ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ โอโซน ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ในกรุงเทพมหานคร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายดนัย จิตตธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-568-016-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012738

I 10293083

RELATIONSHIP BETWEEN CONCENTRATIONS OF OZONE, HYDROCARBONS, NITROGEN OXIDES, AND SOLAR RADIATION IN BANGKOK METROPOLIS

Mr. Danai Chittatum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-568-016-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซน ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจน-ออกไซด์ กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร
โดย	นายดนัย จิตตธรรม
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

..... กรรมการ
(ดร.แสงสันต์ พานิช)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ โอโซน ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจน-ออกไซด์ กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร
ชื่อนิสิต	นายดนัย จิตตธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา	2529

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซน ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดในพื้นที่จริง

ในการศึกษา ได้ตรวจวัดระดับความเข้มข้นโอโซน ไฮโดรคาร์บอน และแสงอุลตราไวโอเลต บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ เพื่อวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้เก็บตัวอย่างอากาศตามจุดต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร นำมาตรวจวัดระดับความเข้มข้นโอโซน เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์กับผลจากการตรวจวัดในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ส่วนไนโตรเจนออกไซด์ ได้ข้อมูลจากการตรวจวัดโดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พร้อมทั้งข้อมูลโอโซนบางส่วน

ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้น โอโซน ไฮโดรคาร์บอน และแสงอุลตราไวโอเลต บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้น โอโซน มีค่าสูงสุดในเวลาเที่ยงวัน และตรวจวัดไม่พบในเวลากลางคืน ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโอโซนที่ตรวจพบเท่ากับ 0.055 ppm ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้ไม่เกิน 0.1 ppm ค่าความเข้มแสงอุลตราไวโอเลตสูงสุดประจำวันมีค่าระหว่าง 43 - 60 mcal $cm^{-2} min^{-1}$ ความเข้มข้น โอโซนมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงอุลตราไวโอเลต ซึ่งเปลี่ยนตามเวลาของวันมีค่าสหสัมพันธ์ 0.912 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .001

ความเข้มข้นไฮโดรคาร์บอนไม่รวมมีเทนมีความเข้มข้นสูงสุดเฉลี่ยในเวลา 3 ชั่วโมง ในแต่ละวัน ในช่วงเวลา 6.00 น. - 9.00 น. ความเข้มข้นไฮโดรคาร์บอนไม่รวมมีเทน มีค่าระหว่าง 0.33 - 0.60 ppm ซึ่งเกินมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.16 มก./ม.^{3} (0.24 ppm) แม้ว่าความเข้มข้นไฮโดรคาร์บอนจะมีค่าสูง แต่ระดับของโอโซนที่ตรวจพบยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

จากข้อมูลไนโตรเจนออกไซด์ จะเห็นได้ว่า ไนตริกออกไซด์ มีระดับความเข้มข้นสูงในเวลาเช้า และต่ำสุดในตอนกลางวัน เนื่องจากไอเสียจากรถยนต์ทำให้มีค่าสูงในเวลาเช้า และปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัลทำให้มีค่าต่ำในตอนเที่ยงวัน เพราะ NO เปลี่ยนเป็นสารอื่น ไนโตรเจน-ไดออกไซด์ มีระดับความเข้มข้นต่ำ จนตรวจวัดไม่พบ ซึ่งเท่ากับการเกิดโดยธรรมชาติ และมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก

เมื่อตรวจวัดตัวอย่างอากาศจากจุดต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร หาความเข้มข้นโอโซนสูงสุด จะเห็นว่าระดับความเข้มข้นโอโซนในกรุงเทพมหานคร จะมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ได้ความสัมพันธ์ความเข้มข้นโอโซนสูงสุดตามจุดต่าง ๆ กับระยะห่างจากบริเวณที่มีความหนาแน่นของรถยนต์มาก ดังสมการ $O_3 = .021 + 2.203 \times 10^{-3}D - 8.036 \times 10^{-5}D^2$ มีค่าสหสัมพันธ์ 0.935 และ index of determination 0.875 ระยะห่างจากบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 13.7 กิโลเมตร ในทิศทางใต้ลม จะเกิดความเข้มข้นโอโซนสูงสุด

Thesis Title	Relationship between Concentrations of ozone, Hydrocarbons, Nitrogen Oxides, and Solar Radiation in Bangkok
Name	Mr. Danai Chittatum
Thesis Advisor	Associate Professor Wongpun Limpaseni
Department	Sanitary Engineering
Academic Year	1986

ABSTRACT

This thesis is a study of the relationship between the concentration of ozone, hydrocarbons, nitrogen oxides and solar radiation in Bangkok using data from field measurements.

In this study, ozone, hydrocarbons and ultraviolet light concentration level in the precinct of the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, were measured in order to analyze and determine relationships between various parameters. Samples of air at various locations in Bangkok were also collected for the purpose of measuring the level of ozone concentration, comparing and determining relationship with the result of measurement in the precinct of the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. Nitrogen oxides data were obtained from measurement by the Office of the National Environment Board as well as some data on ozone.

Analysis of the level of ozone, hydrocarbons and ultraviolet light concentration in the precinct of the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, showed that the level of ozone concentration peaked at midday and was not detected at night time. The highest ozone concentration value found was equal to 0.055 ppm and less than 0.1 ppm, the given standard. The highest ultraviolet light concentration in each

day was between 43 - 60 mcal $cm^{-2}min^{-1}$. Ozone concentration had a relationship with ultraviolet light concentration which varied according to the hours of the day, having a correlation value of 0.912 and statistical significance level of .001.

Hydrocarbons concentration excluding methane had the highest 3 hour average concentration in each day during 6 - 9 a.m. It was found that hydrocarbon concentration excluding methane had values between 0.33 - 0.60 ppm, and exceeded U.S. Standard which set limit at 0.16 mg/m^3 (0.24 ppm). Although hydrocarbons level was found to be rather high, the measurement showed ozone concentration still lower than the standard.

From nitrogen oxides data, it was seen that nitric oxide had high concentration in the morning and lowest concentration at midday because automobile exhaust high value in the morning and photochemical reaction caused a low value at midday because NO changed to other substances Nitrogen dioxide had concentration so low that it could not be detected which was equal to that which occurs naturally and much lower than the standard.

When measuring samples of air from various locations in Bangkok to determine maximum ozone concentration, it was seen that ozone concentration in Bangkok did not exceed the standard. The relationship of highest ozone concentration at various locations with the distance from the high traffic-density area based on the equation $O_3 = .021 + 2.203 \times 10^{-3}D - 8.036 \times 10^{-5}D^2$ had a correlation value of 0.935 and index of determination 0.875. Distance of 13.7 km in the downwind direction from the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University would resulted in the highest ozone concentration.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นในด้านวิชาการต่าง ๆ ตลอดจนให้กำลังใจ เอาใจใส่ และคอยติดตามความคืบหน้าของการวิจัยอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณ ดร.แสงสันต์ พานิช ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในด้านข้อมูล วิชาการ และคำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ แก่ผู้วิจัยในด้านต่าง ๆ รวมทั้งถ่ายทอดวิชาความรู้ให้

ขอขอบคุณ คุณศิวพร รอดสมบูรณ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในการคัดลอก และตรวจทานงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ ร่วมสายโลหิตที่มีส่วนสนับสนุนและให้กำลังใจ

และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ประโยชน์และความดีของการวิจัยนี้ ขออุทิศให้แก่ ร.ต.อ.สุชาติ เกียรติศิริกุล ซึ่งเสียชีวิตขณะปฏิบัติหน้าที่ อันเป็นที่เคารพรักของผู้วิจัยอย่างยิ่ง

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูป ..... ฒ

คำอธิบายสัญญลักษณ์ คำย่อ และศัพท์วิชาการ..... ต

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตและแนวทางการศึกษา 3

2 การศึกษาด้านเอกสาร 5

2.1 แหล่งหรือสาเหตุการเกิด O_3 ในชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) 5

2.1.1 จากชั้นสตราโตสเฟียร์

2.1.1.1 โดยขบวนการแพร่กระจาย (Diffusion Process) 6

2.1.1.2 โดยการรบกวนของชั้นสตราโตสเฟียร์

2.1.2 จากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล (photochemical reaction) 6

2.1.3 จากแหล่งธรรมชาติ 10

2.2 การกระจายของ O_3 ตามลม 11

2.2.1 การกระจายของ O_3 ที่เกิดจากแหล่งธรรมชาติ 11

2.2.2 การกระจายของ O_3 ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ .. 12

หน้า

2.3 ผลการทดลองใน smog chamber 12

2.4 ระดับ O_3 และความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นในต่างประเทศ 14

2.4.1 การตรวจวัดระดับ O_3 ในชนบทสหรัฐอเมริกา 14

2.4.2 การเคลื่อนย้ายของ O_3 ใน Los Angeles 18

2.4.3 ความสัมพันธ์ของ O_3 และ precursor ใน Sydney 19

2.5 ระดับ O_3 และความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นในประเทศไทย 21

2.5.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณ O_3 ในอากาศกรุงเทพมหานคร 21

2.5.2 การศึกษาระดับ No_x ในกรุงเทพมหานคร 22

2.5.3 ระดับ NMHC, NO_2 จากการศึกษาผลกระทบของระบบทางด่วนในกรุงเทพมหานคร 28

3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา 33

3.1 วัสดุอุปกรณ์ 33

3.1.1 เครื่องวัดโอโซน Dasibi Model 1003 p.c. (U.S.A.) 33

3.1.2 เครื่องวัดไฮโดรคาร์บอน HORIBA model APHA-300E 34

3.1.3 เครื่องวัดรังสี UV EPLAB model TUVR 34

3.1.4 เครื่องบันทึกกราฟ V.D.O. 03/21 และ Beckman recorder 35

3.1.5 เครื่องวัดความเข้มข้น O_3 แบบ kI 35

3.1.6 PUMP MSA model S. 36

3.1.7 ถุง Mylar ขนาด 20 ลิตร 36

3.1.8 สาย Teflon 36

3.2 วิธีการศึกษา 37

3.2.1 ศึกษาการใช้เครื่องมือในการตรวจวัด 37

3.2.2 วัดตัวอย่างอากาศในห้องปฏิบัติการและในสนาม 40

หน้า

3.3 ขั้นตอนการศึกษา 42
3.3.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 42
3.3.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์ตามจุดต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร 42
3.3.3 ข้อมูลที่รวบรวมโดยหน่วยงานอื่น 43

4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 45
4.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้ม UV ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 45
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น O_3 ในกรุงเทพมหานคร 45
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นตามเวลาของวัน .. 45
4.2.2 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยในพื้นที่ต่าง ๆ 56
4.3 ระดับความเข้มข้น O_3 ซึ่งเปลี่ยนแปลงกับระยะห่างจากบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 56
4.4 ระดับความเข้ม UV กับความเข้มข้น O_3 ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 65
4.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น NMHC ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 72
4.6 ระดับความเข้มข้น NMHC กับความเข้มข้น O_3 ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 79
4.7 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของรถยนต์ในแต่ละเขตต่อวัน ในกรุงเทพมหานคร 79
4.8 ความหนาแน่นของรถยนต์ในแต่ละเขตต่อวัน กับระดับความเข้มข้น O_3 ในกรุงเทพมหานคร 79
4.9 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น NO , NO_2 ในกรุงเทพมหานคร. 86
4.10 ความสัมพันธ์ ความเข้มข้น NO , NO_2 , O_3 และ UV ในกรุงเทพมหานคร 86

หน้า

5 สรุปผลการวิจัย 93

6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 95

เอกสารอ้างอิง 96

ภาคผนวก ก. 98

ภาคผนวก ข. 120

ประวัติ 133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณมลสารในอากาศที่ปล่อยในกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2522	4
2.1	ความถี่สะสมของ O_3 (ppm) ในปี ค.ศ. 1979	15
2.2	จำนวนวันที่ระดับของ O_3 เกินกว่า 0.08 ppm (08.00 น.-23.00 น.) ของ NAPBN	16
2.3	ความสัมพันธ์ของ O_3 กับ precursors ข้อมูลการสำรวจใน Sydney (1975 - 1977)	20
2.4	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มข้น NO และ NO_2 เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง (06.00 น. - 18.00 น.)	26
2.5	ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มข้น NO และ NO_2 เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง (18.00 น. - 06.00 น.)	26
2.6	เปรียบเทียบความเข้มข้น NO และ NO_2 ระหว่าง Indoor และ Outdoor จุดเก็บตัวอย่างที่ II ถนนเยาวราช (เฉลี่ย 6 การทดลอง) .	27
2.7	ลักษณะสมบัติของอากาศเดิมของ FES (mg /m^3).....	29
2.8	ลักษณะสมบัติของอากาศเดิมของ SES (mg /m^3)	30
3.1	ขั้นตอนการศึกษา	44
4.1	รายชื่อจุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.12	59
4.2	ความเข้มข้น O_3 ในเวลากลางวัน ทิศทางและความเร็วลมและระดับฝนของจุดเก็บตัวอย่างในรูปที่ 4.12	61
4.3	ความเข้มข้น O_3 ตามเวลา ทิศทางและความเร็วลมของจุดเก็บตัวอย่างถนนเพชรเกษมในรูปที่ 4.12	64
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระดับสูงสุด O_3 ในเวลากลางวันกับระยะห่างจากจุด 42	66
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระดับสูงสุดเฉลี่ยของ O_3 ในเวลากลางวันกับระยะห่างจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 42	68
4.6a	แสดงระดับสูงสุดของ O_3 กับ UV ประจำวัน	70
4.6b	แสดง Probability O_3	73

ตารางที่ หน้า

4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของ O_3 กับ UV ตามเวลาของวัน บริเวณคณะวิศวกรรม-ศาสตร์ จุฬาฯ 18 - 29 ธ.ค. 29 75

4.8 แสดงค่า O_3 สูงสุดประจำวัน กับค่าเฉลี่ยของ NMHC ในระหว่างเวลา 6.00 น. - 9.00 น. บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ 80

4.9 ความหนาแน่นของรถยนต์แต่ละเขตต่อวันในกรุงเทพมหานคร 82

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของส่วนประกอบโฟโตเคมิคัล สม็อก กับเวลาในลอสแอนเจลิส	10
2.2	การขนย้าย การผสมและการเจือจางของ O_3 จากธรรมชาติในเขตเมืองหลวง	11
2.3	บทบาทของ O_3 ในบรรยากาศชั้นบน ค่าระดับสูงสุดของ O_3 ในบรรยากาศพื้นผิว	12
2.4	การเกิด O_3 ใน smog chamber (Groblicki and Nebel 1969)	13
2.5	โครงข่ายสถานีวัด O_3 ในชนบทของสหรัฐอเมริกา	14
2.6	ระดับความเข้มข้นของ O_3 ใน 4 ช่วงฤดู (6 สถานที่) ในปี ค.ศ.1979	17
2.7	ระดับความเข้มข้นของออกซิแดนท์ใน Los Angeles สิงหาคม 1964 และ 1965	18
2.8	ระดับความเข้มข้นของออกซิแดนท์ใน Riverside, California ตุลาคม และพฤศจิกายน 1966	18
2.9	จุดตรวจวัดตัวอย่าง O_3 และ precursors ใน Sydney	19
2.10	เปรียบเทียบเส้นระดับความเข้มข้น O_3 ที่ได้จากการทดลองใน Smog Chamber โดย Dodge (1976) กับข้อมูลการสำรวจใน Sydney (1975 - 1977)	21
2.11	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับค่าเฉลี่ยของปริมาณกาซโอโซน (1977)	23
2.12	ความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์และปริมาณกาซโอโซน	24
2.13	จุดเก็บตัวอย่างในกรุงเทพมหานคร	25
2.14	NON-METHANE HYDROCARBONS (NMHC), 3 hr.	31

รูปที่ หน้า

2.15 NITROGEN DIOXIDE (NO_2) , 1 hr 32

3.1 แสดงเครื่องมือ 1. Dasibi Model 1003 pc.

2. V.D.O. 03/21 33

3.2 แสดงเครื่องมือ HORIBA model APHA - 300E 34

3.3 แสดงเครื่องมือ 1. EPLAB model TUVR

2. Beckman recorder 35

3.4 แสดงเครื่องวัดความเข้มข้น O_3 แบบ kI 36

3.5 แสดง 1.pump MSA model S

2. ถุง Mylar ขนาด 20 ลิตร

3. สาย Teflon 36

3.6 ระดับของ O_3 ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา 38

3.7 ระดับของ HC ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา 39

3.8 ระดับของ UV ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา 41

4.1 แสดงค่า UV เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกับเวลา (17 - 22 ต.ค. 29) 46

4.2 แสดงค่า UV เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมง กับ เวลา (3 - 10 พ.ย.29) 47

4.3 แสดงค่า UV เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกับเวลา (18 - 20 พ.ย.29) 48

4.4 แสดงค่า UV เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกับเวลา (18 - 29 ธ.ค.29) 49

4.5 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น O_3 กับเวลา (2 พ.ค.26 - 20 มิ.ย.26) . 50

4.6 แสดง Probability O_3 (2 พ.ค.26 - 20 มิ.ย.26) 51

4.7 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น O_3 กับเวลา (23 - 29 ต.ค. 27) 52

4.8 แสดง Probability O_3 (23 - 29 ต.ค. 27) 53

4.9 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น O_3 กับเวลา (18 - 29 ธ.ค. 29) 54

4.10 แสดง Probability O_3 (18 - 29 ธ.ค. 29) 55

4.11 แสดงความเข้มข้น O_3 กับเวลาในวันที่มีค่าสูง (14 - 17 มิ.ย.26) ... 57

4.12 แผนที่กรุงเทพมหานครแสดงถนนและจุดเก็บตัวอย่าง 58

รูปที่		หน้า
4.13	แผนที่กรุงเทพมหานครแสดงโครงข่ายถนน และสัดส่วนระดับโอโซนในเวลากลางวัน เดือน ก.ย. - พ.ย. ปี 2529	63
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระดับสูงสุด O_3 ในเวลากลางวันกับระยะห่างจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 42 เดือน ก.ย. - พ.ย. ปี 2529	67
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระดับสูงสุดเฉลี่ยของ O_3 ในเวลากลางวันกับระยะห่างจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 42 (18 - 20 พ.ย. 29)	69
4.16 a	แสดงความสัมพันธ์ระดับสูงสุด O_3 กับ UV ประจำวันบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ (3 พ.ย. - 29 ธ.ค. 29)	71
4.16 b	แสดง Log-Probability O_3 (3 พ.ย. - 29 ธ.ค. 29)	74
4.17	แสดงความสัมพันธ์ค่าเฉลี่ยของ O_3 กับ UV ตามเวลาของวันบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ (18 - 29 ธ.ค. 29)	76
4.18	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น NMHC กับเวลา (23 - 29 ต.ค. 27)	77
4.19	แสดง Probability NMHC (23 - 29 ต.ค.27)	78
4.20	แสดงความสัมพันธ์ค่า O_3 สูงสุดประจำวันกับค่าเฉลี่ย NMHC ระหว่าง 6.00 น. - 9.00 น. บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ (23-29 ตค.27)	81
4.21	แสดงขอบเขตในแต่ละเขตของพื้นที่ศึกษาการจราจร และเขตต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร	83
4.22	แสดงสัดส่วนความหนาแน่นของรถยนต์ในเขตต่าง ๆ	84
4.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกับความหนาแน่นของรถยนต์แต่ละเขตต่อวันในกรุงเทพมหานคร ปี 2526	85
4.24	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น NO กับเวลา (6 - 16 พ.ค. 28)	87
4.25	แสดง Probability NO (6 - 16 พ.ค. 28)	88
4.26	แสดงค่า NO เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกับเวลา (20 พ.ย. - 25 ธ.ค.27) .	89
4.27	แสดง Probability NO (20 พ.ย. - 25 ธ.ค. 27)	90
4.28	แสดงค่า NO_2 เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงกับเวลา (20 พ.ย.- 25 ธ.ค. 27).	91
4.29	แสดง Probability NO_2 (20 พ.ย. - 25 ธ.ค. 27)	92

คำอธิบายสัญญลักษณ์ คำย่อ และศัพท์วิชาการ

สัญญลักษณ์	ความหมาย
λ	ความยาวคลื่น (wavelength)

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
NMHC	non-methane Hydrocarbons	ไฮโดรคาร์บอนไม่รวมมีเทน
ppm	parts per million	ส่วนในล้านส่วน

ศัพท์วิชาการ	ความหมาย
precursors	มลสารที่ทำให้เกิด O_3 คือ NMHC และ NO_x