

๒๒.๗๑๒
๒๒๒
๒๒

การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และ ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์
กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ ในเขตกรุงเทพมหานคร

ปริญญานิพนธ์
ของ
สพโชค คัมพลาวัณย์

๒๒๒ ๒๕๒๕

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท ๒๓ พระโขนง กรุงเทพฯ ๑๑ โทร. ๓๙๒๑๕๗๕, ๓๙๑๕๐๕๘

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
กุมภาพันธ์ ๒๕๒๕
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และ ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์
กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ ในเขตกรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ
ของ
สพโชค คัมพุลารักษ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
กุมภาพันธ์ 2523

การวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับ ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาคือ อากาศในเขตกรุงเทพมหานคร เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนคือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ผลการวิจัยพบว่า สหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจรกับปริมาณก๊าซโอโซน ในเวลา 8.30 - 9.00 น., 12.00 - 12.30 น. และเวลา 15.00 - 15.30 น. เป็น 0.5473, 0.5173 และ 0.5929 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05, .05 และ .02 ตามลำดับ สหสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณก๊าซโอโซนเป็น 0.7482 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .001

ผลการวิจัยเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรและบริเวณที่พักอาศัยพบว่า ปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรมากกว่าในบริเวณที่พักอาศัย และจากสมการพยากรณ์อาจสรุปได้ว่า เมื่อมีปริมาณการจราจรมากกว่า 1372 คันต่อหนึ่งช่องถนน ในเวลา 30 นาทีในขณะที่มีความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด จะทำให้มีปริมาณก๊าซโอโซนในระดับที่เป็นอันตรายได้

A STUDY OF BANGKOK TRAFFIC VOLUME AND SOLAR ENERGY INTENSITIES
IN RELATION TO OZONE CONCENTRATION IN AIR

AN ABSTRACT

BY

SOPCHOK TONTOLARUG

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree

Srinakharinwirot University

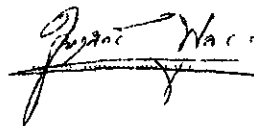
February 1980

The purposes of this research were to find the relationships between traffic volumes and solar energy intensities to ozone concentrations in Bangkok metropolitan areas, and to compare the ozone concentrations in traffic areas with the residential area. The air samples were collected by impinger method and quantitated their concentrations by spectrophotometry technique.

The results of this study reveal that there were high significant correlations between traffic volumes and ozone concentrations at 08.30 - 09.00 a.m., 12.00 - 12.30 p.m. and 03.00 - 03.30 p.m. ($r = 0.5473, 0.5173$ and 0.5929 at $\alpha = .05, .05$ and $.02$ respectively) The correlation of solar energy intensities and ozone concentration was also found ($r = 0.7482$ at $\alpha = .001$) This study also indicated that the ozone concentrations in traffic areas were higher than in the residential area.

In conclusion there were adverse effects on man from existing ozone concentrations when there was heavy traffic volume (1372 vehicles per lane in 30 minutes) at the time of high solar energy intensities.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำคณะนิติศาสตร์ได้พิจารณาปัญหานี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาการศึกษาบัณฑิต
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้



ประธาน

อ.ดร. วิมล

กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

การทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ ได้รับพระราชทานเงินทุนสำหรับการวิจัย "ทุนภูมิพล" จาก พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ผู้วิจัยรู้สึกสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณเป็นล้นเกล้าล้นกระหม่อม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับคำแนะนำและช่วยเหลือทั้งทาง วิชาการ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นอย่างดียิ่งจากประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.ชมภูศักดิ์ พูลเกษ ภาควิชาอาชีวอนามัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และกรรมการ อาจารย์ อารมณ์ วีรสาร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์กรรณิการ์ สิริสิงห ภาควิชาสุขาภิบาลวิศวกรรม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อาจารย์ ดร. กฤษณพงศ์ กีรติกร คณะพลังงานและ วัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า จนบุรี และอาจารย์สุภาเพ็ญ จริยะเศรษฐ์ หัวหน้า คณะวิชาวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยครูกาญจนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ใน การวิจัยครั้งนี้

สพโชค ตันฑุลารักษ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
คำนำ	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	5
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	6
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	6
นิยามศัพท์เฉพาะ	7
สมมุติฐานของการศึกษาค้นคว้า	8
2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า	9
การวิจัยในต่างประเทศ	9
การศึกษาค้นคว้าของกาซโอโคโนที่มีต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย	9
การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างกาซโอโคโนกับสิ่งแวดล้อม	10
การศึกษาค้นคว้าวิธีวิเคราะห์ปริมาณกาซโอโคโนในบรรยากาศ	12
การวิจัยในประเทศไทย	16
ทฤษฎี	18
แหล่งกำเนิดกาซโอโคโนในบรรยากาศ	20
การถ่ายโอนกาซโอโคโนในบรรยากาศ	24
วิธีวิเคราะห์ปริมาณกาซโอโคโน	25
3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	28
กลุ่มตัวอย่าง	28
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	29
วิธีดำเนินการทดลอง	34

บทที่	หน้า
4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง	42
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	42
ผลการทดลอง	45
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	69
บทย่อ	69
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	69
วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	69
สรุปผลการทดลอง	72
อภิปรายผลการทดลอง	75
ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก. ภาพประกอบการทดลอง	90
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทำ calibration curve	102
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการเก็บตัวอย่างบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย	107

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมนุษย์ได้รับก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	3
2	ปริมาณก๊าซโอโซนในเขตอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ	16
3	ถนน เวลา และลำดับวันที่เก็บอากาศในบริเวณที่มีการจราจร	28
4	ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตามิเตอร์ ของเครื่องคูอากาศแบบแผ่นไคอะแฟรม กับอัตราการไหลของอากาศ	46
5	ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตามิเตอร์ Rota - L63/2400 - 11873 กับอัตราการไหลของอากาศ	48
6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโอคีนกับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร ของสารละลายไอโอคีนมาตรฐาน	50
7	ปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซโอโซนในถนนสายต่าง ๆ	52
8	ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจร และค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซน	53
9	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซโอโซน	53
10	ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และ ปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย	58
11	ค่าเฉลี่ยความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซน	60
12	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์และปริมาณก๊าซโอโซน	61
13	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และ บริเวณที่พักอาศัย	64
14	ข้อมูลการทำ calibration curve ของโรตามิเตอร์ของเครื่องคูอากาศ แบบแผ่นไคอะแฟรม	103
15	ข้อมูลการทำ calibration curve ของโรตามิเตอร์ Rota - L63/2400 - 11873	105
16	ข้อมูลการทำ calibration curve ของสารละลายไอโอคีนมาตรฐาน	106

ตาราง	หน้า
17 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างบริเวณที่มีการจราจร	108
18 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างบริเวณที่พักอาศัย	114

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การกระจายแนวดิ่ง (vertical distribution) ของปริมาณก๊าซโอโซน ในบรรยากาศ	19
2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตามีเตอร์ของเครื่องดูดอากาศ แบบแนวนโคอะแฟรม กับ อัตราการไหลของอากาศ	47
3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตามีเตอร์ Rota - L63/2400 - 11873 กับอัตราการไหลของอากาศ	49
4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอไอเคิ้น กับ การดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร ของสารละลายโอไอเคิ้นมาตรฐาน	51
5 แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร ในเวลา 8.30-9.00 น.	55
6 แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร ในเวลา 12.00-12.30 น.	56
7 แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร ในเวลา 15.00-15.30 น.	57
8 แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย	62
9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย	63
10 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับ ค่าเฉลี่ย ของปริมาณก๊าซโอโซน	65
11 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และ บริเวณที่พักอาศัย	66
12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซโอโซน	68

13	แผนที่กรุงเทพมหานคร แสดงถนนและบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศ	91
14	เครื่องดูอากาศ	93
15	โรตามิเตอร์	94
16	มิจเกต อิมพัลเซอร์	95
17	เวท เทสต์ มิเตอร์	96
18	สเปคโตรโฟโตมิเตอร์	97
19	MOLL - GORCZYSKI PYRANOMETER (KIPP SOLARIMETER)	98
20	KIPP & ZONEN SOLARIMETER INTEGRATOR	99
21	การ calibrate โรตามิเตอร์ของเครื่องดูอากาศแบบแผ่นโกอะเฟรมด้วย ปั๊มเบ็ด มิเตอร์	100
22	การ calibrate โรตามิเตอร์ด้วยเวท เทสต์ มิเตอร์	100
23	เครื่องมือเก็บอากาศในบริเวณที่มีการจราจร	101
24	เครื่องมือเก็บอากาศในบริเวณที่พักอาศัย	101

บทที่ 1

บทนำ

คำนำ

บรรยากาศเป็นแหล่งที่ให้อากาศในการหายใจเพื่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต อากาศบริสุทธิ์ที่พอเหมาะแก่การหายใจ ประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ในสัดส่วนที่พอเหมาะ คือมีก๊าซออกซิเจนประมาณ 21 % ก๊าซไนโตรเจนประมาณ 78 % และส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ก๊าซเฉื่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละอองต่าง ๆ และไอน้ำ อีกประมาณ 1 % โดยปริมาตร ในสมัยโบราณ มนุษย์ยังมิได้ประสบกับปัญหาความไม่สมดุลของสัดส่วนของส่วนผสมเหล่านี้ในอากาศ จนกระทั่งในช่วงระยะเวลา 200 - 300 ปีที่ผ่านมา นับตั้งแต่สมัยก่อนการปฏิวัติทางอุตสาหกรรม มนุษย์เริ่มประสบปัญหาอากาศเป็นพิษเนื่องจากควันจากไฟป่า จากภูเขาไฟ และจากการหุงต้มอาหาร พวกเขาพบว่าควันจากภูเขาไฟทำให้หายใจไม่สะดวก ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีปฏิกิริยาตอบสนองทางร่างกายต่อสารที่เป็นพิษเหล่านั้น

(Stern. 1968 : 2)

ในสมัยของการปฏิวัติทางอุตสาหกรรม และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีกันต่าง ๆ ทำให้มนุษย์ต้องประสบกับปัญหาความเป็นพิษของอากาศมากขึ้น เช่น ควันและสารที่เป็นพิษจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จากการจราจร การกำจัดขยะ การระเหยของสารเคมีต่าง ๆ รวมทั้งสารที่เป็นพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมแร่และโลหะ ตลอดจนกัมมันตรังสีจากโรงงานพลังงานนิวเคลียร์ และการทดลองระเบิดปรมาณู สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้เป็นแหล่งที่ช่วยเพิ่มสารที่เป็นพิษให้แก่บรรยากาศมากขึ้น ซึ่งมีผลก่อให้เกิดความเสียหายหลายประการ ตัวอย่างเช่น ความเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ หรืออาจทำให้เสียชีวิตในทันที ความเป็นพิษต่อพืช ทำให้พืชตาย เกิดโรค ไม่เจริญเติบโต ทำความเสียหายให้แก่วัตถุต่าง ๆ เช่น ทำให้วัตถุ

บางชนิดก็กร่อน สีสันจาง ทำความสกปรกให้แก่อาคารบ้านเรือน ทำให้บรรยากาศมีมลพิษ ไม่สะดวกต่อการเดินทาง ซึ่งก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย นอกจากนี้ยังทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นต้น

ปัญหาเรื่องอากาศเป็นพิษ กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพราะอากาศ เป็นสิ่งแวดล้อมที่ใกล้ชิดและเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต และนับวันปัญหานี้ก็จะทวีความรุนแรง มากขึ้น เช่น ในปี ค.ศ. 1948 ที่เมืองโคโลรา ในมลรัฐเพนซิลวาเนีย สหรัฐอเมริกา มีผู้เสียชีวิตเนื่องจากได้รับพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถ่านโค้ก 37 คน และเกือบ 6,000 คน ต้องล้มป่วยลง ต่อมาในปี ค.ศ. 1950 ที่เมืองโปซาริกา ประเทศเม็กซิโก โรงงานผลิตสารเคมีแห่งหนึ่งได้ปล่อยกาซพิษกระจายไปทั่วบริเวณ ทำให้มีผู้เสียชีวิต 22 คน และมีอาการสาหัสอีก 320 คน ในเวลาเพียงไม่ถึงหนึ่งชั่วโมง และในปี ค.ศ. 1952 ที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ปรากฏมีหมอกและควันปกคลุมในบรรยากาศ ลมสงบนิ่ง อุณหภูมิลดต่ำลง การจุกเยือกแข็ง โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปล่อยควันและสารเคมีออกมา สุมบรรยากาศอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีผู้เสียชีวิตถึง 4,000 คน ในเวลาเพียง 4 วันเท่านั้น และในระยะเวลาอีก 2 เดือนต่อมา ก็มีผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้นเป็น 8,000 คน (ชัยฤทธิ์ มหิทธิษุทธนา 2515 : 3 - 4) จากตัวอย่างเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่ามนุษย์มุ่งแต่การพัฒนาทางอุตสาหกรรม และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยมิได้คำนึงถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้น ฉะนั้นถึงเวลาแล้วที่ทุก ประเทศจะต้องร่วมมือกันเพื่อหามาตรการควบคุมสภาวะความเป็นพิษของอากาศที่กำลังทำความเสียหายให้แก่สิ่งแวดล้อมอย่างมากภายในปัจจุบัน มิฉะนั้นมนุษย์อาจจะต้องประสบกับเหตุการณ์ที่ไม่สามารถแก้ไขได้ทันทางที่ในอนาคต

สิ่งเจือปนทั้งหลายที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ มีทั้งกาซพิษต่าง ๆ หยดของเหลว ฝุ่นละออง และสารกัมมันตภาพรังสี สิ่งเจือปนที่นับว่ามีโทษต่อพืชและสัตว์มากที่สุดคือ กาซพิษต่าง ๆ เช่น กาซโอโซน (O_3) กาซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กาซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กาซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และกาซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นต้น กาซที่ทำความเสียหายให้แก่พืชและสัตว์มากที่สุดกาซหนึ่งก็คือ กาซโอโซน กาซโอโซนเกิดได้ทั้งในธรรมชาติ และมนุษย์เป็นผู้ทำให้เกิดขึ้น กาซโอโซนที่เกิดในธรรมชาติ

เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (photochemical reaction) ซึ่งมีแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ส่วนก๊าซโอโซนที่เกิดจากมนุษย์เป็นผู้ทำขึ้นนั้น เกิดจากประกายไฟฟ้าจากเครื่องมือ และจากปฏิกิริยาต่อเนื่องของก๊าซที่ออกมาจากการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ต่าง ๆ

ตามปกติที่ระดับน้ำทะเล จะมีปริมาณก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 - 0.03 ppm (Stern. 1968 : 43) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่เมื่อปริมาณก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้นเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม จะทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งต่อไปนี้ คือ

1. ผลของก๊าซโอโซนต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ก๊าซโอโซนทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อของตา จมูก และระบบทางเดินหายใจ

แพตตี (Patty. 1963 : 917) ได้รวบรวมผลที่เกิดขึ้นเมื่อมนุษย์ได้รับก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตาราง 1

ตาราง 1 ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมนุษย์ได้รับก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

จากฉบับวันที่ ๑๑๐๐๐ ของ ๑๖๓๐๐๐

ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (ppm)	ผลที่เกิดขึ้น
0.01 - 0.015	เริ่มไถ่กลืนก๊าซโอโซน
0.04	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยังไม่เป็นอันตราย
0.10	เนื้อเยื่อคอ จมูก มีอาการระคายเคือง
0.5 - 1.0	หายใจไม่สะดวก ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลง
1 - 10	ปวดศีรษะ ระบบทางเดินหายใจมีการระคายเคืองอย่างมาก
15 - 20	เสียชีวิตภายใน 2 ชั่วโมง
มากกว่า 1700	เสียชีวิตภายใน 2 - 3 นาที

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่า ความเป็นพิษของก๊าซโอโซนมีมากแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในอากาศ เช่นที่ระดับความเข้มข้น 0.10 ppm ก็สามารถทำให้เนื้อเยื่อของคอ จมูก มีอาการระคายเคืองได้ และที่ระดับความเข้มข้น 15 - 20 ppm ก็สามารถทำให้เสียชีวิตได้ภายในเวลาเพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น

จากรายงานของสต็อกคิงเกอร์และคนอื่นๆ (Stokinger and others. 1957 : 514) กล่าวว่า ถ้าให้สัตว์ทดลองได้รับก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 1 ppm เป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เนื้อเยื่อของหลอดลมเกิดการอักเสบอย่างรุนแรง ทำให้หายใจไม่สะดวก

จากการทดลองของ เจฟเฟ (Jaffe. 1967 : 1273) พบว่า ถ้าหายใจเอาก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 0.20 - 0.50 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะทำให้ประสาทเสื่อมลง คือไม่สามารถรับกลิ่นและรสชาติได้

2. ผลของก๊าซโอโซนต่อพืช ก๊าซโอโซนทำลายส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะใบ เมื่อก๊าซโอโซนเข้าไปทางปากใบ จะทำลายพาลิเสด เซลล์ (palisade cell) ทำให้เซลล์ขาดน้ำและเกิดอาการที่เรียกว่า จุดตายบนใบไม้ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดบริเวณผิวใบด้านบน จะมีสีซีดจางเป็นจุด ๆ หรือเป็นบริเวณกว้าง ใบของพืชบางชนิดอาจกลายเป็นสีน้ำตาลแดงและมักร่วงก่อนกำหนด นอกจากนี้ยังพบว่าก๊าซโอโซนชักขวางปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืช พืชชนิดใดที่ให้น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้อย จะได้รับความเสียหายมากกว่าพืชที่ให้น้ำตาลกลูโคสมาก เพราะก๊าซโอโซนสามารถออกซิไดส์ (oxidize) น้ำตาลกลูโคสได้ พืชที่มักถูกก๊าซโอโซนทำอันตรายได้ง่าย คือ ยาสูบ มันฝรั่ง ถั่ว สนขาว ข้าวโพด มะเขือเทศ เป็นต้น

ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่สามารถทำอันตรายแก่พืชได้ คือ 0.02 ppm ในเวลา 4 - 6 ชั่วโมง หรือ 0.05 ppm ในเวลา 1 - 2 ชั่วโมง (Stern. 1968 : 416)

3. ผลของก๊าซโอโซนต่อวัสดุต่าง ๆ ก๊าซโอโซนทำร้ายยางพารา บิวตะไคอื่น - สไตรีน (butadiene-styrene) บุนา - เอ็น (buna-N) เกิดการแตกเปราะ และเสียความยืดหยุ่น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับยาง จะทำให้พันธะคู่ (double bond)

ของโมเลกุลของยางเปิดออก นอกจากนั้นก๊าซโอโซนยังทำให้สีของวัตถุซีดจางลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) อีกด้วย

จะเห็นว่า ก๊าซโอโซนมีพิษทั้งต่อพืชและสัตว์ รวมทั้งสิ่งแวดลอมอื่น ๆ ด้วย และนับวันปริมาณก๊าซโอโซนก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นศูนย์กลางการค้า การขนส่ง อุตสาหกรรม และอื่น ๆ อีกมากมาย ประชากรที่มีหนาแน่นเกือบ 5 ล้านคน และนับวันจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเป็นเช่นนี้การคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะทางรถยนต์ก็เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เพราะเป็นท้องถื่นของการของประชาชนทุกระดับอาชีพ เพื่อใช้โดยสารไปประกอบธุรกิจ จากการสำรวจสถิติจำนวนรถยนต์ในเขตกรุงเทพมหานคร ของกองทะเบียนกรมตำรวจ ในปี พ.ศ. 2520 พบว่ามีจำนวนรถยนต์มากกว่า 4 แสนคัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2502 ถึง 68 % (รววิทย์ เลื่อนาค 2521 : 3) และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นถึงปีละ 2 หมื่นคัน (บุษบา คุณาศิริรินทร์ และคนอื่น ๆ 2520 : 1) แต่ความยาวของถนนมิได้เพิ่มขึ้นมากนัก ก๊าซพิษในอากาศจะต้องเพิ่มมากขึ้นอย่างแน่นอน ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะต้องศึกษาว่าปริมาณก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์กับปริมาณโอเลียงจากรถยนต์ และสาเหตุจากธรรมชาติ คือพลังงานแสงอาทิตย์ มากน้อยเพียงใด แต่การวิจัยที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ดังกล่าวยังมีน้อยมาก โดยเฉพาะในประเทศไทย ยังไม่มีผู้ใดทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้เลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งอาจจะเป็นวิธีทางหนึ่งที่จะทำให้สามารถหามาตรการการแก้ไขสาเหตุและศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไปได้ในอนาคต

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ
2. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรและบริเวณที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร

4. เพื่อศึกษาเทคนิควิธีการเก็บอากาศ และเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีของก๊าซโอโซนในอากาศ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้คือ

1. เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีต่อการเกิดก๊าซโอโซนในอากาศ ซึ่งจะเป็ข้อมูลในการกำหนดปริมาณการจราจร ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กันในแต่ละวัน และทำให้สามารถควบคุมปริมาณก๊าซโอโซนมิให้มากเกินไปจนถึงระดับความเข้มข้นที่อาจเป็นอันตรายได้
2. เพื่อให้ทราบถึงปริมาณก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ในสถานที่ต่าง ๆ กันว่ามีมากน้อยเพียงใด จะเป็นอันตรายหรือไม่ เพื่อพิจารณาหาทางแก้ไขต่อไป
3. เพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งที่จะช่วยเสนอแนะ เกี่ยวกับการสร้างพิภคมาตรฐานคุณภาพอากาศแกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น โครงการสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในประเทศไทย
4. เป็นการศึกษาเทคนิควิธีการเก็บอากาศ และเทคนิควิธีการวิเคราะห์ทางเคมีของก๊าซโอโซนซึ่งอาจนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการเรียนการสอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับอากาศ เป็นพิเศษในระดับอุดมศึกษาได้

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า คือตัวอย่างอากาศในบริเวณริมถนน 16 สาย และบริเวณที่พักอาศัยที่ไม่มีการจราจร ในเขตกรุงเทพมหานคร ระดับความสูงของการเก็บตัวอย่าง ถือตามระดับความสูงเฉลี่ยของคนไทย คือ $5 - 5\frac{1}{2}$ ฟุต จากพื้นดิน
2. ศึกษาเทคนิควิธีการเก็บอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศ (air sampler) และเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งเป็น

3.1 ตัวแปรอิสระ (independent variable) แบ่งเป็น 2 ตัวแปร คือ ปริมาณการจราจร และ ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. อากาศเป็นพิษ (Air pollution) หมายถึง สภาพของบรรยากาศที่มีสิ่งเจือปนตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ในปริมาณและระยะเวลาที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ ทรัพย์สินของมนุษย์ สัตว์ และพืชได้

2. สิ่งเจือปนในอากาศ (Contaminants) หมายถึง ก๊าซชนิดต่าง ๆ ของเหลว ควัน และฝุ่นละอองในอากาศ

3. ก๊าซโอโซน (Ozone, O_3) หมายถึง โมเลกุลของก๊าซที่ประกอบด้วย อะตอมของออกซิเจนสามอะตอม

4. ปริมาณการจราจร (Traffic volume) หมายถึง จำนวนรถยนต์ที่วิ่งบนช่องถนนที่ใกล้จุดที่ทำการเก็บอากาศมากที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งหนึ่ง ๆ

5. ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy intensities) หมายถึง พลังงานของแสงอาทิตย์ทั้งหมด คือพลังงานทางตรง (direct sunlight) และ พลังงานที่กระจัดกระจาย (scattered sunlight) ซึ่งเรียกว่า โกลบอล ฟลักซ์ (global flux) มีหน่วยเป็นแคลอรี ต่อตารางเซนติเมตร ต่อนาที

6. ppm (part per million) หมายถึง ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ โดยนับเป็นส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตร

7. pphm (part per hundred million) หมายถึง ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ โดยนับเป็นส่วนต่อร้อยล้านส่วนโดยปริมาตร

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. ปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซไอโซนในอากาศ มีความสัมพันธ์กัน
2. ปริมาณความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซไอโซนในอากาศมีความสัมพันธ์กัน

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคนควา

การวิจัยในทางประเทศ

การศึกษานิสัยของกาชไอ โชนที่มีต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย

มิทเลอร์ เฮอริค และ เกย์เนอร์ (Mittler, Herrick and Gaynor. 1956 : 301) ได้ทดลองให้หนูได้รับกาชไอ โชนที่มีความเข้มข้น 6 ppm เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า สามารถทำให้หนูตายได้

กริสวอลด์ เชมเบอร์ และ โมสท์เลย์ (Griswold, Chamber and Mostley. 1957 : 108) ได้ศึกษาพบว่า ถ้าหนูได้รับกาชไอ โชนที่มีความเข้มข้น 5 ppm เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นให้ได้รับกาชไอ โชนที่มีความเข้มข้น 2 ppm เป็นเวลาอีก 90 นาที จะทำให้เกิดอาการปาก และลำคอแห้ง เบื่ออาหาร เกิดอาการไออย่างรุนแรง และประสิทธิภาพของระบบหายใจลดลง

แชลเลน ฮิคคิช และ เบคฟอร์ด (Challen, Hickish and Bedford. 1958 : 276) รายงานว่า ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในโรงงานที่มีการเชื่อมโลหะ ซึ่งมีกาชไอ โชนในระดัความเข้มข้น 0.8 - 1.7 ppm จะทำให้ระบบการหายใจผิดปกติ และเมื่อกำลังจะแก้ไขให้ความเข้มข้นของกาชไอ โชนลดลงเหลือ 0.2 ppm ก็ยังไม่อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

สโตคิงเกอร์ (Stokinger. 1962 : 143) รายงานว่า ถ้าหนูทดลองได้รับกาชไอ โชนที่มีความเข้มข้น 1 ppm เป็นเวลา 15 เดือนติดต่อกัน พบว่าทำให้หนูเป็นโรคมะเร็งในปอดได้ถึง 85 % ในขณะที่หนูกลุ่มควบคุมซึ่งอยู่ในสภาพปกติเป็นมะเร็งในปอดเพียง 38 %

ชีล และคนอื่น ๆ (Scheel and others. 1967 : 67) รายงานว่า เมื่อกาชไอ โชนทำปฏิกิริยากับโปรตีนในร่างกาย จะทำลายสภาพธรรมชาติ (denaturation) ของโปรตีน เช่น ความสามารถในการละลายน้ำลดลง สเปกตรัมและการยอมให้แสงอัลตราไวโอเลตผ่านสารละลายของโปรตีนเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้กาชไอ โชนยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ของ ดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid, DNA) และ อาร์เอ็นเอ (Ribonucleic acid, RNA) ในเซลล์ของปอดคือกักตุน

เจฟเฟว (Jaffe. 1967 : 1273) รายงานว่า ถ้ามนุษย์ได้รับก๊าซไอโซนที่ความเข้มข้น 0.6 - 0.8 ppm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้ปอดทำงานผิดปกติ หายใจไม่สะดวก เกิดอาการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ และมีอาการไออย่างรุนแรงในเวลาต่อมา และถ้าได้รับก๊าซไอโซนที่ความเข้มข้น 0.3 - 1.7 ppm เป็นเวลา 14 วัน ติดต่อกัน จะทำให้วัณโรคที่ระยะเกือบตลอดเวลา แฉกหน้าอก หายใจไม่สะดวก

เจเกียร์ (Jegier. 1976 : 329 - 334) ได้ศึกษาผลของก๊าซไอโซนที่มีต่อซีรัม (serum) ของกระต่ายนิวซีแลนด์ตัวเมีย จำนวน 12 ตัว โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 6 ตัว กระต่ายกลุ่มแรกให้ได้รับก๊าซไอโซนที่ความเข้มข้น 0.4 ppm ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มควบคุมให้ได้รับอากาศบริสุทธิ์ ทดลองเป็นเวลานาน 7 เดือน พบว่าในวันที่ 105 ปริมาณอัลบูมิน (albumin) ของหนูกลุ่มแรกลดลง แต่ปริมาณอัลฟาโกลบูลิน (α - globulin) และ แกมมาโกลบูลิน (γ - globulin) เพิ่มขึ้น จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปริมาณอัลบูมินลดลง 16 % ปริมาณอัลฟาโกลบูลินเพิ่มขึ้นถึง 78 % และปริมาณแกมมาโกลบูลินเพิ่มขึ้น 46 % การเพิ่มขึ้นและลดลงของโปรตีนในซีรัม มีค่านัยสำคัญทางสถิติถึง 0.001

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซไอโซนกับสิ่งแวดล้อม

แคร็บทรี และ เคมพ์ (Crabtree and Kemp. 1946 : 278) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไอโซนเป็นประจำวัน ในปี ค.ศ. 1944 ด้วยวิธีไอโอดีน (iodine method) ณ บริเวณภูเขาเมอร์เรย์ (Murray Hill) ในมลรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกา พบว่า ก๊าซไอโซนมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 - 6.5 pphm วันที่ลมสงบ ปริมาณก๊าซไอโซนจะต่ำ วันที่ลมแรงปริมาณก๊าซไอโซนจะสูง และถ้ามีลมตะวันตกพัดมามาจากบริเวณที่เป็นย่านอุตสาหกรรมมายังจุดที่ทำการวิเคราะห์ จะทำให้ปริมาณก๊าซไอโซนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณก๊าซไอโซนในแต่ละวันมีความแตกต่างกันมาก

บาร์เทล และ เทมเพิล (Bartel and Temple. 1952 : 857) ได้วิเคราะห์

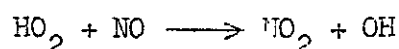
หาปริมาณก๊าซโอโซนด้วยวิธีไอโอไดน์ ที่เมืองคัทรอยด์ สหรัฐอเมริกา ในเดือนพฤษภาคม และ มิถุนายน ค.ศ. 1951 พบว่า มีความเข้มข้นโดยเฉลี่ย 2.6 pphm และไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณมากนัก แตกต่างไปจากบริเวณภูเขาเมอร์โรย์ ซึ่งมีกระแสลมเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

คอเออร์ (Cauer. 1952 : 1126 - 1138) รายงานว่า ปริมาณก๊าซโอโซน ในบริเวณต่าง ๆ ทั่วทวีปยุโรป มีระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.4 - 2.8 pphm.

ลิทแมน และ เบนโนเลียล (Littman and Benoliel. 1953 : 1480) แห่งสถาบันวิจัยสแตนฟอร์ด ได้บันทึกความเข้มข้นของก๊าซโอโซนด้วยเครื่องบันทึกอัตโนมัติ ในปี ค.ศ. 1951 พบว่า ปริมาณก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์กับปริมาณหมอกและควันในบรรยากาศ ในวันที่มีหมอกและควันมาก ปริมาณก๊าซโอโซนจะสูง วันที่หมอกและควันน้อยหรือไม่มีเลย ปริมาณก๊าซโอโซนจะต่ำ และจากกราฟที่บันทึกได้ พบว่าก๊าซโอโซนจะเริ่มมีปรากฏตั้งแต่เวลา ประมาณ 8.00 น. คือหลังจากดวงอาทิตย์ขึ้น 2 - 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณก๊าซโอโซน จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเวลาประมาณ 12.00 น. จะมีปริมาณก๊าซโอโซนสูงสุด จากนั้นจะ ค่อย ๆ ลดลงในตอนบ่ายจนถึงเวลากลางคืนจะไม่มีก๊าซโอโซนอยู่เลย

เฟรนเกล (Stern. 1968 : 160 citing Frenkel. 1956 : 296 - 299) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ การเผาไหม้ต่าง ๆ กับปริมาณ ก๊าซโอโซนในอากาศ ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา พบว่า บริเวณที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมหรือมีรถยนต์ และการเผาไหม้สูง จะมีปริมาณก๊าซโอโซน คอนเซงสูงกวาบริเวณอื่น และพบวาก๊าซโอโซนจะมีมากในระหว่างเวลา 12.00 - 14.00 น.

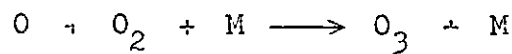
ครัทเซน (Crutzen. 1973 : unpagged) ได้ศึกษาพบว่า สาเหตุของการเกิด ก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (troposphere) นั้น เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (methane oxidation) ซึ่งจะใหไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์ แรดิคัล (hydroperoxyl radical, HO_2) ไปทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ไดคอกไซด์ในโทรโปสเฟียร์ (NO) จึงสมการ



ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ประมาณ 90 % เมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะแตกตัวให้ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และอะตอมของออกซิเจน ดังสมการ



อะตอมของออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะเข้ารวมกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ได้ก๊าซโอโซน ดังสมการ



เมื่อ M เป็นโมเลกุลของผงฝุ่น หรือก๊าซอื่นที่ทำหน้าที่รับเอาพลังงานที่ปล่อยมาจากปฏิกิริยาการรวมตัวของอะตอมของออกซิเจนกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน (Chanlett. 1973 : 29)

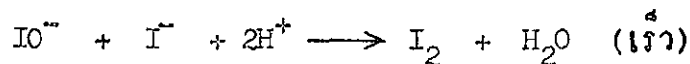
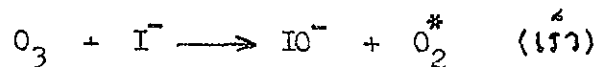
จากการคำนวณของวอลเคอร์ (Chameides and Stedman. 1976 : 151 citing Walker. 1973 : 8751 - 8760) พบว่า ปฏิกิริยาเคมีของออกซิเจน ซึ่งเกิดขึ้นในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ ในระดับต่ำนั้น จะผลิตก๊าซโอโซนได้ 5×10^6 โมเลกุลต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

กรีเกล แพร์โร และเว็บบเอร์ (Greadel, Farrow and Weber, 1977 : 690) รายงานว่า ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ ในเมืองฮักสัน มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ จะมีปริมาณมากกว่าในบริเวณนอกเมือง และในวันทำงานซึ่งมีการจราจรมาก ปริมาณก๊าซโอโซนจะสูง ส่วนในวันอาทิตย์ซึ่งเป็นวันหยุดงาน ปริมาณก๊าซโอโซนจะลดลง

การศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศ

ซอลท์แมน (Saltzman. 1959 : 1914 - 1920) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ โดยใช้วิธีไอโอดิเมตริก (iodometric method) คือให้ก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับสารประกอบของไอโอดีนในสารละลายบัฟเฟอร์ (buffer solution)

แล้ววัดปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณก๊าซไอโอดีน ซอลต์แมนได้ใช้โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) หลาย ๆ อัตราส่วนในสารละลายบัฟเฟอร์หลายชนิด จากการทดสอบพบว่า สารละลายที่เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไอโอดีนได้ดีที่สุดคือสารละลายที่เป็นกลางของ 1 % KI ใน 0.1 M. KH_2PO_4 และ 0.1 M. Na_2HPO_4 ซึ่งมี pH 6.80 เพราะจะทำให้ไอโอดีนที่มีความเสถียรนานที่สุดเป็นเวลาประมาณ 45 นาที หลังจากเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้การวัดสีของไอโอดีนมีความผิดพลาดน้อย และก๊าซไอโอดีน 1 โมลจะทำให้ไอโอดีนออกมา 1 โมล เช่นกัน ทำให้ง่ายต่อการคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโอดีน วิธีการนี้ใช้หาปริมาณก๊าซไอโอดีนที่มีปริมาณน้อย ๆ ได้ กลไกของปฏิกิริยาที่เขาสันนิษฐานคือ



ซอลต์แมนรายงานว่า ในสารละลายอัลคาไลน์ (alkaline solution) ปฏิกิริยาที่ 2 จะไม่เกิดขึ้น แต่ในสารละลายที่เป็นกลางหรือเป็นกรด ปฏิกิริยาจะเกิดได้

รีเจนเนอร์ (Regener. 1961 : 3975 - 3977) ได้ศึกษาและเสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไอโอดีน โดยวิธีที่เรียกว่า ก๊าซ - โซลิด เคมีลูมิเนสเซนซ์ (gas-solid chemiluminescent) คือให้ก๊าซไอโอดีนทำปฏิกิริยากับโรดามีน - บี (Rhodamine-B) ในซิลิกา เจล (silica gel) ซึ่งจะปลดปล่อยแสงออกมา วัดความเข้มของแสงที่ปลดปล่อยออกมาด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) ความเข้มของแสงที่วัดได้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณก๊าซไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับโรดามีน - บี รีเจนเนอร์ใช้วิธีการนี้ในการวัดปริมาณก๊าซไอโอดีนในบรรยากาศเบื้องต้น โดยผูกเครื่องวัดติดไปกับบอลูน พบว่าวิธีการนี้มีความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์สูงมาก

ต่อมาได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ที่คล้ายกัน เรียกว่า ก๊าซ - เฟส เคมีลูมิเนสเซนซ์ (gas-phase chemiluminescent) คือให้ก๊าซไอโอดีนทำปฏิกิริยากับเอทิลีน (ethylene) (Leh. 1976 : 9) แล้ววัดแสงที่ปลดปล่อยออกมาด้วยความยาวคลื่น 435 นาโนเมตร (nanometer, nm) วิธีการนี้นิยมใช้ในเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอโอดีนแบบสำเร็จรูป

เคลื่อนย้ายไค้สะดวก สามารถวิเคราะห์ก๊าซโอโซนไค้ละเอียดถึง 0.01 pphm

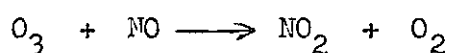
ฮอเซอร์ และ บรัคเลย์ (Hauser and Bradley, 1966 : 1529 - 1532) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ โดยให้ 1, 2 - ไค้ - (4 - ไพริล) เอทิลีน ในกรดเกลือ อซิติก ซึ่งเป็นสารละลายที่ช้ดูดซับก๊าซโอโซน เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนจะได้ ไพริล - 4 - อัลดีไฮด์ นำไปศึกษาด้วย สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าการวิเคราะห์แบบนี้มีข้อดีกว่าวิธีของซอลท์แมน คือ ไม่เป็ปฏิกิริยาแทรกซ้อน โดยตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์อื่น ๆ ที่มีในโอโซน นอกจากนั้น ไพริล - 4 - อัลดีไฮด์ ยังมีความเสถียรสูง จึงทำให้สามารถวิเคราะห์หลังจากเก็บอากาศเป็นเวลานานไค้ แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถไค้วิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นต่ำไค้

บอยด์ วิลลิส และ ซัยร์ (Boyd, Willis and Cyr, 1970 : 670 - 672) ได้เสนอว่า เมื่อก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ช้ดูดซับก๊าซโอโซน แล้วไค้ไอโอดีนออกมา นั้น สัดส่วนจำนวนโมเลกุลของไอโอดีนต่อจำนวนโมเลกุลของโอโซนขึ้นกับค่า pH ของสารละลายที่ช้ดูดซับก๊าซโอโซน ที่ pH 7 เมื่อก๊าซโอโซน 1 โมเลกุล ทำปฏิกิริยากับสารละลายของโพแทสเซียม ไอโอไดค์ ในโพแทสเซียม ไค้ไฮโครเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) และไค้โซเดียม ไฮโครเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) จะได้ไอโอดีนออกมา 1.53 ± 0.1 โมเลกุล เขาอธิบายว่า ไอโอดีนส่วนหนึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของไฮโครเปอร์ออกไซด์ อีออน ($\text{hydro peroxy ion, HO}_2^-$) ซึ่งเป็นอีออนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซโอโซนกับสารละลายที่ช้ดูดซับก๊าซโอโซน แทนที่ไอโอดีนจะเกิดจากก๊าซโอโซนแต่เพียงอย่างเดียว ข้อสรุปนี้แตกต่างไปจากที่ซอลท์แมนเสนอไว้ในปี ค.ศ. 1959

เดมัวร์ และ พาตาพอฟ (Demoore and Patapoff, 1976 : 897 - 899) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซน โดยไค้ อุลตราไวโอเลต โฟโตมิเตอร์ (ultraviolet photometer) และ ก๊าซ - เฟส ไค้เตรชัน (gas-phase titration) การวิเคราะห์โดยไค้ อุลตราไวโอเลต โฟโตมิเตอร์นั้น ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องนี้มี 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดแสงอุลตราไวโอเลต (mercury lamp source) เซลล์ที่ช้ดูดซับแสง (absorption cell) และเครื่องบันทึกปริมาณแสง (light detector)

วิธีการวิเคราะห์หาคือให้แสงอุลตราไวโอเลต ซึ่งมีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ผ่านโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ผ่านเลนส์ไปสู่หลอดคูมัมแสง ซึ่งมีท่อเทฟลอน (teflon) ขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว คูคเอาทซ์ไอโชนเข้าไปควยอัตราเร็ว 5-7 ลิตรต่อนาที จากนั้นแสงจะผ่านไปยังหลอดโฟโตมัลติพลีเออร์ แล้วเข้าสู่อิเล็กโตรมิเตอร์ (electrometer) เพื่อคำนวณหาอัตราการคูมัมแสงอุลตราไวโอเลตของก๊าซไอโชน ก็สามารถหาปริมาณก๊าซไอโชนได้

การวิเคราะห์ก๊าซไอโชนแบบก๊าซ - เฟส ไคเตรชัน ทำได้โดยให้ก๊าซไอโชนที่ทราบปริมาตรแล้ว ทำปฏิกิริยากับก๊าซผสมของไนโตรเจนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ทราบความเข้มข้นและปริมาตร จากนั้นคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโชนจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซทั้ง 3 ชนิด ดังสมการ



$$\Delta \text{O}_3 = \Delta \text{NO}$$

$$(\text{O}_3^i - \text{O}_3^f) = (\text{NO}^i - \text{NO}^f)$$

เมื่อ ΔO_3 และ ΔNO เป็นความเข้มข้นที่เปลี่ยนไปของก๊าซไอโชนและก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ตามลำดับ

O_3^i และ NO^i เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซ

ไอโชน และก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ตามลำดับ

O_3^f และ NO^f เป็นความเข้มข้นสุดท้ายของก๊าซไอโชน

และก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ตามลำดับ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี พบว่า การวิเคราะห์แบบใช้อุลตราไวโอเลต โฟโตมิเตอร์ มีความเที่ยงตรงสูงกว่าแบบ ก๊าซ - เฟส ไคเตรชัน แบบ ก๊าซ - เฟส ไคเตรชัน นั้นไม่เหมาะที่จะใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับอากาศเป็นพิษ เนื่องจากมีความผิดพลาดถึง 9 % และการบำรุงรักษาเครื่องมือทำได้ยากกว่า อย่างไรก็ตาม

วิธีการวิเคราะห์ทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีไอโอติน แต่มีข้อเสียตรงที่เครื่องมือวิเคราะห์มีราคาแพงมาก

เฟลมม (Flamm, 1977 : 978 - 983) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ก๊าซไอโซนที่ความเข้มข้นต่ำ โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ของโบรอสซึมไอโอติก ในกรดบอริก (boric acid) เป็นตัวดูดซับก๊าซไอโซน เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะได้อิโอดีนออกมา วัดความเข้มของสีของไอโอไดนด้วยโฟโตมิเตอร์ (photometer) ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโซนได้ การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีความเที่ยงตรงใกล้เคียงกับการใช้ชุดคร่าวไวโอเลต โฟโตมิเตอร์ - ใช้หาปริมาณก๊าซไอโซนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 - 3.5 ppm

การวิจัยในประเทศไทย

เพริศพรหม คณาธารณา และคนอื่น ๆ (เพริศพรหม คณาธารณา และคนอื่น ๆ 2520 : 1 - 6) ได้วิเคราะห์หาปริมาณสารที่เป็นพิษในอากาศ โดยเก็บตัวอย่างในบริเวณใกล้เคียง และนอกโรงงานอุตสาหกรรมในเขตอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เครื่องมือที่ใช้เก็บอากาศคือ เครื่องดูดอากาศแบบใช้มือ (hand pump) ท่อกับหลอดก๊าซจีเทคเตอร์ (gas detector tube) ซึ่งภายในมีสารที่เกิดปฏิกิริยาเฉพาะกับก๊าซหนึ่ง ๆ ในอากาศ ผลการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไอโซนแสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณก๊าซไอโซนในเขตอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

สถานที่ที่เก็บอากาศ	วันและเวลาที่เก็บอากาศ	ปริมาณก๊าซไอโซนที่พบ (ppm)
1. ซอยสัญญา ถนนปู่เจ้าสมิงพราย	30 เมษายน 2520 เวลา 10.00 - 12.00 น. และ เวลา 13.00 - 15.00 น.	ไม่พบ - 0.02

ตาราง 2 (ต่อ)

สถานที่เก็บอากาศ	วันและเวลาที่เก็บอากาศ	ปริมาณก๊าซโอโซนที่พบ (ppm)
	1 พฤษภาคม 2520 เวลา 10.00 – 12.00 น. และ เวลา 13.00 – 15.00 น.	
2. ขอยืมการหาถ่านไฟฉาย หมู่ที่ 17 ถนนปู่เจ้าสมิง พราย	11 พฤษภาคม 2520 เวลา 10.00 – 12.00 น. และ เวลา 13.00 – 15.00 น.	ไม่พบ – 0.02
3. ขอยืมวัดสำโรงเหนือ ถนนปู่เจ้าสมิงพราย	12 พฤษภาคม 2520 เวลา 10.00 – 12.00 น. และ เวลา 13.00 – 15.00 น.	0.02 – 0.20
4. ขอยืมโรงงานอุตสาหกรรม จักรยาน หมู่ที่ 22 ถนนปู่เจ้าสมิงพราย	14 พฤษภาคม 2520 เวลา 10.00 – 12.00 น. และ เวลา 13.00 – 15.00 น.	ไม่พบ – 0.02
5. ขอยืมแสงตะวัน หมู่ที่ 22 ถนนปู่เจ้าสมิงพราย	15 พฤษภาคม 2520 เวลา 10.00 – 12.00 น. และ เวลา 13.00 – 15.00 น.	ไม่พบ – 0.06
	25 มิถุนายน 2520 เวลา 10.00 – 12.00 น. และ เวลา 13.00 – 15.00 น.	

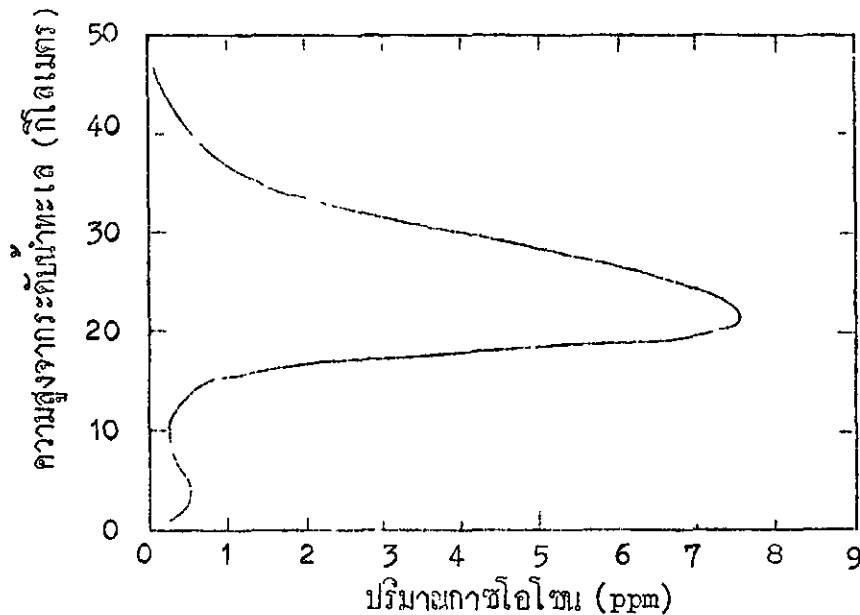
ตาราง 2 (ต่อ)

สถานที่เก็บอากาศ	วันและเวลาที่เก็บอากาศ	ปริมาณก๊าซโอโซนที่พบ (ppm)
6. ขอยโรงงานกระดาษไทย และไซโล หมู่ที่ 6 ถนนปู่เจ้าสมิง พราย	13 สิงหาคม 2520 เวลา 10.00 - 12.00 น. และ เวลา 13.00 - 15.00 น. 12 มกราคม 2520 เวลา 13.00 - 15.00 น.	ไม่พบ - 0.03

ทฤษฎี

ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่เมื่อทำให้เป็นไอโอโซนเหลวจะมีสีน้ำเงิน มีกลิ่นคล้าย
ก๊าซคลอรีน น้ำหนักโมเลกุล 48 หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจนสามอะตอม
จุดหลอมเหลว -192.1°C . จุดเดือด -112°C . ละลายน้ำได้ 49 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ต่อน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25°C . ก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้น 1 ppm
จะมีน้ำหนัก 2 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C . และความดัน 760 มม.
(Patty. 1963 : 916) ก๊าซคนพบโดย คริสเตียน เฟรเดริช เซินไบน์ (Christian
Friedrich Schonbien) ในปี ค.ศ. 1840 (Layton, Spach and Pierce. 1970 :
736)

ในบรรยากาศปกติที่ระดับน้ำทะเล จะมีปริมาณก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้นตั้งแต่
0.01 - 0.03 ppm (Stern. 1968 : 43) ในระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นจากระดับน้ำทะเล
ปริมาณก๊าซโอโซนจะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ (Stanford Research Institute. 1954 :
37) ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 การกระจายแนวตั้ง (vertical distribution)
ของปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศ

จากภาพประกอบ 1 จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซโอโซนจะเพิ่มขึ้นในบรรยากาศที่สูงขึ้นไปจากระดับน้ำทะเล ปริมาณก๊าซโอโซนจะมีมากที่สุดที่ระดับความสูงประมาณ 20 กิโลเมตร จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง ในระดับความสูง 13 – 32 กิโลเมตร จะมีปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศมาก เรียกว่าชั้นโอโซนสเฟียร์ (ozonosphere)

จากการทดลองวัดปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศเบื้องต้น พบว่าในระดับความสูง 6 กิโลเมตร จะมีปริมาณก๊าซโอโซน ประมาณ 0.04 ppm และในระดับความสูง 25 – 30 กิโลเมตร จะมีปริมาณก๊าซโอโซนถึง 10 ppm (Chanlett. 1973 : 29)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก พบว่า ในบริเวณใกล้ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ ปริมาณก๊าซโอโซนจะสูง และค่อย ๆ ลดปริมาณลง จนถึงบริเวณเส้นศูนย์สูตร จะมีปริมาณก๊าซโอโซนต่ำสุด (Stern. 1968 : 315)

ในเวลาเช้าและบ่าย ปริมาณก๊าซโอโซนจะต่ำ ในเวลากลางวันปริมาณก๊าซโอโซน

จะสูง ส่วนในเวลากลางวัน จะมีก๊าซโอโซนน้อยมาก คือไม่เกิน 0.05 ppm ในวันที่มีหมอก (fog) ผสมกับควัน (smoke) ซึ่งเรียกว่าหมอก (smog) มาก ปริมาณก๊าซโอโซนจะเพิ่มขึ้นกว่าปกติ เช่นในปี ค.ศ. 1956 ที่เมือง ลอส แอนเจลีส สหรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ในวันที่มีหมอกมากที่สุด พบว่ามีปริมาณก๊าซโอโซนสูงถึง 0.99 ppm (Layton, Spach and Pierce. 1970 : 738)

จากการศึกษาปริมาณก๊าซโอโซนในฤดูกาลต่าง ๆ พบว่า ในฤดูใบไม้ผลิ ปริมาณก๊าซโอโซนมีแนวโน้มสูงกว่าในฤดูใบไม้ร่วง ทั้งนี้เนื่องจากใบของพืชเป็นส่วนที่เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นก๊าซออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง และก๊าซออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ก๊าซโอโซน ดังนั้นเมื่อพืชมีใบน้อย ปริมาณก๊าซโอโซนก็จะน้อยด้วย

ระดับความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซโอโซนที่จะมีในอากาศได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ คือ 0.08 ppm หรือ 160 ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง ค่าความเข้มข้นนี้กำหนดขึ้นในสหรัฐอเมริกา เรียกว่า National Air Quality Criteria and National Air Quality Standards ในปี ค.ศ. 1971 (Chanlett. 1973. 270)

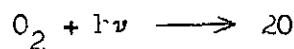
แหล่งกำเนิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ

ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ สันนิษฐานว่าเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

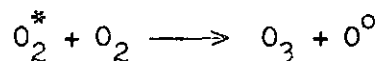
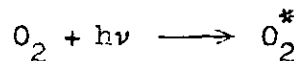
1. ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล เป็นปฏิกิริยาที่โมเลกุลของสารดูดเอาพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ แล้วเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซโอโซนออกมา ปฏิกิริยานี้เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซโอโซนได้มากที่สุด โดยเฉพาะในบรรยากาศชั้นโอโซนสเฟียร์จะมีปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นมาก ซึ่งจากการศึกษาควยควาวเหี้ยมก็พบว่า อุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศชั้นนี้สูงกว่าพื้นผิวโลก ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซโอโซนดูดเอาพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ (Reihl. 1978 : 22)

ชาปแมน (Chapman) เป็นผู้เสนอกลไกปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลขึ้นเป็นคนแรก (Robinson. 1966 : 75) และต่อมาได้มีผู้ปรับปรุงให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลเกิดจากปฏิกิริยาของสารต่อไปนี้

1.1 ปฏิกิริยาของการออกซิเจน เกิดจากโมเลกุลของการออกซิเจนถูกเอาพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 242 นาโนเมตร แล้วให้อะตอมเดี่ยวของออกซิเจนซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับโมเลกุลของการออกซิเจนอย่างรวดเร็ว คือมีครึ่งชีวิต (half life) เพียง 10 ในล้านของวินาที โคกาสโอโซนกัสมการ



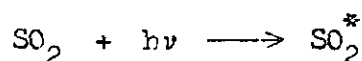
นีโคเลท (Robinson. 1966 : 75 citing Nicolet. 1961 : 254) ได้เสนอกลไกปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลของการออกซิเจนขึ้นอีกปฏิกิริยาหนึ่ง คือเมื่อการออกซิเจนถูกเอาพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร จะให้โมเลกุลของการออกซิเจนซึ่งอยู่ในสภาวะที่ถูกกระตุ้น (excited state) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของการออกซิเจนโคกาสโอโซน กัสมการ



เมื่อ O_2^* คือโมเลกุลของการออกซิเจนซึ่งอยู่ในสภาวะที่ถูกกระตุ้น

ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลของการออกซิเจนจะเกิดขึ้นเฉพาะในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) ซึ่งสูงจากพื้นโลกลงไปประมาณ 6 - 50 กิโลเมตรเท่านั้น กาสโอโซนที่เกิดขึ้นบางส่วนจะกระจายลงมายังพื้นผิวโลกได้

1.2 ปฏิกิริยาของการซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แบลคเชท (Blacet. 1952. 1339) เป็นข้อเสนอกลไกของปฏิกิริยานี้ขึ้น กัสมการ

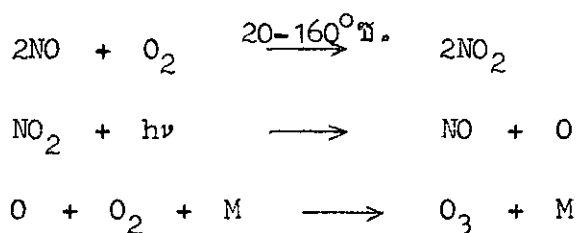


เมื่อ SO_2^* คือโมเลกุลของการซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ถูกกระตุ้น

แบลคเชทรายงานว่า ปฏิกิริยานี้เกิดได้น้อย เนื่องจากประสิทธิภาพของควันตัม (quantum efficiency) ต่ำ

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ การกำจัดขยะ ในบริเวณท้องถนนเกิดจากการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ของรถยนต์ ซึ่งจะมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ประมาณ 3.4 % ของก๊าซพิษทั้งหมด (กัญจน์ นาคามัค 2519 : 17) หรือคิดเป็นน้ำหนัก 17 ปอนด์ต่อการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทุก ๆ 1,000 แกลลอน อากาศแห้งที่ระดับน้ำทะเลจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 0.002 ppm

1.3 ปฏิกิริยาของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ แบลคเชท เป็นผู้เสนอกลไกของปฏิกิริยานี้ขึ้น ดังสมการ



เฮเกน - สมิท (Haagen - Smit) รายงานว่า ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลของก๊าซ ที่เป็นออกไซด์ของไนโตรเจน ทำให้เกิดก๊าซโอโซนขึ้นได้ ในบรรยากาศเหนือเมือง ลอส แองเจลิส และทำความเสียหายให้แก่สิ่งแวดล้อมอย่างหนัก (Hesketh. 1974 : 91)

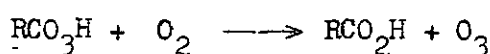
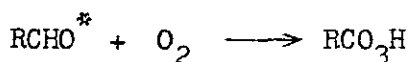
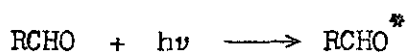
วาร์ค และ วอร์นเนอร์ (Wark and Warner. 1976 : 398) รายงานว่า ถ้าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความเข้มข้นประมาณ 1000 ppm ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จะเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ภายใน 2 - 3 วินาทีเท่านั้น แต่เนื่องจาก ในบรรยากาศปกติจะมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในระดับต่ำ ก๊าซโอโซนส่วนใหญ่จึงเกิดจากปฏิกิริยาของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งถูกพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 370 นาโนเมตร แยกตัวให้อะตอมของออกซิเจนซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยาเข้าร่วมกับก๊าซออกซิเจน ได้ออกก๊าซโอโซนเกิดขึ้น

เซinfeld (Seinfeld. 1975 : 164) รายงานว่า ก๊าซโอโซนจะเริ่ม

ปรากฏในบรรยากาศ เมื่อปีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มากกว่าก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ประมาณ 25 เท่า

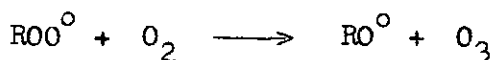
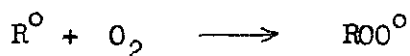
จากการศึกษาพบว่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ออกมาจากไอเสียของรถยนต์ประมาณ 50 % ของก๊าซพิษทั้งหมด (กัญจน์ นาคามิก 2519 : 17) และเมื่อวิเคราะห์ด้วยแมสสเปกโตรกราฟ (mass spectrograph) พบว่า เมื่อเดินเครื่องปกติจะมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.03 โมลเปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเร่งเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเป็น 0.065 โมลเปอร์เซ็นต์ (Stanford Research Institute. 1954 : 124)

1.4 ปฏิริยาของสารประกอบอัลดีไฮด์ (aldehydes, $RCHO$) ซึ่งได้จากการเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซเชื้อเพลิง

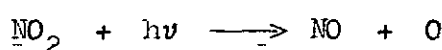


ปฏิริยานี้เกิดขึ้นจากอัลดีไฮด์ที่ถูกพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 330 - 350 นาโนเมตร

1.5 ปฏิริยาของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon)



o ในสมการแรกได้จากปฏิริยาของ



ปฏิริยาของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในช่วงเวลาเช้าถึงเที่ยง และอัตราการเกิดก๊าซโอโซนโดยปฏิริยานี้ค่อนข้างต่ำ (Wark and Warner. 1976 : 401)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากถยนต์นั้น 55 % มาจากท่อไอเสีย 25 % มาจากห้องเพลาลูกเบี้ยว และ 20 % มาจากการระเหยในคาร์บูเรเตอร์และถังเชื้อเพลิง

ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลของการออกซิเจนเกิดขึ้นในบรรยากาศชั้นบน ส่วนปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สารประกอบอัลคิลไฮด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเกิดขึ้นในบรรยากาศบริเวณผิวโลก

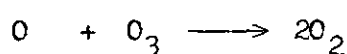
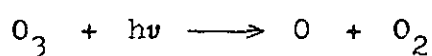
2. ปรากฏไฟฟ้าในธรรมชาติ คอเออร์ (Cauer. 1952 : 1126 - 1138) รายงานว่า ปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่เกิดฟ้าผ่าจะมากกว่าในบรรยากาศปกติถึง 3 เท่า และแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 5 แสนโวลต์ ก็สามารถทำให้เกิดก๊าซโอโซนได้ คอเออร์ พบว่า กำลังไฟฟ้า 4.7×10^{-16} วัตต์ - ชั่วโมง หรือพลังงาน 4.1×10^{13} คาลอรี จะผลิตก๊าซโอโซนได้ 3×10^{-14} ppm

3. ปรากฏไฟฟ้าที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เมลเลอร์ (Mellor. 1922 : 886) ค้นพบว่า เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน (ozonizer) สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ 70 กรัม เมื่อใช้พลังงาน 1 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง หรือเท่ากับ 39 กิโลคาลอรี ปรากฏไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบรรยากาศทั่วไป เกิดจากแปรงถ่าน (brush) ของมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องเอ็กซ์เรย์ เครื่องทำอากาศให้บริสุทธิ์ การเชื่อมโลหะ และจากหลอดรังสีอุลตราไวโอเลต

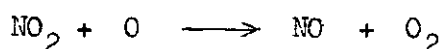
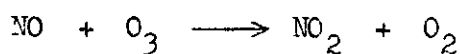
การทำลายก๊าซโอโซนในบรรยากาศ

1. แสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์นอกจากจะทำให้เกิดก๊าซโอโซนได้แล้ว ก็ยังสามารถทำลายก๊าซโอโซนได้ สมดุลย์ของการสร้างและการทำลาย อยู่ในระดับพื้นผิวโลก ประมาณ 25 กิโลเมตร (Thomas and others. 1974 : 23)

ปฏิกิริยาการทำลายก๊าซโอโซน คือ

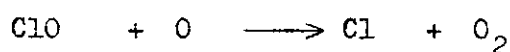
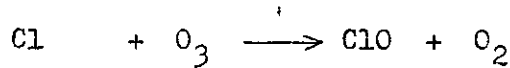
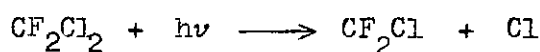


2. การไนโตรเจนมอนอกไซด์ซึ่งเกิดจากเครื่องบินที่ทำความเร็วเหนือเสียง จะทำลายก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสูง ดังสมการ



ระดับปริมาณที่มีผลทำให้ก๊าซโอโซนลดลงได้ โดยเพิ่มปริมาณก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์

3. ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) จากกระป๋องสเปรย์ของน้ำหอม ยาระงับกลิ่น ยาฆ่าแมลง จะทำลายก๊าซโอโซน ดังสมการ



สารพวกฟลูออโรคาร์บอน สามารถทำลายก๊าซโอโซนได้มากกว่าก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ถึง 6 เท่า และสารพวกนี้มีความเสถียรมาก ละลายน้ำยาก คาดว่าภายในระยะเวลา 25 ปี ถ้าอัตราการใช้อนุสารฟลูออโรคาร์บอนยังเท่ากับในปัจจุบัน ก๊าซโอโซนจะถูกทำลายถึง 12 % (วรวิฑูรี ศศิสกุลพร 2520 : 47 - 49)

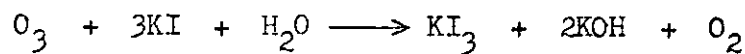
วิธีวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซน

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ มีหลายวิธี คือ

1. วิธีวัดสี (Colorimetric method) เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยวัดความเข้มของสีของสารละลายที่จับกับก๊าซโอโซนหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสาร 2 สาร หรือมากกว่า ทำปฏิกิริยากัน จะทำให้เกิดสีของสารใหม่ วัดได้โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1.1 วิธีไอโอดีน (Iodine method) วิธีนี้ศึกษาและปรับปรุงขึ้นโดย ซอลท์แมน (Saltzman) ใช้วิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนตั้งแต่ 0.1 - 20 ppm (Stern. 1968 : 66) วิธีวิเคราะห์ทำได้โดยดูดก๊าซโอโซนจากอากาศเข้ามาทำปฏิกิริยากับสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์ ซึ่งจะมีไอโอดีนเกิดขึ้น วัดปริมาณการดูดกลืนแสงของสารละลาย ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน ก็จะสามารถ คำนวณหาปริมาณก๊าซโอโซนได้ (Jacobs. 1960 : 219)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์ คือ



1.2 วิธีฟีนอลฟثالีน (Phenolphthalin method) วิธีนี้ปรับปรุงขึ้น โดย เฮเกน - สมิท และ ฟอกซ์ (Haagen - Smit and Fox) เพื่อใช้หาปริมาณก๊าซ โอโซนในอากาศ (Jacobs. 1960 : 227) วิธีการวิเคราะห์คือ ให้ก๊าซโอโซนทำ ปฏิกิริยากับฟีนอลฟثالีนในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) วัดความเข้มของสีชมพู ของฟีนอลฟثالีน (phenolphthalein) ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดสี โดยใช้แผ่นกรองแสง (filter) สีเขียว เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในคอปเปอร์ซัลเฟต ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซโอโซนได้

การวิเคราะห์วิธีนี้เกิดปฏิกิริยาแทรกซ้อนได้ง่ายจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สารประกอบไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีสิ่งรบกวนในการวิเคราะห์ และมีข้อผิดพลาดมาก จึงไม่นิยมใช้ และถ้าจะให้มีความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์สูงขึ้น จะต้องเก็บอากาศที่อุณหภูมิ 0°ซ. (Altshuller. 1965 : 14R)

2. วิธีไทเทรต (Titrimetric method) วิธีนี้ให้ก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับ สารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์ แล้วไทเทรตปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้น ด้วยสารละลายโซเดียม ไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 10 H_2O$) คำนวณหาปริมาณก๊าซโอโซนจากสมการ



การวิเคราะห์แบบนั้นต้องเก็บตัวอย่างอากาศเป็นปริมาณมาก จึงจะสามารถวิเคราะห์หาปริมาณไอโอซีนได้ จึงไม่นิยมใช้หาปริมาณก๊าซไอโซนในบรรยากาศบริเวณผิวโลก เนื่องจากมีก๊าซไอโซนอยู่น้อยมาก

3. วิธีครอกแตกของยาง (Rubber cracking method) วิธีนี้ปรับปรุงขึ้นโดย บรัคเลย์ และ เฮเกน - สมิท (Bradley and Haagen-Smit) การวิเคราะห์อาศัยหลักที่ว่า ก๊าซไอโซนทำให้ยางแตกเปราะได้ จึงใช้ยางขนาดมาตรฐานกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ในอากาศนาน 1 สัปดาห์ นำมาส่องดูความลึกของรอยแตกของยางควยกลองจุลทรรศน์ขนาดขยาย 100 เท่า เปรียบเทียบกับยางมาตรฐานซึ่งทำให้แตกด้วยก๊าซไอโซนที่ทราบปริมาณแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโซนได้ (Jacobs. 1960 : 229)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไอโซนด้วยวิธีอื่น ๆ คือ วิธีอุลตราไวโอเลต โฟโตเมตรี (ultraviolet photometry) วิธีอินฟราเรด โฟโตเมตรี (infrared photometry) วิธีเคมีลูมิเนสเซนซ์ (chemiluminescent) แต่วิธีการเหล่านี้กำลังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์มีราคาแพง ความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์สูง คาดว่า จะสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไอโซนได้อย่างผลดี และแพร่หลายต่อไปในอนาคต (Demoore and Patapoff. 1976 : 897)

ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกวิธีวิเคราะห์โดยวิธีไอโอซีน เพราะมีข้อดี คือ

1. สามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณก๊าซไอโซนที่มีความเข้มข้นต่ำได้ ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้คือ 0.01 ppm หรือ 1 pphm
2. เครื่องมือเก็บอากาศ เครื่องมือวิเคราะห์ หาได้ง่ายในประเทศไทย
3. สารเคมีมีราคาถูก หาง่าย
4. สะดวกต่อการวิเคราะห์ เพราะใช้เวลาน้อย เคลื่อนย้ายเครื่องมือได้ง่าย
5. ความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์สูง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คืออากาศในเขตกรุงเทพมหานคร แบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ

1. อากาศในบริเวณริมถนน 16 สาย โดยเก็บอากาศตั้งแต่วันที่ 26 พฤศจิกายน 2522 ถึงวันที่ 24 ธันวาคม 2522 ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างคือ 8.30 - 9.00 น., 12.00 - 12.30 น. และ 15.00 - 15.30 น. รวม 48 ตัวอย่าง วันและเวลาที่เก็บตัวอย่าง ได้จากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (simple random sampling) ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ถนน เวลา และลำดับวันที่เก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณที่มีการจราจร

ถนน	เวลาและลำดับวันที่เก็บตัวอย่างอากาศ		
	8.30 - 9.00 น.	12.00 - 12.30 น.	15.00 - 15.30 น.
เจริญกรุง	6	5 °	13
สุขุมวิท	4	1	16
เพชรบุรีตัดใหม่	2	10	8
เพชรบุรี	1	16	2
วรจักร	3	15	10
เยาวราช	8	4	7
พระรามที่ 4	9	13	14

ตาราง 3 (ต่อ)

ถนน	เวลาและลำดับวันที่เก็บตัวอย่างอากาศ		
	8.30 - 9.00 น.	12.00 - 12.30 น.	15.00 - 15.30 น.
พญาไท	7	11	4
เพลินจิต	16	14	3
พหลโยธิน	13	2	12
ราชปรารภ	11	12	11
ประดิพัทธ์	10	6	5
วิภาวดีรังสิต	12	9	6
พระรามที่ 1	15	3	15
ราชวิถี	5	7	9
ศรีอยุธยา	14	6	1

2. อากาศในบริเวณที่พักอาศัยที่ไม่มีการจราจร เลือกเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยเก็บอากาศในวันที่ 4, 7 และ 10 ธันวาคม 2522 ตั้งแต่เวลา 8.00 - 16.00 น. ตัวอย่างละ 30 นาที รวม 48 ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือเก็บอากาศ (Air sampling equipment) มีส่วนประกอบดังนี้
 - 1.1 เครื่องดูดอากาศ (Air pump) มีหน้าที่ดูดอากาศ เพื่อให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารละลายในเครื่องเก็บอากาศ เครื่องดูดอากาศที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ 2 แบบ คือ

1.1.1 เครื่องสูดอากาศแบบแผ่นไคอะแฟรม (Diaphragm pump) เป็นเครื่องสูดอากาศที่อาศัยการเคลื่อนไหวของแผ่นโลหะบาง ๆ เพื่อให้เกิดแรงดูดขึ้น อากาศจะไหลผ่านเข้าไปโดยผ่านลิ้นทางเดียว (one-way valve) เครื่องสูดชนิดนี้ มีขนาดเล็ก น้ำหนักตัวไปไ้ง่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่นิเกิล - แคดเมียม ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.5 โวลต์ ใช้งานได้นานครั้งละ 10 ชั่วโมง อัตราการสูดอากาศตั้งแต่ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 3 ลิตรต่อนาที มีเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศอยู่ในตัว เครื่องสูด เครื่องสูดแบบแผ่นไคอะแฟรมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ Bendix รุ่น BDX 44 เบอร์ 2418675 - 0001

1.1.2 เครื่องสูดอากาศแบบเวน (Vane pump) เป็นเครื่องสูดอากาศที่ประกอบด้วยโรเตอร์ (rotor) ซึ่งหมุนไ้ภายในกระบอกสูบ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดูดอากาศขึ้น เครื่องสูดแบบนี้มีขนาดเล็ก อัตราการสูดสูงกว่าเครื่องสูดแบบแผ่นไคอะแฟรม ใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าสลับ (American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1978 : K-4)

1.2 โรตاميเตอร์ (Rotameter) ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศ มีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอก ขนาดความยาวต่าง ๆ กัน ภายในมีสเกลหลอดความยาวของหลอด ภายในมีลูกลอย (float) รูปกรวยทำด้วยยาง หันยอดกรวยลงทางด้านล่าง ปลายหลอดด้านบนต่อกับเครื่องสูดอากาศ ปลายด้านล่างเป็นทางให้อากาศเข้า เมื่ออากาศไหลเข้าไปในโรตاميเตอร์ ความแรงดูดจากเครื่องสูดอากาศ ลูกลอยจะลอยสูงขึ้น ความสูงของลูกลอยจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ การใช้โรตاميเตอร์จะบอกให้ ความยาวของหลอดอยู่ในแนวแรงโน้มถ่วงของโลก โดยทั่วไปอัตราการไหลของอากาศสูงสุดต่อ อัตราค่าสุดของโรตاميเตอร์อันเดียวกัน จะไม่น้อยกว่า 10 : 1

ในการทดลองครั้งนี้ใช้โรตاميเตอร์ของ Rota เบอร์ L 63/2400 - 11873 ความยาวประมาณ 220 มิลลิเมตร มีลูกลอยซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.53 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2.2250 กรัม และความหนาแน่น 3.850 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศได้ตั้งแต่ 2 - 40 ลิตรต่อนาที ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงดูดของเครื่องสูดอากาศ

1.3 มิจเอท อิมพิงเจอร์ (Midget impinger) ใช้ใส่สารละลายที่ใช้ดูดซับ (adsorbing solution) ก๊าซไอโซน ผู้พัฒนาอิมพิงเจอร์แบบนี้คือ ลิทเทิลฟิลด์ และเชริง (Littlefield and Schrenk) มีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอก ปริมาตรประมาณ 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีท่อดูดอากาศเข้าซึ่งจมอยู่ในสารละลายภายใน มิจเอท อิมพิงเจอร์ และท่อดูดอากาศออกซึ่งต่อกับโรตารีเตอร์ มิจเอท อิมพิงเจอร์ เป็น อิมพิงเจอร์ขนาดเล็กที่นิยมใช้มาก อัตราการไหลของอากาศผ่านอิมพิงเจอร์ไม่เกิน 3 ลิตร ต่อ นาที (Cooper and Rossano. 1971 : 141)

2. บับเบิล มิเตอร์ (Bubble meter) ใช้ calibrate โรตารีเตอร์ของ เครื่องดูดอากาศแบบแผ่นโคอะแฟรม มีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอก ปลายหลอดด้านบน ติดกับเครื่องดูดอากาศ หลักการทำงานคือ จับเวลาที่ตัวกลางที่มองเห็นได้ เช่น ฟองสบู่ เคลื่อนที่ไปภายในหลอดแก้วจากซีพีปริมาตรหนึ่งไปสู่ซีพีปริมาตรหนึ่ง ก็จะสามารถคำนวณหา อัตราการไหลของอากาศได้ บับเบิล มิเตอร์ ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศในระดับต่ำ

3. เวท เทสต์ มิเตอร์ (Wet test meter) เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ calibrate โรตารีเตอร์

เวท เทสต์ มิเตอร์ ประกอบด้วยภาชนะบรรจุน้ำ (container) ภายในบรรจุ โรตารีเตอร์ซึ่งหมุนได้ จมอยู่ในน้ำครึ่งหนึ่ง เมื่อดูดอากาศผ่านเข้าไปใน เวท เทสต์ มิเตอร์ จะทำให้โรตารีเตอร์หมุนเนื่องจากการแทนที่น้ำด้วยอากาศ นับจำนวนรอบหรือปริมาตรของอากาศ ได้จากเข็มหรือเครื่องนับ (counter) บนหน้าปัด เมื่อเทียบกับเวลา ก็จะสามารถคำนวณ หาอัตราการไหลของอากาศได้

เวท เทสต์ มิเตอร์ ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศในอัตราที่สูงกว่าบับเบิล มิเตอร์ จึงเหมาะสำหรับใช้ calibrate โรตารีเตอร์ที่มีขนาดใหญ่

4. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้วัดปริมาณของแสงที่สารละลายสามารถดูดหรือแผ่ ออกมาได้ เมื่อมีแสงขนาดความยาวคลื่นต่าง ๆ กันผ่านสารละลายนั้น ค่า logarithm ของอัตราส่วนความเข้มของแสงที่ตกกระทบ กับแสงที่ปล่อยออกมา เรียกว่า ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's law) ที่กล่าวว่า

"อัตราส่วนของรังสีที่ถูกดูดไว้ของรังสีที่มากกระทบสารละลายหนึ่ง ๆ จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น และระยะทางที่รังสีนั้นวิ่งผ่านสารละลาย" (Ewang. 1975 : 36)

จากกฎของเบียร์

ถ้าให้ dI เป็นอัตราส่วนของรังสีที่ถูกดูดไว้

I เป็นรังสีที่มากกระทบ

c เป็นความเข้มข้นของสารละลาย

จะได้ว่า

$$\frac{dI}{I} = -k'cdx$$

k' เป็นค่าคงที่

ถ้าให้ I_0 เป็นความเข้มของรังสี

และ l เป็นระยะทางที่รังสีวิ่งผ่านสารละลาย

จะได้ว่า

$$\log \left(\frac{I_0}{I} \right) = k'cl$$

ค่า $\log \left(\frac{I_0}{I} \right)$ คือ ค่าการดูดกลืนรังสีของสาร

ค่า k' ซึ่งเท่ากับ $k' \cdot \ln 10$ เรียกว่า absorbancy จะมีค่าคงที่

เมื่อความยาวคลื่นคงที่ และเป็นค่าจำเพาะตัวของสารนั้น ๆ

ส่วนประกอบสำคัญของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คือ แหล่งกำเนิดแสง (light source) ให้กำเนิดแสงผ่านโมโนโครเมเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่เลือกความยาวคลื่นของแสงผ่านไปยังสารละลาย สารละลายจะดูดแสงเอาไว้ส่วนหนึ่ง แสงที่เหลือออกมาได้ วัดได้ด้วยเครื่องตรวจจับ (detector) โดยการเปลี่ยนความเข้มของแสงที่มาตกกระทบให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะอ่านได้จากสเกลบนหน้าปัด การอ่านค่าบนสเกลอ่านได้ 2 แบบคือ ค่าการดูดกลืนแสง และ เปอร์เซนต์การยอมให้แสงผ่าน (% transmittance)

สูตรที่ใช้เปลี่ยนเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่านเป็นค่าการดูดกลืนแสง คือ
(Silverstein, Bassler and Morrill. 1974 : 2)

$$\text{Absorbance} = \log \left(\frac{100}{\% T} \right)$$

$$= 2 - \log \% T$$

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีขนาดความยาวคลื่นของแสงตั้งแต่ 340 - 625 นาโนเมตร (Willard, Merritt and Dean. 1974. 73)

5. เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้วัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ทั้งที่เป็นพลังงานทางตรง และพลังงานที่กระจัดกระจาย (Sayigh. 1977 : 398) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เครื่องรับพลังงานแสงอาทิตย์ เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ หรือ โซลาริมิเตอร์ (pyranometer or solarimeter) และเครื่องนับค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ เรียกว่า โซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ (solarimeter integrator)

ไพราโนมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ Moll-Gorczycki Pyranometer (Kipp Solarimeter) โมลล์ (Moll) เป็นผู้ประดิษฐ์ขึ้นเป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1924 (Sayigh. 1977 : 428) ประกอบด้วยเทอร์โมไพล์ (thermopile) ซึ่งเป็นแผ่นแมงกานีน - คอนสแตนแทน (manganin-constantan) กว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร และหนา 0.005 มิลลิเมตร จำนวน 14 แผ่น ต่อกันแบบซิกแซก (zig-zag pattern) บนฐานทองเหลือง ภายในแก้วรูปครึ่งวงกลมซ้อนกัน 2 ชั้น (concentric hemispherical glass domes) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 และ 46 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร รอบแก้วรูปครึ่งวงกลมเป็นแผ่นโลหะวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร เพื่อป้องกันแสงอาทิตย์สะท้อนจากฐานของเครื่องมือ เรียกว่า radiation shielded plate

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นแมงกานีน - คอนสแตนแทน จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความรอนระหว่างบริเวณตรงกลางและปลายของแผ่นแมงกานีน - คอนสแตนแทน แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังโซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ต่อไป

โซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ Kipp & Zonen Solarimeter Integrator ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากโฟโตโนมิเตอร์ ให้เป็นจำนวนนับ จำนวนนับ 20 ครั้ง เท่ากับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 แคลอรี ต่อตารางเซนติเมตร

เครื่องมืออื่น ๆ คือ เครื่องนับปริมาณการจลจลแบบกดด้วยมือ (hand counter) นาฬิกาจับเวลา เทอร์โมมิเตอร์ และบาโรมิเตอร์

วิธีดำเนินการทดลอง

1. การเตรียมน้ำกลั่นชนิดกลั่นสองครั้ง (Double distilled water) เติมโปแตสเซียม เปอร์มันกาเนต (KMnO_4) ลงในน้ำกลั่นจนเป็นสีชมพูอ่อน ทำให้เป็นเบสด้วยบารีอัม ไฮดรอกไซด์ (Ba(OH)_2) แล้วกลั่นซ้ำ

2. การเตรียมน้ำละลาย

2.1 สารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโอดีน (1 % KI ใน 0.1 M. phosphate buffer) เตรียมตามลำดับดังนี้

2.1.1 ชั่งโปแตสเซียม ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)

13.609 กรัม แอนไฮไดรอส ไดโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 14.196 กรัม และโปแตสเซียม ไอโอไดด์ (KI) 10.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 1 ลิตร

2.1.2 ตั้งสารละลายจากข้อ 2.1.1 ไว้ที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 1 วัน ก่อนใช้

2.1.3 ปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 6.8 ± 0.2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) วัดด้วย pH มิเตอร์

2.1.4 เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาลในตู้เย็น ป้องกันมิให้ถูกแสงอาทิตย์ ระมัดระวังมิให้ระคายเคือง เพราะเป็นกรดรีดิวซ์ ทำให้ค่า pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลง

2.2 สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน (Standard iodine solution, 0.025 M. I_2) เตรียมตามลำดับดังนี้

2.2.1 ชั่งโปแตสเซียมไอโอไดค์ 16.0 กรัม และเกล็ดไอโอดีนบริสุทธิ์ 3.1730 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2.2 ตั้งสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วันก่อนใช้

2.2.3 ทำ standardize ก่อนใช้ด้วย 0.025 M. $Na_2S_2O_3$ ซึ่งทำ standardize กับ โปแตสเซียม ไฮโครเจน ไอโอเทท ($KH(IO_3)_2$) มาแล้ว

3. การเตรียมหลอดดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide absorber) เตรียมตามลำดับดังนี้

3.1 ตัดกระดาษไฟเบอร์กลาส (glass fiber paper) ที่มีพื้นที่ 200 ตารางเซนติเมตร ออกเป็นชิ้นขนาดกว้าง 6 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร พับให้เป็นรูปตัววี (V-shape)

3.2 ชั่งโครเมียม ไตรออกไซด์ (CrO_3) 2.5 กรัม ไปเปิดกรวดซัลฟูริก (H_2SO_4) เขม軒 0.7 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายในน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 จุ่มกระดาษไฟเบอร์กลาสลงในสารละลายของโครเมียม ไตรออกไซด์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 – 90°ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4 นำกระดาษที่อบแล้ว บรรจุลงในหลอดรูปตัวยู (U-tube) ขนาด 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร เก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้น (dessicator)

4. การทำ calibration curve

4.1 การทำ calibration curve ของโรทามิเตอร์ของเครื่องดูดอากาศแบบแผ่นไออะเฟรม โดยใช้ บับเบิล มิเตอร์ ทำตามลำดับดังนี้

4.1.1 ทดสอบหลอดกักเก็บของบับเบิล มิเตอร์ เข้ากับแท่ง (trap) หลอดดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มิเจท อิมพิงเจอร์ ซึ่งบรรจุสารละลายที่โซลูชันก๊าซไอโอดีนไว้ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเครื่องดูดอากาศ

4.1.2 จุ่มปลายหลอดคานกลางในน้ำสบู่

4.1.3 กดสวิทช์เครื่องดูดอากาศ ปรับสกรูที่เครื่องดูดให้ลูกกลอยอยู่ในระดับต่ำสุด

4.1.4 จับเวลาที่ฟองสบู่เคลื่อนที่จากที่ปริมาตร 0 จนถึงขีดปริมาตร 300, 500 และ 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

4.1.5 อานกาสเกลของโรตاميเตอร์ให้ลูกกลอยลอยขึ้น

4.1.6 ปรับสกรูของเครื่องดูดอากาศให้ลูกกลอยอยู่ในสเกลต่ำสุด ถึงสเกลสูงสุด แล้วทำการทดลองทั้งแกช 4.1.2 – 4.1.5

4.1.7 คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศจากสูตร

$$\text{อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/วินาที)} = \frac{\text{ปริมาตรอากาศ (ลิตร)}}{\text{เวลา (วินาที)}}$$

4.1.8 หาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศเมื่อปริมาตรอากาศเป็น 300, 500 และ 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.1.9 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตاميเตอร์กับอัตราการไหลของอากาศ

4.2 การทำ calibration curve ของโรตاميเตอร์ Rota เบอร์ L 63/2400 - 11873 ควยเวท เทสต์ มิเตอร์ ทาตามลำดับดังนี้

4.2.1 ใส่น้ำกลั่นลงในเวท เทสต์ มิเตอร์ จนถึงระดับที่ล้นออก

4.2.2 ทอหลอดอากาศออกของเวท เทสต์ มิเตอร์ เข้ากับหลอดดูดก๊าซไนโตรเจน ไคออกไซด์ มิซเอท อิมพิจเจอร์ และ โรตاميเตอร์

4.2.3 ทอท่ออากาศออกของโรตاميเตอร์เข้ากับหลอดดูดอากาศเข้าของเครื่องดูดอากาศแบบเวน

4.2.4 กดสวิทช์เครื่องดูดอากาศ ปรับเครื่องบีบ (clamp) ซึ่งอยู่ระหว่างเครื่องดูดอากาศกับโรตاميเตอร์ ให้ลูกกลอยอยู่ในระดับต่ำสุด

4.2.5 บันทึกจำนวนรอบของเข็มบนหน้าปัทม์ของเวท เทสต์ บีเคอร์
เทียบกับเวลาจากนาฬิกาจับเวลา (เมื่ออากาศไหลผ่าน 1 ลิตร เข็มจะหมุน 1 รอบ)

4.2.6 อ่านค่าสเกลของโรตัมเตอร์

4.2.7 ปรับเครื่องบีบให้ลูกกลอยอยู่ในสเกลต่ำสุดถึงสเกลสูงสุด
แล้วทำการทดลองทั้งชุดข้อ 4.2.4 – 4.2.6

4.2.8 คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)} &= \frac{\text{จำนวนรอบของเข็ม}}{\text{เวลา (นาที)}} \\ &= \frac{\text{ปริมาตรของอากาศ (ลิตร)}}{\text{เวลา (นาที)}} \end{aligned}$$

4.2.9 ทดลองซ้ำในแต่ละสเกล ๆ ละ 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

4.2.10 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตัมเตอร์
กับอัตราการไหลของอากาศ

4.3 การทำ calibration curve ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน
ด้วยวิธี colorimetric ทำตามลำดับดังนี้

4.3.1 เตรียมสารละลายไอโอดีน 0.00025 M โดยไปเปิด
สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน 0.025 M (จากข้อ 2.2) 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงใน
volumetric flask ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติบสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโอดีน
(จากข้อ 2.1) จนครบปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3.2 ไปเปิดสารละลายไอโอดีน 0.00025 M. มา 0.1, 0.2,
0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงใน
volumetric flask ขนาด 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติบสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโอดีน
จนครบปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารละลายเหล่านี้จะมีไอโอดีน 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.10 ไมโครโมลต่อสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโอดีน 10 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ตามลำดับ

4.3.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในข้อ 4.3.2 ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

4.3.4 ทำการทดลองซ้ำทั้งข้อ 4.3.2 – 4.3.3 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

4.3.5 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไมโครโมลของไอโอดีนต่อสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโอดีน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร กับค่าการดูดกลืนแสง

5. การเก็บตัวอย่างอากาศ

5.1 การเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณที่มีการจราจร ทำตามลำดับดังนี้

5.1.1 ไปเปิดตสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโอดีน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงใน มิจเอท อิมพิงเจอร์

5.1.2 ท่อหลอดดูดก๊าซอัลเฟอร่า ออกไปไว้เข้ากับท่อดูดอากาศเข้าของ มิจเอท อิมพิงเจอร์

5.1.3 ท่อท่อดูดอากาศออกของมิจเอท อิมพิงเจอร์ เข้ากับท่อดูดอากาศเข้าของเครื่องดูดอากาศแบบแมนโรอะแฟรม

5.1.4 กดสวิทช์เครื่องดูดอากาศ ปรับอัตราการไหลของอากาศให้เป็น 2 ลิตรต่อนาที เก็บอากาศครั้งละ 30 นาที ต้องระวังมิให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านสารละลายในมิจเอท อิมพิงเจอร์ ระดับความสูงของเครื่องมือเก็บอากาศคือ $5 - 5\frac{1}{2}$ ฟุต จากพื้นดิน

5.1.5 บันทึกอุณหภูมิ และความดันของอากาศในขณะที่เก็บอากาศ

5.1.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในมิจเอท อิมพิงเจอร์ ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

5.1.7 การนับปริมาณการจราจร ใช้เครื่องนับแบบกดด้วยมือ นับจำนวนรถยนต์ที่วิ่งบนของถนนใกล้จุดที่ทำการเก็บอากาศมากที่สุด ตลอดระยะเวลาที่เก็บอากาศ

5.2 การเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณที่พักอาศัย ทำตามลำดับดังนี้

5.2.1 ไปเปิดฝักรถจักรยานที่ใช้สูบก๊าซไอโซน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในมิจเอท อิมพิงเจอร์

5.2.2 ท่อหลอดดูดอากาศซิลเวอร์ที่ต่อออกไขว้เข้ากับหลอดอากาศเข้าของ มิจเอท อิมพิงเจอร์

5.2.3 ท่อหลอดอากาศออกของมิจเอท อิมพิงเจอร์ ไขว้กับหลอดอากาศเข้าของโรตารีเตอร์

5.2.4 ท่อหลอดอากาศออกของโรตารีเตอร์ ไขว้กับหลอดเข้าของเครื่องดูดอากาศแบบเวน

5.2.5 กดสวิทช์เครื่องดูดอากาศ ปรับอัตราการไหลอากาศให้เป็น 2.0972058 ลิตรต่อวินาที เก็บอากาศครั้งละ 30 นาที ระดับความสูงของเครื่องมือเก็บอากาศ คือ $5 - 5\frac{1}{2}$ ฟุต จากพื้นดิน

5.2.6 บันทึกอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในขณะที่เก็บอากาศ

5.2.7 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในมิจเอท อิมพิงเจอร์ ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

5.2.8 การวัดความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ทำตามลำดับดังนี้

5.2.8.1 ต่อไพราโนมิเตอร์เข้ากับตำแหน่งที่ 9 ของ โซลาริ-มิเตอร์ - อินทิเกรเตอร์

5.2.8.2 ปรับสวิทช์ที่ตำแหน่ง 6 และ 7 ของโซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ ให้อ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากไพราโนมิเตอร์

5.2.8.3 ปรับตำแหน่งของไพราโนมิเตอร์ โดยหันหัวท่อสายออก (output cable knop) ให้ไปทางทิศเหนือ และปรับระดับน้ำให้ไพราโนมิเตอร์อยู่ในแนวระนาบของโลก

5.2.8.4 บันทึกจำนวนนับบนหน้าปัดของโซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ ในเวลา 30 นาที ตั้งแต่ 8.00 – 16.00 น.

5.2.8.5 คำนวณหาความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลา 30 นาที ได้จากสูตร

$$\frac{\text{ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์}}{(\text{ค่าลอรีทอการางเซนติเมตรตอนาที})} = \frac{\text{จำนวนนับ}}{600}$$

6. การคำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่อุณหภูมิ 25°ซ. (298.15 เคลวิน) และความดัน 760 ทอร์.

จากกฎของกาซ (gas law) (Mahan. 1975 : 42)

$$\frac{P_s V_s}{T_s} = \frac{PV}{T}$$

$$\text{จะได้ว่า } V_s = \frac{PV}{T} \times \frac{T_s}{P_s}$$

เมื่อ V_s หมายถึง ปริมาตรของอากาศ (ลิตร) ที่อุณหภูมิ 298.15 เคลวิน และความดัน 760 ทอร์.

V หมายถึง ปริมาตรของอากาศ (ลิตร) ที่อุณหภูมิและความดันขณะเก็บตัวอย่างอากาศ

T_s หมายถึง อุณหภูมิ 298.15 เคลวิน

T หมายถึง อุณหภูมิขณะเก็บอากาศ (เคลวิน)

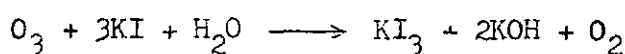
P_s หมายถึง ความดัน 760 ทอร์.

P หมายถึง ความดันขณะเก็บอากาศ (ทอร์.)

7. การกำหนดหาปริมาณก๊าซไอโซน

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อก๊าซไอโซนทำปฏิกิริยากับสารละลาย 1 % KI ใน

0.1 M. phosphate buffer



จะเห็นว่า ไอโอไดน์ 1 โมล เกิดจากก๊าซไอโซน 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ
โพแทสเซียมไอโอไดค์

ดังนั้น จึงแทนจำนวนโมลของไอโอไดน์ที่อ่านได้จากกราฟในข้อ 4.3.5 ได้ด้วย
จำนวน โมลของก๊าซไอโซน

ปริมาตรของก๊าซไอโซน 1 โมล ที่อุณหภูมิ 298.15 เคลวิน และความดัน
760 ทอร์. ซึ่งคำนวณจากกฎของก๊าซเท่ากับ 24.46 5437 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณของก๊าซไอโซนจึงคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของก๊าซไอโซน} &= \frac{\text{จำนวนไมโครโมลของก๊าซไอโซน} \times 24.46\ 5437}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างอากาศ (ลิตร) ที่ 298.15}} \\ (\text{ppm ที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอร์.}) &\quad \text{เคลวิน, 760 ทอร์.} \end{aligned}$$

เมื่อคำนวณโดยใช้หน่วยปริมาณก๊าซไอโซนเป็น pphm จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของก๊าซไอโซน} &= \text{ปริมาณของก๊าซไอโซน} \times 100 \\ (\text{pphm ที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอร์.}) &\quad (\text{ppm ที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอร์.}) \end{aligned}$$

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล และผลการทดลอง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{X}$)

1.1 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจร ในเวลา 8.30 - 9.00 น., 12.00 - 12.30 น. และ 15.00 - 15.30 น. บนถนนในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ วันที่ 26 พฤศจิกายน 2522 ถึง วันที่ 24 ธันวาคม 2522

1.2 หาค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ในระยะเวลา 30 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00 - 16.00 น. ในวันที่ 4, 7 และ 10 ธันวาคม 2522

1.3 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซน ตามระยะเวลาในข้อ 1.1 และ 1.2 โดยใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมทั้งหมดของข้อมูล

N หมายถึง จำนวนข้อมูล

2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Simple correlation coefficient) ใช้หาความสัมพันธ์ของ

2.1 ปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซโอโซน

2.2 ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซน

โดยหาได้จากสูตร (Gullford. 1965 : 97)

$$r_{xy} = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N\sum X^2 - (\sum X)^2][N\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

จากขอ 2.1

r_{xy}	หมายถึง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซไอโซน
X	หมายถึง	ปริมาณการจราจร
Y	หมายถึง	ปริมาณก๊าซไอโซน
ΣX	หมายถึง	ผลรวมของปริมาณการจราจร
ΣY	หมายถึง	ผลรวมของปริมาณก๊าซไอโซน
ΣXY	หมายถึง	ผลรวมของผลคูณระหว่างปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซไอโซน
ΣX^2	หมายถึง	ผลรวมของกำลังสองของปริมาณการจราจร
ΣY^2	หมายถึง	ผลรวมของกำลังสองของปริมาณก๊าซไอโซน
N	หมายถึง	จำนวนครั้งของการวัด

และจากขอ 2.2

r_{xy}	หมายถึง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ พลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณก๊าซไอโซน
X	หมายถึง	ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์
Y	หมายถึง	ปริมาณก๊าซไอโซน
ΣX	หมายถึง	ผลรวมของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์
ΣY	หมายถึง	ผลรวมของปริมาณก๊าซไอโซน
ΣXY	หมายถึง	ผลรวมของผลคูณระหว่างความเข้มของพลังงาน แสงอาทิตย์กับปริมาณก๊าซไอโซน
ΣX^2	หมายถึง	ผลรวมของกำลังสองของความเข้มของพลังงาน แสงอาทิตย์
ΣY^2	หมายถึง	ผลรวมของกำลังสองของปริมาณก๊าซไอโซน
N	หมายถึง	จำนวนครั้งของการวัด

3. t-test

เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (statistical significance) ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จึงทดสอบด้วย t-test โดยคำนวณจากสูตร (Weinburg and others. 1969 : 280)

$$t_{(N-2)} = \frac{r \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

เมื่อ r หมายถึง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

N หมายถึง จำนวนครั้งของการวัด

$$df = N - 2$$

ในการใช้ t-test แต่ละครั้ง ถ้ามีนัยสำคัญทางสถิติ ก็หมายความว่าตัวแปรคู่หนึ่งมีความสัมพันธ์กันจริง

4. สมการถดถอย (Regression equation)

หาสมการถดถอยเพื่อใช้เขียนเส้นถดถอย (regression line) ซึ่งเป็นเส้นตรงที่ปรับค่าเพื่อแสดงแนวโน้มโดยประมาณของข้อมูล เส้นถดถอยใช้พยากรณ์ตัวแปรตัวหนึ่ง เมื่อทราบค่าตัวแปรอีกตัวหนึ่ง (ประกอบ กรรณสูต 2520 : 114) แผนภาพซึ่งแสดงการกระจายของข้อมูล เรียกว่า แผนภาพการกระจาย (scatter diagram) (Remington and Schork. 1970 : 259)

การหาสมการถดถอยในการวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method) โดยหาได้จากสูตร (Remington and Schork. 1970 : 260, 263)

$$Y = a + b(X - \bar{X})$$

และ

$$a = \bar{Y}$$

$$b = \frac{N\sum XY - (\sum X \cdot \sum Y)}{N\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

เมื่อ X	หมายถึง	ตัวแปรอิสระ
Y	หมายถึง	ตัวแปรตาม
a, $\bar{Y}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม
b	หมายถึง	ความชัน (slope)
$\sum X$	หมายถึง	ผลรวมของตัวแปรอิสระ
$\sum Y$	หมายถึง	ผลรวมของตัวแปรตาม
$\sum XY$	หมายถึง	ผลรวมของผลคูณระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม
$\sum X^2$	หมายถึง	ผลรวมของกำลังสองของตัวแปรอิสระ
N	หมายถึง	จำนวนข้อมูล

ผลการทดลอง

1. การทำ calibration curve ของโรตัมเตอร์ของเครื่องดูอากาศแบบแผ่นไคอะเฟรม

จากการ calibrate โรตัมเตอร์ของเครื่องดูอากาศแบบแผ่นไคอะเฟรม ด้วย บับเบิล มิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 25.2° ซ. ความดันของอากาศ 755.6 ทอร์. ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตามิเตอร์ของเครื่องคุกอากาศแบบแผ่นไคอะแฟรม กับอัตราการไหลของอากาศ

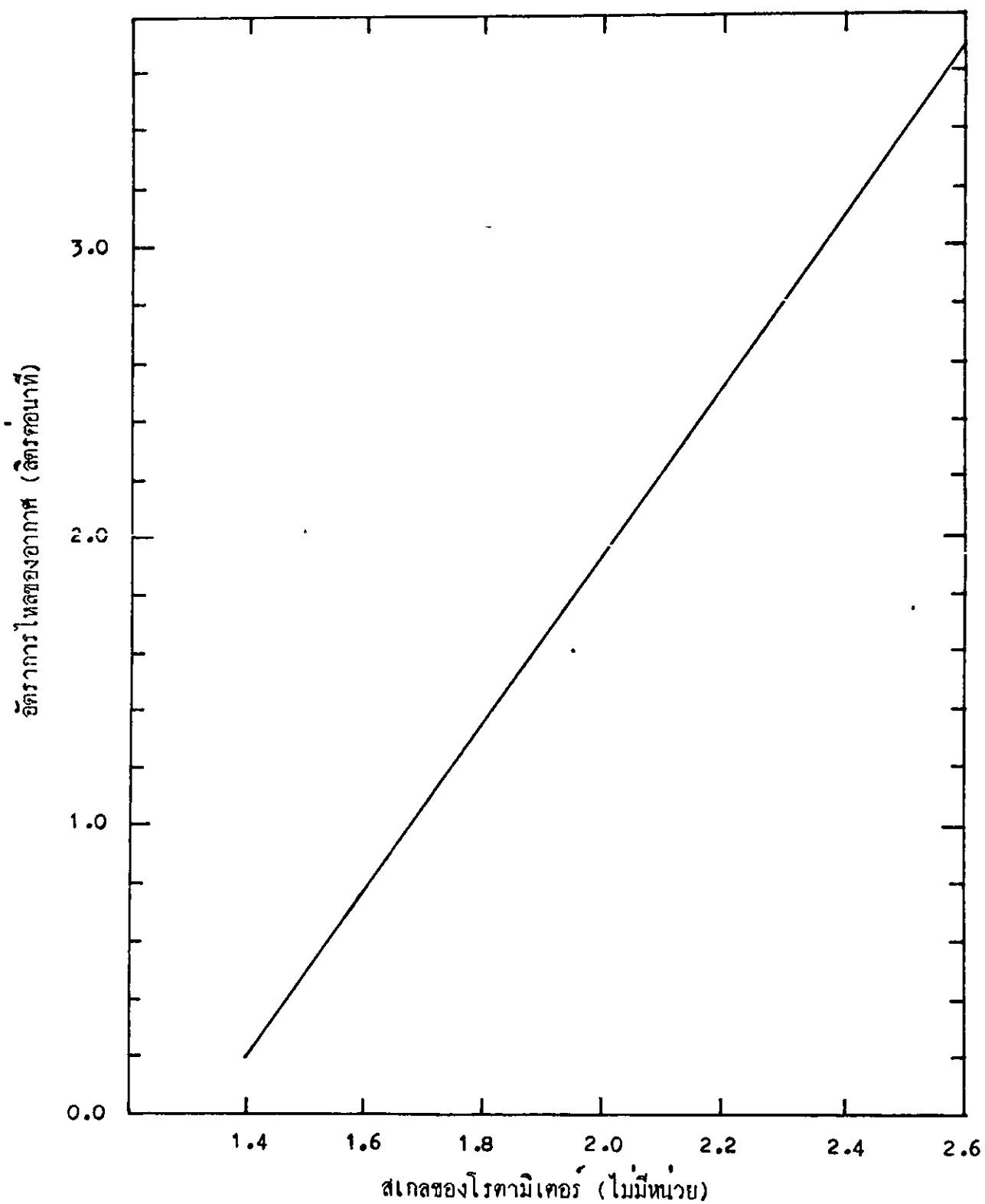
สเกลของโรตามิเตอร์ (ไม่มีหน่วย)	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)
1.4	0.660707
1.6	0.913932
1.8	1.152338
2.0	1.440221
2.2	1.776694
2.4	2.044085
2.6	2.423529

หมายเหตุ เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องคุกอากาศ ได้ calibrate โรตามิเตอร์ ไทฮานไค 2.0 ลิตรต่อนาที และทำเครื่องหมายอยู่ระหว่างสเกล 2.2 และ 2.4 ไว้แล้ว ผู้วิจัยได้ calibrate อีกครั้งหนึ่ง ผลปรากฏว่า ไทฮานไค 2 ลิตรต่อนาทีเช่นกัน จึงได้ปรับ อัตราการไหลของอากาศให้เป็น 2 ลิตรต่อนาทีตลอดการทดลองครั้งนี้

นำข้อมูลจากตาราง 4 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเกลของโรตามิเตอร์ กับอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 2

2. การทำ calibration curve ของโรตามิเตอร์ Rota เบอร์ L 63/2400 - 11873

จากการ calibrate โรตามิเตอร์ Rota-L 63/2400 - 11873 ด้วย เวท เทสต์ มิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 26.4 °ซ. ความดันของอากาศ 758.3 ทอร์. ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 5



ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตารีเตอร์ของเครื่องสูดอากาศแบบแผ่นโคอะแฟรม กับ อัตราการไหลของอากาศ

ตาราง 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตามิเตอร์ Rota - L 63/2400 - 11873
กับอัตราการไหลของอากาศ

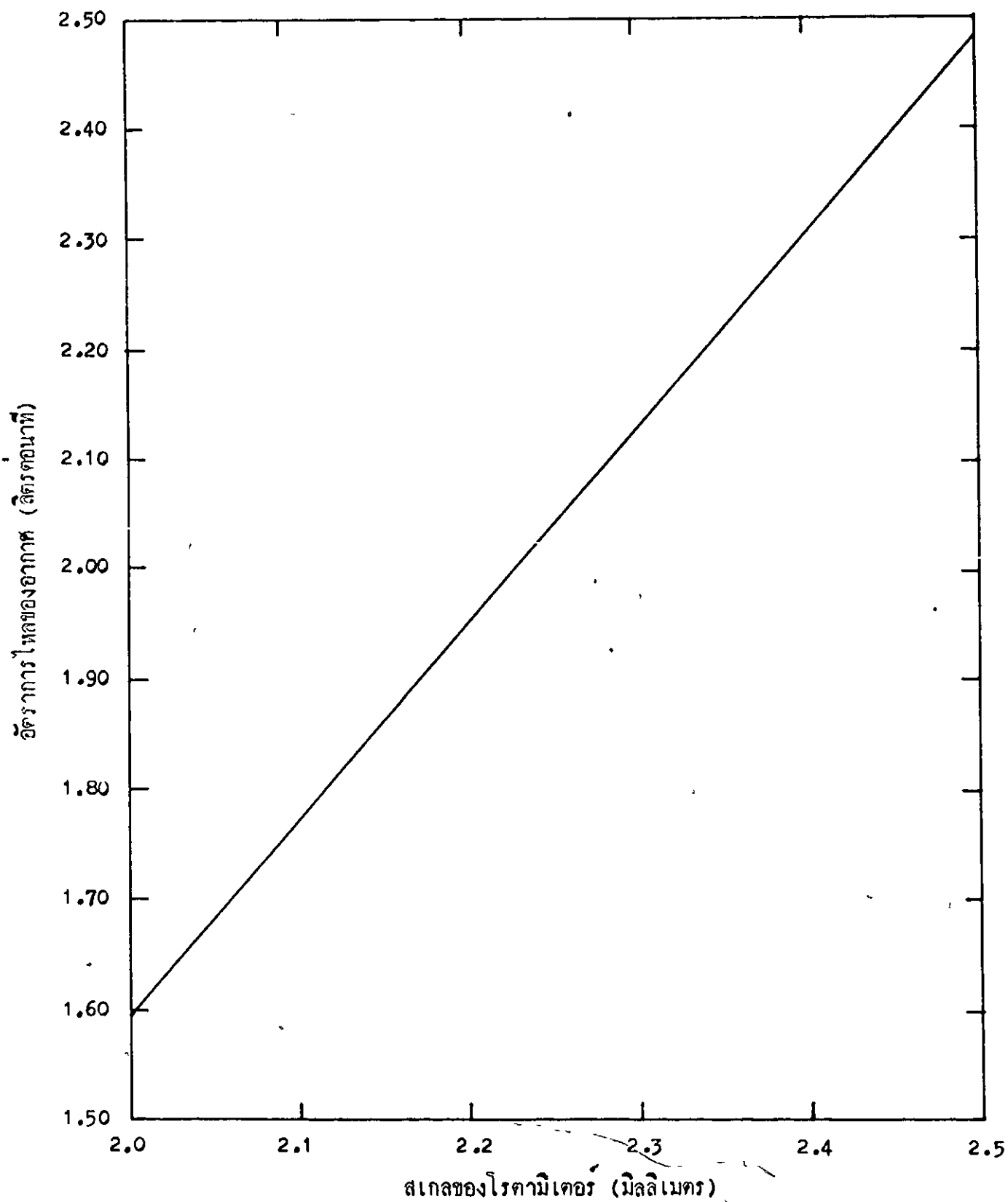
สเกลของโรตามิเตอร์ (มิลลิเมตร)	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)
2.0	1.5802282
2.1	1.7755316
2.2	1.9609455
2.3	2.0972058
2.4	2.3093435
2.5	2.4722939

หมายเหตุ ในการทดลองเก็บอากาศ ได้ปรับให้ลูกกลอยของโรตามิเตอร์อ่านได้ 2.3 มิลลิเมตร
ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าสู่อิมพิงเจอร์ อิมพิงเจอร์ จึงเท่ากับ
2.0972058 ลิตรต่อนาที

นำข้อมูลจากตาราง 5 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเกลของโรตามิเตอร์
กับอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 3

3. การทำ calibration curve ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน

จากการทำ calibration curve ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน
ด้วยวิธี colorimetric ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 6



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกลของโรตاميเตอร์ Rota - L63/2400 - 11873 กับ อัตราการไหลของอากาศ

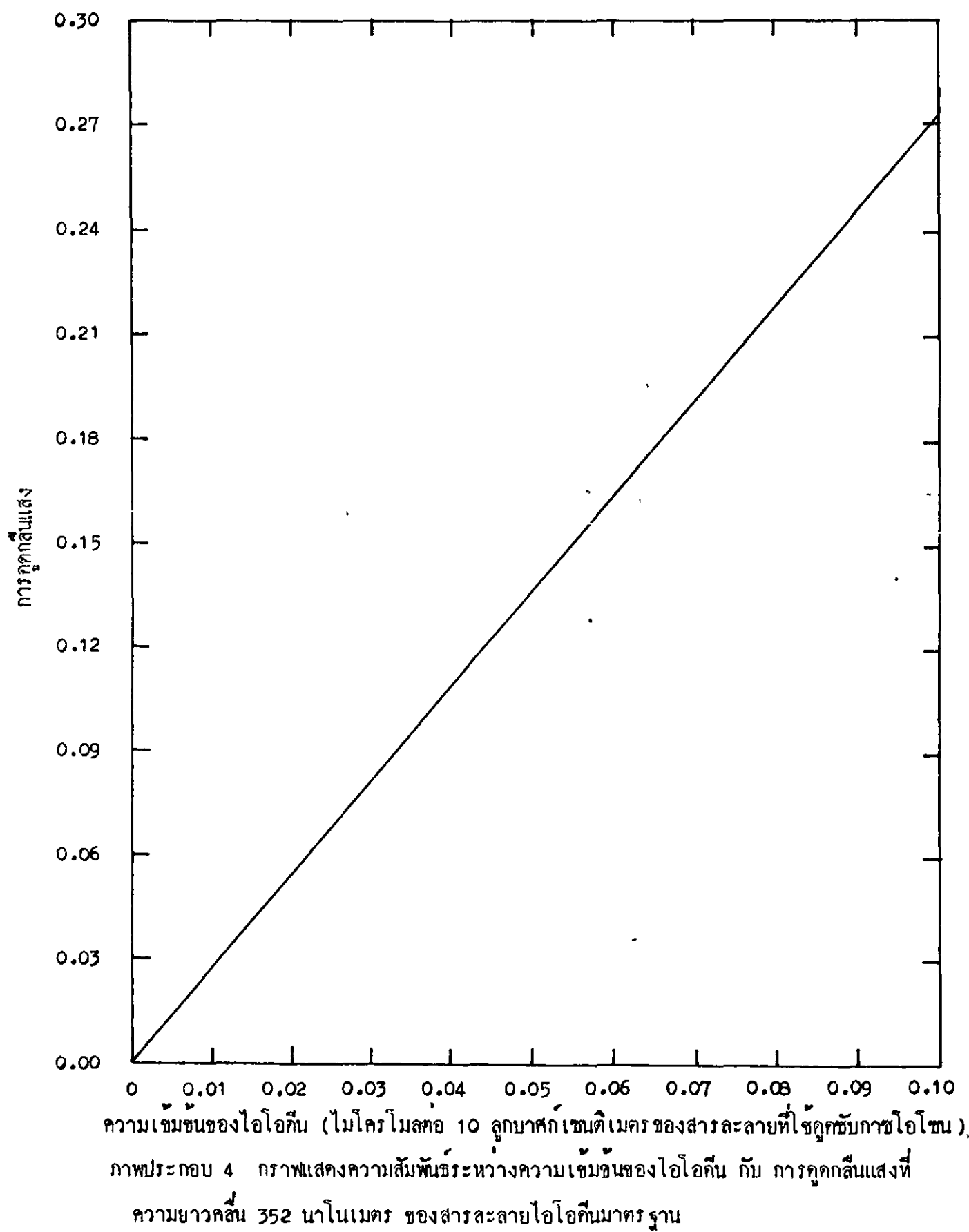
ตาราง 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโอดีนกับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน

จำนวนไมโครโมล ของไอโอดีนต่อ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรของ สารละลายที่ใช้ดูดกลืนก๊าซไอโอดีน	การดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร
0.01	0.02630
0.02	0.05799
0.03	0.09152
0.04	0.11563
0.05	0.13373
0.06	0.16352
0.07	0.19213
0.08	0.21825
0.09	0.24130
0.10	0.27779

นำข้อมูลจากตาราง 6 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไอโอดีนและการดูดกลืนแสง ในภาพประกอบ 4

4. ปริมาณการจางจืดและปริมาณก๊าซไอโอดีน

จากการนับปริมาณการจางจืดด้วยเครื่องนับชนิดกักตัวมือ และวัดปริมาณก๊าซไอโอดีนด้วยวิธี colorimetric ในระหว่างวันที่ 26 พฤศจิกายน 2522 ถึงวันที่ 24 ธันวาคม 2522 ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 7 และ 8



ตาราง 7 ปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซไอโซนในถนนสายต่าง ๆ

ถนน	8.30 - 9.00 น.		12.00 - 12.30 น.		15.00 - 15.30 น.	
	ปริมาณ การจราจร (คัน)	ปริมาณ ก๊าซไอโซน (pphm)	ปริมาณ การจราจร (คัน)	ปริมาณ ก๊าซไอโซน (pphm)	ปริมาณ การจราจร (คัน)	ปริมาณ ก๊าซไอโซน (pphm)
เจริญกรุง	596	2.2927	478	4.8248	567	2.8010
สุขุมวิท	594	2.4274	556	4.0512	435	2.5264
เพชรบุรีตัดใหม่	543	4.9012	618	2.0906	412	1.8629
เพชรบุรี	541	2.8101	393	1.8296	537	4.8767
วรจักร	458	2.3129	540	2.3154	686	3.1231
เยาวราช	449	1.8533	619	3.8276	564	1.7694
พระรามที่ 4	423	2.1671	332	1.3438	353	1.7938
พญาไท	412	1.7338	247	1.3381	372	1.7409
เพลินจิต	402	2.1884	358	1.6222	406	2.6095
พหลโยธิน	393	1.1353	329	2.8294	369	1.3951
ราชปรารภ	392	2.0299	467	6.0846	393	3.2904
ประดิพัทธ์	368	1.1329	289	2.7856	322	1.9298
นิเวศน์รังสิต	354	2.2521	375	2.0601	232	1.3551
พระรามที่ 1	290	1.3788	442	3.7152	356	2.3610
ราชวิถี	250	2.1846	202	1.6675	236	1.2266
ศรีอยุธยา	249	1.4331	245	1.6161	302	2.2001

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจร และค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซไอโซน

เวลา	จำนวน ถนน	พิสัยของ ปริมาณการ จราจร (คัน)	ปริมาณ การจราจร ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ยของ ปริมาณการจราจร (คันต่อ 30 นาที)	ค่าเฉลี่ย ปริมาณ ก๊าซไอโซน (pphm)
8.30 - 9.00 น.	16	249 - 598	6716	419.750	2.1396
12.00 - 12.30 น.	16	202 - 619	6490	405.625	2.7501
15.00 - 15.30 น.	16	232 - 686	6542	408.875	2.3039

5. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจรกับปริมาณก๊าซไอโซน

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซ ไอโซน
ด้วยวิธีใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซไอโซน

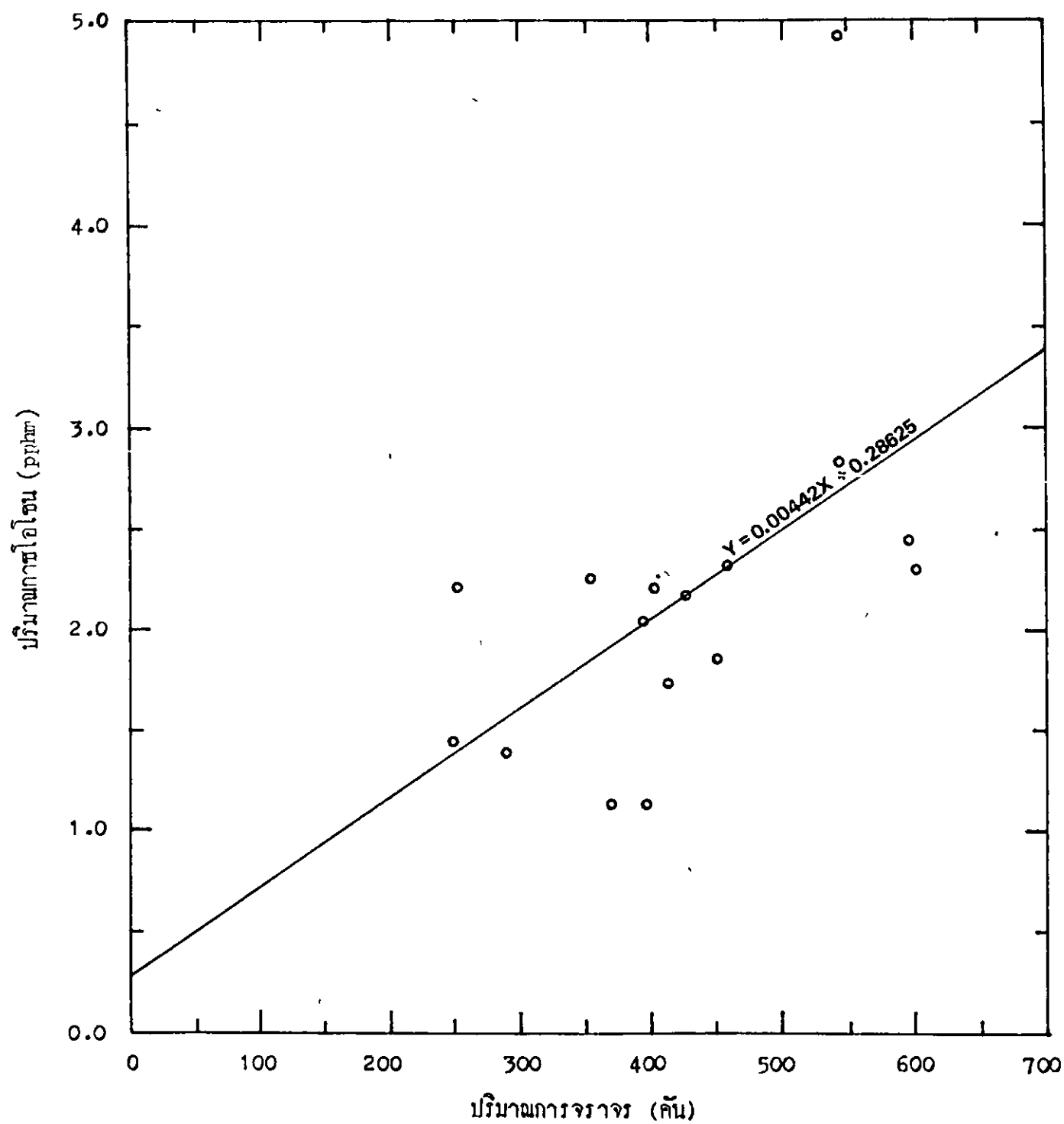
เวลา	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์, r	ค่าของ t-ratio	ระดับนัยสำคัญ ทางสถิติ
8.30 - 9.00 น.	0.5473	2.4468	.05
12.00 - 12.30 น.	0.5173	2.2617	.05
15.00 - 15.30 น.	0.5929	2.7549	.02

6. แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร

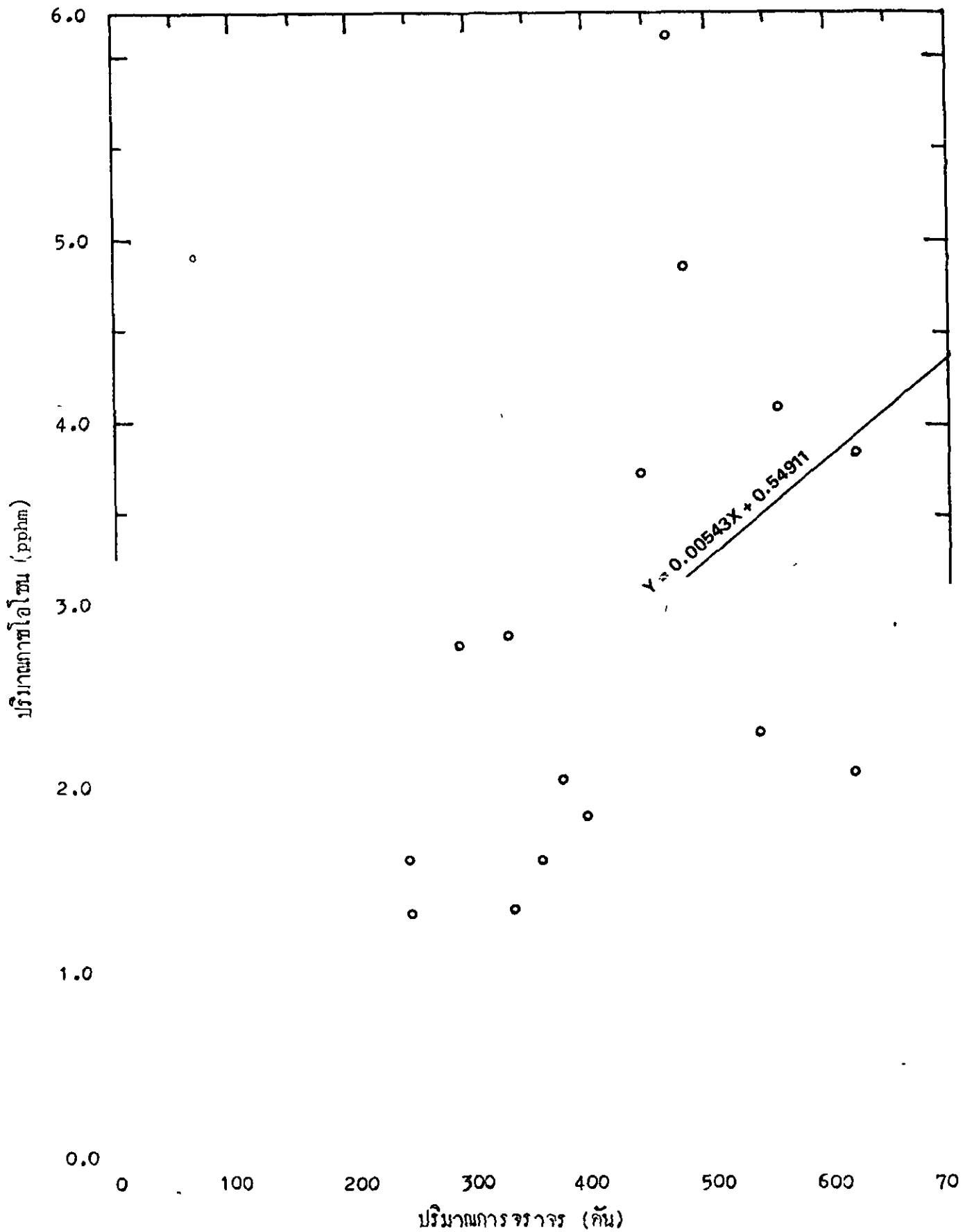
นำข้อมูล ปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซโอโซน จากตาราง 7 มาเขียนแผนภาพการกระจาย ค้นหาสมการกระดกถอย และเขียนเส้นกระดกถอย ดังแสดงในภาพประกอบ 5, ภาพประกอบ 6 และภาพประกอบ 7 ตามลำดับ

7. ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย

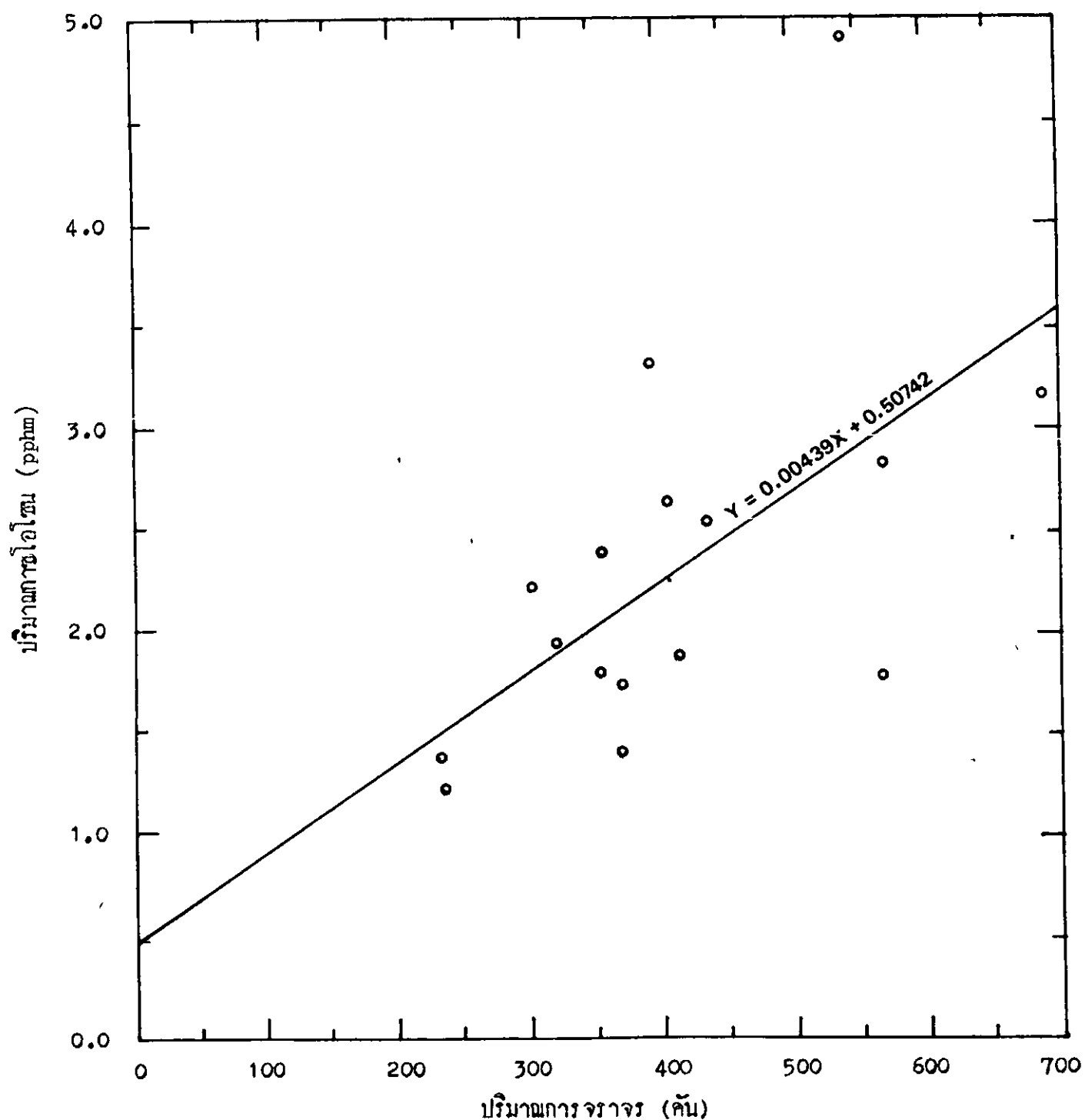
จากการวัดความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ และโซลา-ริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ และวัดปริมาณก๊าซโอโซนด้วยวิธี colorimetric ในวันที่ 4, 7 และ 10 ธันวาคม 2522 ในบริเวณคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปรากฏดังแสดงในตาราง 10 และตาราง 11



ภาพประกอบ 5 แผนภาพการกระจายของปริมาณกาซไอโซนในบริเวณที่มีการจรรจร ในเวลา 8.30-9.00 น.



ภาพประกอบ 6 แผนภาพการกระจายของปริมาณกาชไอซนในบริเวณที่มีการจรรจร ในเวลา 12.00-12.3



ภาพประกอบ 7 แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจากร ในเวลา 15.00-15.30 น.

ตาราง 10 ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และ ปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศ

เวลา	4 ธันวาคม 2522		7 ธันวาคม 2522		10 ธันวาคม 2522		ค่าเฉลี่ย ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อนาที)	ค่าเฉลี่ย ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)
	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อนาที)	ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อนาที)	ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อนาที)	ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)		
8.00 - 8.30 น.	0.4250	1.4520	0.4183	0.9972	0.3900	1.3569	0.4111	1.2687
8.30 - 9.00 น.	0.5750	1.4577	0.5483	1.0377	0.5350	1.4359	0.5528	1.3104
9.00 - 9.30 น.	0.7183	1.5369	0.7033	1.6573	0.6817	1.6744	0.7011	1.6229
9.30 - 10.00 น.	0.8433	1.7433	0.8150	1.4568	0.8017	1.7222	0.8200	1.6408
10.00 - 10.30 น.	0.9400	1.8301	0.9367	1.6612	0.9083	2.1177	0.9283	1.8697
10.30 - 11.00 น.	1.0283	1.7511	1.0133	1.8243	0.9683	2.0259	1.0033	1.8671
11.00 - 11.30 น.	1.0850	1.9632	1.0633	2.1742	1.0300	2.0261	1.0594	2.0545
11.30 - 12.00 น.	1.1200	2.3146	1.0917	2.4948	1.0650	2.8225	1.0922	2.5140

เวลา	4 ธันวาคม 2522		7 ธันวาคม 2522		10 ธันวาคม 2522		ค่าเฉลี่ย ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(กิโลวัตต์ ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	ค่าเฉลี่ย ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)
	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(กิโลวัตต์ ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(กิโลวัตต์ ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(กิโลวัตต์ ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	ปริมาณ ก๊าซโอโซน (pphm)		
12.00 - 12.30 น.	1.1100	2.4171	1.0833	2.2309	1.0633	2.5488	1.0855	2.3989
12.30 - 13.00 น.	1.0683	2.2397	1.0483	2.1960	1.0300	2.2360	1.0489	2.2406
13.00 - 13.30 น.	1.0133	2.0591	1.0050	2.0171	1.0000	2.4190	1.0061	2.1651
13.30 - 14.00 น.	0.9450	1.8564	0.9483	1.8910	0.9450	2.2220	0.9461	1.9898
14.00 - 14.30 น.	0.8617	2.0691	0.8583	1.8557	0.8683	2.2271	0.8628	2.0506
14.30 - 15.00 น.	0.7283	2.1145	0.7317	1.8564	0.7350	2.2243	0.7317	2.0651
15.00 - 15.30 น.	0.5817	1.8468	0.5800	1.7256	0.6150	2.2325	0.5922	1.9350
15.30 - 16.00 น.	0.4267	1.5563	0.4467	1.6875	0.4783	1.4337	0.4506	1.5592

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซ โอโซน

วัน เวลา	พิสัยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ (กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)	พิสัยของปริมาณก๊าซ โอโซน (pphm)	ปริมาณความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด (กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)	จำนวนครั้งของการเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ (กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซ โอโซน (pphm)
4 ธันวาคม 2522 8.00 – 16.00 น.	0.4250 – 1.1200	1.4520 – 2.4171	13.4700	16	0.8419	1.8680
7 ธันวาคม 2522 8.00 – 16.00 น.	0.4183 – 1.0917	0.9972 – 2.4948	13.2917	16	0.8307	1.7977
10 ธันวาคม 2522 8.00 – 16.00 น.	0.3700 – 1.0650	1.3569 – 2.8225	13.1150	16	0.8197	2.0484

8. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซน
จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับ
ปริมาณก๊าซโอโซนด้วยวิธีใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์และปริมาณก๊าซโอโซน

วันและเวลา	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์, r	ค่าของ t-ratio	ระดับนัยสำคัญ ทางสถิติ
4, 7, 10 ธันวาคม 2522 เวลา 8.00 - 16.00 น.	0.7482	7.6484	.001

9. แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซในบริเวณที่พักอาศัย

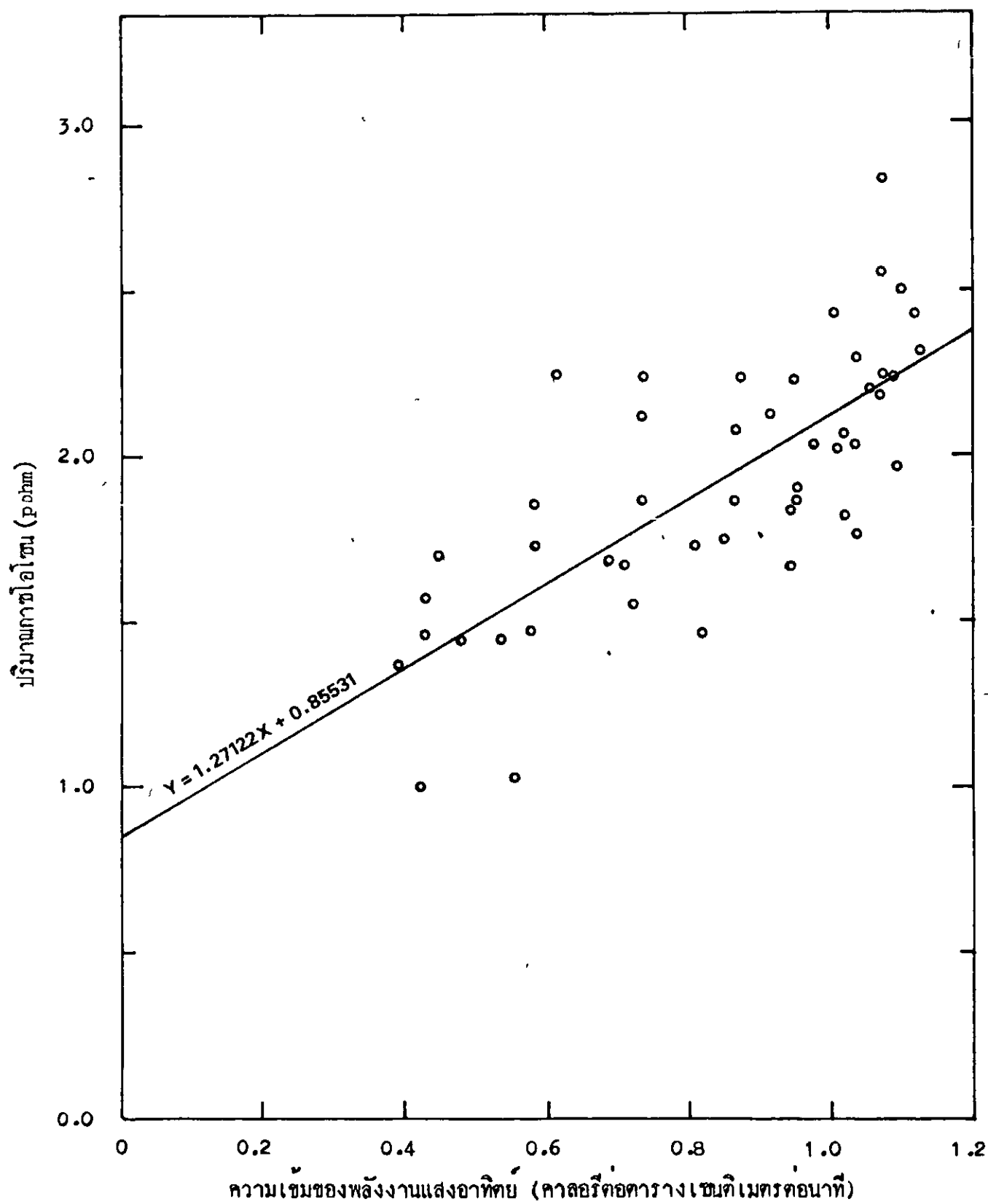
นำข้อมูลความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซโอโซนจากตาราง 10
มาเขียนแผนภาพการกระจาย คำนวณหาสมการถดถอย และเขียนเส้นถดถอย ดังแสดง
ในภาพประกอบ 8

10. เปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย

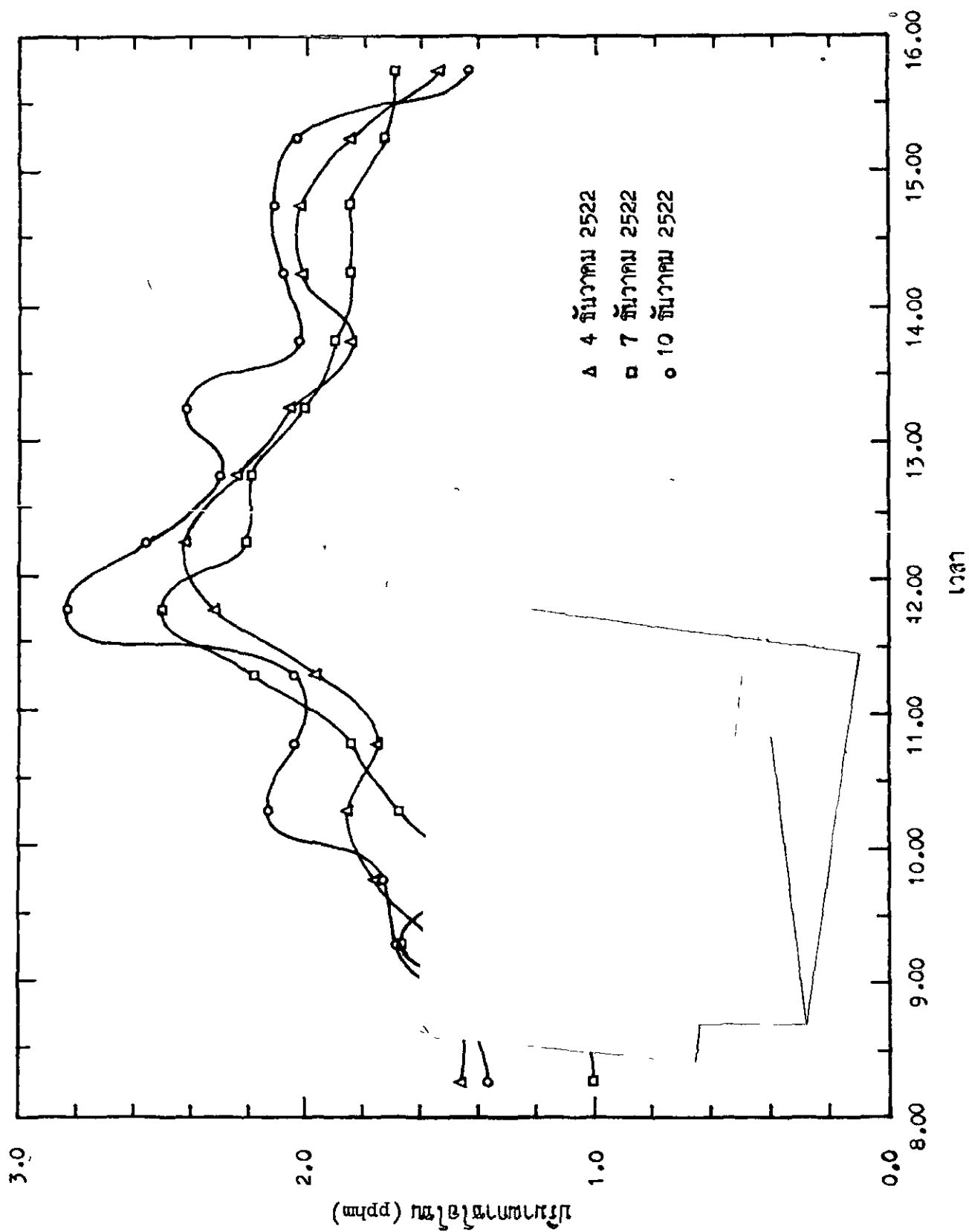
จากการวัดปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย ณ คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล ในวันที่ 4, 7 และ 10 ธันวาคม 2522 ตั้งแต่เวลา 8.00 - 16.00 น.
โดยอาศัยข้อมูลจากตาราง 10 นำมาเขียนกราฟดังแสดงในภาพประกอบ 9

11. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับค่าเฉลี่ยของปริมาณ
ก๊าซโอโซน

จากการวัดปริมาณก๊าซโอโซน ในบริเวณที่พักอาศัย ณ คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล ในวันที่ 4, 7 และ 10 ธันวาคม 2522 ตั้งแต่เวลา 8.00 - 16.00 น.



ภาพประกอบ 8 แผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย



โดยอาศัยค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากตาราง 10 นำมาเขียนกราฟ ดังแสดงในภาพประกอบ 10

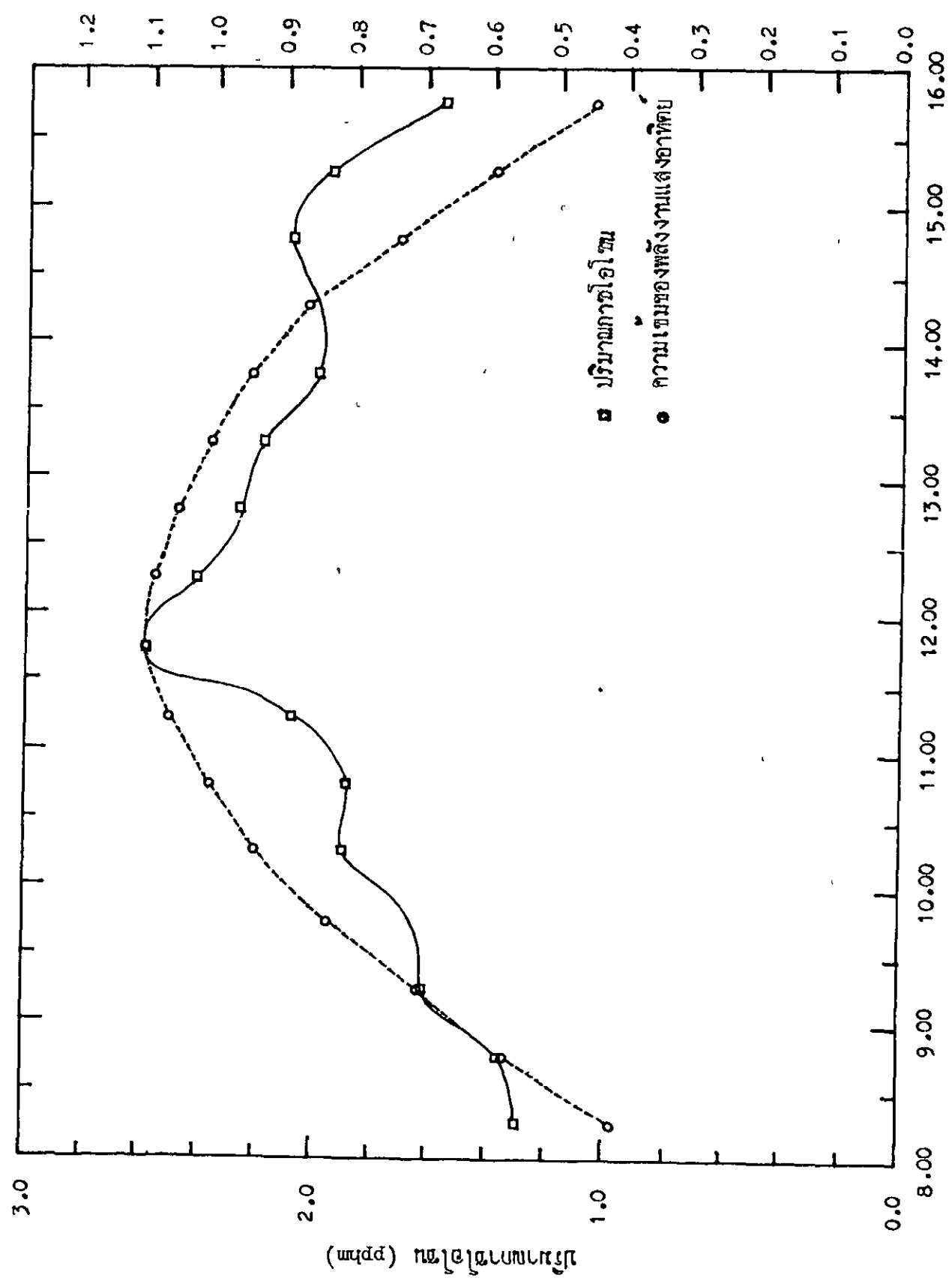
12. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย

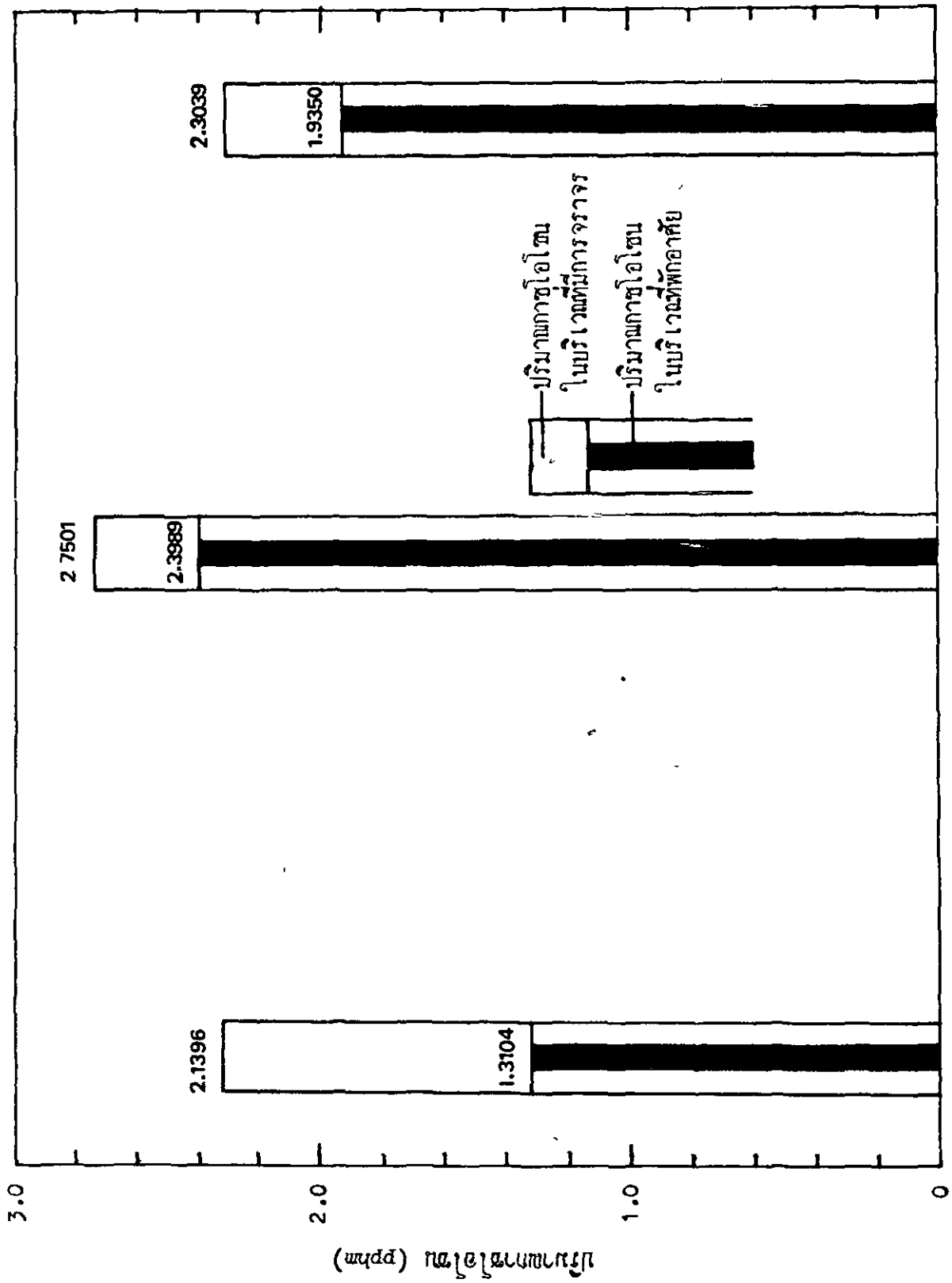
จากการวัดปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรบนถนนสายต่าง ๆ และย่านที่พักอาศัยที่ไม่มีการจราจร โดยอาศัยข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนจากตาราง 8 และตาราง 10 ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย

เวลา	ค่าเฉลี่ยของ ปริมาณก๊าซ โอโซนในบริเวณ ที่มีการจราจร (pphm)	ค่าเฉลี่ยของ ปริมาณก๊าซ โอโซนในบริเวณ ที่พักอาศัย (pphm)	ความแตกต่างของ ปริมาณก๊าซโอโซน (pphm)
8.30 - 9.00 น.	2.1396	1.3104	0.8292
12.00 - 12.30 น.	2.7501	2.3969	0.3512
15.00 - 15.30 น.	2.3039	1.9350	0.3689

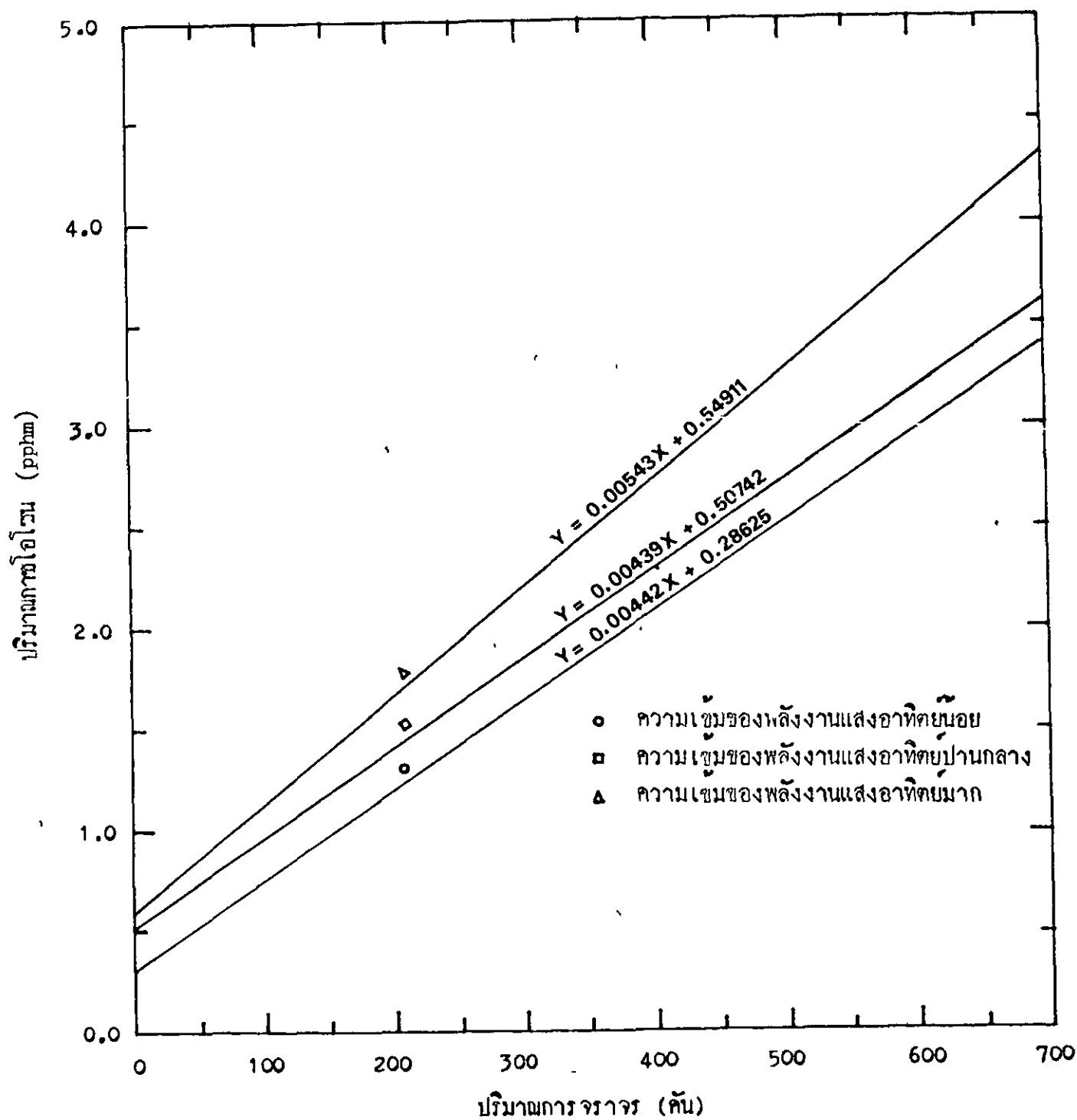
นำค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่พักอาศัย ไปเขียนกราฟแบบฮิสโตแกรม (histogram) ดังแสดงในภาพประกอบ 11





13. ความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และ ปริมาณก๊าซโอโซน

จากการวัดปริมาณการจราจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณ ก๊าซโอโซน โดยอาศัยข้อมูลจากตาราง 5, 6, 7 นำมาเขียนกราฟพยากรณ์ปริมาณก๊าซโอโซน เมื่อมีปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับต่าง ๆ กัน ดังแสดง ในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณการจรรจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณกาซไอโวน

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้

1. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ
2. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร
4. เพื่อศึกษาเทคนิควิธีการเก็บอากาศ และเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีของก๊าซโอโซนในอากาศ

วิธีการในการศึกษาครั้งนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คืออากาศในบริเวณริมถนน 16 สาย และอากาศในบริเวณที่พักอาศัยที่ไม่มีการจราจร ในเขตกรุงเทพมหานคร ในระดับความสูง $5 - 5\frac{1}{2}$ ฟุต จากพื้นดิน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
 - 2.1 เครื่องดูดอากาศ แบ่งเป็นเครื่องดูดอากาศแบบแผ่นไคอะแฟรม และเครื่องดูดอากาศแบบเวน
 - 2.2 โรทามิเตอร์ ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศ
 - 2.3 มิจเอท อิมพิงเจอร์ ใช้สารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซโอโซน
 - 2.4 บับเบิล มิเตอร์ ใช้ calibrate โรทามิเตอร์ของเครื่องดูดอากาศ

แบบแผนโคอะเฟรม

- 2.5 เวท เทสต์ มิเตอร์ ใช้ calibrate โรตاميเตอร์
- 2.6 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีน
- 2.7 เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ไพราโนมิเตอร์ และโซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ ใช้วัดความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.8 เครื่องมืออื่น ๆ ได้แก่ เครื่องนับปริมาณการจาง นาฬิกาจับเวลา เทอร์โมมิเตอร์ และบาโรมิเตอร์

3. วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การเตรียมน้ำกลั่นชนิดกลั่นสองครั้ง เติมโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนตและบาเรียมไฮดรอกไซด์ ลงในน้ำกลั่น แล้วกลั่นซ้ำ

3.2 เตรียมสารละลายที่ใช้ดูดกลืนก๊าซไอโอดีน ชั่งโปแตสเซียม ไทไฮโอไรต์ เจนฟอสเฟต 13.609 กรัม แอนไฮไดรส์ ไกลโคเลียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต 14.196 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 10.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 1 ลิตร

3.3 เตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน ชั่งโปแตสเซียมไอโอไดด์ 16.0 กรัม และไอโอดีนบริสุทธิ์ 3.1730 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4 เตรียมหลอดดูดก๊าซซิลิโคนไอโอดีน ใช้กระดากไฟเบอร์กลาสดูดสารละลายของโครเมียม ไตรออกไซด์ อบแล้วบรรจุในหลอดรูปตัวยู

3.5 การ calibrate โรตاميเตอร์ของเครื่องดูดอากาศแบบแผนโคอะเฟรม ท่อบับเบิล มิเตอร์ เข้ากับ แห้ว หลอดดูดก๊าซซิลิโคนไอโอดีน มิจเอท อิมพิงเจอร์ และเครื่องดูดอากาศ วัดอัตราการไหลของอากาศ จากฟองสบู่ เทียบกับสเกลของโรตاميเตอร์ของเครื่องดูดอากาศ

3.6 การ calibrate โรตاميเตอร์ ต่อ เวท เทสต์ มิเตอร์ เข้ากับ หลอดดูดก๊าซซิลิโคนไอโอดีน มิจเอท อิมพิงเจอร์ โรตاميเตอร์ และเครื่องดูดอากาศแบบแผนวัดอัตราการไหลของอากาศจากเวท เทสต์ มิเตอร์ เทียบกับสเกลของโรตاميเตอร์

3.7 การทำ calibration curve ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน เตรียมสารละลายไอโอดีนที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 10^{-6} - 10^{-5} M. นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

3.8 การเก็บตัวอย่างอากาศ ต่อเครื่องดูดอากาศ โรตัมเตอร์ มีจเอท อิมพิงเจอร์ และหลอดดูดก๊าซซิลิโคนออกไซด์ เก็บอากาศครั้งละ 30 นาที บันทึกอุณหภูมิและความดันของอากาศ แล้ววัดการดูดกลืนแสงของสารละลายในมีจเอท อิมพิงเจอร์ ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร เก็บอากาศในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัยที่ไม่มีการจราจร

3.9 การวัดปริมาณการจราจร ใช้นับด้วยเครื่องนับแบบกดด้วยมือ

3.10 การวัดความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ วัดด้วยไพราโนมิเตอร์ และนับด้วยโซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์

3.11 คำนวณหาปริมาณก๊าซไอโซนจากสูตร

$$\text{ปริมาณของก๊าซไอโซน (pphm)} = \frac{\text{โมโครโมลของก๊าซไอโซน} \times 24.465437 \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างอากาศ (ลิตร) ที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอร์.}}$$

4. การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติดังต่อไปนี้

4.1 ค่าเฉลี่ย ใช้หาค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซไอโซน

4.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ใช้หาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซไอโซน

4.3 t-test ใช้ทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.4 สมการถดถอย ใช้พยากรณ์ตัวแปรหนึ่งเมื่อทราบตัวแปรอีกตัวหนึ่ง

สรุปผลการทดลอง

จากการวัดปริมาณก๊าซไอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานคร สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซไอโซน

1.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซไอโซน บนถนน 16 สาย ในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่วันที่ 26 พฤศจิกายน 2522 ถึงวันที่ 24 ธันวาคม 2522 คือ

เวลา	ค่าเฉลี่ย ปริมาณการจราจร (คัน)	ค่าเฉลี่ย ปริมาณก๊าซไอโซน (pphm)
8.30 – 9.00 น.	419.750	2.1396
12.00 – 12.30 น.	405.625	2.7501
15.00 – 15.30 น.	408.875	2.3039

1.2 ถนนที่มีปริมาณการจราจรมากที่สุดและน้อยที่สุด

เวลา	ถนนที่มีการจราจรมากที่สุด	ถนนที่มีการจราจรน้อยที่สุด
8.30 – 9.00 น.	เจริญกรุง (598 คัน)	ศรีอยุธยา (249 คัน)
12.00 – 12.30 น.	เยาวราช (619 คัน)	ราชวิถี (202 คัน)
15.00 – 15.30 น.	วรจักร (686 คัน)	วิภาวดีรังสิต (232 คัน)

1.3 ถนนที่มีปริมาณก๊าซไอโซนมากที่สุด และน้อยที่สุด

เวลา	ถนนที่มีปริมาณก๊าซไอโซนมากที่สุด	ถนนที่มีปริมาณก๊าซไอโซนน้อยที่สุด
8.30 – 9.00 น.	เพชรบุรีตัดใหม่ (4.9012 pphm)	ประจักษ์ฯ (1.1329 pphm)
12.00 – 12.30 น.	ราชปรารภ (6.0846 pphm)	พญาไท (1.3381 pphm)
15.00 – 15.30 น.	เพชรบุรี (4.8767 pphm)	ราชวิถี (1.2266 pphm)

1.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซไอโซน พบว่า
มีค่าปานกลาง คือ

เวลา	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับนัยสำคัญทางสถิติ
8.30 – 9.00 น.	0.5473	.05
12.00 – 12.30 น.	0.5173	.05
15.00 – 15.30 น.	0.5929	.02

1.5 สมการถดถอยของปริมาณการจราจร และปริมาณก๊าซไอโซน

เวลา	สมการถดถอย
8.30 – 9.00 น.	$Y = 0.00442X + 0.28625$
12.00 – 12.30 น.	$Y = 0.00543X + 0.54911$
15.00 – 15.30 น.	$Y = 0.00439X + 0.50742$

2. ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซไอโซน

2.1 ค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซไอโซนใน
บริเวณที่พักอาศัย ตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. คือ

วันที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ (ค่าเฉลี่ยต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที)	ค่าเฉลี่ย ปริมาณก๊าซไอโซน (pphm)
4 ธันวาคม 2522	0.8419	1.8880
7 ธันวาคม 2522	0.8307	1.7977
10 ธันวาคม 2522	0.8197	2.0484

2.2 ระยะเวลาที่มีความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด และน้อยที่สุด (ตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น.)

วันที่	ระยะเวลาที่		ระยะเวลาที่	
	ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด (คาร์บอนไดออกไซด์)		ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด (คาร์บอนไดออกไซด์)	
4 ธันวาคม 2522	11.30 – 12.00 น.	(1.1200)	8.00 – 8.30 น.	(0.4250)
7 ธันวาคม 2522	11.30 – 12.00 น.	(1.0917)	8.00 – 8.30 น.	(0.4183)
10 ธันวาคม 2522	11.30 – 12.00 น.	(1.0650)	8.00 – 8.30 น.	(0.3900)

2.3 ระยะเวลาที่มีปริมาณก๊าซโอโซนมากที่สุดและน้อยที่สุด (ตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น.)

วันที่	ระยะเวลาที่มีปริมาณก๊าซโอโซนมากที่สุด (pphm)		ระยะเวลาที่มีปริมาณก๊าซโอโซนน้อยที่สุด (pphm)	
4 ธันวาคม 2522	12.00–12.30 น.	(2.4171)	8.00–8.30 น.	(1.4520)
7 ธันวาคม 2522	11.30–12.00 น.	(2.4948)	8.00–8.30 น.	(0.9972)
10 ธันวาคม 2522	11.30–12.00 น.	(2.8225)	8.00–8.30 น.	(1.3569)

2.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซนมีค่าค่อนข้างสูง คือ 0.7482 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.001

2.5 สมการถดถอยของพลังงานความเข้มของแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซโอโซน คือ $Y = 1.27122X + 0.85531$

3. เปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย พบว่า ปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรสูงกว่าในบริเวณที่พักอาศัย คือ

เวลา	ปริมาณก๊าซโอโซน ในบริเวณที่มีการจราจร (pphm)	ปริมาณก๊าซโอโซน ในบริเวณที่พักอาศัย (pphm)
8.30 – 9.00 น.	2.1396	1.3104
12.00 – 12.30 น.	2.7501	2.3989
15.00 – 15.30 น.	2.3039	1.9350

อภิปรายผลการทดลอง

จากการหาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ในระหว่างวันที่ 26 พฤศจิกายน 2522 ถึงวันที่ 24 ธันวาคม 2522 อภิปรายผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนโดยใช้สารละลาย 1 % KI ใน 0.1 M phosphate buffer นั้น ในปัจจุบันยังคงเป็นวิธีที่กระทำได้ง่าย สะดวก และมีความแม่นยำ (precision) ค่อนข้างสูง คือ $\pm 5\%$ จากค่าเฉลี่ย สามารถวิเคราะห์ก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 0.01 – 10 ppm แต่มีข้อเสีย คือ ไอโอไดน์ละลายตัวได้ง่าย ในระหว่างวิเคราะห์ เมื่อเก็บตัวอย่างในบริเวณริมถนนซึ่งไกลจากเครื่องมือวิเคราะห์ คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์มากจะมีกรสูญเสียไอโอไดน์ไป จึงทำให้ปริมาณก๊าซโอโซนที่คำนวณได้น้อยลง ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการวัดค่าดูดกลืนแสงของไอโอไดน์ คือ 45 นาที หลังจากเก็บตัวอย่าง (Stern. 1968 : 90) ทั้งนี้เนื่องจาก ไอโอไดน์ประมาณ 90 % จะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่ก๊าซโอโซนทำปฏิกิริยากับโพแตสเซียมไอโอไดค์ในกรดอินทรีย์ อิมพิงเจอร์ ไอโอไดน์อีก 10 % จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ในเวลา 45 นาที หลังจากเก็บตัวอย่าง หลังจากนั้น ไอโอไดน์จะเริ่มละลายตัว

ความเที่ยงตรง (accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์ในการทดลองครั้งนี้ ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากไม่สามารถทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของก๊าซไอโซนจากเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนได้ เพราะก๊าซไอโซนสลายตัวได้ง่าย ดังนั้นจึงอาศัยความสัมพันธ์ของจำนวนโมลในปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เมื่อก๊าซไอโซนทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมไอโอไดค์ แล้วให้ไอโอไดน์ออกมาเทียบกับสารละลายไอโอไดน์มาตรฐานเป็นหลักในการคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโซน

2. การปรับ pH ของสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโซนให้ได้ 6.8 ± 0.2 มีความสำคัญมาก เพราะจากการทดลองของ ไบเออร์ และ ซอลท์แมน (Boyd, Wallis and Cyr. 1970 : 670 citing Byers and Saltzman 1956 : 93) พบว่าที่ pH 7 เมื่อก๊าซไอโซน 1 โมล ทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมไอโอไดค์ จะได้ไอโอไดน์ออกมา 1 โมล เมื่อปรับ pH ให้เป็น 14 จำนวนโมลของไอโอไดน์ที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่า 1 โมล แสดงว่า pH ของสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซไอโซนมีผลทำให้ปริมาณไอโอไดน์ที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน คือ สารละลายที่มี pH ต่ำ จะได้ไอโอไดน์ออกมามากกว่าสารละลายที่มี pH สูง ดังนั้นในการเตรียมสารละลายทุกครั้ง จึงควรปรับ pH ให้มีค่า $= 6.8 \pm 0.2$ เสมอ

3. ประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่าง จากการทดลองเก็บตัวอย่างโดยใช้นิมิเจท อิมพิงเจอร์สองตัวต่อเนื่องกัน นำสารละลายในนิมิเจท อิมพิงเจอร์ ตัวที่สองมาวัดการดูดกลืนแสงของไอโอไดน์ ผลปรากฏว่า ไม่มีไอโอไดน์เกิดขึ้นในนิมิเจท อิมพิงเจอร์ตัวที่สอง แสดงว่าก๊าซไอโซนทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมไอโอไดค์อย่างสมบูรณ์ในนิมิเจท อิมพิงเจอร์ตัวแรก ดังนั้นในการทดลองเก็บตัวอย่างครั้งนี้จึงมีประสิทธิภาพสูง

4. การใช้หลอดดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น จะสามารถกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศได้ เพราะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับไอโอไดน์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไอโซนกับโปแตสเซียมไอโอไดค์ในนิมิเจท อิมพิงเจอร์ได้ ทำให้ปริมาณไอโอไดน์ลดน้อยลง ซึ่งจะทำให้การคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโซนต่ำกว่าที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตามถ้าสามารถคำนวณได้ว่าในอากาศมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยกว่า 10 % โดยปริมาตร ของก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้หลอดดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพราะก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ประมาณ 10 % โดยปริมาตร จะสามารถทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมไอโอไดค์

และให้ไอโอดีนออกมาเช่นเดียวกับก๊าซไอโอดีน (Katz. 1977 : 833) ดังนั้นในการวัดปริมาณไอโอดีนที่ให้ความเที่ยงตรง จะต้องวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศด้วย และก๊าซไอโอดีนที่คำนวณได้จะน้อยลง $\frac{1}{10}$ ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่วัดได้ในบริเวณเดียวกัน

5. ผลการวัดปริมาณก๊าซไอโอดีนทั้งในบริเวณที่มีการจราจร และบริเวณที่พักอาศัย จากตาราง 7 และ 10 พบว่ามีปริมาณก๊าซไอโอดีนในระดับความเข้มข้นที่ยังไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณก๊าซไอโอดีนสูงสุดไม่เกิน 0.08 ppm หรือ 8 ppbm ในเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณก๊าซไอโอดีนที่พบมากที่สุดคือ 6.0646 ppbm ในบริเวณริมถนนราชปรารภ ในวันที่ 3 ธันวาคม 2522 เวลา 12.00 – 12.30 น. แสดงว่า โดยทั่วไปแล้วปริมาณก๊าซไอโอดีนที่พบในอากาศในเขตกรุงเทพมหานครยังไม่ถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ แต่ก็ยังมีปริมาณก๊าซไอโอดีนในบางแห่งที่มีปริมาณสูงใกล้เคียงกับที่อาจเป็นอันตรายได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลของการวัดปริมาณก๊าซไอโอดีนของ เพรตซ์พรรณ คณาธารณา และคนอื่นๆ (เพรตซ์พรรณ คณาธารณา และคนอื่นๆ 2520 : 1 – 6) พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน ยกเว้นในซอยวัดสำโรงเหนือ ถนนปู่เจ้าสมิงพราย จังหวัดสมุทรปราการ พบปริมาณก๊าซไอโอดีนถึง 0.20 ppm

6. ปริมาณการจราจรบนถนน 16 สาย ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าจะมีมากที่สุด ในเวลา 8.30 – 9.00 น. คือเฉลี่ย 419.75 คัน ต่อหนึ่งช่องถนนใน 30 นาที รองลงมา คือเวลา 15.00 – 15.30 น. คือเฉลี่ย 408.725 คันต่อหนึ่งช่องถนนใน 30 นาที และปริมาณการจราจรน้อยที่สุดในเวลา 12.00 – 12.30 น. คือเฉลี่ย 405.625 คันต่อหนึ่งช่องถนนใน 30 นาที อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้มิได้วัดปริมาณการจราจรติดต่อกันตลอดทั้งวัน จึงไม่สามารถทราบได้ว่า เวลาใดที่มีปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยมากที่สุด และน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าถนนในเขตกรุงเทพมหานครโดยทั่วไปมีปริมาณการจราจรสูง เมื่อเทียบกับในต่างจังหวัด ซึ่งสังเกตได้จากทั้งจากตัวเลขและในสภาพความเป็นจริง โดยเฉพาะถนนเจริญกรุง ถนนเยาวราช ถนนวรจักร ถนนสุขุมวิท มีปริมาณการจราจรสูงมาก เมื่อมีปริมาณการจราจรสูง ก็จะทำให้มีปริมาณก๊าซพิษชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

และไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะเกิดปฏิกิริยาได้ออกซิไดซ์ออกมา ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร จะมีมากกว่าในบริเวณที่ไม่มีการจราจร ดังแสดงในตาราง 13 และภาพประกอบ 11 เช่นในเวลา

8.30 - 9.00 น. ในบริเวณที่มีการจราจร มีปริมาณก๊าซโอโซนโดยเฉลี่ย 2.1396 pphm แต่ในบริเวณที่พักอาศัยที่ไม่มีการจราจร จะมีปริมาณก๊าซโอโซนโดยเฉลี่ย 1.3104 pphm เป็นต้น

7. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร กับปริมาณก๊าซโอโซนในเวลา

8.30 - 9.00 น., 12.00 - 12.30 น. และเวลา 15.00 - 15.30 น. เป็น 0.5473, 0.5173 และ 0.5929 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .05 และ .02 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่า ปริมาณการจราจรและปริมาณก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์กัน เชื่อกันได้ 95, 95 และ 98 % ตามลำดับ จากแผนภาพการกระจายของปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจร สามารถหาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซโอโซนเมื่อมีปริมาณการจราจรต่าง ๆ กันได้ ซึ่งจะช่วยให้ทราบโดยประมาณได้ว่า เมื่อใดจะมีปริมาณก๊าซโอโซนเกินกว่าที่อันตราย ค่าความสัมพันธ์ของสมการถดถอยในเวลา 12.00 - 12.30 น. มีค่ามากกว่าความสัมพันธ์ของสมการถดถอยในเวลา 8.30 - 9.00 น. และ 15.00 - 15.30 น. และความสัมพันธ์ของสมการในเวลา 8.30 - 9.00 น. มีค่ามากกว่าความสัมพันธ์ของสมการในเวลา 15.00 - 15.30 น. แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มของปริมาณก๊าซโอโซนในเวลา 12.00 - 12.30 น. มีมากกว่าในเวลา 8.30 - 9.00 น. และอัตราการเพิ่มของปริมาณก๊าซโอโซนในเวลา 8.30 - 9.00 น. มีมากกว่าในเวลา 15.00 - 15.30 น. เมื่อมีปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นเท่ากัน สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งในเวลา 15.00 - 15.30 น. มีค่ามากที่สุด รองลงไปที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเวลา 8.30 - 9.00 น. และเวลา 12.00 - 12.30 น. ตามลำดับ

8. องค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งที่ทำให้ปริมาณก๊าซโอโซนต่ำในถนนบางสายที่มีการจราจรสูง และมีปริมาณก๊าซโอโซนสูงในถนนที่มีการจราจรต่ำ ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำนั้น คือสภาพแวดล้อมของถนนแต่ละสายไม่เหมือนกัน เช่น ความกว้างของถนน อัตราเร็วของรถยนต์ ความสูงของอาคารทั้งสองข้างถนน การให้อาคารใดในถนนบางสาย กระแสลมที่พัดพาไอเสีย

สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น ถนนเขาวงกต ถนนเจริญกรุง มีลักษณะแคบและมีตึกสูง โอกาสที่ไอเสียของรถยนต์จะระบายออกไปสู่บรรยากาศก็จะช้า ส่วนถนนวิภาวดีรังสิต ถนนราชวิถี มีตึกทั้งสองข้างน้อย หรือไม่มีเลย ถนนกว้าง ไอเสียก็จะระบายไปไถ่กรวดเร็ว โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์อินทรีย์น้อย

9. การสัมพันธ์สัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณก๊าซโอโซน เป็น 0.7482 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 แสดงให้เห็นว่าเป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่า ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์กัน เชื่อถือได้ 99.9 % ซึ่งเป็นความเชื่อมั่นในระดับสูงมาก ในการทดลองครั้งนี้จึงกล่าวได้ว่า ปฏิริยาโฟโตเคมีคัลมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจริง เพราะเมื่อมีแสงอาทิตย์มาก ปริมาณก๊าซโอโซนก็มีแนวโน้มมากขึ้น คือปริมาณก๊าซโอโซนจะมีมากในตอนกลางวันมากกว่าตอนเช้าและบ่าย

สมการพยากรณ์คือ $Y = 1.27122X + 0.85531$ จะเห็นว่าจุดที่เส้นสมการตัดแกน (intercept) มีค่ามากถึง 0.85531 ซึ่งควรจะมีค่าเป็นใกล้ศูนย์หรือเป็นศูนย์ เพราะเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ ก็ควรจะมีปริมาณก๊าซโอโซนน้อยหรือไม่มีเลย ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากมีสารอื่น ๆ ที่มีก๊าซโอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมไอโอไดค์ แล้วได้ไอโอไดน์ออกมาแทน ในโตรเจนมอนอกไซด์ เปอร์ออกไซด์ ซัลไฟด์ ในเครท และสารประกอบเฮไลเจน จึงทำให้ผลการคำนวณปริมาณก๊าซโอโซนมากกว่าที่ควรจะเป็น และเมื่อพิจารณาจุดที่สมการตัดแกนในภาพประกอบ 12 แล้ว จะเห็นว่าค่าค่อนข้างต่ำ ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากหลอดที่ใช้ก๊าซกาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่สามารถถูกกาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้หมด เพราะในบริเวณริมถนนมีกาซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นปริมาณมาก จึงมีการทำลายไอโอไดน์โดยปฏิกิริยาของกาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผลการคำนวณปริมาณก๊าซโอโซนจึงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

ข้อผิดพลาดของการทดลอง

1. ความผิดพลาดเนื่องจากปฏิกิริยาแทรกซ้อนของสารประกอบบางชนิดที่สลายเล็กน้อยในอากาศ เช่น ไนโตรเจนเปอร์ออกไซด์ ไนโตรเจนมอนอกไซด์ และสารออกซิเจนอื่น ๆ สารประเภทนี้สามารถทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียม ไอโอไดด์ และให้ไอโอดีนเช่นเดียวกับก๊าซไอโอดีน เรียกว่า การแทรกซ้อนทางบวก (positive interference) ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และฝุ่นละอองที่เป็นตัวรบกวน โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีมาก จะทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ทำให้ปริมาณไอโอดีนลดลง เรียกว่าการแทรกซ้อนทางลบ (negative interference) ความผิดพลาดนี้อาจลดน้อยลง เมื่อใช้หลอดดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ไม่สามารถทดสอบประสิทธิภาพในการดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้
2. ความผิดพลาดของเครื่องมือ เช่น ไพราโนมิเตอร์มีความผิดพลาด $\pm 2.4\%$ เวท เทสต์ มีเตอร์ มีความผิดพลาด $\pm 0.5\%$ นอกจากนี้ยังอาจมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการรบกวนทางเคโมกราฟีในเครื่องเก็บอากาศอีกด้วย
3. ความผิดพลาดที่เกิดจากการนับปริมาณการจางจืด ถือเป็นความผิดพลาดของผู้ทดลอง เพราะจะต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการบันทึกอุณหภูมิ และความกดดันของอากาศด้วย ความผิดพลาดนี้จะน้อยลง ถ้ามีผู้ช่วยในการทดลอง
4. ความผิดพลาดที่เกิดจากการนับจำนวนนับของโซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์ เมื่อมีความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำ เช่นในเวลาเช้าและบ่าย จำนวนนับของโซลาริมิเตอร์จะต่ำมาก ทำให้ยากแก่การนับในระยะเวลาที่กำหนดไว้
5. ความผิดพลาดที่เกิดจากการสูญเสียไอโอดีนในมิจเอท อิมพิงเจอร์ ทั้งนี้เนื่องจากฟุ้งสารถลายไวนอนเกินไป หลังจากเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างบนถาดบางสายต้องใช้เวลานานกว่าวัดการดูดกลืนแสงด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งอาจจะนานเกินไป จนไอโอดีนสลายตัวไป นอกจากนี้การถ่ายเทสารถลายก็อาจทำให้เกิดการสูญเสียไอโอดีนไปด้วย ความผิดพลาดนี้อาจลดน้อยลงโดยเลือกถาดที่หยาบ การเลือกใช้เส้นทางคมนาคมที่ใช้เวลาน้อยที่สุด การใช้ยานพาหนะส่วนตัว และการไม่ถ่ายเทสารถลายบ่อยครั้งเกินไป

6. ความผิดพลาดที่เกิดจากการระเหยของสารละลายที่ใช้ดูดซับก๊าซโอโซนในระหว่างเก็บอากาศ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดนี้แก้ไขได้โดยเติมน้ำกลั่นใหม่ปริมาณเป็น 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนทำการวิเคราะห์

7. ความผิดพลาดที่เกิดจากความไม่บริสุทธิ์ของสาร ความไม่สะอาดของเครื่องแก้ว และจากการชั่งสาร เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ฉะนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น โครงการสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในประเทศไทย ควรรับหาทางป้องกันพิษที่เกิดจากก๊าซโอโซนโดยเร็ว มิฉะนั้นอาจจะประสบปัญหาเหมือนกับที่เกิดขึ้นในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เป็นต้น

2. การควบคุมปริมาณก๊าซโอโซนโดยวิธีการจำกัดการจราจรนั้น สามารถกระทำได้โดยสถานะทางกฎหมาย เช่น การทดสอบปริมาณก๊าซพิษที่รถยนต์ปล่อยออกมา การห้ามรถยนต์ที่มีสภาพเก่าแก่ มีการปล่อยไอเสียมาก วิ่งบนถนน นอกจากนั้นสิ่งที่ต้องกระทำควบคู่ไปด้วยกันก็คือ การให้การศึกษาแก่ประชาชนเกี่ยวกับความสำคัญของการควบคุมสภาพอากาศ การสนับสนุนการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับอากาศเป็นพิษ การตั้งสถานีตรวจอากาศเสีย การจัดเดินรถทางเดียวให้มากขึ้น และสิ่งที่สำคัญคือ ควรมีกฎหมายพิเศษสำหรับกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศกว่าในประเทศไทยควรมีปริมาณก๊าซโอโซนสูงสุดในอากาศเป็นปริมาณเท่าใด โดยคำนึงถึงสุขภาพ และสภาพแวดล้อมของความเป็นอยู่ของคนไทยเป็นหลัก

3. ควรทดลองหาปริมาณก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรตลอดวัน เพื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการจราจร

4. ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างอากาศให้มากขึ้น เพราะจะทำให้ผลการวิจัยมีความเชื่อมั่นได้สูงขึ้น

5. ควรทดลองศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซโอโซน กับปริมาณก๊าซอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ในบริเวณใกล้เคียงกัน เช่น ก๊าซออกซิเจน

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และ ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์

6. วิธีการเก็บอากาศ และวิธีวิเคราะห์ทางเคมีของก๊าซโอโซน อาจนำไปใช้หาปริมาณก๊าซพิษอื่น ๆ ในอากาศได้ เพราะมีหลักการและวิธีการคล้ายคลึงกัน

7. ควรทดสอบวัดปริมาณก๊าซโอโซนในระดับความสูงต่าง ๆ กันจากระดับน้ำทะเล เพื่อศึกษาการกระจายตามแนวตั้งของก๊าซโอโซน

8. ควรศึกษาถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซโอโซนในอากาศ เช่น กระแสลม ความชื้น ฤดู สถานที่ ฯลฯ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กัญจน์ นาคามที "สถานะปัจจุบันของอากาศเสีย" รายงานการสัมมนา สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 15 - 22, 22 - 24 มกราคม 2519

ชัยฤทธิ์ มหิทธิยัทธนา "อากาศเป็นพิษ" นิตยสารโรงงาน 7(2) : 3 - 7 กุมภาพันธ์ 2515

ชัยเวช นุชประยูร "ผลกระทบของโรงงานอุตสาหกรรมต่อความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม" รายงานการสัมมนา สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 84 - 90, 22 - 24 มกราคม 2519

นิตยา มหาผล "ความรู้ทั่วไปเรื่องอากาศเสีย" จดหมายข่าวสภาวะแวดล้อม 28 : 13 - 16 กันยายน 2521

บุษบา คุณาศิรินทร์ และคนอื่น ๆ "การปรับปรุงสภาวะอากาศในกรุงเทพมหานคร ด้วยการจำกัดการจราจร" หน้า 1 - 3, 2520 อัดสำเนา

ประคอง กรรณสูต สถิติศาสตร์ประยุกต์สำหรับครู พิมพ์ครั้งที่ 5 ไทวัฒนาพานิช 2520, 161 หน้า

เพริศพรพรณ คณะธารณา และคนอื่น ๆ "การศึกษาตัวการที่ทำให้อากาศเสียในเมืองใหญ่" จดหมายข่าวสภาวะแวดล้อม 26 : 1 - 6 กรกฎาคม 2521

วรวิทย์ เลื่อนาค "ปัญหาอากาศเป็นพิษในกรุงเทพมหานคร" สารสิ่งแวดล้อม 5(1) : 3 - 8 กันยายน - ตุลาคม 2521

วรวิทย์ ศศิสกุลพร "อุลตราไวโอเลต ผู้ทำลายสิ่งแวดล้อม" สารสิ่งแวดล้อม 3(4) : 46 - 53 มิถุนายน - กรกฎาคม 2520

Altshuller, A.P. "Air Pollutin," Analytical Chemistry. 37(5) : 11R - 17R, April, 1965.

American Conference of Government Industrial Hygienist. Air Sampling Instrument for Evaluation of Atmospheric Contaminant. 5th.ed., 1978. 1v. (various paging)

- Bartel, A.W. and J.W. Temple. "Ozone in Los Angeles and Surrounding Areas," Industrial Engineering Chemistry. 44 : 857, 1952.
- Blacet, F. "Photochemistry of the Lower Atmosphere," Industrial Engineering Chemistry. 44 : 1339, 1952.
- Bolton, James R. "Photochemical Storage of Solar Energy," Solar Energy. 20(2) : 181 - 183, 1978.
- Boyd, A. William, Clive Willis and Ronald Cyr. "New Determination of Stoichiometry of the Iodometric Method for Ozone Analysis at pH 7.0," Analytical Chemistry. 42(6) : 670 - 672, 1970.
- Cadle, R.D. and H.S. Johnston. Chemical Reaction in Los Angeles Smog. Proceedings of the Second National Air Pollution Symposium, 1952. 123 p.
- Cauer, H. Compendium of Meteorology. Boston, Mass. : American Meteorology Society, 1952. 1497 p.
- Challen, P.J.R., D.E. Hickish and J. Bedford. "Investigation of Some Health Hazards in Inert-Gas Tungsten Arc Welding Shop," British Journal of Industrial Medicine. 15 : 276, 1958.
- Charlett, Emil E. Environmental Protection. New York, McGraw-Hill, Inc., 1973. 569 p.
- Chemeides, William L. and Donald H. Stedman. "Ozone Formation from NO_x in Clean Air," Environmental Science and Technology. 10(2) : 150 - 153, February, 1976.
- Cooper, Hal. B.H. and August T. Rossano. Source Testing for Air Pollution Control. New York, McGraw-Hill, Inc., 1971. 228 p.
- Crabtree, J. and A.R. Kemp. "Weathering of Solf Vulcanized Rubber," Industrial Engineering Chemistry. 38 : 278, 1946.
- Crutzen, P.J. Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere. Netherland, 1973. unpagged.
- DeMoore, W.B. and M.D. Patapoff. "Comparison of Ozone Determination by Ultraviolet Photometry and Gas-Phase Titration," Environmental Science and Technology. 10(2) : 897 - 899, February, 1976.
- Edgar, J.L. and F.A. Paneth. "The Determination of Ozone and Nitrogen Dioxide in the Atmosphere," Journal of the Chemical Society. 2 : 519 - 527, 1941.
- Ewing, Galen W. Instrumental Methods of Chemical Analysis. 4 th.ed., Tokyo, McGraw-Hill, Inc., 1975. 560 p.

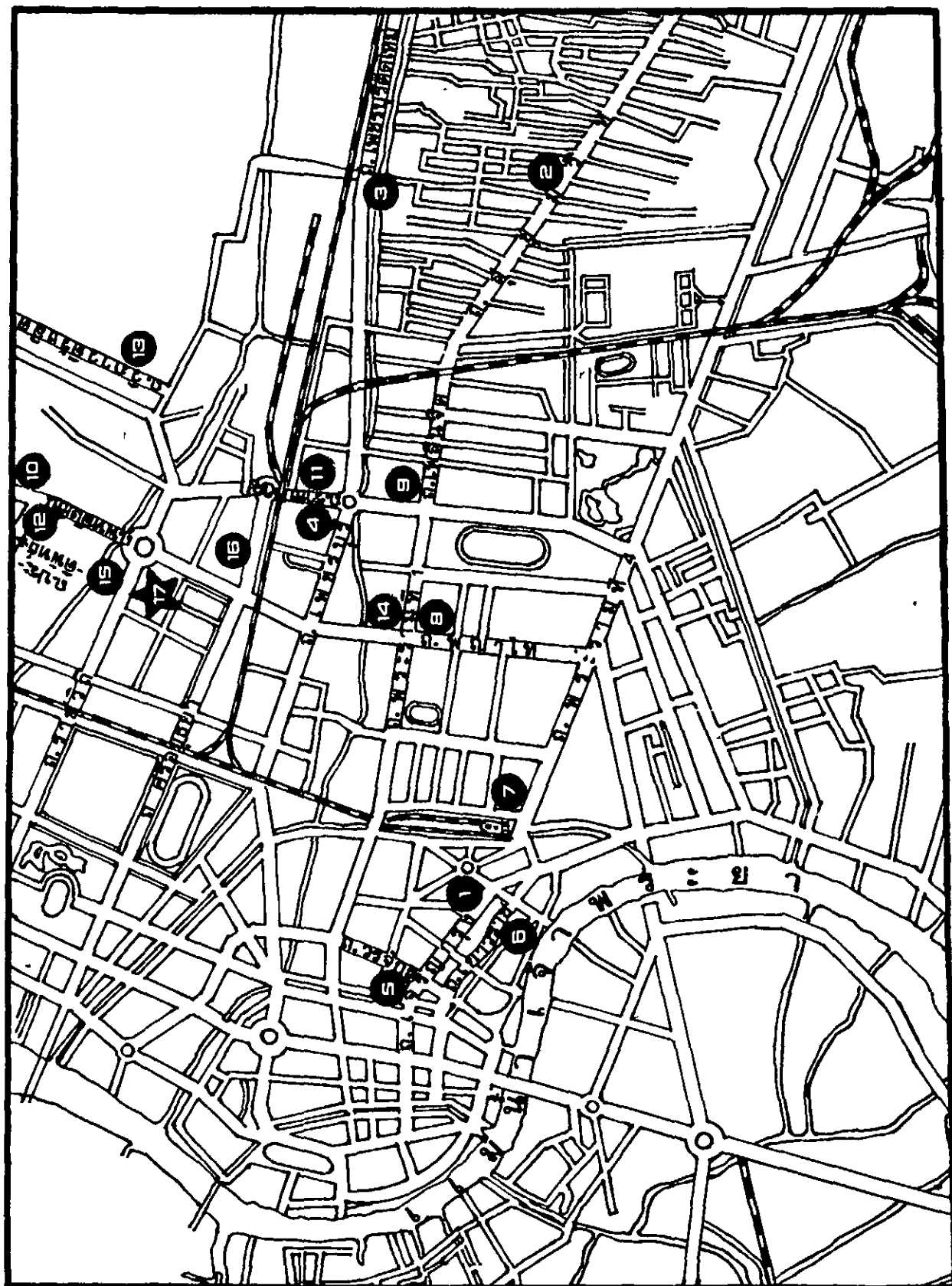
- Excell, Daniel L. "The Atmospheric Radiation Climate of Thailand," Solar Energy. 21(3) : 73 - 79, 1978.
- Flamm, Daniel L. "Analysis of Ozone at Low Concentration with Boric Acid Buffered KI," Environmental Science and Technology. 11(10) : 978 - 983, October, 1977.
- Graedel, Thomas E., Leonilda A. Farrow and Thomas A. Weber. "Photochemistry of the Sunday Effect," Environmental Science and Technology. 11(7) : 690 - 694, July, 1977.
- Griswold S.S., L.A. Chamber and H.L. Mostley. "Report of a Case of Exposure at High O_3 Concentration for 2 Hours," Archives of Industrial Health. 15 : 108, 1957.
- Gulford, J.P. Fundamental Statistics in Psychology and Education. 4 th.ed., Tokyo, Kogakusha, 1965. 605 p.
- Hauser, Thomas R. and Daniel W. Bradley. "Specific Spectrometric Determination of Ozone in the Atmosphere Using 1,2-Di-(4-Pyridyl) Ethylene," Analytical Chemistry. 38(11) : 1529 - 1532, October, 1966.
- Hendricks, Russel H. and Lee B. Larsen. "An Evaluation of Selected Methods of Collection and Analysis of Low Concentrations of Ozone," American Industrial Hygiene Association Journal. 28(3) : 80 - 84, May-June, 1962.
- Hesketh, Howard E. Understanding and Controlling Air. 2 nd.ed., Michigan, Ann Arbor Science Publisher, Inc., 1974. 457 p.
- Jacobs, Morris B. The Chemical Analysis of Air Pollutant. New York, Interscience Publisher, Inc., 1960. 430 p.
- Jaffe, Louis S. "The Biological Effects of Photochemical Air Pollutants on Man and Animals," American Journal of Public Health. 57(8) : 1269 - 1275, August, 1967.
- Jegier, Z. "Serum Protein Changes During Exposure to Ozone," American Industrial Hygiene Association Journal. 37(6) : 329 - 334, June, 1976.
- Katz, Morris. Methods of Air Sampling and Analysis. 2 nd. ed., Washington, D.C., American Public Health Association, 1977. 984 p.
- Layton, Ronald F., D. Spach and James O. Pierce. "Monitoring of Ozone in Air by the Peroxy/Isocyanate Method," American Industrial Hygiene Association Journal. 31(6) : 738 - 741, November-December, 1970.
- Leh, Francis. "Air Pollution Instruments for Oxidants," American Laboratory 6 : 9 - 14, July, 1976.

- Magill, Paul L., Francis R. Holden and Charles Ackley. Air Pollution Handbook. New York, McGraw-Hill, Inc., 1956. 320 p.
- Mahan, Bruce H. University Chemistry. 3 rd. ed., Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1975. 894 p.
- Meinel, Aden B. and Marjorie P. Meinel. Applied Solar Energy. 2 nd.ed., Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1977. 651 p.
- Mellor J.W. Treatise in Inorganic and Theoretical Chemistry. Vol. 1, Longmans, Green and Co., 1922. 947 p.
- Mittler S., D. Herrick and A. Gaynor. "Toxicity of Ozone," Industrial Medical and Surgery. 25 : 301, 1956.
- Noll, Kenneth E. Determine the Impact of Highways on Ambient Air Quality. Research Report. New York, July, 1975. 222 p.
- Patty, Frank A. Industrial Hygiene and Toxicity. 2 nd. ed., New York, Interscience Publishers, Inc., 1963. 2377 p.
- Perkins, Henry C. Air Pollution. New York, McGraw-Hill, Inc., 1974. 407 p.
- Pitts, James, N. and others. "Long-Path Infrared Spectroscopic Investigation at Ambient Concentrations the 2 % Neutral Buffered Potassium Iodide Method for Determination of Ozone," Environmental Science and Technology. 10(8) : 787 - 793, August, 1976.
- Regener, Victor H. "Measurement of Atmospheric Ozone with the Chemiluminescent Method," Environmental Research. 69(8) : 3975 - 3977, September, 1961.
- Remington, Richard D. and M. Anthony Schork. Statistics with Applications to the Biological and Health Sciences. New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1970. 418 p.
- Riehl, Herbert. Introduction to the Atmosphere. 3 rd. ed., Tokyo, McGraw-Hill, Inc., 1978. 410 p.
- Robinson N. Solar Radiation. Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 1966. 347 p.
- Rollefson, G.K. and Burton Milton. Photochemistry and Mechanism of Chemical Reaction. New York, Prentice-Hall, 1939. 441 p.
- Ross, R.D. Air Pollution and Industry. New York, Van Nostrand Reinbold Company, Inc., 1972. 489 p.

- Saltzman, Bernard E. "Iodometric Microdetermination of Organic Oxidants and Ozone," Analytical Chemistry. 31(11) : 1914 - 1920, November, 1959.
- Sayigh, A.A.M. Solar Energy Engineering. New York, Academic Press, Inc., 1977. 506 p.
- Scheel and others. "Physiologic, Biochemical, Immunologic and Pathologic Changes Following O₃ Exposure," Journal of Applied Physiology. 14 : 67, 1957.
- Seibold, Gerhard. Carbon Monoxide Levels in the Streets of Bangkok. AIT Research Report, Bangkok, August, 1978. 27 p. mimeographed.
- Seinfeld, John H. Air Pollution : Physical and Chemical Fundamental. New York, McGraw-Hill, Inc., 1975. 523 p.
- Silverstein, Robert M. and G. Clayton Bassler Spectrometric Identification of Organic Compounds. 3 rd. ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1974. 340 p.
- Smith, Billy S. and J.O. Pierce. "The Use of Plastic Bags for Industrial Air Sampling," American Industrial Hygiene Association Journal. 31 : 343 - 348, May-June, 1970.
- Stanford Research Institute. The Smog Problem in Los Angeles County. Los Angeles, Western Oil and Gas Association, 1954. 134 p.
- Stern, Arthur C. Air Pollution. 2 nd. ed., London, Academic Press. Inc., 1968. 694 p.
- Stokinger, H.E. Effects of Air Pollution on Animal. New York, Academic Press. Inc., 1962. 474 p.
- Stokinger, H.E. and others. "Ozone Toxicity Studies," Archives of Industrial Health. 16 : 514, 1957.
- Thomas, Robert W. and others. Ozone Measurement Systems Improvement Studies. Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration, August, 1974. 92 p.
- Wark, Kenneth and Cecil F. Warner. Air Pollution : Its Origin and Control. New York, Harper & Row, Publishers, Inc., 1976. 519 p.
- Weinburg, George H. and others. Statistics and Intuitive Approach. 2 nd. ed., California, Brooks & Publishing Co., 1969. 362 p.
- Willard, Robert H., Lynne L. Merritt and John A. Dean. Instrumental Methods of Analysis. 5 th. ed., New York, Van Nostrand, 1974. 860 p.

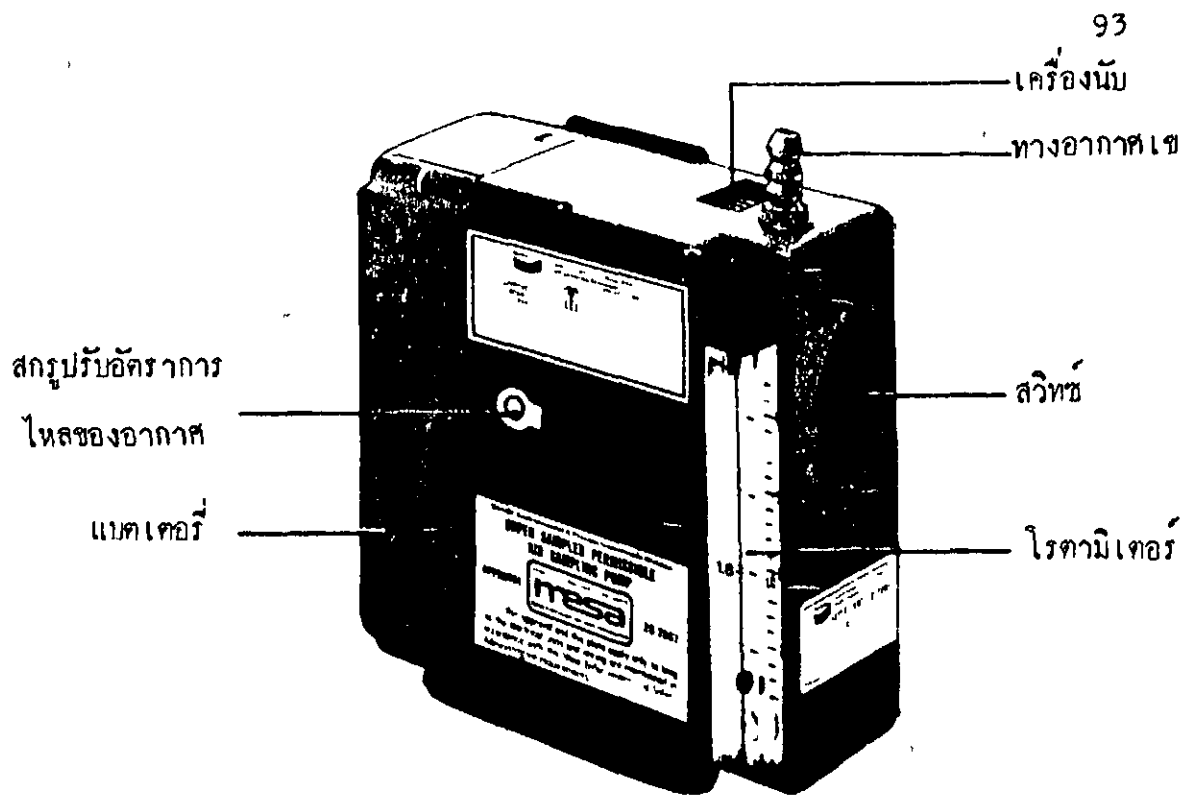
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ภาพประกอบการทดลอง

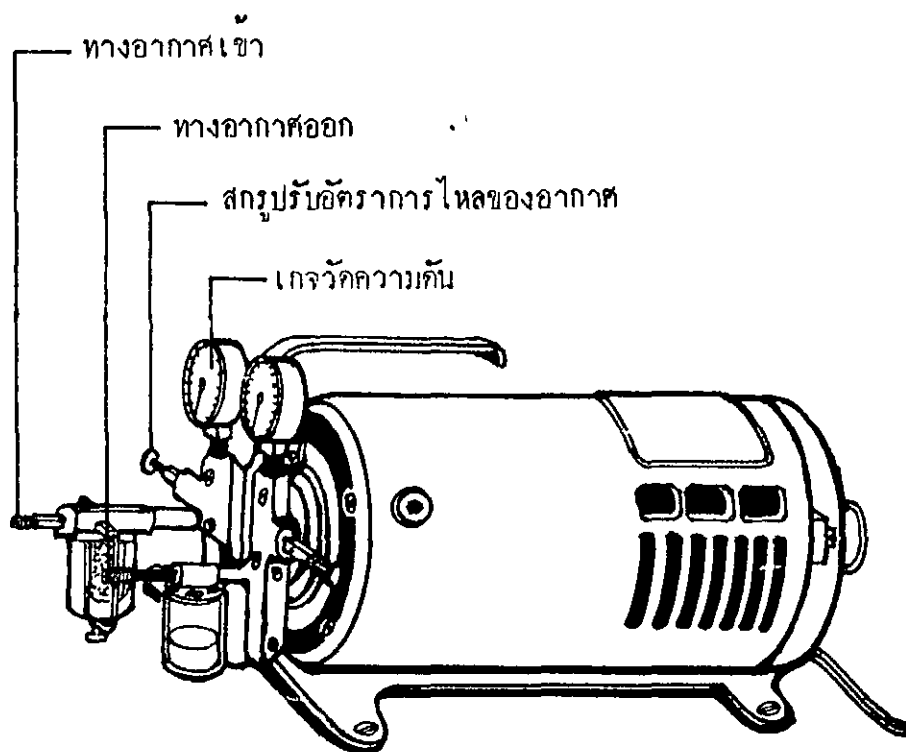


จากภาพประกอบ 13 หมายเลขต่าง ๆ ในภาพประกอบ หมายถึงสถานที่ดังต่อไปนี้

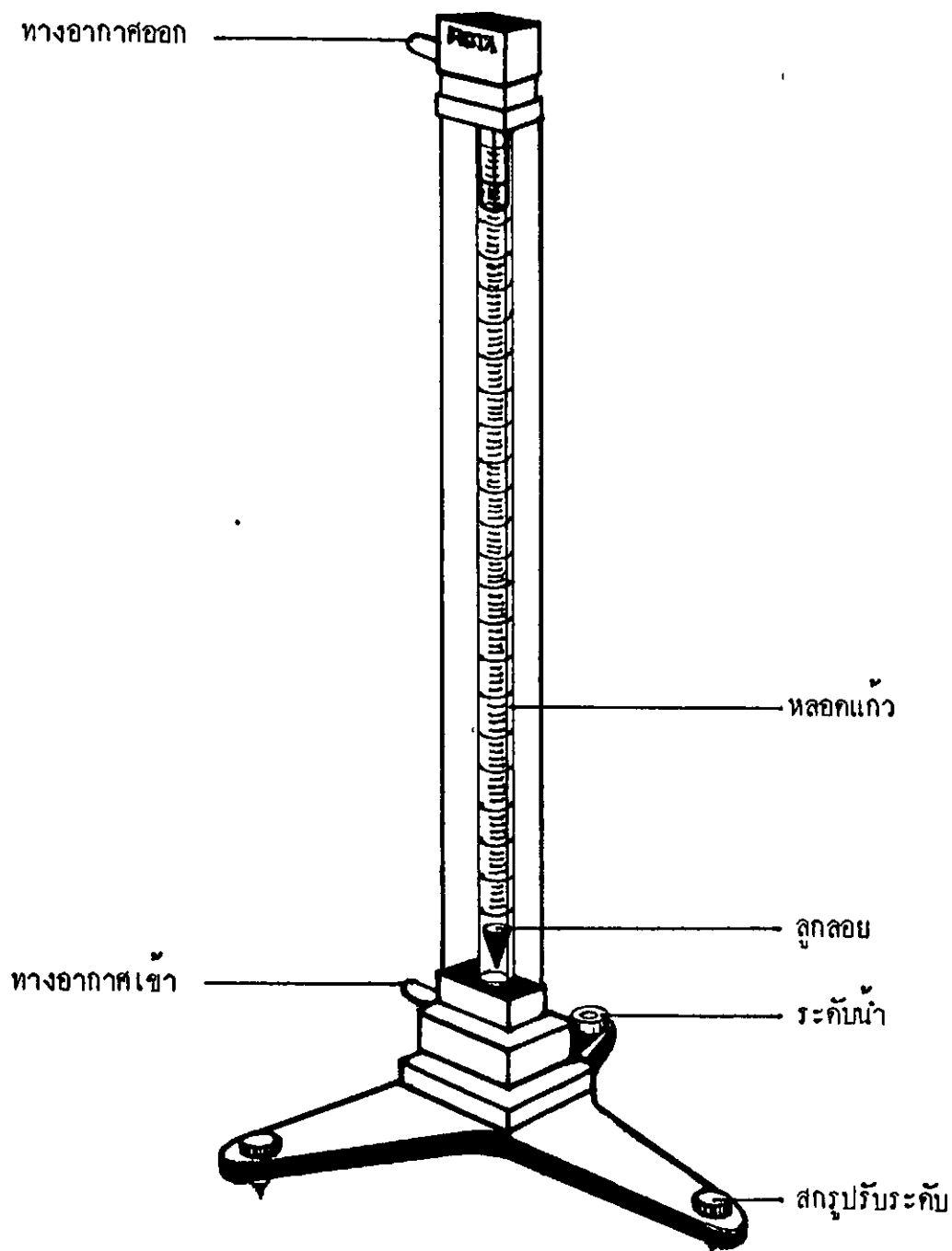
1. ถนนเจริญกรุง หน้าวัดมัทกรรณดาราวาด
2. ถนนสุขุมวิท ปากซอยสุขุมวิท 23
3. ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ ใกล้สะพานลอยโศก
4. ถนนเพชรบุรี หน้าโรงพยาบาลพาราเมท
5. ถนนวรจักร หน้าสำนักพิมพ์สิ่งเขียนเยอะเป๋
6. ถนนเยาวราช ตรงข้ามสมบุญไฮเกิ้ล
7. ถนนพระรามที่ 4 หน้าสถานีรถไฟกรุงเทพ (หัวลำโพง)
8. ถนนพญาไท ใกล้สะพานลอยราชเทวี
9. ถนนเพลินจิต ตรงข้าม Erawan café
10. ถนนพหลโยธิน หน้าตลาดกวีฤๅราช
11. ถนนราชปรารภ ตรงข้ามโรงแรมอินทรา รีเอนด์
12. ถนนประดิพัทธ์ ตรงข้ามโรงพยาบาลเฉลิมสิน
13. ถนนวิภาวดีรังสิต หน้าวิทยาลัยจักรพงษ์ภูวนารถ
14. ถนนพระรามที่ 1 หน้าศูนย์การค้าสยาม
15. ถนนราชวิถี ตรงข้ามคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
16. ถนนศรีอยุธยา หน้าโรงเรียนศรีอยุธยา
17. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



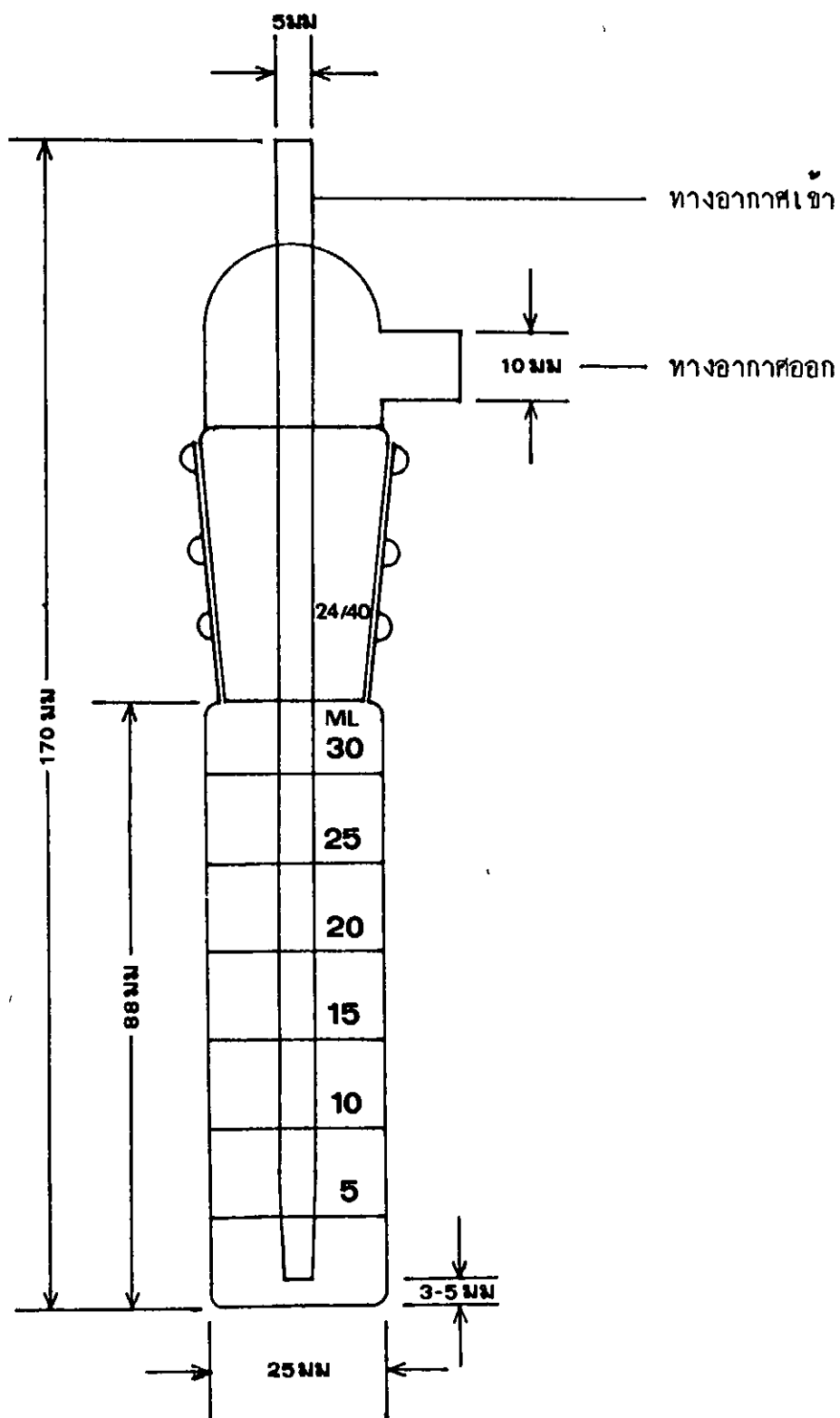
เครื่องดูดอากาศแบบแผ่นไคอะแฟรม



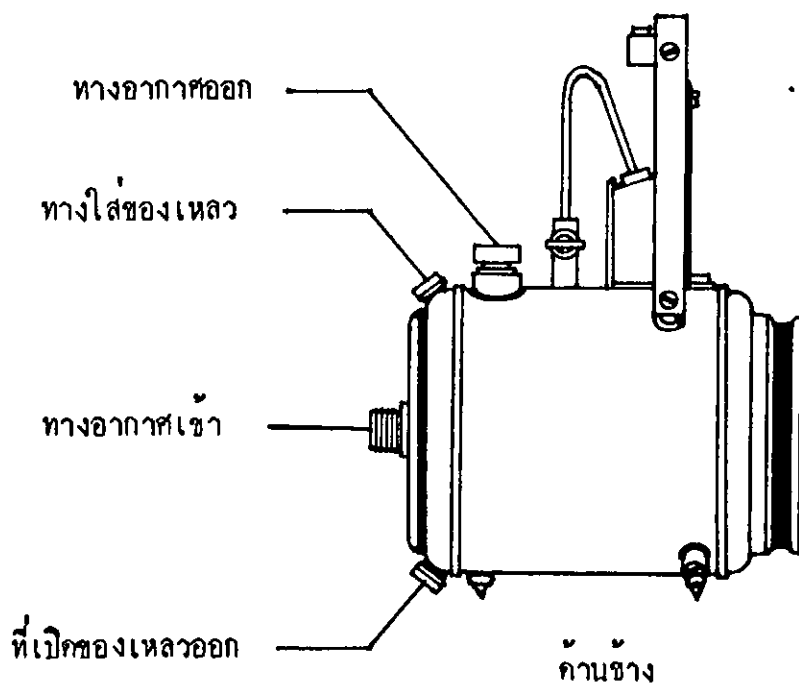
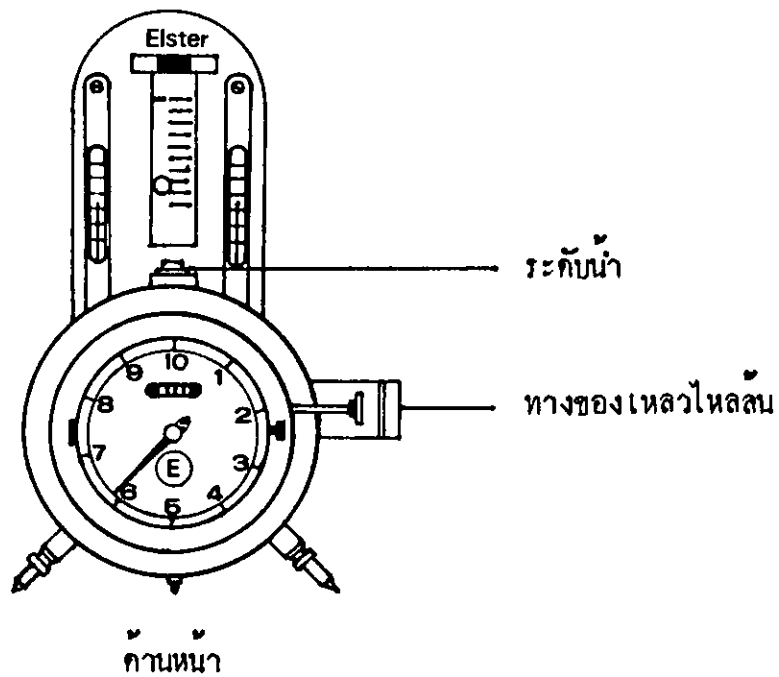
เครื่องดูดอากาศแบบเวน



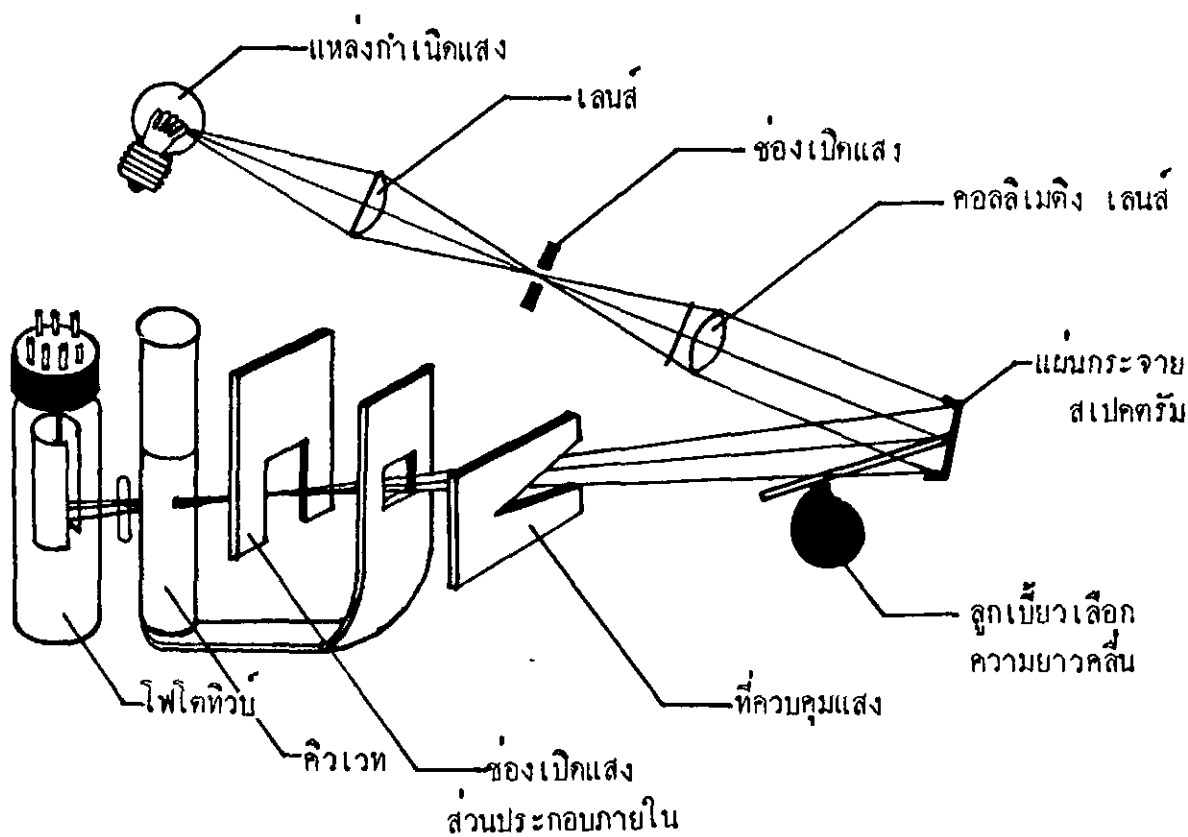
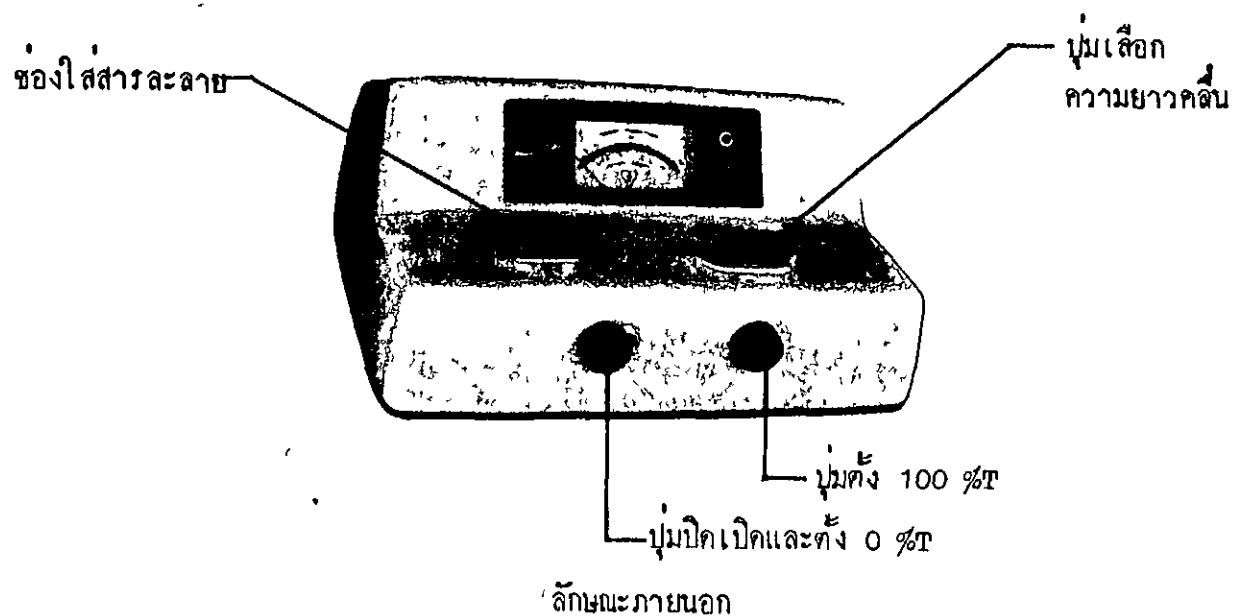
ภาพประกอบ 15 โรตานิเตอร์



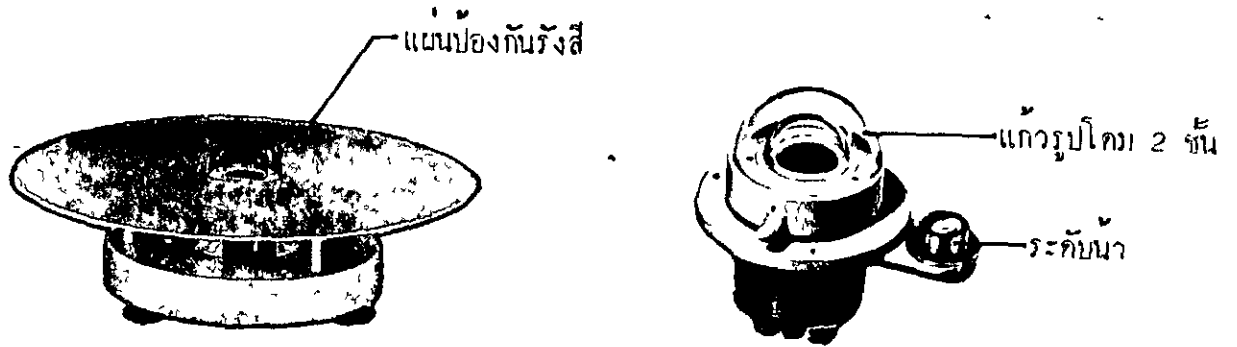
ภาพประกอบ 16 นิจเอท อิมพิงเจอร์



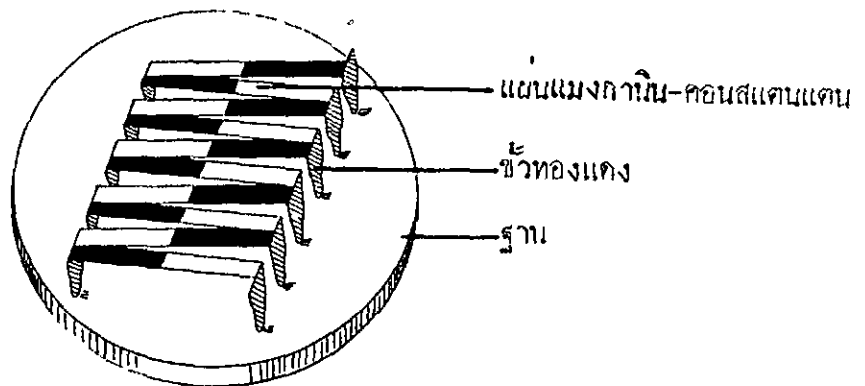
ภาพประกอบ 17 เวท เฮสต์ มิเตอร์



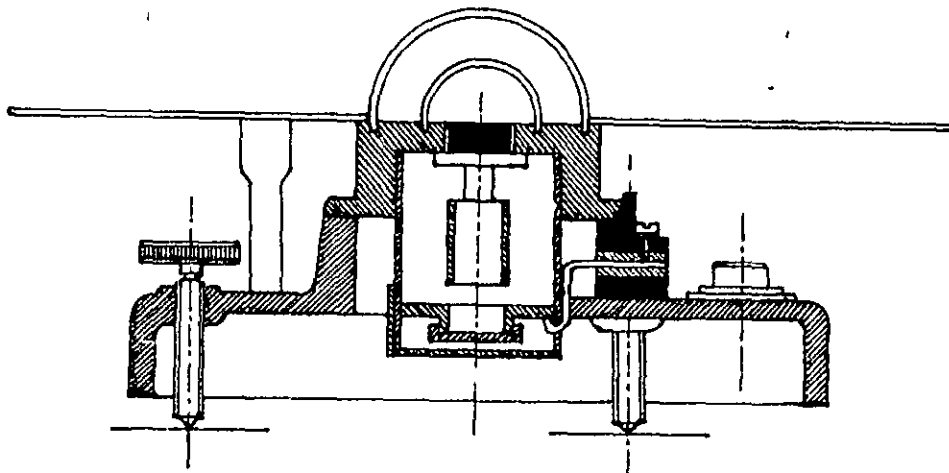
ภาพประกอบ 18 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์



ลักษณะภายนอก

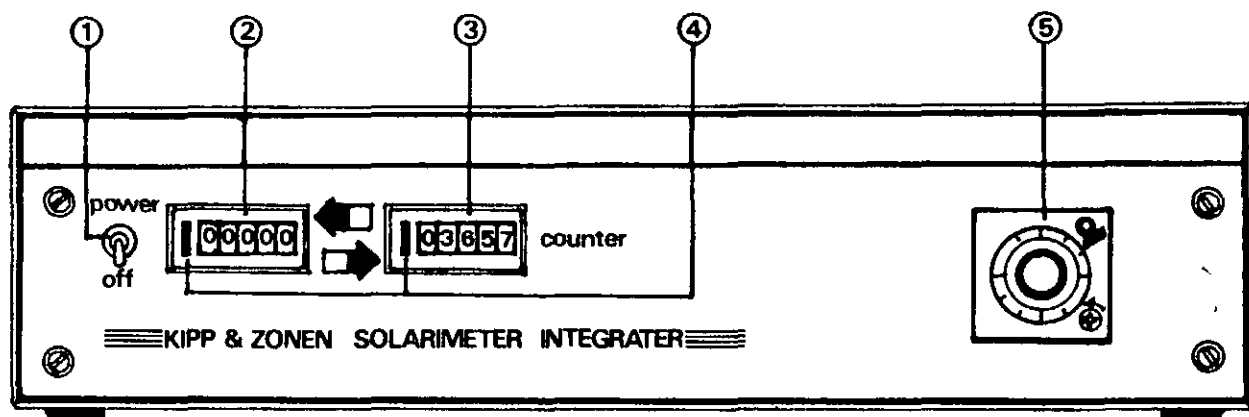


เทอร์โมโพล

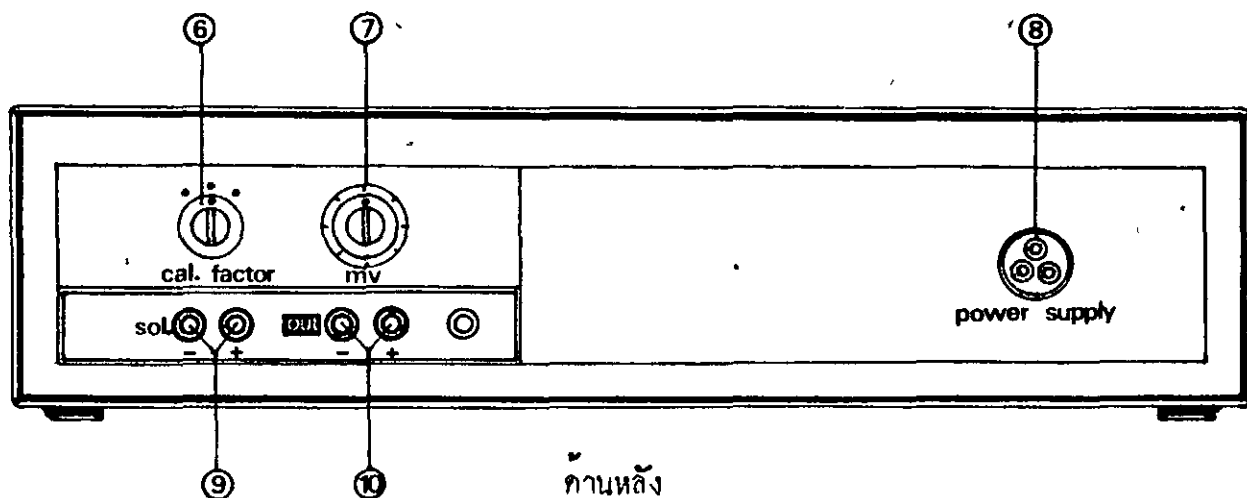


ภาคตัดขวาง

ภาพประกอบ 19 MOLL - GORCZYSKI PYRANOMETER (KIPP SOLARIMETER)



ด้านหน้า

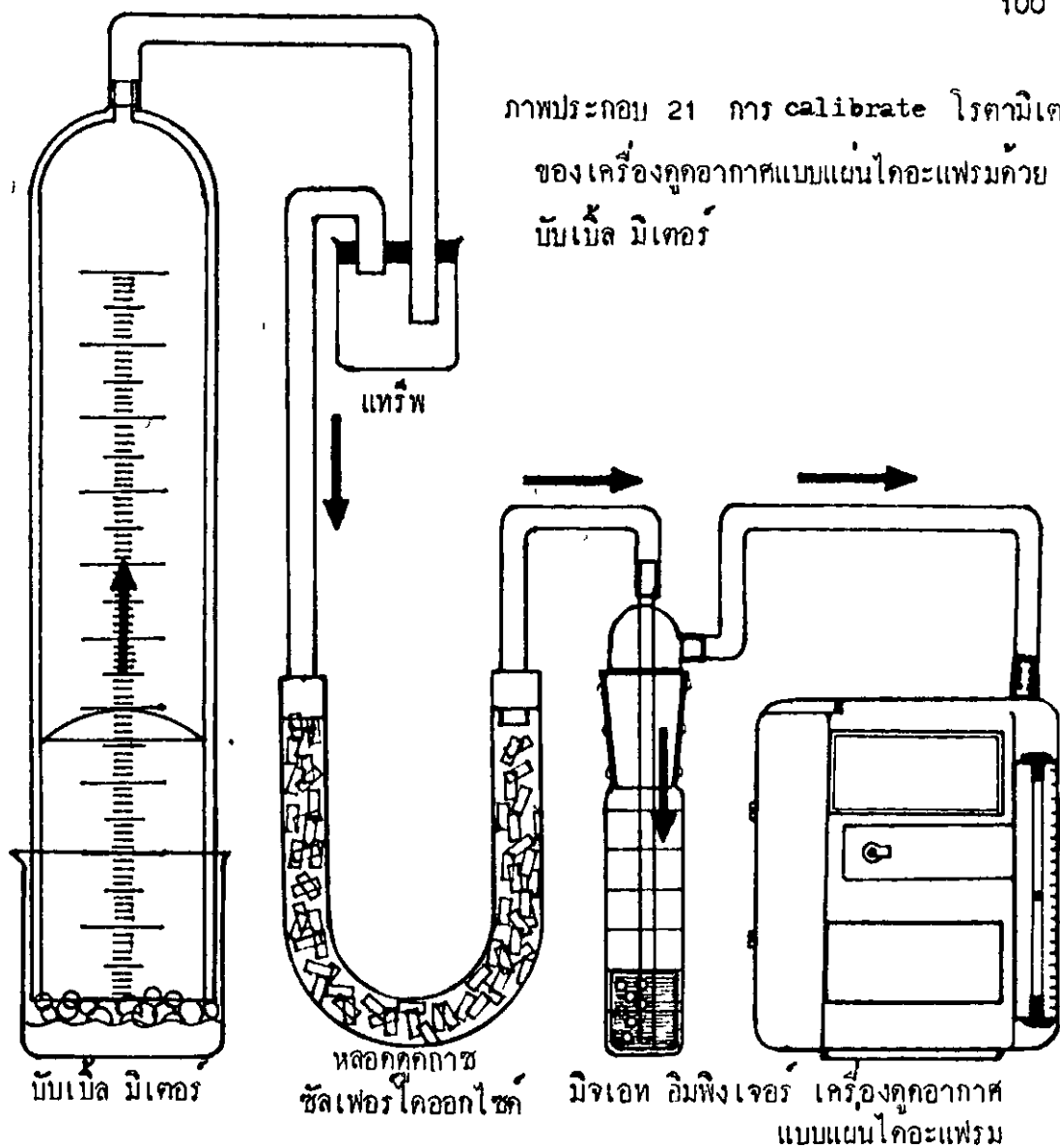


ด้านหลัง

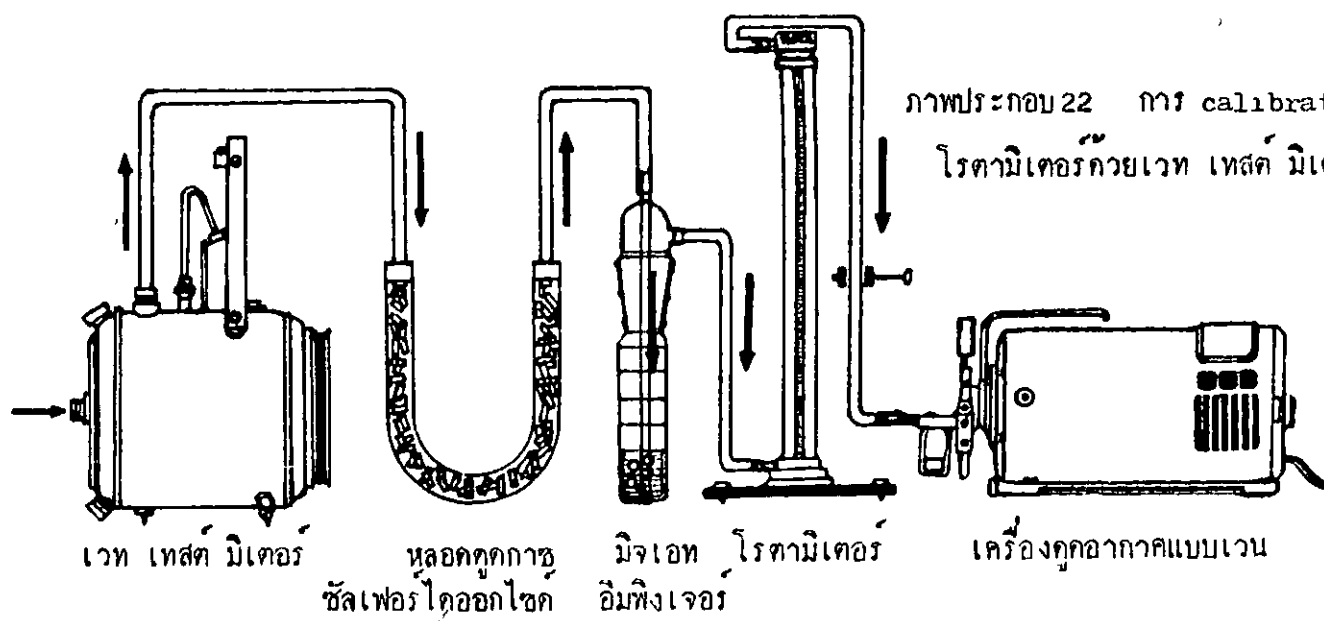
- | | |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1. สวิตช์ | 6., 7. สวิตช์รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า |
| 2., 3. เครื่องนับ | 8. ขั้วต่อกับกระแสไฟฟ้าสลับ |
| 4. ปุ่มกดเริ่มต้นจำนวนนับ | 9. ขั้วต่อกับไพราโนมิเตอร์ |
| 5. นาฬิกา | 10. ขั้วต่อกับเครื่องบันทึกแบบกราฟ |

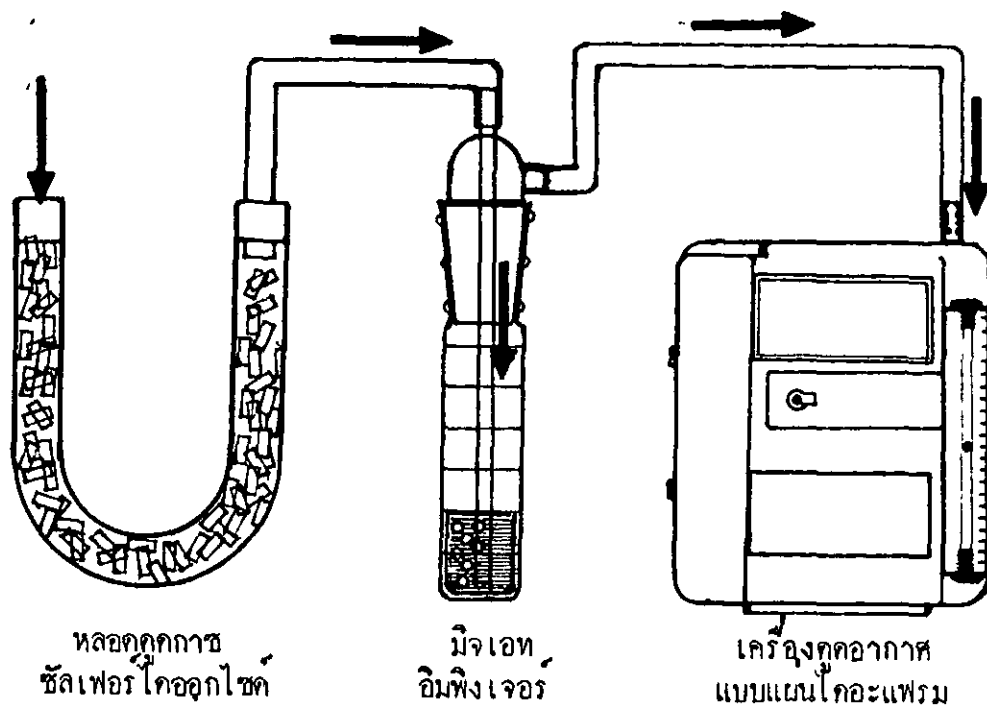
ภาพประกอบ 20 KIPP & ZONEN SOLARIMETER INTEGRATOR

ภาพประกอบ 21 การ calibrate โรตารีมิเตอร์
ของเครื่องดูดอากาศแบบแผ่นโคอะแฟรมด้วย
บัลเบิ้ล มิเตอร์

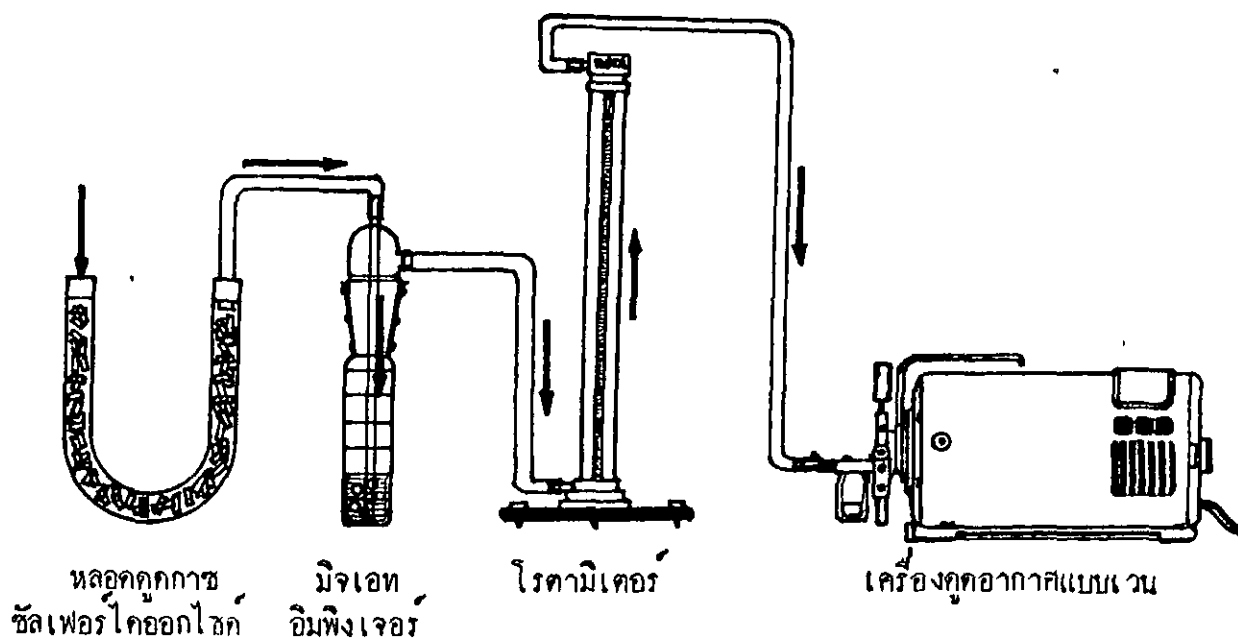


ภาพประกอบ 22 การ calibrate
โรตารีมิเตอร์ด้วยเวท เทสต์ มิเตอร์





ภาพประกอบ 23 เครื่องมือเก็บอากาศในบริเวณที่มีการจราจร



ภาพประกอบ 24 เครื่องมือเก็บอากาศในบริเวณที่พักอาศัย

ภาคผนวก ข.

✓
ข้อมูลการทำ calibration curve

ตาราง 14 ข้อมูลการทำ calibration curve ของโรตามีเตอร์ของเครื่องชั่งอากาศแบบแผ่นโคอะเฟรม

สเกลของโรตามีเตอร์ (ไม้มทวน)	ปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร ต่อวินาที)	ค่าเฉลี่ย อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร ต่อวินาที)
1.4	300	27.2	0.661765	0.660707
	500	45.6	0.657895	
	700	63.4	0.662461	
1.6	300	19.5	0.923077	0.913932
	500	32.7	0.917431	
	700	46.6	0.901288	
1.8	300	15.5	1.161290	1.152338
	500	26.2	1.145038	
	700	36.5	1.150665	
2.0	300	12.5	1.440000	1.440221
	500	20.8	1.442308	
	700	29.2	1.438356	

ตาราง 14 (ต่อ)

สเกลของโรทามิเตอร์ (ไมมมว)	ปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	ค่าเฉลี่ย อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)
2.2	300	10.2	1.764706	1.776694
	500	16.8	1.765714	
	700	23.6	1.779661	
2.4	300	8.9	2.022472	2.044085
	500	14.7	2.040816	
	700	20.3	2.068966	
2.6	300	7.5	2.400000	2.423529
	500	12.5	2.400000	
	700	17.0	2.470588	

ตาราง 15 ข้อมูลการทำ calibration curve ของโรตามิเตอร์ Rota - L63/2400 - 11873

สเกลของ โรตามิเตอร์ (มิลลิเมตร)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4		ค่าเฉลี่ย อัตราการไหลของ อากาศ (ลิตรต่อนาที)
	เวลา (วินาที)	อัตราการไหล ของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหล ของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหล ของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหล ของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	
2.0	379.49	1.581069	379.08	1.582779	380.04	1.578781	380.16	1.578283	1.5802282
2.1	338.40	1.773050	337.25	1.779096	337.93	1.775516	338.13	1.774465	1.7755316
2.2	305.97	1.960977	305.86	1.961682	305.74	1.962452	306.33	1.958672	1.9609455
2.3	286.02	2.097755	286.14	2.096876	286.26	2.095997	285.96	2.098196	2.0972058
2.4	259.63	2.310981	259.11	2.315619	260.18	2.306096	260.34	2.304678	2.3093435
2.5	242.45	2.474737	242.31	2.476167	242.99	2.469237	243.01	2.469034	2.4722939

หมายเหตุ ปริมาตรของอากาศที่ใช้ calibrate เท่ากับ 10 ลิตร

ตาราง 16 ข้อมูลการทำ calibration curve ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน

จำนวนไมโครโมล ของไอโอดีนต่อ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของสารละลายที่ใช้ ดูดซับก๊าซไอโอดีน	ค่าการดูดกลืนแสง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
0.01	0.02687	0.02457	0.02919	0.02457	0.02630
0.02	0.05799	0.05550	0.06048	0.05799	0.05799
0.03	0.09152	0.09420	0.08884	0.09152	0.09152
0.04	0.11634	0.11634	0.11634	0.11351	0.11563
0.05	0.13371	0.13077	0.13966	0.13077	0.13373
0.06	0.16431	0.16115	0.16431	0.16431	0.16352
0.07	0.19044	0.19382	0.19382	0.19044	0.19213
0.08	0.21824	0.21467	0.21824	0.22185	0.21825
0.09	0.24412	0.24412	0.24412	0.23284	0.24130
0.10	0.27984	0.27165	0.27984	0.27984	0.27779

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการเก็บตัวอย่างบริเวณที่มีการจราจรและบริเวณที่พักอาศัย

ตาราง 17 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างบริเวณที่มีการจราจร

วันที่ เวลา	ถนน	ปริมาณการจราจร (คัน)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (ทอ.)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 298.15 เคลวิน, 760 ทอ. (ลิตร)	การดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีน	จำนวนไมโครโมลของก๊าซไอโอดีน	ปริมาณก๊าซไอโอดีน (pphm)
26 พฤศจิกายน 2522								
8.30 - 9.00 น.	เพชรบุรี	541	301.65	758.8	59.210191	0.18709	0.06801	2.8101
12.00 - 12.30 น.	สุขุมวิท	556	312.95	757.8	56.997016	0.25964	0.09438	4.0512
15.00 - 15.30 น.	ศรีอยุธยา	302	308.45	755.7	57.668296	0.14267	0.05186	2.2001
27 พฤศจิกายน 2522								
8.30 - 9.00 น.	เพชรบุรีตัดใหม่	543	305.35	761.0	58.662316	0.32331	0.11752	4.9012
12.00 - 12.30 น.	พหลโยธิน	329	309.05	753.4	57.761977	0.18376	0.06680	2.8294
15.00 - 15.30 น.	เพชรบุรี	537	306.45	756.8	58.129150	0.31876	0.11587	4.8767
28 พฤศจิกายน 2522								
8.30 - 9.00 น.	วชิร	453	300.45	760.3	59.564192	0.15490	0.05631	2.3129
12.00 - 12.30 น.	พระรามที่ 1	442	310.75	759.5	57.529303	0.24033	0.08736	3.7152
15.00 - 15.30 น.	เพลินจิต	406	306.85	758.4	58.176109	0.17070	0.06205	2.6095

วันที่ เวลา	ถนน	ปริมาณการจราจร (คัน)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (ทอ.)	ปริมาณการก่อร่าง (ลิตร)	การดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอไดน์	จำนวนไมโครโมลของกาซไอโชน	ปริมาณกาซไอโชน (pphm)
29 พฤศจิกายน 2522								
8.30 - 9.00 น.	สุขุมวิท	594	302.15	757.9	59.042098	0.16115	0.05858	2.4274
12.00 - 12.30 น.	เยาวราช	619	309.25	756.9	57.610450	0.24795	0.09013	3.8276
15.00 - 15.30 น.	พญาไท	372	306.65	755.4	57.983775	0.11351	0.04126	1.7409
30 พฤศจิกายน 2522								
8.30 - 9.00 น.	ราชวิถี	250	302.05	761.1	59.311015	0.14569	0.05296	2.1846
12.00 - 12.30 น.	เจริญกรุง	478	304.35	759.7	58.754521	0.31876	0.11587	4.8248
15.00 - 15.30 น.	ประทีป	322	308.95	755.8	57.582585	0.12494	0.04542	1.9298
3 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	เจริญกรุง	598	303.45	759.1	58.882240	0.15181	0.05518	2.2927
12.00 - 12.30 น.	ประทีป	289	309.35	757.2	57.614654	0.18046	0.06560	2.7856
15.00 - 15.30 น.	วิภาวดีรังสิต	232	306.25	758.5	58.297772	0.08884	0.03229	1.3551

วันที่ เวลา	ถนน	ปริมาณการจราจร (คัน)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความชื้น (ทอ.)	ปริมาณน้ำค้างอากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอ. (ลิตร)	การดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีน	จำนวนไมโครโมลของกาซไอโอดีน	ปริมาณกาซไอโอดีน (pphm)
6 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	พญาไท	412	299.85	760.2	59.675530	0.11634	0.04229	1.7338
12.00 - 12.30 น.	ราชวิถี	202	309.65	757.0	57.543632	0.10791	0.03922	1.6675
15.00 - 15.30 น.	เยาวราช	564	305.25	758.3	58.473334	0.11634	0.04229	1.7694
11 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	เยาวราช	449	299.25	762.3	59.960360	0.12494	0.04542	1.8533
12.00 - 12.30 น.	ศรีอยุธยา	245	301.45	760.4	59.374408	0.10791	0.03922	1.6161
15.00 - 15.30 น.	เพชรบุรีตัดใหม่	412	305.95	757.4	58.270308	0.12205	0.04437	1.8629
12 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	พระรามที่ 4	423	299.95	761.9	59.789040	0.14569	0.05296	2.1671
12.00 - 12.30 น.	วิภาวดีรังสิต	375	303.45	760.6	58.998593	0.13668	0.04968	2.0601
15.00 - 15.30 น.	ราชวิถี	236	303.85	757.5	58.680779	0.08092	0.02942	1.2266

ตาราง 17 (ต่อ)

วันที่ เวลา	ถนน	ปริมาณการจราจร (คัน)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความชื้น (พร.)	ปริมาณการวัดอย่างอากาศ 298.15 เคลวิน, 760 Torr (ลิตร)	การดูดกลืนแสงของสารละลายไฮโดรเจน	จำนวนโมโครโมลของแก๊สไฮโดรเจน	ปริมาณการวัดของแก๊สไฮโดรเจน (ppm)
13 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	ประจักษ์	368	301.45	761.1	59.429066	0.07572	0.02752	1.1329
12.00 - 12.30 น.	เพชรบุรีตัดใหม่	618	307.45	759.4	53.139135	0.13668	0.04968	2.0906
15.00 - 15.30 น.	วรจักร	686	306.75	757.5	58.126013	0.20412	0.07420	3.1231
14 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	ราชปรารภ	392	300.25	763.4	59.878251	0.13668	0.04968	2.0299
12.00 - 12.30 น.	พญาไท	247	302.85	759.6	59.037757	0.08884	0.03229	1.3381
15.00 - 15.30 น.	ราชปรารภ	393	306.75	756.1	58.018586	0.21467	0.07803	3.2904
17 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	วิภาวดีรังสิต	354	298.15	759.3	59.944737	0.15181	0.05518	2.2521
12.00 - 12.30 น.	ราชปรารภ	467	307.25	759.2	58.161658	0.39794	0.14465	6.0846
15.00 - 15.30 น.	พหลโยธิน	369	304.95	755.9	58.345609	0.09152	0.03327	1.3951

วันที่ เวลา	ถนน	ปริมาณการจราจร (คัน)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (ทอรร.)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอรร. (ลิตร)	การดูดกลืนแสงของสารละลายไอโซตัน	จำนวนไมโครโมลของกาซไอโซน	ปริมาณกาซไอโซน (pphm)
18 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	พหลโยธิน	393	301.45	759.5	59.304133	0.07572	0.02752	1.1353
12.00 - 12.30 น.	พระรามที่ 4	332	303.65	758.4	58.789195	0.08884	0.03229	1.3438
15.00 - 15.30 น.	เจริญกรุง	567	305.15	756.4	58.345937	0.18376	0.06680	2.8010
19 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	ศรีอยุธยา	249	298.15	761.8	60.142105	0.09691	0.03523	1.4331
12.00 - 12.30 น.	เพลินจิต	358	301.95	758.8	59.151364	0.10791	0.03922	1.6222
15.00 - 15.30 น.	พระรามที่ 4	353	302.05	758.2	59.085023	0.11919	0.04332	1.7938
20 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	พระรามที่ 1	290	295.25	762.1	60.756749	0.09420	0.03424	1.3788
12.00 - 12.30 น.	วรจักร	540	305.65	757.1	58.304398	0.15181	0.05518	2.3154
15.00 - 15.30 น.	พระรามที่ 1	356	305.65	757.7	58.350604	0.15490	0.05631	2.3610

วันที่ เวลา	ถนน	ปริมาณการจราจร (คัน)	จุดหยุด (เคสวิน)	ความดัน (ทอ.)	ปริมาณจราจรอย่าง อากาศที่ 298.15 เคสวิน, 760 ทอ. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไอโอดีน	จำนวน ไมโครโมล ของกาซีโอโซน	ปริมาณ กาซีโอโซน (pphm)
24 ธันวาคม 2522								
8.30 - 9.00 น.	เพลินจิต	402	296.45	761.3	60.447292	0.14874	0.05407	2.1884
12.00 - 12.30 น.	เพชรบุรี	393	307.35	756.4	57.928299	0.11919	0.04332	1.8296
15.00 - 15.30 น.	สุขุมวิท	435	301.95	756.3	58.956479	0.16749	0.06088	2.5264

ตาราง 18 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่อาศัย

วันที่ เวลา	จำนวนของ โซลาริเมตร อินดิเคเตอร์	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(กิโลวัตต์ ต่อตารางเมตร เมตรคยนาท์)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (พอร.)	ปริมาตรตัวอย่าง อากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 พอร. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไฮไดรเจน	จำนวน ไมโครโมล ของกาซีไฮโดรเจน	ปริมาณ กาซีไฮโดรเจน (ppm)
4 ธันวาคม 2522								
8.00 - 8.30 น.	255	0.4250	299.35	760.4	62.696944	0.10237	0.03721	1.4520
8.30 - 9.00 น.	345	0.5750	300.65	760.7	62.450473	0.10237	0.03721	1.4577
9.00 - 9.30 น.	431	0.7183	300.85	761.0	62.433570	0.10791	0.03922	1.5369
9.30 - 10.00 น.	506	0.8433	301.65	761.0	62.267991	0.12205	0.04437	1.7433
10.00 - 10.30 น.	564	0.9400	302.35	761.0	62.123828	0.12734	0.04647	1.8301
10.30 - 11.00 น.	617	1.0283	302.95	760.9	61.992643	0.12205	0.04437	1.7511
11.00 - 11.30 น.	651	1.0850	303.35	760.9	61.910899	0.13668	0.04968	1.9632
11.30 - 12.00 น.	672	1.1200	303.15	760.5	61.919177	0.16115	0.05858	2.3146

ตาราง 18 (ต่อ)

วันที่ เวลา	จำนวนนับของ โซดาวิมิเตอร์ อินดิเคเตอร์	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (พมร.)	ปริมาตรตัวอย่าง อากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 พมร. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไฮโดรเจน	จำนวน ไมโครโมล ของแก๊สไฮโดรเจน	ปริมาณ แก๊สไฮโดรเจน (pphm)
4 ธันวาคม 2522								
12.00 - 12.30 น.	666	1.1100	304.45	760.1	61.622353	0.16749	0.06088	2.4171
12.30 - 13.00 น.	641	1.0683	304.85	759.7	61.509111	0.15490	0.05631	2.2397
13.00 - 13.30 น.	608	1.0133	304.15	759.3	61.618214	0.14267	0.05186	2.0591
13.30 - 14.00 น.	567	0.9450	305.85	758.9	61.243442	0.12784	0.04647	1.8564
14.00 - 14.30 น.	517	0.8617	305.35	758.6	61.319477	0.14267	0.05186	2.0691
14.30 - 15.00 น.	437	0.7283	305.45	758.3	61.275160	0.14569	0.05296	2.1145
15.00 - 15.30 น.	349	0.5817	303.95	758.1	61.561313	0.12784	0.04647	1.8468
15.30 - 16.00 น.	256	0.4267	303.45	758.0	61.654615	0.10791	0.03922	1.5563

ตาราง 18 (ต่อ)

วันที่ เวลา	จำนวนนับของ โซลาริมิเตอร์ อินดิเคอร์เตอร์	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (พอร.)	ปริมาตรตัวอย่าง อากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 พอร. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไอโอดีน	จำนวน ไมโครโมล ของก๊าซไอโซม	ปริมาณ ก๊าซไอโซม (pphm)
7 ธันวาคม 2522								
8.00 - 8.30 น.	251	0.4183	298.35	761.0	62.956727	0.07058	0.02566	0.9972
8.30 - 9.00 น.	329	0.5483	299.65	761.1	62.691833	0.07314	0.02659	1.0377
9.00 - 9.30 น.	422	0.7033	300.95	761.2	62.429227	0.11634	0.04229	1.6573
9.30 - 10.00 น.	489	0.8150	300.65	761.2	62.491521	0.10237	0.03721	1.4568
10.00 - 10.30 น.	562	0.9367	301.65	761.2	62.284356	0.11634	0.04229	1.6612
10.30 - 11.00 น.	608	1.0133	301.35	760.9	62.321789	0.12784	0.04647	1.8243
11.00 - 11.30 น.	638	1.0633	302.35	760.6	62.091174	0.15181	0.05518	2.1742
11.30 - 12.00 น.	655	1.0917	302.65	760.2	61.997006	0.17393	0.06522	2.4948

ตาราง 18 (ต่อ)

วันที่ เวลา	จำนวนนับของ โซลาริมิเตอร์ อินทิเกรเตอร์	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (ทอรร.)	ปริมาตรตัวอย่าง อากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอรร. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไอโอดีน	จำนวน ไมโครโมล ของก๊าซไอโอดีน	ปริมาณ ก๊าซไอโอดีน (pphm)
7 ธันวาคม 2522								
12.00 - 12.30 น.	650	1.0833	303.65	759.7	61.752190	0.15490	0.05631	2.2309
12.30 - 13.00 น.	629	1.0483	304.85	759.3	61.476725	0.15181	0.05518	2.1960
13.00 - 13.30 น.	603	1.0050	304.15	758.8	61.577638	0.13966	0.05077	2.0171
13.30 - 14.00 น.	569	0.9483	304.45	758.5	61.492639	0.13077	0.04753	1.8910
14.00 - 14.30 น.	515	0.8583	305.45	758.2	61.267079	0.12784	0.04647	1.8557
14.30 - 15.00 น.	439	0.7317	305.45	757.9	61.242837	0.12784	0.04647	1.8564
15.00 - 15.30 น.	348	0.5800	304.45	757.6	61.419675	0.11919	0.04332	1.7256
15.30 - 16.00 น.	268	0.4467	304.95	757.5	61.310877	0.11634	0.04229	1.6875

ตาราง 18 (ต่อ)

วันที่ เวลา	จำนวนมิเตอร์ โซลาร์มิเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(คาลอรี ต่อตารางเซนติ เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (ทอรร.)	ปริมาณการคายอย่าง อากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอรร. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไอโอดีน	จำนวน ไมโครโมล ของกาซีไอโอดีน	ปริมาณ กาซีไอโอดีน (pphm)
10 ธันวาคม 2522								
8.00 - 8.30 น.	234	0.3900	295.65	760.9	63.523326	0.09691	0.03523	1.3569
8.30 - 9.00 น.	321	0.5350	296.35	761.2	63.398265	0.10237	0.03721	1.4359
9.00 - 9.30 น.	409	0.6817	296.95	761.5	63.295102	0.11919	0.04332	1.6744
9.30 - 10.00 น.	481	0.8017	298.15	761.4	63.032072	0.12206	0.04437	1.7222
10.00 - 10.30 น.	545	0.9083	300.85	761.4	62.466386	0.14874	0.05407	2.1177
10.30 - 11.00 น.	581	0.9683	299.95	761.1	62.629130	0.14267	0.05186	2.0259
11.00 - 11.30 น.	618	1.0300	299.95	761.0	62.620902	0.14267	0.05186	2.0261
11.30 - 12.00 น.	639	1.0650	302.15	760.7	62.140443	0.19723	0.07169	2.8225

ตาราง 18 (ต่อ)

วันที่ เวลา	จำนวนนับของ โซลาริมิเตอร์ อินดิเคเตอร์	ความเข้มของ พลังงานแสง อาทิตย์(กาลอรี ต่อตารางเซนติเมตร ต่อวินาที)	อุณหภูมิ (เคลวิน)	ความดัน (ทอ.)	ปริมาณตัวอย่าง อากาศที่ 298.15 เคลวิน, 760 ทอ. (ลิตร)	การดูดกลืนแสง ของสารละลาย ไฮโดรเจน	จำนวน ไมโครโมล ของกาซีไฮโดร	ปริมาณ กาซีไฮโดร (pphm)
10 ธันวาคม 2522								
12.00 - 12.30 น.	638	1.0633	303.65	760.5	61.817218	0.17718	0.06110	2.5488
12.30 - 13.00 น.	618	1.0300	305.15	760.0	61.472906	0.15802	0.05744	2.2860
13.00 - 13.30 น.	600	1.0000	304.45	759.5	61.573711	0.16749	0.06088	2.4190
13.30 - 14.00 น.	567	0.9450	302.15	759.0	62.001572	0.15490	0.05631	2.2220
14.00 - 14.30 น.	521	0.8683	302.65	758.5	61.858364	0.15490	0.05631	2.2271
14.30 - 15.00 น.	441	0.7350	302.15	758.2	61.936222	0.15490	0.05631	2.2243
15.00 - 15.30 น.	369	0.6150	303.15	757.9	61.707487	0.15490	0.05631	2.2325
15.30 - 16.00 น.	287	0.4783	302.65	757.9	61.809432	0.09963	0.03622	1.4337