4	177.6	30.1	0.46
2547	11	12	2:20	0.3	78.2	30.1	0.44
2547	11	12	2:40	0.4	351.2	30	0.45
2547	11	12	2:55	0.1	13.8	29.9	0.44
2547	11	12	3:10	0.4	178.2	29.8	0.41
2547	11	12	3:45	0.3	112.9	29.7	0.28
2547	11	12	4:30	0.4	96.1	29.6	0.4
2547	11	12	4:40	0.3	265	29.7	0.42
2547	11	12	4:45	0.1	45	29.6	0.4
2547	11	12	4:55	0.4	45	29.4	0.47
2547	11	12	6:00	0.3	194.1	29.3	0.78

ตาราง ก-6 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	12	6:05	0.3	333.3	29.1	0.92
2547	11	12	17:45	0.3	308.6	34.2	0.59
2547	11	12	19:30	0.1	45	31.8	1.02
2547	11	12	20:10	0.4	194.1	31.5	0.95
2547	11	12	20:40	0.4	11.8	31.4	0.72
2547	11	12	22:10	0.2	153.6	31.3	0.7
2547	11	12	23:05	0.1	281	31	0.6
2547	11	12	23:55	0.3	154.1	30.6	0.53
2547	11	13	0:05	0.1	45	30.6	0.55
2547	11	13	0:40	0.3	3	30.4	0.47
2547	11	13	0:45	0.4	49.9	30.4	0.45
2547	11	13	1:30	0.4	82.7	30.3	0.48
2547	11	13	1:55	0.4	96.1	30.1	0.39
2547	11	13	2:10	0.3	212	30	0.46
2547	11	13	2:20	0.1	5.6	30	0.48
2547	11	13	2:25	0.3	76	29.9	0.47
2547	11	13	2:30	0.3	78.2	29.9	0.42
2547	11	13	2:35	0.4	34.4	29.9	0.44
2547	11	13	2:40	0.2	4.3	29.9	0.4
2547	11	13	3:00	0.4	36	29.7	0.58
2547	11	13	3:05	0.3	289.9	29.7	0.52
2547	11	13	3:45	0.4	327.5	29.2	0.45
2547	11	13	4:25	0.3	177.2	29	0.45
2547	11	13	4:35	0.3	194.1	29.1	0.5
2547	11	13	4:40	0.3	215	29.1	0.5
2547	11	13	5:30	0.4	328.1	29	0.74

ตาราง ก-6 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	13	5:40	0.3	279.8	28.9	0.68
2547	11	13	6:10	0.4	279.2	28.6	0.79
2547	11	13	6:20	0.4	324.7	28.6	0.81
2547	11	13	6:40	0.3	192.3	28.5	1.01
2547	11	13	7:05	0.4	116.9	28.6	0.78
2547	11	13	8:05	0.3	141.4	30.2	0.42
2547	11	13	18:40	0.3	168.8	33.1	0.5
2547	11	13	19:15	0.3	31.6	32.7	0.62
2547	11	13	19:30	0.2	195.3	32.7	0.79
2547	11	13	19:45	0.3	272.8	32.6	0.89
2547	11	13	20:10	0.2	45	32.3	1.33
2547	11	13	20:15	0.3	49.9	32.3	1.3
2547	11	13	20:40	0.1	248.1	32.4	1.1
2547	11	13	21:40	0.3	45	32.1	0.78
2547	11	13	22:00	0.4	96.1	31.8	0.59
2547	11	13	22:15	0.4	240.7	31.7	0.68
2547	11	13	22:40	0.3	244.8	31.7	0.72
2547	11	13	23:15	0.4	13.9	31.5	0.42
2547	11	13	23:20	0.4	104.5	31.5	0.43
2547	11	14	0:10	0.4	229.6	31.1	0.36
2547	11	14	0:15	0.1	248.1	31.1	0.45
2547	11	14	2:15	0.4	333.1	30.5	0.4
2547	11	14	2:35	0.2	154.1	30.4	0.35
2547	11	14	2:50	0.2	101.4	30.4	0.33
2547	11	14	2:55	0.1	116.9	30.3	0.32
2547	11	14	3:35	0.4	192.3	30.2	0.3

ตาราง ก-6 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	14	3:40	0.4	45	30.2	0.34
2547	11	14	3:50	0.3	248.1	30.2	0.32
2547	11	14	4:00	0.1	308.4	30.2	0.32
2547	11	14	4:10	0.4	354.7	30.1	0.3
2547	11	14	4:15	0.3	13.8	29.8	0.29
2547	11	14	4:20	0.3	112.9	29.8	0.28
2547	11	14	4:45	0.2	76	29.9	0.21
2547	11	14	4:50	0.1	45	29.9	0.27
2547	11	14	5:00	0.2	342.6	29.8	0.23
2547	11	14	5:05	0.2	225	29.8	0.26
2547	11	14	5:15	0.3	176.7	29.6	0.5
2547	11	14	5:45	0.1	301.3	29.1	0.34
2547	11	14	6:40	0.2	157.4	28.5	0.71
2547	11	14	9:05	0.2	58.4	31.7	0.17
2547	11	14	18:45	0.1	308.4	33.3	1.57
2547	11	14	19:10	0.4	308.4	33.1	1.05
2547	11	14	19:15	0.4	9.1	33.1	0.98
2547	11	14	19:25	0.2	45	33	0.94
2547	11	14	20:00	0.3	333.4	32.7	1
2547	11	14	20:20	0.3	283.2	32.5	1.2
2547	11	14	20:40	0.3	78.2	32.5	1.09
2547	11	14	20:55	0.3	3.5	32.4	0.79
2547	11	14	21:00	0.2	212	32.2	0.77
2547	11	14	21:35	0.1	45	32	1.37
2547	11	14	22:55	0.3	4.3	31.8	1.33
2547	11	14	23:00	0.1	281	31.5	1.31

ตาราง ก-6 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	14	23:10	0.2	76	31.4	1.44
2547	11	14	23:15	0.3	353.9	31.4	1.42
2547	11	14	23:25	0.3	154.1	31.3	1.42
2547	11	14	23:35	0.2	289.9	31.1	1.34
2547	11	14	23:45	0.3	116.7	31.1	1.32
2547	11	14	23:50	0.2	285.8	31	1.31
2547	11	14	23:55	0.4	97.2	31	1.29
2547	11	15	0:15	0.2	333.2	30.9	1.1
2547	11	15	0:25	0.2	342.6	31.1	1.14
2547	11	15	0:30	0.1	308.4	30.9	1.12
2547	11	15	0:35	0.3	3.5	30.9	1.08
2547	11	15	1:20	0.4	248.1	30	1.18
2547	11	15	1:25	0.3	263.2	30	1.15
2547	11	15	2:00	0.3	24.4	29.9	1.56
2547	11	15	2:10	0.2	17	29.7	1.58
2547	11	15	2:35	0.3	2.2	29.5	1.35
2547	11	15	2:50	0.4	324.7	29.4	1.3
2547	11	15	2:55	0.3	244.8	29.4	1.3
2547	11	15	3:05	0.1	248.1	29.5	1.32
2547	11	15	3:10	0.3	283.2	29.5	1.33
2547	11	15	3:15	0.1	58.4	29.5	1.35
2547	11	15	3:20	0.3	279.8	29.4	1.4
2547	11	15	3:25	0.3	273.3	29.4	1.42
2547	11	15	3:30	0.3	10.3	29.5	1.44
2547	11	15	4:00	0.2	97.2	29.7	1.21
2547	11	15	4:05	0.4	298.8	29.7	1.25

ตาราง ก-6 ข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาและความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CO (ppm)
2547	11	15	4:15	0.1	212	29.5	1.38
2547	11	15	4:30	0.1	116.9	29.5	1.41
2547	11	15	4:35	0.1	106.1	29.5	1.49
2547	11	15	4:40	0.2	154.1	29.6	1.53
2547	11	15	4:45	0.1	252.9	29.6	1.55
2547	11	15	4:50	0.4	345.2	29.6	1.54
2547	11	15	4:55	0.3	45	29.6	1.57
2547	11	15	5:00	0.4	266	29.5	1.6
2547	11	15	5:20	0.4	336.2	29.2	1.4
2547	11	15	5:25	0.4	248.1	29.2	1.54
2547	11	15	5:30	0.3	308.6	29.2	1.45
2547	11	15	8:45	0.4	45	31	0.24
2547	11	15	18:15	0.4	192.3	-99	0.53
2547	11	15	21:15	0.4	36	30.3	0.44
2547	11	15	21:50	0.4	13.8	30.4	0.4
2547	11	15	23:35	0.4	225	29.5	0.12
2547	11	16	0:25	0.2	154.1	29.7	0.14
2547	11	16	0:50	0.2	174.9	29.8	0.17
2547	11	16	1:05	0.3	76.2	29.8	0.14
2547	11	16	1:10	0.2	76.2	29.8	0.09
2547	11	16	2:10	0.4	177.6	29.2	0.05
2547	11	16	4:35	0.2	116.9	28.6	0.06
2547	11	16	7:35	0.4	313.5	28.5	0.16

ภาคผนวก ข
ข้อมูลปริมาณการจราจร

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤๅคูน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน		in	out	ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out			in	out	in	out
2547	9	8	18:00	97	202	90	183	28	69	4	7
2547	9	8	18:50	61	218	90	117	10	74	6	9
2547	9	8	20:55	104	74	68	54	23	17	8	4
2547	9	9	2:15	47	69	3	15	9	17	9	13
2547	9	9	2:20	47	69	3	15	9	17	9	13
2547	9	9	6:45	189	160	126	62	18	67	8	6
2547	9	9	22:30	140	135	43	39	11	25	9	10
2547	9	10	0:20	65	119	14	27	10	11	11	9
2547	9	10	1:10	63	71	7	13	4	20	11	16
2547	9	10	2:10	39	74	8	21	6	10	7	10
2547	9	10	2:25	43	53	6	12	16	9	6	6
2547	9	10	4:50	61	39	13	15	18	9	11	13
2547	9	10	4:55	61	39	13	15	18	9	11	13
2547	9	10	5:00	56	42	33	8	11	19	11	21
2547	9	10	6:45	245	213	171	53	52	85	7	4
2547	9	10	10:05	233	156	214	200	65	71	13	7
2547	9	10	14:25	101	145	82	218	39	78	5	8
2547	9	11	2:20	94	109	7	9	8	18	19	15
2547	9	11	5:05	92	96	31	55	7	13	26	28
2547	9	11	5:10	92	96	31	55	7	13	26	28
2547	9	11	6:15	98	59	24	21	19	17	7	13
2547	9	11	6:55	98	81	78	43	39	24	11	12
2547	9	11	14:35	115	135	89	77	56	72	11	4
2547	9	11	20:45	152	103	39	75	30	78	8	15
2547	9	11	21:00	156	152	29	93	39	21	15	5

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงพยาบาลเซนหลุยส์ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์ เบนซิน		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็ก		เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	12	1:05	69	89	16	22	10	16	3	9
2547	9	12	4:45	42	27	19	6	6	10	10	2
2547	9	12	6:00	156	129	60	38	29	25	7	7
2547	9	12	6:25	60	46	21	47	16	15	5	3
2547	9	12	15:05	148	172	65	53	57	32	5	3
2547	9	12	22:10	144	165	104	52	17	26	7	7
2547	9	12	23:05	87	155	11	53	6	12	9	7
2547	9	13	0:00	55	77	19	11	9	5	3	6
2547	9	13	0:05	55	77	19	11	9	5	3	6
2547	9	13	0:10	82	79	44	23	12	10	6	12
2547	9	13	6:45	124	92	74	14	52	13	4	5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ฤดูแล้งฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	24	7:05	130	164	41	38	61	48	5	9
2547	11	24	14:30	112	152	135	133	63	29	3	3
2547	11	24	16:30	69	28	87	120	46	11	4	0
2547	11	24	17:00	150	184	112	173	75	32	6	8
2547	11	24	17:50	150	184	112	173	75	32	6	8
2547	11	24	19:05	152	159	125	98	33	38	17	5
2547	11	25	3:55	27	92	5	11	6	49	10	27
2547	11	25	4:15	32	35	4	19	11	22	9	14
2547	11	25	5:20	71	59	17	18	16	16	14	35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้ง

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต์		จักรยานขนต์		เครื่องขนต์ดีเซล		เครื่องขนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	15	16:25	183	194	209	121	80	67	7	7
2547	9	15	17:15	199	43	173	52	71	9	2	1
2547	9	15	18:50	19	14	369	28	2	8	0	0
2547	9	15	20:35	285	207	65	112	50	72	10	19
2547	9	15	22:15	135	47	45	32	17	34	12	17
2547	9	15	22:45	147	134	43	20	17	30	13	17
2547	9	15	23:10	136	106	20	5	9	25	23	10
2547	9	16	0:10	108	49	25	12	15	12	9	10
2547	9	16	0:45	67	66	26	13	9	19	12	17
2547	9	16	0:50	73	45	20	16	17	11	9	5
2547	9	16	1:05	68	72	22	13	16	21	7	7
2547	9	16	7:00	152	98	43	203	43	43	2	0
2547	9	16	14:25	183	155	153	209	70	96	3	15
2547	9	16	22:00	188	141	27	54	20	48	20	30
2547	9	16	22:35	137	110	35	25	21	43	16	3
2547	9	16	22:55	171	110	38	28	19	29	14	17
2547	9	17	0:50	73	63	17	18	15	6	13	12
2547	9	17	0:55	99	51	17	12	34	10	16	17
2547	9	17	1:00	57	60	18	9	18	8	23	7
2547	9	17	4:10	41	33	11	12	17	20	17	22
2547	9	17	4:25	26	22	21	13	10	30	21	11
2547	9	17	6:05	57	186	30	61	34	85	1	5
2547	9	17	6:10	118	159	35	53	61	68	1	9
2547	9	17	6:40	186	210	33	156	53	99	6	8
2547	9	17	6:45	184	105	62	26	65	43	4	1
2547	9	17	7:00	97	136	66	193	32	43	6	3
2547	9	17	7:10	132	81	86	53	33	36	4	0
2547	9	17	8:30	136	209	175	299	63	67	3	6

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต์		จักรยานขนต์		เครื่องขนต์ดีเซล		เครื่องขนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	17	8:55	135	253	164	360	32	79	9	7
2547	9	17	10:45	154	228	162	263	91	130	8	20
2547	9	17	12:35	155	157	137	157	72	78	4	10
2547	9	17	12:40	138	156	107	126	71	32	11	20
2547	9	17	12:45	144	195	111	146	63	50	5	12
2547	9	17	12:55	172	174	122	145	66	45	10	14
2547	9	17	13:10	135	170	150	213	71	51	14	15
2547	9	17	16:10	110	149	154	198	61	27	6	7
2547	9	17	16:35	152	211	152	219	59	79	3	7
2547	9	17	18:00	49	39	173	47	19	5	0	1
2547	9	17	18:05	49	39	173	47	19	5	0	1
2547	9	17	18:50	191	154	120	191	53	51	5	6
2547	9	17	18:55	191	154	120	191	53	51	5	6
2547	9	17	19:00	191	154	120	191	53	51	5	6
2547	9	17	21:00	144	106	65	15	40	22	3	9
2547	9	17	21:05	144	106	65	15	40	22	3	9
2547	9	17	22:00	183	129	51	25	39	32	7	10
2547	9	17	22:15	183	129	51	25	39	32	7	10
2547	9	17	22:45	178	134	41	19	26	30	12	13
2547	9	17	22:50	178	134	41	19	26	30	12	13
2547	9	17	22:55	178	134	41	19	26	30	12	13
2547	9	17	23:00	178	134	41	19	26	30	12	13
2547	9	18	0:00	163	91	32	15	31	18	14	15
2547	9	18	0:50	93	50	35	10	16	11	14	17
2547	9	18	1:05	111	75	19	11	19	20	9	9
2547	9	18	1:10	111	75	19	11	19	20	9	9
2547	9	18	2:30	130	63	24	14	19	5	16	9
2547	9	18	3:00	74	36	13	8	17	8	10	9

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต์		จักรยานขนต์		เครื่องขนต์ดีเซล		เครื่องขนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	18	3:05	74	36	13	8	17	8	10	9
2547	9	18	4:15	47	37	9	9	3	13	19	9
2547	9	18	4:25	31	48	6	8	11	10	15	15
2547	9	18	4:35	45	41	12	12	21	15	14	11
2547	9	18	4:40	45	41	12	12	21	15	14	11
2547	9	18	5:05	41	45	15	27	5	16	20	11
2547	9	18	5:10	41	45	15	27	5	16	20	11
2547	9	18	6:10	73	68	25	33	25	27	10	9
2547	9	18	7:05	113	127	54	71	20	54	8	19
2547	9	18	7:10	113	127	54	71	20	54	8	19
2547	9	18	11:05	167	178	54	96	62	78	15	16
2547	9	18	14:00	78	69	51	59	23	38	6	5
2547	9	18	18:45	133	173	63	8	25	36	4	8
2547	9	18	19:00	290	292	60	58	58	48	11	24
2547	9	18	20:45	176	136	23	38	30	31	9	10
2547	9	18	22:15	152	123	32	28	17	33	8	12
2547	9	18	22:30	190	119	48	24	23	27	8	5
2547	9	18	22:40	190	119	48	24	23	27	8	5
2547	9	18	22:55	126	125	22	30	21	18	8	7
2547	9	18	23:00	126	125	22	30	21	18	8	7
2547	9	18	23:05	126	125	22	30	21	18	8	7
2547	9	19	0:25	130	61	14	19	6	16	4	1
2547	9	19	3:10	68	60	7	6	4	11	2	1
2547	9	19	18:10	202	149	47	58	25	33	5	8
2547	9	19	18:30	208	167	64	56	40	42	9	11
2547	9	19	18:35	208	167	64	56	40	42	9	11
2547	9	19	19:05	138	139	47	56	43	21	5	4
2547	9	19	19:10	138	139	47	56	43	21	5	4

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต์		จักรยานยนต์		เครื่องขนต์ดีเซล		เครื่องขนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	20	0:00	84	74	13	16	17	6	11	3
2547	9	20	0:50	49	45	16	14	13	8	11	8
2547	9	20	2:15	64	49	10	11	14	9	6	3
2547	9	20	4:35	32	25	2	8	9	15	10	10
2547	9	20	6:15	97	219	40	78	57	44	6	7
2547	9	20	6:20	214	180	46	92	89	38	8	7
2547	9	20	6:25	214	180	46	92	89	38	8	7
2547	9	20	6:35	214	180	46	92	89	38	8	7
2547	9	20	6:50	164	175	69	130	65	17	2	8
2547	9	20	6:55	164	175	69	130	65	17	2	8
2547	9	20	7:00	164	175	69	130	65	17	2	8
2547	9	20	8:30	144	325	197	601	55	44	4	8
2547	9	20	8:50	180	239	196	288	54	25	7	4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้งฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	25	13:15	117	120	126	157	54	18	5	9
2547	11	25	18:10	151	106	174	203	37	17	6	5
2547	11	25	19:35	133	109	50	154	41	27	18	6
2547	11	26	1:40	79	87	14	56	5	22	13	9
2547	11	26	6:05	200	87	60	116	43	29	7	5
2547	11	26	8:45	251	170	242	295	103	42	7	6
2547	11	26	13:15	136	148	256	216	62	31	7	8
2547	11	26	15:40	128	119	211	207	60	34	2	5
2547	11	26	15:45	128	119	211	207	60	34	2	5
2547	11	26	17:10	157	192	141	391	64	70	6	14
2547	11	26	21:00	117	107	60	294	12	23	6	12
2547	11	26	21:45	117	107	60	294	12	23	6	12
2547	11	27	5:45	86	55	45	83	13	14	13	16
2547	11	27	7:35	210	72	204	100	56	23	3	7
2547	11	27	9:05	213	141	254	190	78	34	11	12
2547	11	27	12:45	205	146	60	127	71	42	12	6
2547	11	27	13:25	170	136	120	238	57	26	10	6
2547	11	27	13:50	170	136	120	238	57	26	10	6
2547	11	27	14:55	143	80	80	106	61	29	9	11
2547	11	27	16:15	202	173	69	174	65	31	8	9
2547	11	27	18:10	113	86	30	165	22	16	3	11
2547	11	27	18:35	181	74	106	114	34	18	6	3
2547	11	27	19:10	271	248	96	81	47	47	18	9
2547	11	28	3:40	35	81	5	13	4	20	4	5
2547	11	28	4:20	55	41	12	12	7	10	6	2
2547	11	28	4:30	60	59	12	16	7	10	1	2
2547	11	28	4:40	60	59	12	16	7	10	1	2
2547	11	28	5:15	79	50	41	15	13	20	7	2

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	28	5:40	79	50	41	15	13	20	7	2
2547	11	28	6:00	82	72	72	240	17	7	1	2
2547	11	28	6:15	95	58	75	75	26	22	6	3
2547	11	28	6:30	95	58	75	75	26	22	6	3
2547	11	28	7:00	119	74	109	90	31	28	6	5
2547	11	28	7:20	119	74	109	90	31	28	6	5
2547	11	28	7:30	119	74	109	90	31	28	6	5
2547	11	28	7:50	119	74	109	90	31	28	6	5
2547	11	28	10:20	140	123	142	90	44	18	3	9
2547	11	28	10:35	157	164	102	80	59	40	9	8
2547	11	28	16:00	125	57	111	49	23	20	13	5
2547	11	28	16:55	186	140	146	87	57	25	5	11
2547	11	28	18:40	155	141	14	85	21	21	2	4
2547	11	28	19:00	141	125	70	93	17	19	6	9
2547	11	28	22:35	151	122	15	90	13	13	9	9
2547	11	28	23:25	147	100	42	78	16	20	9	4
2547	11	29	3:05	34	24	9	7	10	5	8	8
2547	11	29	3:40	34	24	9	7	10	5	8	8
2547	11	29	3:45	34	24	9	7	10	5	8	8
2547	11	29	4:00	53	24	13	27	13	4	15	16
2547	11	29	4:10	53	24	13	27	13	4	15	16
2547	11	29	4:30	45	24	9	6	8	12	10	12
2547	11	29	5:20	80	31	14	11	14	14	23	9
2547	11	29	5:30	80	31	14	11	14	14	23	9
2547	11	29	5:35	80	31	14	11	14	14	23	9
2547	11	29	5:55	80	31	14	11	14	14	23	9
2547	11	29	6:15	296	152	214	58	70	41	10	4
2547	11	29	7:15	150	160	95	91	42	23	4	8
2547	11	29	10:35	161	148	346	159	71	102	13	7

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน	in	out	in	out	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่	in
2547	11	29	11:05	179	112	292	165	50	88	10	9
2547	11	29	11:20	179	112	292	165	50	88	10	9
2547	11	29	11:25	179	112	292	165	50	88	10	9
2547	11	29	11:30	179	112	292	165	50	88	10	9
2547	11	29	14:35	73	99	211	177	41	80	1	4
2547	11	29	15:45	149	114	275	192	59	77	7	7
2547	11	29	15:50	149	114	275	192	59	77	7	7
2547	11	29	20:15	161	145	101	101	36	70	22	5
2547	11	29	21:50	92	52	61	96	8	41	14	7
2547	11	29	23:00	79	90	41	28	6	41	8	16
2547	11	30	1:45	79	90	41	28	6	41	8	16
2547	11	30	2:10	69	45	11	21	4	16	19	3
2547	11	30	4:20	43	24	13	10	14	10	20	14
2547	11	30	5:00	75	40	21	37	15	6	7	14
2547	11	30	5:25	75	40	21	37	15	6	7	14
2547	11	30	5:45	75	40	21	37	15	6	7	14
2547	11	30	6:25	237	131	88	61	71	9	5	18
2547	11	30	8:55	243	101	159	184	77	56	8	5
2547	11	30	9:50	208	94	215	181	66	89	4	3

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅสน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	22	16:50	57	168	103	109	30	48	15	15
2547	9	22	18:35	82	115	93	98	38	39	5	7
2547	9	22	20:00	80	115	68	40	24	25	7	12
2547	9	22	20:05	80	115	68	40	24	25	7	12
2547	9	22	20:20	80	115	68	40	24	25	7	12
2547	9	22	20:50	65	134	61	42	13	26	11	12
2547	9	22	20:55	65	134	61	42	13	26	11	12
2547	9	22	21:00	77	104	48	57	13	15	2	13
2547	9	22	21:05	77	104	48	57	13	15	2	13
2547	9	22	21:10	52	95	22	42	8	12	5	13
2547	9	22	22:45	68	83	9	17	16	10	7	17
2547	9	22	23:10	138	195	29	37	17	37	10	17
2547	9	23	0:05	72	87	9	18	5	14	4	12
2547	9	23	0:10	65	79	8	30	11	14	4	6
2547	9	23	0:20	65	79	8	30	11	14	4	6
2547	9	23	0:30	72	61	3	12	4	11	5	7
2547	9	23	0:35	72	61	3	12	4	11	5	7
2547	9	23	0:44	72	61	3	12	4	11	5	7
2547	9	23	0:55	64	68	2	15	4	7	0	8
2547	9	23	2:00	61	64	3	13	0	7	2	5
2547	9	23	2:05	61	64	3	13	0	7	2	5
2547	9	23	2:10	57	70	6	20	6	5	7	4
2547	9	23	2:50	42	77	4	11	13	4	11	7
2547	9	23	3:00	49	53	5	6	5	5	2	6
2547	9	23	3:10	33	50	2	6	3	6	5	2
2547	9	23	4:00	31	37	6	4	5	5	1	4
2547	9	23	4:10	25	30	22	7	6	17	5	9
2547	9	23	4:15	36	33	13	6	12	3	4	6

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅสน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต้		จักรยานขนต้		เครื่องขนต้ดีเซล		เครื่องขนต้ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	23	4:20	36	33	13	6	12	3	4	6
2547	9	23	4:30	36	28	15	4	13	2	12	8
2547	9	23	4:35	36	28	15	4	13	2	12	8
2547	9	23	4:40	36	28	15	4	13	2	12	8
2547	9	23	4:50	31	22	10	4	15	4	7	13
2547	9	23	4:55	31	22	10	4	15	4	7	13
2547	9	23	5:05	31	38	15	10	10	7	7	3
2547	9	23	5:10	36	26	47	4	17	6	15	10
2547	9	23	6:05	69	61	90	19	55	27	9	14
2547	9	23	6:10	82	83	75	28	59	18	14	11
2547	9	23	6:15	81	60	116	30	48	24	11	19
2547	9	23	6:20	81	60	116	30	48	24	11	19
2547	9	23	6:30	95	118	105	32	61	30	6	10
2547	9	23	6:35	95	118	105	32	61	30	6	10
2547	9	23	6:50	86	126	97	46	43	38	2	10
2547	9	23	8:50	73	79	206	80	39	35	1	12
2547	9	23	18:10	65	58	117	129	23	8	6	1
2547	9	23	18:20	135	89	243	260	51	11	19	3
2547	9	23	18:25	135	89	243	260	51	11	19	3
2547	9	23	19:10	73	121	95	80	13	41	3	17
2547	9	23	20:00	75	109	66	63	16	33	11	14
2547	9	23	20:05	75	109	66	63	16	33	11	14
2547	9	23	20:15	70	95	42	65	11	26	12	24
2547	9	23	20:20	70	95	42	65	11	26	12	24
2547	9	23	20:25	70	95	42	65	11	26	12	24
2547	9	23	20:40	100	109	69	59	15	24	12	17
2547	9	23	20:55	100	109	69	59	15	24	12	17
2547	9	23	21:00	100	109	69	59	15	24	12	17

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅสน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต้		จักรยานขนต้		เครื่องขนต้ดีเซล		เครื่องขนต้ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	23	21:05	55	95	153	50	13	15	13	9
2547	9	23	21:10	70	136	27	47	6	29	11	19
2547	9	23	22:05	54	82	14	55	12	17	7	14
2547	9	23	22:20	75	82	15	38	9	35	4	16
2547	9	23	22:35	75	82	15	38	9	35	4	16
2547	9	23	22:50	88	104	11	39	20	24	9	14
2547	9	24	0:05	75	58	11	23	10	13	6	9
2547	9	24	0:10	67	92	3	25	5	15	4	10
2547	9	24	0:30	57	80	43	15	10	13	1	8
2547	9	24	0:45	64	73	9	25	8	14	2	8
2547	9	24	0:55	64	73	9	25	8	14	2	8
2547	9	24	2:00	68	76	4	17	5	13	7	4
2547	9	24	2:05	68	76	4	17	5	13	7	4
2547	9	24	2:30	56	48	7	17	8	3	3	4
2547	9	24	2:40	56	48	7	17	8	3	3	4
2547	9	24	2:50	48	72	2	7	6	9	11	4
2547	9	24	3:05	45	46	7	8	5	10	6	4
2547	9	24	4:30	36	24	13	6	9	10	10	3
2547	9	24	4:40	39	27	29	3	21	10	9	8
2547	9	24	5:10	36	28	3	5	18	4	9	8
2547	9	24	6:20	111	70	90	36	55	42	12	8
2547	9	24	6:25	111	70	90	36	55	42	12	8
2547	9	24	6:30	99	77	171	34	53	35	4	21
2547	9	24	6:55	101	83	135	66	41	49	6	14
2547	9	24	7:05	107	121	179	90	56	41	4	13
2547	9	24	7:10	68	105	214	93	43	42	11	7
2547	9	24	8:00	90	118	278	125	35	47	6	10
2547	9	24	10:00	74	70	158	96	66	56	14	23

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	24	14:10	92	100	167	111	60	55	17	15
2547	9	24	18:20	51	122	68	122	11	41	4	21
2547	9	24	18:25	51	122	68	122	11	41	4	21
2547	9	24	18:35	53	80	78	87	29	30	7	13
2547	9	24	18:55	75	103	68	84	30	33	8	14
2547	9	24	20:55	101	119	59	68	35	17	11	18
2547	9	24	21:00	75	115	36	47	21	17	10	8
2547	9	24	21:10	51	100	35	32	13	31	6	17
2547	9	24	22:15	62	81	37	53	13	23	10	16
2547	9	24	22:25	62	68	40	40	19	25	6	17
2547	9	24	22:30	62	68	40	40	19	25	6	17
2547	9	24	22:35	73	91	23	35	17	18	7	9
2547	9	24	22:40	73	91	23	35	17	18	7	9
2547	9	24	22:45	73	91	23	35	17	18	7	9
2547	9	24	22:50	83	128	37	34	22	48	7	15
2547	9	24	22:55	83	128	37	34	22	48	7	15
2547	9	24	23:10	55	80	6	32	9	8	30	42
2547	9	25	0:30	65	94	3	36	17	8	3	6
2547	9	25	1:10	92	90	9	19	12	17	0	10
2547	9	25	2:00	98	133	9	22	5	26	4	2
2547	9	25	2:10	65	102	4	16	7	16	4	6
2547	9	25	2:15	72	78	3	19	13	15	4	7
2547	9	25	2:20	72	78	3	19	13	15	4	7
2547	9	25	2:30	87	53	2	13	14	15	3	2
2547	9	25	2:35	87	53	2	13	14	15	3	2
2547	9	25	2:40	87	53	2	13	14	15	3	2
2547	9	25	2:50	77	72	5	20	13	14	4	4
2547	9	25	3:10	46	76	4	7	3	14	1	6

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้ง (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	25	4:20	25	38	8	6	5	6	6	7
2547	9	25	4:50	22	44	16	9	18	13	1	4
2547	9	25	6:00	34	51	59	16	16	15	7	12
2547	9	25	6:10	49	70	24	20	29	6	7	17
2547	9	25	6:25	55	75	76	24	28	21	12	15
2547	9	25	6:30	55	75	76	24	28	21	12	15
2547	9	25	6:45	59	71	87	34	26	33	14	17
2547	9	25	6:50	59	71	87	34	26	33	14	17
2547	9	25	7:00	56	66	95	48	38	23	8	15
2547	9	25	7:05	56	66	95	48	38	23	8	15
2547	9	25	10:10	87	96	100	63	48	30	15	14
2547	9	25	13:05	77	43	82	28	30	13	7	10
2547	9	25	15:05	98	98	69	58	41	17	13	12
2547	9	25	18:50	69	47	73	44	19	9	5	9
2547	9	25	19:00	99	97	73	38	31	35	15	8
2547	9	25	22:25	82	110	10	45	27	16	5	5
2547	9	25	22:30	82	110	10	45	27	16	5	5
2547	9	25	22:35	82	110	10	45	27	16	5	5
2547	9	25	22:55	84	111	16	23	11	15	3	10
2547	9	25	23:00	75	86	15	29	13	21	6	6
2547	9	26	0:00	67	55	9	18	9	12	3	9
2547	9	26	1:00	59	76	11	17	10	18	3	5
2547	9	26	1:10	88	99	30	12	8	17	1	3
2547	9	26	2:15	71	113	10	12	5	13	7	3
2547	9	26	2:20	78	62	2	16	4	4	1	2
2547	9	26	2:40	69	53	6	13	12	8	6	4
2547	9	26	2:55	53	62	5	9	6	7	7	3
2547	9	26	3:05	40	53	9	10	5	8	3	5

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅสน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต้		จักรยานขนต้		เครื่องขนต้ดีเซล		เครื่องขนต้ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	26	4:05	33	38	8	7	4	3	4	6
2547	9	26	4:10	44	47	5	49	12	11	4	3
2547	9	26	4:25	42	36	14	1	21	2	3	2
2547	9	26	4:30	42	36	14	1	21	2	3	2
2547	9	26	4:35	41	33	9	4	16	4	5	1
2547	9	26	4:40	41	33	9	4	16	4	5	1
2547	9	26	5:05	23	35	16	6	19	8	3	4
2547	9	26	5:10	22	43	61	7	10	7	4	3
2547	9	26	6:10	50	48	44	12	19	8	11	13
2547	9	26	6:25	98	82	91	25	39	13	23	28
2547	9	26	6:35	37	38	81	11	19	12	14	12
2547	9	26	6:55	42	47	67	22	27	11	10	13
2547	9	26	7:05	48	42	68	19	33	16	10	11
2547	9	26	7:10	56	46	31	22	24	15	7	12
2547	9	26	8:40	72	52	61	23	35	13	13	9
2547	9	26	10:30	77	108	65	29	30	25	13	18
2547	9	26	10:40	63	29	38	11	38	3	17	9
2547	9	26	18:40	63	119	35	42	21	20	4	5
2547	9	26	19:00	57	95	50	35	18	17	7	13
2547	9	26	20:25	87	128	43	42	23	22	10	6
2547	9	26	21:05	84	102	39	27	23	15	10	4
2547	9	26	22:35	72	80	15	27	6	9	7	9
2547	9	26	22:45	60	91	45	24	8	12	3	3
2547	9	27	0:05	74	86	10	15	6	14	2	6
2547	9	27	0:15	46	40	31	16	1	25	2	2
2547	9	27	0:20	46	40	31	16	1	25	2	2
2547	9	27	0:45	71	59	4	18	9	12	1	0
2547	9	27	2:05	52	71	3	10	6	4	2	3

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤๅสน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต้		จักรยานขนต้		เครื่องขนต้ดีเซล		เครื่องขนต้ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	9	27	2:10	62	89	2	14	2	14	2	1
2547	9	27	2:50	34	43	6	3	5	4	3	6
2547	9	27	2:55	34	43	6	3	5	4	3	6
2547	9	27	4:10	23	26	8	4	9	9	3	6
2547	9	27	6:10	86	90	91	25	50	23	14	9
2547	9	27	6:30	106	84	99	35	46	19	7	9
2547	9	27	6:45	81	111	130	44	54	18	9	8
2547	9	27	8:55	60	97	190	73	28	31	6	4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต์				เครื่องขนต์ดีเซล		เครื่องขนต์ดีเซล	
				เบนซิน		จักรยานขนต์		ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	11	13:25	60	84	86	65	43	53	10	28
2547	11	11	17:20	112	225	72	161	38	58	7	19
2547	11	11	19:20	57	91	45	116	20	61	9	11
2547	11	11	22:10	68	111	24	53	17	26	3	11
2547	11	11	22:35	55	116	16	42	9	44	2	12
2547	11	11	22:40	86	89	14	48	19	21	7	17
2547	11	11	23:00	48	142	25	52	19	50	5	13
2547	11	11	23:10	88	60	21	31	17	32	4	17
2547	11	11	23:50	88	60	21	31	17	32	4	17
2547	11	12	0:00	84	82	8	35	13	26	1	4
2547	11	12	0:05	84	82	8	35	13	26	1	4
2547	11	12	1:10	65	107	11	16	8	11	0	4
2547	11	12	1:45	52	72	9	23	8	6	7	3
2547	11	12	2:00	77	101	3	12	11	3	1	6
2547	11	12	2:10	51	71	6	14	9	8	3	2
2547	11	12	2:15	62	120	3	16	10	17	4	3
2547	11	12	2:20	62	120	3	16	10	17	4	3
2547	11	12	2:40	46	101	3	8	7	2	2	2
2547	11	12	2:55	53	72	4	6	3	7	4	4
2547	11	12	3:10	28	71	4	11	3	9	7	7
2547	11	12	3:45	31	37	7	7	7	5	6	6
2547	11	12	4:30	90	20	9	8	25	4	14	3
2547	11	12	4:40	35	25	16	5	19	7	7	18
2547	11	12	4:45	35	25	16	5	19	7	7	18
2547	11	12	4:55	33	35	18	12	23	9	6	11
2547	11	12	5:10	41	33	18	8	12	13	7	19
2547	11	12	5:25	47	37	16	3	20	7	7	23
2547	11	12	6:00	121	76	54	34	59	21	17	25

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	12	6:05	121	76	54	34	59	21	17	25
2547	11	12	17:45	82	190	85	130	30	50	9	15
2547	11	12	19:30	71	150	66	114	27	83	4	12
2547	11	12	20:10	90	88	50	60	30	59	10	6
2547	11	12	20:40	77	90	44	73	23	39	12	7
2547	11	12	22:10	74	108	21	50	19	50	15	20
2547	11	12	23:05	77	109	27	46	18	69	7	21
2547	11	12	23:55	77	109	27	46	18	69	7	21
2547	11	13	0:05	69	141	10	42	8	57	4	8
2547	11	13	0:40	66	125	5	25	6	45	0	10
2547	11	13	0:45	66	125	5	25	6	45	0	10
2547	11	13	1:30	85	90	5	15	1	26	6	8
2547	11	13	1:55	69	108	8	11	9	26	2	3
2547	11	13	2:10	91	79	9	14	12	28	3	4
2547	11	13	2:20	162	207	15	31	23	49	10	6
2547	11	13	2:25	93	86	7	14	8	12	4	4
2547	11	13	2:30	93	86	7	14	8	12	4	4
2547	11	13	2:35	78	116	3	13	6	23	1	5
2547	11	13	2:40	78	116	3	13	6	23	1	5
2547	11	13	3:00	46	66	4	10	13	10	5	3
2547	11	13	3:05	46	66	4	10	13	10	5	3
2547	11	13	3:45	45	65	5	11	9	8	4	4
2547	11	13	4:25	39	23	11	6	13	9	2	3
2547	11	13	4:35	33	33	15	6	16	1	3	3
2547	11	13	4:40	33	30	31	6	12	11	14	9
2547	11	13	4:55	33	30	10	4	15	13	6	9
2547	11	13	5:20	39	29	40	8	14	9	4	5
2547	11	13	5:30	36	43	14	11	20	9	8	3

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	13	5:40	36	43	14	11	20	9	8	3
2547	11	13	6:10	45	44	31	16	17	18	8	8
2547	11	13	6:20	78	64	35	14	30	17	21	13
2547	11	13	6:40	64	61	76	24	27	25	13	19
2547	11	13	7:05	72	66	77	46	38	34	9	18
2547	11	13	8:05	76	90	150	67	43	37	10	12
2547	11	13	18:40	42	135	51	91	24	64	4	7
2547	11	13	19:15	71	101	53	59	20	41	8	6
2547	11	13	19:30	90	142	25	53	24	33	8	16
2547	11	13	19:45	91	142	25	53	24	33	8	16
2547	11	13	20:10	92	93	63	27	13	31	4	5
2547	11	13	20:15	68	159	23	63	12	72	5	8
2547	11	13	20:40	84	110	58	42	19	30	8	6
2547	11	13	21:40	84	217	60	75	17	53	9	8
2547	11	13	22:00	132	192	27	37	12	44	10	19
2547	11	13	22:15	201	304	55	79	28	63	13	21
2547	11	13	22:40	92	156	17	58	13	33	4	7
2547	11	13	23:15	85	103	25	33	14	22	6	7
2547	11	13	23:20	85	103	25	33	14	22	6	7
2547	11	14	0:10	111	109	21	28	17	22	1	6
2547	11	14	0:15	81	98	17	27	11	19	4	4
2547	11	14	2:15	67	73	7	11	12	9	3	4
2547	11	14	2:35	77	53	7	16	7	10	3	2
2547	11	14	2:50	64	48	5	14	2	6	3	3
2547	11	14	2:55	58	57	12	12	10	12	2	3
2547	11	14	3:00	53	73	4	9	3	8	3	3
2547	11	14	3:10	54	83	3	7	6	13	3	3
2547	11	14	3:35	55	83	4	7	7	13	3	3

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องขนต์		จักรยานขนต์		เครื่องขนต์ดีเซล		เครื่องขนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	14	3:40	56	83	5	7	8	13	3	3
2547	11	14	3:50	57	83	6	7	9	13	3	3
2547	11	14	4:00	35	28	6	9	13	6	2	2
2547	11	14	4:10	35	28	6	9	13	6	2	2
2547	11	14	4:15	35	28	6	9	13	6	2	2
2547	11	14	4:20	37	82	12	13	12	9	3	3
2547	11	14	4:45	33	21	19	9	16	7	2	4
2547	11	14	4:50	33	21	19	9	16	7	2	4
2547	11	14	5:00	36	41	9	14	12	12	4	4
2547	11	14	5:05	36	41	9	14	12	12	4	4
2547	11	14	5:15	50	36	14	7	15	7	4	6
2547	11	14	5:45	50	36	14	7	15	7	4	6
2547	11	14	6:40	52	57	47	15	25	14	8	11
2547	11	14	9:05	57	64	35	31	25	46	8	10
2547	11	14	18:45	94	152	46	56	31	59	9	24
2547	11	14	19:10	53	77	21	53	12	48	4	15
2547	11	14	19:15	53	77	21	53	12	48	4	15
2547	11	14	19:25	53	77	21	53	12	48	4	15
2547	11	14	20:00	117	103	31	56	29	68	9	12
2547	11	14	20:20	117	103	31	56	29	68	9	12
2547	11	14	20:40	64	134	23	31	19	48	15	20
2547	11	14	20:55	64	134	23	31	19	48	15	20
2547	11	14	21:00	81	140	21	43	24	51	5	11
2547	11	14	21:35	81	140	21	43	24	51	5	11
2547	11	14	21:50	81	140	21	43	24	51	5	11
2547	11	14	22:10	125	94	32	31	33	37	7	9
2547	11	14	22:55	68	143	21	35	8	38	3	11
2547	11	14	23:00	60	148	20	29	8	47	4	9

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	14	23:10	76	127	12	31	13	48	0	12
2547	11	14	23:15	77	127	13	31	13	48	0	12
2547	11	14	23:25	78	127	14	31	13	48	0	12
2547	11	14	23:35	79	127	15	31	13	48	0	12
2547	11	14	23:45	80	127	16	31	13	48	0	12
2547	11	14	23:50	81	127	17	31	13	48	0	12
2547	11	14	23:55	82	127	18	31	13	48	0	12
2547	11	15	0:15	64	102	10	27	8	42	0	6
2547	11	15	0:25	127	163	19	40	12	67	4	7
2547	11	15	0:30	62	35	4	11	11	19	3	3
2547	11	15	0:35	62	35	4	11	11	19	3	3
2547	11	15	1:20	61	61	7	9	6	21	4	1
2547	11	15	1:25	61	61	7	9	6	21	4	1
2547	11	15	2:00	68	70	7	11	7	18	8	5
2547	11	15	2:10	53	60	6	9	2	10	0	4
2547	11	15	2:35	45	37	3	11	3	10	0	3
2547	11	15	2:50	23	53	4	15	9	35	8	5
2547	11	15	2:55	23	53	4	15	9	35	8	5
2547	11	15	3:05	42	35	7	6	2	10	0	4
2547	11	15	3:10	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	3:15	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	3:20	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	3:25	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	3:30	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	3:50	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	3:55	33	19	3	9	3	5	2	3
2547	11	15	4:00	36	22	7	8	9	18	3	3
2547	11	15	4:05	36	22	7	8	9	18	3	3

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณโรงเรียนแสงหิรัญ ฤดูแล้งฝน (ต่อ)

ปี	เดือน	วัน	เวลา	เครื่องยนต์		จักรยานยนต์		เครื่องยนต์ดีเซล		เครื่องยนต์ดีเซล	
				เบนซิน				ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
				in	out	in	out	in	out	in	out
2547	11	15	4:15	20	20	5	11	10	5	4	3
2547	11	15	4:30	47	23	20	9	5	13	9	6
2547	11	15	4:35	47	23	20	9	5	13	9	6
2547	11	15	4:40	39	26	10	8	17	7	6	5
2547	11	15	4:45	39	26	10	8	17	7	6	5
2547	11	15	4:50	35	31	15	9	9	16	7	35
2547	11	15	4:55	35	31	15	9	9	16	7	35
2547	11	15	5:00	41	23	19	7	18	13	6	9
2547	11	15	5:20	41	23	19	7	18	13	6	9
2547	11	15	5:25	41	23	19	7	18	13	6	9
2547	11	15	5:30	41	23	19	7	18	13	6	9
2547	11	15	8:45	85	91	156	93	39	63	8	14
2547	11	15	17:35	71	123	121	132	44	94	10	15
2547	11	15	18:00	85	117	127	132	23	84	4	4
2547	11	15	18:05	85	117	127	132	23	84	4	4
2547	11	15	18:10	85	117	127	132	23	84	4	4
2547	11	15	18:15	54	131	67	106	26	55	2	12
2547	11	15	21:15	71	111	38	55	4	40	5	23
2547	11	15	21:50	71	111	38	55	4	40	5	23
2547	11	15	23:35	90	78	24	40	9	43	6	13
2547	11	16	0:25	62	63	11	12	19	16	4	8
2547	11	16	0:50	63	52	9	30	6	15	3	3
2547	11	16	1:05	69	72	7	14	15	51	3	2
2547	11	16	1:10	61	56	7	18	11	27	2	4
2547	11	16	2:10	48	81	4	7	7	11	3	3
2547	11	16	4:35	38	23	15	9	4	19	16	7
2547	11	16	7:35	122	96	101	81	47	97	3	10

หมายเหตุ : in คือ เข้าเมือง , out คือ ออกเมือง

ภาคผนวก ค

โปรแกรมย่อย (subroutines) สำหรับ GAMMA

ตาราง ค-1 โปรแกรมย่อยของ GAMMA-MET

Subroutine name	หน้าที่
1) ReadMOL	อ่านแฟ้มข้อมูล
2) CalMOF	เตรียม boundary layers parameters สำหรับคำนวณ Monin-Obukhov length
3) Sundtime	คำนวณมุมพระอาทิตย์ และเวลาพระอาทิตย์ขึ้น- ตก
4) TempCK	เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจากองศาเซลเซียสเป็นเคลวิน
5) AirDen	คำนวณความหนาแน่นอากาศ
6) SpeedU	เปลี่ยนหน่วยความเร็วลมจาก knot เป็น เมตรต่อวินาที
7) PG	ประเมินความคงตัวของบรรยากาศด้วย Turner' s method
8) HeatP	เลือกตัวแปรสำหรับในเวลาต่างๆ
9) HeatfluxD	คำนวณ heat flux ในเวลากลางวัน
10) HeatfluxN	คำนวณ heat flux ในเวลากลางคืน
11) WindZ0	คำนวณความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ
12) FrictionV	คำนวณ friction velocity
13) MonObuK	คำนวณ Monin-Obukhov length
14) ConvectVelo	คำนวณ convective velocity scale
15) AdjUs	ปรับค่า friction velocity
16) Landusetype	แสดงประเภทของการใช้ที่ดิน
17) Nday	คำนวณจำนวนวันในแต่ละเดือน
18) YearType	คำนวณประเภทของปี (365 หรือ 366 วัน)
19) Julian	คำนวณ Julian
20) MixingH	คำนวณความสูงผสม
21) CalAlbedo	คำนวณ albedo ที่เวลาต่างๆ
22) AmPm	คำนวณเวลาตอนบ่าย
23) CheckMoL	ตรวจสอบค่า Monin-Obukhov length กับลักษณะการใช้ที่ดิน
24) Uvintensity	คำนวณ photolytic rate

ตาราง ค-1 โปรแกรมย่อยของ GAMMA-MET (ต่อ)

Subroutine name	หน้าที่
25) AppUSTAR	คำนวณ friction velocity บริเวณพื้นที่ประยุกต์
26) CUBIC	ประยุกต์ cubic method สำหรับ low heat flux
27) ConvertL_PG	เปลี่ยน Monin-Obukhov length เป็น Pasquill-Gifford

ตาราง ค-2 โปรแกรมย่อยของ GAMMA-Calm

Subroutine name	หน้าที่
1) GAMMA_Calm	แสดงหน้าจอ GAMMA สำหรับในสภาวะลมสงบ
2) Menu_Calm	อ่านเพิ่มข้อมูล และใส่ค่าเพื่อนำไปคำนวณความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์
3) Calculate_Q	อ่านเพิ่มข้อมูลมลสาร
4) Calculate_C	คำนวณความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

ภาคผนวก ง
ชุดคำสั่งโปรแกรม (source code)

ชุดคำสั่งโปรแกรม GAMMA-Calm

SUBROUTINE GAMMA_Calm

Character (len = *), parameter :: FMT05 = "(I2, '!', I2.2, '!', I2.2, '!', I2., ' ', A, 'm')"

Character (len = *), parameter :: FMT06 = "(G20.0,\)"

! CHARACTER(1) mer

INTEGER(2) AHour,tmphour, tmpminute, tmpsecond, tmphund

Write(*,*) "-----"

Write(*,*) " Welcome to GAMMA Calm Pre-Processor "

Write(*,*) " Developed by Thidarat"

Write(*,*) " Last updat :14 september 2005"

Write(*,*) "-----"

! CALL GETTIM(Tmphour, Tmpminute, Tmpsecond, Tmphund)

! Call Gettime(TmpDay, TmpMonth, Tmpyear, TmpHour, TmpMinute, TmpSecond,
TmpHund, Mer)

! Write(*,FMT06) " Start running at : "

! Write(*,FMTG5) tmphour,tmpminute,tmpsecond,tmphund,mer

!Write(*,*)" "

stopt= 0

start= 0

Call CPU_Time(start)

Call menu_Calm

Call CPU_Time(stopt)

! Write(*,*)" "

End Subroutine GAMMA_Calm

Subroutine Menu_Calm

```
Integer(2) :: Goption1
```

```
Character (len = 14):: GFilename1
```

```
Real:: value_L,value_W,value_B
```

```
Character (len = *), parameter :: FMTW1 = "(T1,G53.0,\)"
```

```
Character (len = *), parameter :: FMTW2 = "(G11.0,\)"
```

```
Character (len = *), parameter :: FMTW3 = "(I2, '/', I2.2, '/', I4.4)"
```

```
Character (len = *), parameter :: FMTW4 = "(I2, ':', I2.2, ':', I2.2, ':', I2.2, ' ',A, 'm' )"
```

```
Character (len = *), parameter :: FMTW5 = "(G20.0,\)"
```

```
Character (len = *), parameter :: FMTW6 = "(T1,G44.0,\)"
```

```
Goption1 = 1
```

```
do while ( Goption1 /=0 )
```

```
Write(*,*) "-----"
```

```
Write(*,FMTW1) " 1) Please enter a filename for calculating ----- : "
```

```
read(*,*) GFilename1
```

```
Call calculate_Q(GFilename1)
```

```
Write(*,*) " "
```

```
Write(*,*) "-----"
```

```
Write(*,FMTW1) " 2) Please enter a value L for calculating [m] ----- : "
```

```
read(*,*) value_L
```

```
Write(*,*) "-----"
```

```
Write(*,FMTW1) " 3) Please enter a value W for calculating [m] ----- : "
```

```
read(*,*) value_W
```

```
Write(*,*) "-----"
```

```
Write(*,FMTW1) " 4) Please enter CO background concentration [ppm] ----- :
```

```
"
```

```
read(*,*) value_B
```

```
Write(*,*) "-----"
```

```

        Call calculate_C(value_L,value_W,value_B)
        Goption1 =0
    End do
End subroutine Menu_Calm

Subroutine calculate_Q(GFilename2)
    Character (len = 14)::GFilename2
!    Double Precision, dimension(0:24,0:24) :: value_q
    Integer :: checkR,year,month,date,hour
    Real :: q
    Character (len = *), parameter :: FMTR1 = "(I5,,I5,,I5.,I5,,I5,,I6,,I6,,I6,,F6.2,,I6,,F10.7)"
    open (10, file = GFilename2)
    open (40, file = "value_Q_use.DAT")
    checkR = 1
    Do While (.not.EOF(10))

        read(10,*,IOSTAT=checkR) year,month,date,hour,q
        IF(q > 0 ) then
            Write(40,*) year,month,date,hour,q
!            Write(*,FMTR1) year,month,date,hour,q
        End IF
        IF (checkR < 0) exit
    End do
    close(10)
    close(40)
return
End subroutine calculate_Q

Subroutine calculate_C(value_LF,value_WF,value_BF)
    Real :: value_LF,value_WF,value_H,q,a,b,c,d,e,value_BF
    Double Precision:: value_C,value_Cppm
    Integer :: checkH

```



```

Integer :: checkR,year,month,date,hour,f
Integer :: yearH,monthH,dateH,hourH
Character (len = *), parameter :: FMTR1 = "(I5,,I5,,I5.,I5,,I5,,I6,,I6,,I6,,F6.2,,I6,,F10.7)"
Character (len = *), parameter :: FMTW1 = "(T1,G53.0,\)"
Write(*,*) "-----"
Write(*,*) " value L for Calculate ---- : ", value_LF
Write(*,*) " value W for Calculate----- : ", value_WF
Write(*,*) " value background concentration : ", value_BF
Write(*,*) "-----"
Write(*,*) " "
Write(*,*) " ----- Calculating C ----- : "
open (30, file = "value_Q_use.DAT")
open (50, file = "Result.DAT")

checkR = 1
Do While (.not.EOF(30))
    read(30,*,IOSTAT=checkR) year,month,date,hour,q
    open (40, file = "MOB_Urban.DAT")
    checkH = 1
    Do While (checkH >= 0)
        read(40,*,IOSTAT=checkH)
yearH,monthH,dateH,hourH,a,b,c,d,e,value_H
        If(year == yearH .and.
month==monthH .and.date==dateH .and. hour==hourH ) then
            value_C= (q/(value_LF*value_WF*value_H))
            value_Cppm=
((value_C*1000000*0.02445)/28 )+ value_BF
            Write(50,*) year,month,date,hour,value_Cppm
        End If
    IF (checkH < 0) exit
!
End do

```

```
        close(40)
    IF (checkR < 0) exit
    End do
    close(50)
    close(30)
    Write(*,*) " "
    Write(*,*) " Result in Filename Result.dat ---- : "
return
End subroutine calculate_C
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิดารัตน์ พงษ์คุณ เกิดเมื่อวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่อยู่ปัจจุบัน 62/175 หมู่ 6 ถนนเทพารักษ์ ตำบลบางเมืองใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ เข้ารับการศึกษาที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย