



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การรักษาตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

โดยวิธีการแบบพาสซีฟ

Preserve Sample for Nitrogen Dioxide Measurement in Ambient Air

by Passive Sampling Method.

โดย

นายศิวพันธุ์ ชูอินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีงบประมาณ 2551

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การรักษาตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
โดยวิธีการแบบพาสซีฟ

Preserve Sample for Nitrogen Dioxide Measurement in Ambient Air
by Passive Sampling Method.

โดย

นายศิวพันธุ์ ชูอินทร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีงบประมาณ 2551

บทคัดย่อ

หัวข้อรายงานการวิจัย : การรักษาตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใน
บรรยากาศโดยวิธีการแบบพาสซีฟ

ชื่อผู้วิจัย : นายศิวพันธุ์ ชูอินทร์

ปีที่ทำการวิจัย : 2551

.....

การศึกษาเรื่องการรักษาตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใน
บรรยากาศโดยวิธีการแบบพาสซีฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษากระด
กรองหลังหรือเมมเบรนหดยดสารละลายดูดซับก่อนการเก็บตัวอย่างและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บ
รักษาตัวอย่างหลังการเก็บตัวอย่างแล้วก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น และนำไปใช้ในการตรวจวัด
ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผลการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษากระดกรองหรือเมมเบรนหลังจากหดย
ดสารละลายดูดซับพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา 30 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด เมื่อ
เปรียบผลที่ได้กับการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการแบบเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ ด้วยหลักการทาง
สถิติ t - test พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าความสัมพันธ์สูงกว่าระยะเวลาอื่น ๆ
คือมีค่าเท่ากับ 0.931 จากนั้นนำผลที่ได้ไปศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาตัวอย่าง
ก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ เก็บรักษาตัวอย่าง 5 นาที ก่อนที่
ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติระหว่างค่าที่
ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์แบบพาสซีฟและวิธีการแบบเทียบเท่ามีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด คือ มีค่า
เท่ากับ 0.984 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ที่ได้ในการเก็บที่ 0 และ 10 นาที
พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูง คือ เท่ากับ 0.958 และ 0.945 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุป
ได้ว่าระยะเวลาในการเติมน้ำกลั่นเพื่อสกัดสามารถทำได้ในระยะเวลา 10 นาที ที่จะให้ผลการ
วิเคราะห์มีความถูกต้อง

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 13.88 – 139.47 พีพีบี บริเวณที่ทำการตรวจพบความเข้มข้นสูงสุด พบที่หน้าอาคารศรีจุฑาภา (อาคาร 21) ซึ่งเป็นบริเวณริมถนนที่เป็นจุดทางออกของรถที่วิ่งออกนอกมหาวิทยาลัย และอยู่ใกล้กับถนนสามเสน ส่วนค่าต่ำสุดที่ตรวจพบคือบริเวณหน้าอาคาร 23 ซึ่งอยู่ริมถนน แต่เป็นถนนที่มีปริมาณรถจำนวนน้อย ห่างไกลจากถนนโดยรอบของมหาวิทยาลัย อย่างไรก็ตามผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือมีค่าน้อยกว่า 163 พีพีบี ทุกครั้งในการตรวจวัด

คำสำคัญ : มลพิษทางอากาศ, ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์, วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

Abstract

Research Title : Preserve Sample for Nitrogen Dioxide Measurement in Ambient Air by Passive Sampling Method.

Author : Mr.Sivapan Choo-in

Year : 2008

.....

This study focuses on preserve sample for measure nitrogen dioxide in ambient air. Two objectives of the study are as follow; first, to found a time which preserve filter paper or membrane after coated with absorbing agent and a time which preserve sample before extract with deionize water and measure nitrogen dioxide with develop color method, and second, to measure nitrogen dioxide concentration in the area of Suan Sunandha Rajabhat University.

According to the study. After coated with absorbing agent, the filter paper have been preserve in 30 min., that optimize period. The concentration of nitrogen dioxide derived from this process have been compared to those derived from sodium arsentie technique using Independent – Sample Test (T – Test) at significant level of 95%. This compare have been correlation equal to 0.931. As a consequence of this study. After collection sample, this filter paper have been extracted by deionize water in 5 min., which is suitable time, with correlation equal to 0.984. However, that time before extracted in 0 and 10 min. can be use with correlation equal to 0.958 and 0.945 respectively.

As a final to this study. It found that nitrogen dioxide concentration in the area of Suan Sunandha Rajabhat University are in the range of 13.88 – 139.47 ppb. The maximum concentration of nitrogen dioxide is found at the sample site in the front of Sri Jutapa building. The minimum concentration of nitrogen dioxide is found at the sample

(4)

site in the front of 23 building. However, the concentration of nitrogen dioxide found in area of the university are lower than the standard level of 163 ppb.

Key words : air pollution, nitrogen dioxide, passive sampling method

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเรื่อง “การรักษาตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยวิธีการแบบพาสซีฟ” สำเร็จได้ เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือ ให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำ ความคิดเห็นและกำลังใจ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาที่ได้สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

ผู้เขียนขอกราบพระคุณ รศ.ดร.วราวุธ เสือดี อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ด้านมลพิษทางอากาศ ที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาที่ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่าง เก็บข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัวที่ได้ร่วมให้กำลังใจตลอดมาซึ่งทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์

กันยายน 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญแผนผัง	(12)
สารบัญกราฟ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 สัญลักษณ์และคำย่อ	2
บทที่ 2 ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	4
2.2 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	17
3.1 สถานที่ทำวิจัย	17
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์	19
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	22
3.4 ระยะเวลาการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	28
บทที่ 4 ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล	29
4.1 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่าง	29
4.2 การตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ	5
3.1 ตำแหน่งในตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	17
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	28
4.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยการเปลี่ยนระยะเวลาหลังจากหยุดสารละลายดูดซับและทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นภายใน 30 นาที	30
4.2 ค่าความสัมพันธ์ Paired Samples Correlations	32
4.3 ค่า % duplicate ของการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการแบบพาสซีฟ	34
4.4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ระยะเวลาในการรักษากระดาศกรงหลังจากหยุดสารละลายดูดซับเป็นระยะเวลา 30 นาที	35
4.5 ค่าความสัมพันธ์ Paired Samples Correlations	36
4.6 ตำแหน่งตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัย ฯ	40
4.7 ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัย เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	40
ก.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย พ.ศ. 2538 ของกรมควบคุมมลพิษ (ที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ)	55
ข.1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์	56
ค.1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ	62
ง.1 สมการความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน	64

ตารางที่	หน้า
จ.1 การศึกษาหาระยะเวลาในการเก็บรักษาเมมเบรนหลังหยดสารละลาย ดูดซับในการหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีการแบบพาสซีฟ	66
ฉ.1 การศึกษาหาระยะเวลาในการเก็บรักษาเมมเบรนที่เหมาะสมหลังการ เก็บตัวอย่าง โดยวิธีการแบบพาสซีฟ	82
ช.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทำกราฟมาตรฐาน	95

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์	8
2.2 อิมพินเจอร์และปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ และวิธีทีจีเอส-เอเอ็นเอสเอ	9
2.3 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	10
3.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์	19
3.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	20
3.3 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น	21
3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสซีฟ	21
3.5 ขั้นตอนในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม	23
3.6 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน	24
4.4 ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัย	41
5.1 สรุปขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการแบบพาสซีฟ	47
ช.1 อิมพินเจอร์	91
ช.2 ปั๊มขนาดเล็กที่ใช้ดูดอากาศ เก็บตัวอย่างอากาศ	92
ช.3 มาตรฐานการไหลของอากาศแบบแห้ง	95
ช.4 แผนภาพแสดงการประกอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	81
ช.1 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	86
ช.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	101
ช.2 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น	102
ช.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสซีฟ	102
ช.4 สีของสารละลายมาตรฐาน	104
ณ.1 การตรวจวัดหน้าอาคารคณะวิทยาการจัดการ	109
ณ.2 การตรวจวัดบริเวณป้อมยามประตูถนนคู່ทองนอก	109
ณ.3 การตรวจวัดตรงข้ามอาคารศรีจุฬาภา	110
ณ.4 การตรวจวัดหน้าอาคาร 23	110

ภาพที่	หน้า
ฉ.5 การตรวจวัดหน้าอาคาร 37	111
ฉ.6 การตรวจวัดหน้าอาคาร 57	111

สารบัญแผนที่

แผนที่	หน้า
4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัย	41

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
4.1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษากระดาษกรอง 30 นาที ก่อนการดำเนินการเก็บตัวอย่างกับวิธีการแบบเทียบเท่า	33
4.2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษากระดาษกรอง 60 นาที ก่อนการดำเนินการเก็บตัวอย่างกับวิธีการแบบเทียบเท่า	33
4.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น 5 นาที กับวิธีการแบบเทียบเท่า	37
4.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น 0 นาที (สกัดทันที) กับวิธีการแบบเทียบเท่า	38
4.5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น 10 นาที กับวิธีการแบบเทียบเท่า	38
4.6 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการแบบพาสซีฟในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	42
ช.1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน	96
ช.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนเตรต (NO_2) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานครเป็นปัญหาที่มีความสำคัญ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของคนโดยตรง อันเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซมลพิษจากท่อไอเสียของรถ ไม่ว่าจะเป็นรถเมล์ รถโดยสารส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ เป็นต้น หรือการเผาไหม้ต่าง ๆ ก๊าซมลพิษที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และอนุภาคฝุ่น การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากมลพิษทางอากาศทำได้โดยการตรวจวัดจริงในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งทำให้ทราบระดับความเข้มข้นของสารมลพิษเหล่านั้น วิธีการตรวจวัดที่เป็นวิธีการมาตรฐานในการตรวจวัดคุณภาพอากาศเป็นวิธีการที่มีการใช้เครื่องมือซึ่งมีราคาแพง ทำการตรวจวัดได้ครั้งละ 1 ตำแหน่ง ทำให้มีการพัฒนาวิธีการตรวจวัดแบบอื่น ๆ ขึ้น เช่น การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทำได้โดยการใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างมีราคาไม่แพง สามารถติดตั้งได้หลายจุดในเวลาเดียวกัน ในช่วงปี 2550 ที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเพื่อทำการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในเขตเมืองเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลการตรวจวัดที่ใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีไฮดรอกไซด์และสารโซเดียมอาร์ซีไนด์ โดยทำการเตรียมอุปกรณ์ เคลือบสารดูดซับที่เป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารโซเดียมอาร์ซีไนด์ และทำการตรวจวัดภายในเวลา 30 นาที และหลังจากเก็บตัวอย่างแล้วในระยะเวลา 30 นาที ซึ่งจะเหมาะกับการเก็บตัวอย่างที่พื้นที่หรือตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างอยู่ใกล้กับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้อาจจะไม่เหมาะกับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ไกล ๆ เพราะอาจจะทำให้ตัวอย่างที่เก็บได้สลายตัว มีผลการตรวจวัดที่น้อยกว่าที่มีอยู่จริง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียม ระยะเวลาที่สามารถเก็บรักษาตัวอย่างได้หลังจากหยดหรือเคลือบสารดูดซับไปแล้วก่อนทำการเริ่มเก็บตัวอย่าง และทำการศึกษาระยะเวลาที่เก็บรักษาตัวอย่างหลังจากสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างแล้ว เพื่อที่จะทำให้

ทราบระยะเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ห่างไกลจากห้องปฏิบัติการ เพื่อจะเก็บรักษาตัวอย่างโดยให้ผลการวิเคราะห์มีค่าถูกต้อง เชื่อถือได้

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมและการเก็บรักษาตัวอย่าง ในการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ

1.2.2 เพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศอย่างง่าย

1.3.2 ทำให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเมมเบรนหรือกระดาษกรองหลังหยดสารละลายดูดซับ และระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น

1.3.3 ได้ทราบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

1.4 สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
NO ₂	แทน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
µg/ml	แทน ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
µg/m ³	แทน ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
V	แทน ปริมาตรอากาศที่เก็บ
D	แทน ค่าความแตกต่างของผลการทดสอบ 2 ครั้ง
M	แทน ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ 2 ครั้ง

PS	แทน ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟในหน่วยพีพีบี
C (ppm)	แทน ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม
C (ppb)	แทน ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี
C (mg/m ³)	แทน ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
C (µg/m ³)	แทน ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Mp	แทน น้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ

คำย่อ

ppb	part per billion หรือ ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	part per million หรือ ส่วนในล้านส่วน
%RPD	% duplicate
MCE	mixcellulose
มก./ลบ.ม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
พีพีเอ็ม	ส่วนในล้านส่วน
พีพีบี	ส่วนในพันล้านส่วน

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ NO_2 ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน (N) 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม เป็นก๊าซที่มีสีน้ำตาลแดง ละลายน้ำได้ดี และอยู่ในอากาศได้เพียง 3 วัน ก่อนที่จะกลายเป็นสารอื่นต่อไป ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นก๊าซประเภทเดียวกับก๊าซที่มีปฏิกิริยาสูงที่เรียกว่า “ออกไซด์ของไนโตรเจน (oxide of nitrogen หรือ NO_x)” ก๊าซเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจัดแบ่งได้ 7 รูปแบบ ดังนี้ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไดไนโตรเจนเพนตอกไซด์ (N_2O_5) ไดไนโตรเจนไตรออกไซด์ (N_2O_3) ไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ (N_2O_4) และไนโตรเจนไตรออกไซด์ (NO_3) ออกไซด์ของไนโตรเจนทั้ง 7 รูปที่กล่าวมานี้มีเพียงก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซไนตริกออกไซด์เท่านั้น ที่เป็นสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญที่ระดับพื้นผิวโลก ซึ่งมักเรียกรวมเป็น “ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน” ส่วนก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) มีผลต่อชั้นบรรยากาศโลกทำให้โลกร้อนขึ้น

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ดังตารางที่ 2.3 ทั้งที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติหรือกิจกรรมของคน De Nerve (2000 : 449) ได้จัดแบ่งประเภทของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนอันเนื่องมาจากการเผาไหม้แบ่งไว้ 3 รูปแบบ ดังภาพที่ 2.5 คือ

1. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการเผาไหม้อากาศที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,300 องศาเซลเซียส เรียกว่า “thermal NO_x ”
2. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการเผาไหม้สารไนโตรเจนในเชื้อเพลิง เรียกว่า “fuel NO_x ”

3. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของไนโตรเจนกับอนุมูลอิสระของสาร HCN NH และ N ที่มีอยู่ในเปลวไฟ เรียกว่า “prompt NOx” เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำ

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนถูกปล่อยจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น โรงไฟฟ้า โรงงานผลิตซีเมนต์ โรงงานผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)
20	0.001
427	0.30
527	2.00
1,538	3,700.00
2,200	25,000.00

แหล่งที่มา : วราวุธ เสือดี (2546 : 10)

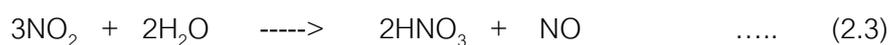
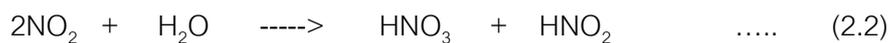
จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าก๊าซไนตริกออกไซด์จะเกิดได้น้อยที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยโดยทั่วไป แต่เกิดได้มากที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,500 องศาเซลเซียส

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง จะทำอันตรายต่อปอดโดยตรง เช่น ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด ระคายเคืองถุงลม (alveoli) มีผลให้ภูมิคุ้มกันของร่างกายลดลง ทำให้ปอดอักเสบ เกิดเนื้องอกในปอด ทำให้หลอดลม (emphysema) ตีบตัน และเป็นผลให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ เช่น ไข้หวัดใหญ่ ถ้าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูงถึง 300 - 500 พีพีเอ็ม จะเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตหรือสลบเนื่องจากสมองขาดออกซิเจน เพราะก๊าซไนตริกออกไซด์สามารถรวมตัวกับฮีโมโกลบินได้เช่นเดียวกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้ระดับของออกซิเจนในเลือดลดลง แต่เนื่องจากในบรรยากาศจะมีความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์น้อยกว่า 1.22 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (1 พีพีเอ็ม) ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคน แต่หากได้รับก๊าซไนตริกออกไซด์ที่มีความเข้มข้นระดับ 0.7 - 20 พีพีเอ็ม ในเวลา 10 นาที จะทำให้หายใจไม่ออก และที่ระดับ 0.11 - 0.22 พีพีเอ็ม จะเริ่มได้กลิ่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีผลต่อสุขภาพของคนมากกว่าก๊าซไนตริกออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน

โดยทั่วไปแล้วก๊าซไนตริกออกไซด์ในอากาศจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังปฏิกิริยาในสมการที่ (2.1) แต่ยังไม่มียางานยืนยันว่าระดับของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่พบในอากาศโดยทั่วไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้



เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ดีทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดฝนกรด โดยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับละอองน้ำในบรรยากาศ เกิดเป็นกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดฝนกรด ดังปฏิกิริยาในสมการที่ (2.2) - (2.3) ในบรรยากาศกรดไนตริกสามารถรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นแอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) ได้ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนเกิดเป็นก๊าซไอโซน ส่งผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อระบบนิเวศทั้งบนพื้นดินและแหล่งน้ำ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศยังเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ฝนกรด และปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไปก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ เนื่องจากมีสารไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่พืชนำไปใช้เพื่อสร้างความเจริญเติบโตลงไปใต้น้ำมาก



ทั้งก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่มีผลโดยตรงต่อวัตถุ อย่างไรก็ตาม ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีสมบัติในการดูดซับแสง ทำให้เป็นตัวการหนึ่งของการลดทัศนวิสัย เมื่อความเข้มข้นในอากาศมีค่ามากกว่า 0.25 พีพีเอ็ม ทำให้ท้องฟ้ามีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล ซึ่งเป็นสีของท้องฟ้าในตอนเย็น

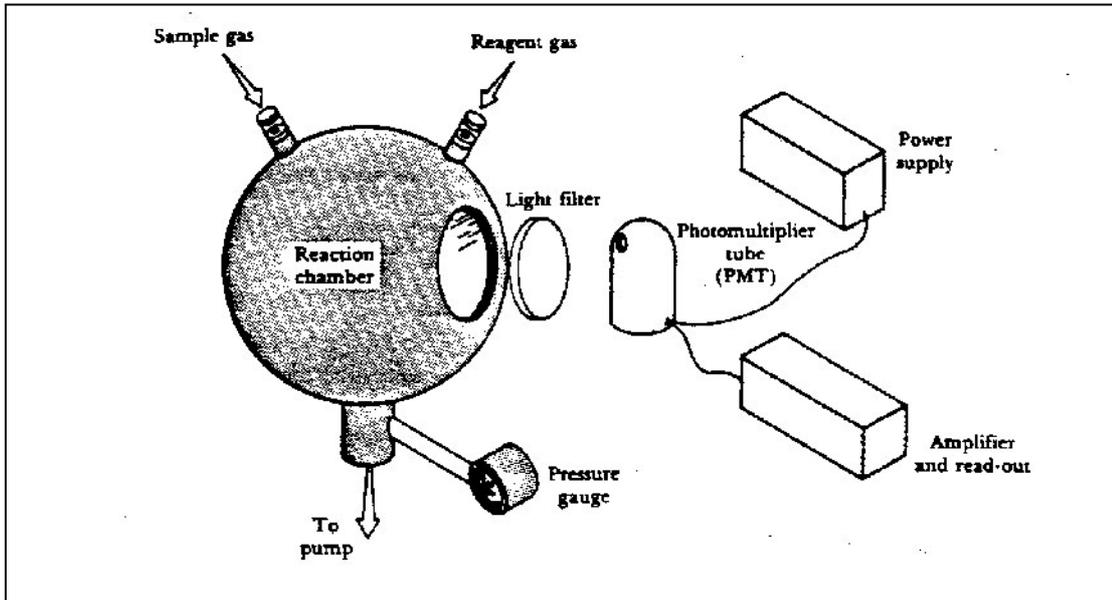
2.2 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

วิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในประเทศต่างๆและในประเทศไทย ใช้วิธีการตรวจวัดตามวิธีการมาตรฐานและวิธีการเทียบเท่าขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งกำหนดวิธีการวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยระบบเคมีลูมิเนสเซนส์ (chemiluminescence) เป็นวิธีการมาตรฐานและวิธีการทางเคมีวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ (sodium – arsenite) และวิธีทีจีเอส-เอเอ็นเอสเอ (TGS – ANSA) เป็นวิธีการเทียบเท่า

2.2.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีเคมีลูมิเนสเซนส์

หลักการเคมีลูมิเนสเซนส์ คือ เครื่องมือวัดทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมดและก๊าซไนตริกออกไซด์ก่อน แล้วจึงนำค่าทั้งสองมาหักออกจากกันก็จะได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยในขั้นแรกจะตรวจวัดก๊าซไนตริกออกไซด์ก่อนโดยอาศัยหลักการที่ก๊าซไนตริกออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโอโซนแล้วให้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจน ($\text{NO}_2 + \text{O}_2$) ก๊าซไนโตรเจน ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited state: NO_2^*) แล้วกลับสู่สภาวะพื้น (ground state) ทันทีพร้อมกับคายพลังงานแสง (photon) ออกมาดังสมการที่ (2.4)-(2.5) พลังงานแสงที่ออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณได้ สำหรับการตรวจวัดออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมดทำได้โดยการเปลี่ยนออกไซด์ของไนโตรเจนตัวอื่น ๆ ให้กลายเป็นก๊าซไนตริก ออกไซด์แล้ววัดปริมาณไนตริกออกไซด์ทั้งหมด ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมด จากนั้นวงจรวัดเลเซอร์ในเครื่องมือวัดก็จะคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยนำค่าความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในตอนแรกมาหักออกจากค่าความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมดหลังจากการเปลี่ยนรูปก๊าซออกไซด์ต่าง ๆ เป็นก๊าซไนตริกออกไซด์แล้ว





ภาพที่ 2.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์

แหล่งที่มา : ICES (1999 : 8-7)

2.2.2 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์

วิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ มีหลักการคือเมื่อดูดตัวอย่างอากาศที่ต้องการตรวจวัดผ่านเข้ามาในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH) กับโซเดียม อาร์ซีไนด์ (NaAsO_3) แล้วจะเกิดเป็นไนไตรต์ไอออน (nitrite ion : NO_2^-) ขึ้น โดยปริมาณที่เกิดขึ้นสามารถตรวจวัดได้โดยวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร หลังจากทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก สารซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide) และสารเอ็น- (1- แนพทิล) เอทริลีน ไดเอมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ (N - (1 - naphthyl) ethylene diamine dichydrochloride) แล้ว โดยทำการเปรียบเทียบกับ การดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารไนไตรต์ไอออนในตัวอย่าง อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ประกอบด้วยอิมพิงเจอร์ (impinger) บั้มดูดตัวอย่างอากาศ (personal pump) และเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)



ภาพที่ 2.2 อิมพินเจอร์และปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีทีจีเอส-เอเอ็นเอสเอ

ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์หาได้โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เมื่อทราบค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ได้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ ทำได้โดยสมการที่ (2.7)

$$\text{NO}_2 (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{NO}_2 (\mu\text{g}/\text{ml}) \times D \times 50}{V \times 0.93} \quad \dots (2.7)$$

เมื่อ $\text{NO}_2 (\mu\text{g}/\text{ml})$	คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากกราฟ มาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
50	คือ ปริมาตรของสารละลายดูดซึมที่ใช้
V	คือ ปริมาตรอากาศที่เก็บ
0.93	คือ ประสิทธิภาพของระบบดูดซับ
D	คือ แฟกเตอร์การเจือจาง ($D = 1$ ถ้าไม่มีการเจือจาง และ $D = 2$ เมื่อ มีการเจือจางสารตัวอย่าง 1 : 1)

การเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นหน่วยพีพีเอ็มโดยคำนวณจากสมการที่ (2.8)

$$\text{NO}_2 \text{ (ppm)} = \text{NO}_2 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} \times 0.53 \times 10^{-3} \dots\dots (2.8)$$

2.2.3 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีทีจีเอส – เอเอ็นเอสเอ

วิธีทีจีเอส – เอเอ็นเอสเอ มีหลักการคือเมื่อดูดตัวอย่างอากาศผ่านสารละลายไตรเอทานอลามีน (triethanolamine) สารโซเดียม เมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulfite) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารเคมีเกิดไนเตรตไอออนซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยให้อิออนนั้นทำปฏิกิริยากับสารซัลฟานิลามิดและสารเอเอ็นเอสเอ (8 - anilino - 1 - naphthalenesulfonic acid ammonium salt) ซึ่งจะเกิดเป็นสารละลายที่มีสีและสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยทำการเปรียบเทียบกับการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารไนเตรตไอออนในตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ตัวอย่างและการคำนวณทำได้เช่นเดียวกับวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์

2.2.4 การตรวจวัดโดยใช้วิธีอิเล็กทรอนิกส์

การตรวจวัดโดยวิธีนี้ทำได้โดยอาศัยอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะที่สามารถตรวจวัดได้เฉพาะก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และแปลงผลเป็นสัญญาณไฟฟ้า ทำให้สามารถทราบปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศได้ ลักษณะของอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

2.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยอุปกรณ์พาสซีฟ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบพาสซีฟ (passive sampling) อาศัยหลักการแพร่ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ผ่านเมมเบรน ซึ่งเมมเบรนจะเคลือบด้วยสารเคมีเพื่อดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ การซึมผ่านของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นการแพร่ของโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างอิสระ (free molecular diffusion) ที่เกิดจากความเข้มข้นที่ต่างกันของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศกับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บนเมมเบรน หลักของมวลสารสามารถใช้ “กฎการแพร่ข้อแรกของฟิค (Fick’s First Law of Diffusion)” (Ayers, G.P., Keywood, M.D., Gillett, R.W., Manins, P.C., Malfroy, M. & Bardsley, T. 1998 : 425 – 437.) ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความเข้มข้นของสารมลพิษ ดังสมการที่ (2.9)

$$F = -D \frac{dC}{dL} \quad \dots (2.9)$$

เมื่อ F คือ ฟลักซ์ของมวลสาร ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (diffusion coefficient)

dC คือ ความเข้มข้นของมลพิษที่ต่างกันระหว่างในอากาศกับบนเมมเบรน

dL คือ ระยะความยาวของการแพร่ (effective path length)

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ (2548 : 34) ได้อธิบายสมการในการคำนวณการความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับอยู่บนเมมเบรน ดังสมการที่ (2.10)

$$M = F \times A \times T \quad \dots (2.10)$$

เมื่อ M คือ มวลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (g)

F คือ ฟลักซ์ของมวลสาร ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน

T คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (s)

วนิดา จินศาสตร์ (2548) ได้อธิบายวิธีการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.11)

$$C_{\text{air}} = \frac{M \times L}{D \times A \times T} \quad \dots (2.11)$$

เมื่อ C_{air} คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

M คือ มวลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (g)

F คือ ฟลักซ์ของมวลสาร ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2^{-1} m)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน

T คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (s)

สรารุช เทพานนท์ (2548) ได้อธิบายสมการที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ดังสมการที่ (2.13) – (2.14)

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots (2.13)$$

เมื่อ NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmol/m^3)

V คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m^{-1})

NO_2^- คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในตัวอย่าง (μM)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (2.14)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots (2.14)$$

เมื่อ $\text{NO}_2(\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmol/m^3)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ ($0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K}$)

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm

T คือ อุณหภูมิ (K)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ (2548 : 31 - 38) ทำการศึกษาอุปกรณ์พาสซีฟในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์แบบพาสซีฟ การเก็บรักษาและทดสอบ การใช้งานในบรรยากาศทั่วไป และในการเฝ้าระวังการสัมผัสส่วนบุคคล สารเคมีที่เหมาะสมในการเคลือบแผ่นกรอง คือ สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไอโอไดด์ในเมทานอล โดยใช้แผ่นกรองใยแก้วเป็นสิ่งกีดขวางฝุ่นหรือสารมลพิษอื่น ๆ โดยตรวจหาสารมลพิษที่ถูกดักจับไว้บนแผ่นกรองในรูปไนเตรตด้วยวิธียูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ อุปกรณ์พาสซีฟมีอายุการใช้งานได้ดีภายใน 1 เดือน โดยสามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิปกติ สำหรับการใช้งานอุปกรณ์พาสซีฟจากการเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบแอคทีฟภายในอาคารได้ผลสอดคล้องกันเป็นอย่างดีเมื่อใช้เวลาสัมผัส 290 และ 360 นาที ผลจากการนำอุปกรณ์พาสซีฟที่ผลิตตามวิธีที่เหมาะสมไปวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เทียบกับการตรวจวัดโดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนซ์ในบรรยากาศทั่วไป ณ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะแห่งชาติ และรวมค่าแห่งของกรมควบคุมมลพิษโดยสัมผัสตัวอย่างอากาศ 24 ชั่วโมง รวม 14 วัน พบว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะแห่งชาติ ($y = 1.2035x - 0.3291$, $R^2 = 0.6477$) ส่วนความสัมพันธ์ ณ สถานี

ตรวจวัดความค่าแห่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ($y = 0.59x + 9.8699$, $R^2 = 0.6016$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการตรวจวัดจริงในภาคสนามมีปัจจัยอื่น ๆ ส่งผลต่อการดูดซับสารมลพิษบนอุปกรณ์พาสซีฟ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ เมื่อวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่บุคคลกลุ่มตัวอย่างรับสัมผัสด้วยวิธีพาสซีฟในช่วง 5 วันต่อเนื่อง สามารถนำมาใช้งานได้ดีเพราะมีขนาดเล็ก และไม่รบกวนกิจกรรมปกติของกลุ่มตัวอย่าง

กลีนประทุม ปัญญาปิง (2546) ทำการศึกษาโดยใช้อุปกรณ์อย่างง่ายในการเก็บตัวอย่างในการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ใช้สาร Triethanolamine ในการดูดซับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และวงพันธ์ ลิ้มปเสนีย์ (2546) นำอุปกรณ์แบบพาสซีฟตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง พบว่ามีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐาน โดยทำการเลือกวิธี chemiluminescence เป็นวิธีมาตรฐาน

วินัย สมบูรณ์ (2548) ได้พัฒนาการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ โดยการใช้เมมเบรนชนิดต่าง ๆ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดต์ในการดูดซับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

วนิดา จินศาสตร์ (2548) ศึกษาอุปกรณ์แบบพาสซีฟ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดต์ในการดูดซับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาว 540 นาโนเมตร

Da Silva และคณะ (2006, 1 – 9) ได้นำวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟมาใช้เพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเมืองเซาเปาโล (Sao Paulo) ประเทศบราซิล โดยทำการเก็บตัวอย่าง 32 จุด บนถนนที่แตกต่างกัน และมีการจราจรหนาแน่น ทำการเก็บตัวอย่างสองสัปดาห์ แบ่งเป็น 2 ช่วง พบว่ามีความเข้มข้นเท่ากับ 63 และ 49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ไตรเอทานอล เอมีน (tri – ethanol amine : TEA) เป็นสารดูดซับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวัดการดูดกลืนแสง วิธี Saltzman's reaction

Bush และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาความถูกต้องของหลอดที่ใช้หลักการพาสซีฟในการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศอังกฤษ

Heal และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของแสงที่มีต่อการตรวจวัดโดยอุปกรณ์ชนิดพาสซีฟ พบว่าอุปกรณ์ที่มีการห่อหุ้มให้ผลการตรวจวัดที่ใกล้เคียงกับวิธีการมาตรฐาน

Krochmal, D and Gorski, L. (1991 : 531 – 535) ทำการหาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ใช้สารไตรเอททานอลาไมน์เป็นตัวดูดซับ ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ความชื้น และการเก็บตัวอย่างโดยการแพร่ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะวิเคราะห์หาโดยใช้หลักการทาสเปกโตรโฟโตเมตริก เปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นไนไตรต์ โดยใช้สารละลาย saltman ทำการทดสอบที่ผลของการวิเคราะห์ซ้ำไม่เกิน 10% โดยมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง คือ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ (2550) ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์วิธีการแบบพาสซีฟในการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเขตเมือง และนำไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา การศึกษานี้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง โดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีอีเล็กโทรดด้วยอุปกรณ์ MultiRAE IR โดยใช้หลักการทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่เหมาะสมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ประกอบด้วยเมมเบรนชนิดมิกเซลลูโลส (mixcellulose - MCE) บรรจุอยู่ในภาชนะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และเคลือบด้วยสารดูดซับซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.002 โมลาร์ กับสารละลายโซเดียมอาร์ซีไนด์ (NaAsO₃) เข้มข้น 1.54×10^{-4} โมลาร์ ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ในการเก็บตัวอย่างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟจะถูกรอบด้วยถ้วยกระดาษเพื่อลดผลที่จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากกระแสลม ความชื้นจากบรรยากาศ และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ นำไปเก็บตัวอย่างโดยติดตั้งสูงจากพื้นดิน 1.2 – 1.5 เมตร เมื่อทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์โดยสกัดสารไนไตรต์ที่ได้จากการดูดซับด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลาไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ จะทำให้เกิดสีม่วง แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน และคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ผลการนำอุปกรณ์แบบพาสซีฟไปเก็บตัวอย่างและตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่ามีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0089 – 0.1099 พีพีเอ็ม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0543 พีพีเอ็ม โดยมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอาคารคณะ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม รองมาคือตำแหน่งร้านเบเกอรี่ (ป้อมจรรยา) หน้าอาคารศรีจุฑาภา และบริเวณประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยถนนอุทองนอก ซึ่งตำแหน่งที่ตรวจวัดเป็นตำแหน่งที่ติดกับถนน มีรถเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้มีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ออกมาทางท่อไอเสียของรถ ทั้งนี้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.163 พีพีเอ็ม

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมกระดาษกรองซึ่งเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเมมเบรนหรือกระดาษกรองหลังจากทำการหดยาสลายดูดซับแล้วก่อนทำการเก็บตัวอย่าง และศึกษาระยะเวลาที่เก็บรักษาตัวอย่างหลังจากสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างแล้วก่อนที่จะทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่า วิเคราะห์ด้วยอาร์ซีไนต์ จากนั้นนำผลที่ได้จากการศึกษาไปดำเนินการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

3.1 สถานที่ทำวิจัย

สถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย

1. พื้นที่ตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ คือ พื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย โดยมีตำแหน่งในการตรวจวัด แสดงดังตารางที่ 3.1
2. ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งในการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ครั้งที่	วันที่	ตำแหน่งตรวจวัด
1	19 มีนาคม 2551	บริเวณด้านหน้าศูนย์อาหาร
2	21 มีนาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 23
3	24 มีนาคม 2551	หน้าอาคารศรีจุฑาภา บริเวณร้านขายเบเกอรี่
4	25 มีนาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 37

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ครั้งที่	วันที่	ตรวจวัดตรวจวัด
6	26 มีนาคม 2551	ป้อมยาม ประตูถนนคู่ทองนอก
7	27 มีนาคม 2551	บริเวณใต้อาคาร 57 (คณะวิทยาการจัดการ)
8	28 มีนาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 22
9	31 มีนาคม 2551	หน้าอาคารศรีจุฑาภา บริเวณร้านขายเบเกอรี่
10	1 เมษายน 2551	บริเวณหน้าอาคาร 37
11	2 เมษายน 2551	ป้อมยาม ประตูถนนคู่ทองนอก
12	3 เมษายน 2551	หน้าอาคารศรีจุฑาภา บริเวณร้านขายเบเกอรี่
13	4 เมษายน 2551	บริเวณหน้าอาคาร 57 (คณะวิทยาการจัดการ)
14	27 พฤษภาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 23
15	28 พฤษภาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 26 (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
16	29 พฤษภาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 23
17	5 มิถุนายน 2551	บริเวณหน้าอาคาร 23
18	6 มิถุนายน 2551	หน้าอาคารศรีจุฑาภา บริเวณร้านขายเบเกอรี่
19	9 มิถุนายน 2551	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
20	10 มิถุนายน 2551	บริเวณหน้าอาคาร 37
21	12 มิถุนายน 2551	ป้อมยาม ประตูถนนคู่ทองนอก
22	16 มิถุนายน 2551	บริเวณหน้าอาคาร 26 (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
23	3 กรกฎาคม 2551	หน้าอาคารศรีจุฑาภา บริเวณร้านขายเบเกอรี่
24	5 กรกฎาคม 2551	หน้าอาคารศรีจุฑาภา บริเวณร้านขายเบเกอรี่
25	10 กรกฎาคม 2551	บริเวณหน้าอาคาร 23

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยวิธีเทียบเท่าวิธีไซเดียมอาร์ซีไนต์ ดังภาพที่ 3.1 ประกอบด้วย

- 1.1 อิมพินเจอร์
- 1.2 ปุ่มดูดอากาศขนาดเล็ก
- 1.2 สายยาง
- 1.3 ขาดั่ง
- 1.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง
- 1.5 เครื่องแก้ว
- 1.6 สารเคมี



ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยวิธีไซเดียมอาร์ซีไนต์

2. อุปกรณ์แบบพาสซีฟ ดังภาพที่ 3.2 – 3.4

2.1 เมมเบรนหรือกระดาษกรองชนิดเมมเบรนชนิดมิซเซลลูโลส (mixcellulose : MCE) มีขนาดรู เท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร

2.2 ถ้วยกระดาษ

2.3 เข็อก

2.4 คาสเซตท์ (cassette) สำหรับเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นที่ตัวบุคคล

3. เครื่องแก้วต่าง ๆ

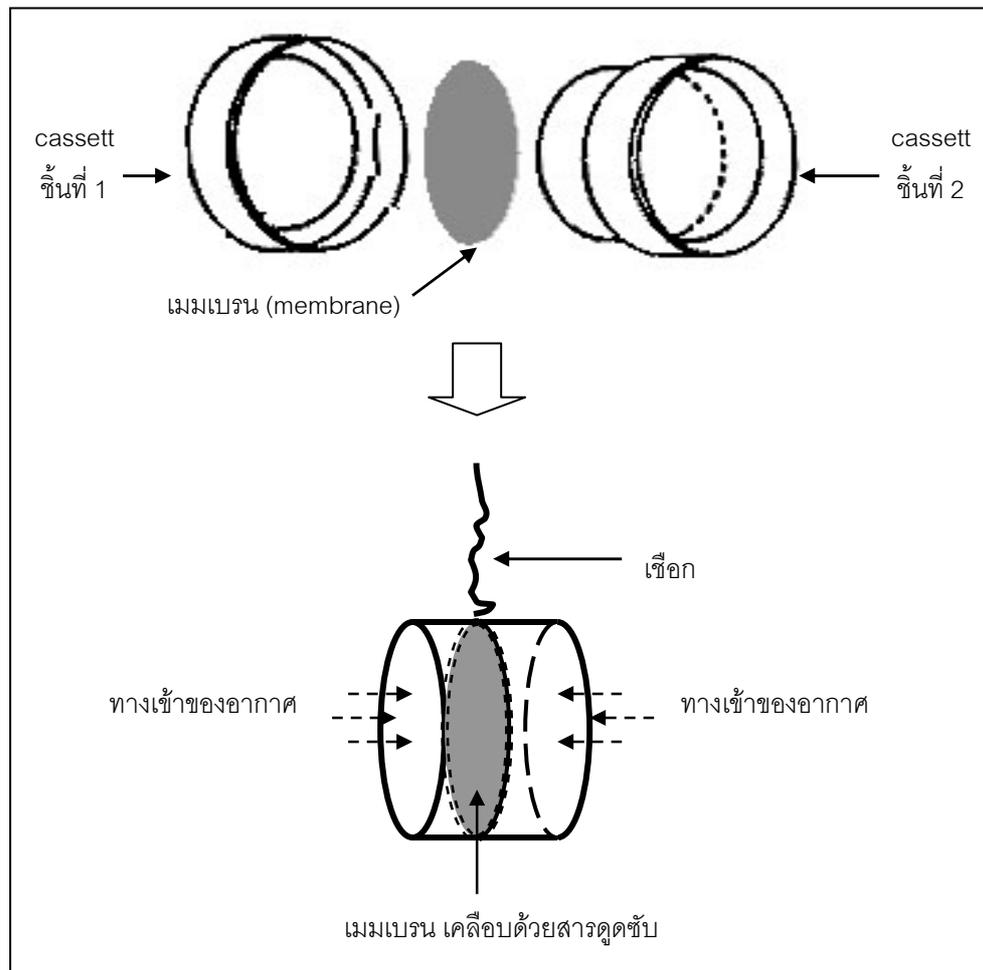
4. คอมพิวเตอร์

5. โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows เวอร์ชัน 11.5

6. เทอร์โมมิเตอร์

7. ปิเปตอัตโนมัติ (auto pipet)

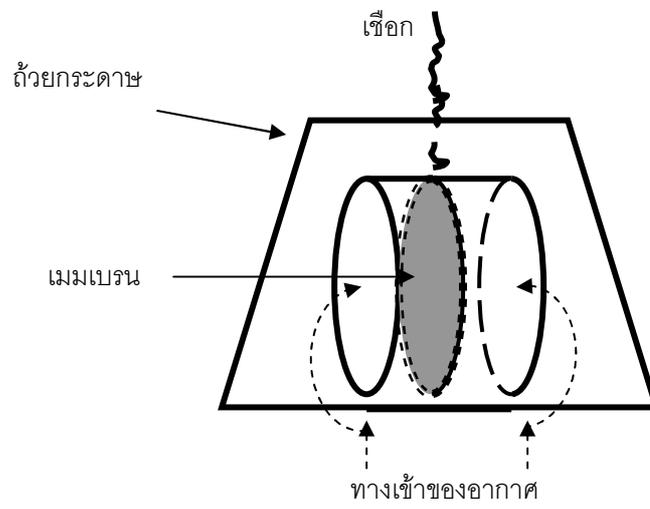
8. ปากคีบ (forcep)



ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์แบบพาสตีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสตีฟ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษามีดังนี้

1. กำหนดปัญหา ตรวจสอบเอกสาร วิธีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2. ดำเนินการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษากระดาศกรงหรือเมมเบรน (เก็บในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท) หลังจากทำการหยดสารละลายดูดซับแล้ว 5 ระยะเวลาดังกล่าว คือ

2.1 หลังจากทำการหยดสารละลายดูดซับแล้ว นำไปตรวจวัดทันที

2.2 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 นาที

2.3 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 นาที

2.4 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 นาที

2.5 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 นาที

ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการแบบพาสซีฟ (ดังภาคผนวก ซ.) เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างกระดาศกรงในแต่ละระยะเวลา (ข้อ 2.1 – 2.5) พร้อมกับการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการแบบเทียบเท่า วิธีซีเดียมอาร์ซีไนต์ (ดังภาคผนวก ซ.) โดยใช้กระดาศกรงที่หยดน้ำกลั่นเป็นแบลนด์ และทำการเก็บพร้อมกันสองตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา เพื่อนำผลที่ได้มาหาค่า % duplicate (ยอมรับที่ค่า < 10%)

3. ทดสอบโดยหลักหลักการทางสถิติ t – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อหาว่าการเก็บรักษากระดาศกรงในระยะเวลาเท่าใดที่ให้ผลที่มีค่าความสัมพันธ์กับวิธีการแบบเทียบเท่ามากที่สุด

4. นำผลระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3 มาใช้เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างหลังจากที่ทำการเก็บตัวอย่างแล้ว ก่อนการนำมาสกัดด้วยน้ำกลั่น 5 ระยะเวลาดังนี้

4.1 ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นทันที หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้ว

4.2 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น

4.3 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น

4.4 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น

4.5 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น

ทำการหยดสารละลายดูดซับลงบนกระดาศกรง เก็บรักษาในระยะเวลาที่เหมาะสม (ข้อ 3) ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการแบบพาส

สีฟ (ดังภาคผนวก ข.) เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง พร้อมกับการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการแบบเทียบเท่า วิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ (ดังภาคผนวกที่ ข.) และเก็บรักษาตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้วก่อนทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น โดยศึกษา 5 ระยะเวลา (ข้อ 4.1 – 4.5) โดยใช้กระดาษกรองที่หยดน้ำกลั่นเป็นแบลนด์ และทำการเก็บพร้อมกันสองตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

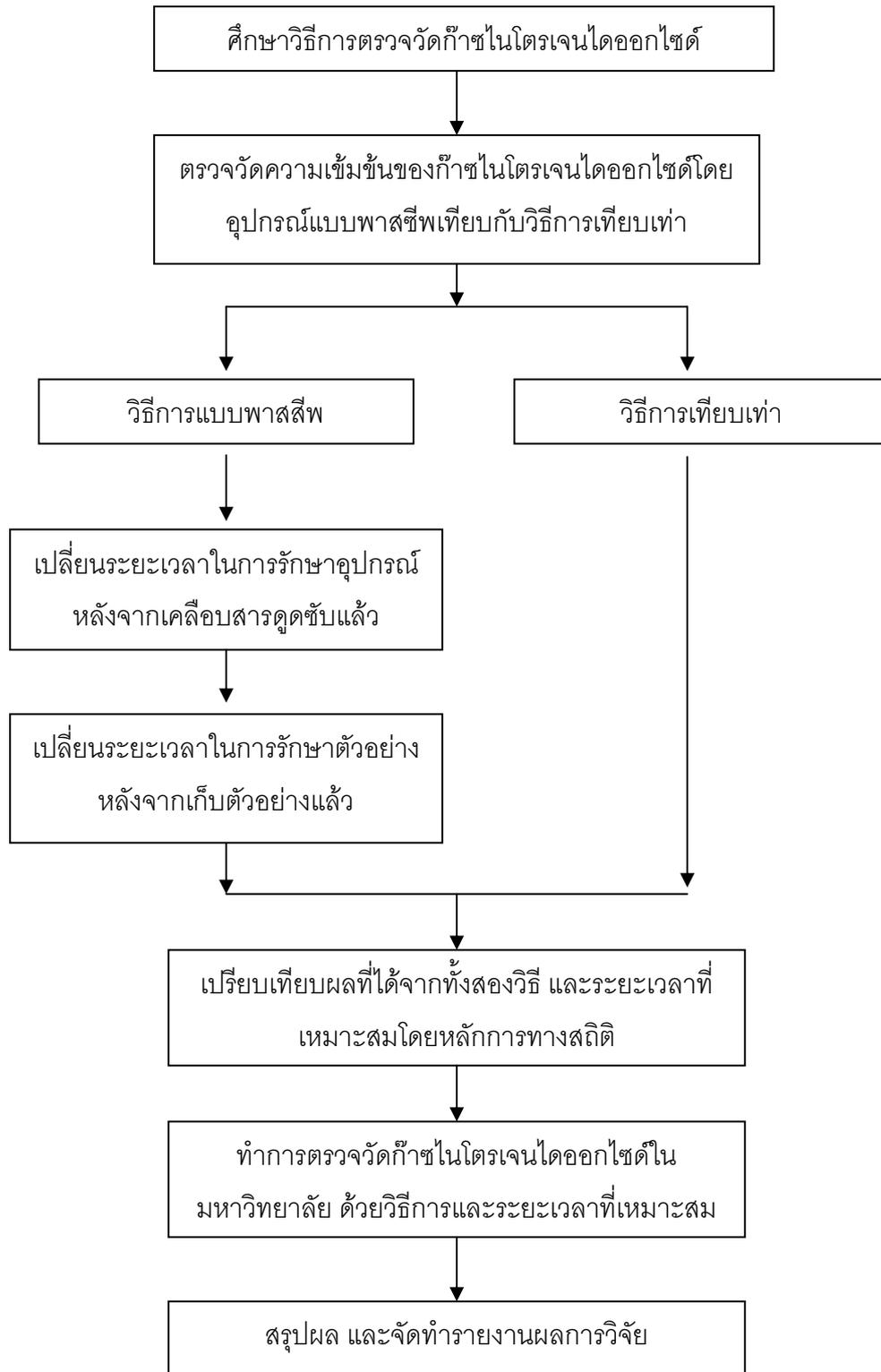
5. ทดสอบโดยหลักหลักการทางสถิติ t – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อหาว่าการเก็บรักษากระดาษกรองหลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้วก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น ระยะเวลาเท่าใดที่ให้ผลที่มีค่าความสัมพันธ์กับวิธีการแบบเทียบเท่ามากที่สุด

6. นำผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมไปใช้ในการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาดังนี้ ตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง พร้อมกัน 5 ตำแหน่งโดยรอบของมหาวิทยาลัย ตำแหน่งละ 4 ครั้ง ในระยะเวลา 2 เดือน

7. สรุปและเผยแพร่ผลการวิจัย



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม



ภาพที่ 3.6 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน

วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยวิธีการแบบพาสซีฟ (ภาคผนวก ซ.)

1. เตรียมสารเคมี ตามวิธีการวิเคราะห์
 2. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ
 3. ทำการหยดสารละลายดูดซับซึ่งเป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ และสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เข้มข้น 1.54×10^{-4} โมลาร์ลงบนเมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูลอสปริมาณ 3 มิลลิลิตร เก็บอุปกรณ์ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เก็บรักษาตามระยะเวลาที่ศึกษา
 4. นำไปติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง หลังจากหยดสารดูดซับแล้ว จดบันทึกเวลาเริ่มเก็บติดตั้ง วัตถุประสงค์ของหัตถการในขณะนั้น
 5. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง จดบันทึก เวลาหยุดเก็บตัวอย่าง เก็บอุปกรณ์ใส่ถุงพลาสติกและปิดสนิท
 6. นำกลับไปที่วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ โดยทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่ศึกษา
 7. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ และวัดการดูดกลืนแสง ตามวิธีการในภาคผนวก ซ. โดยสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
 8. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
- ขั้นตอนการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการแบบพาสซีฟมีดังนี้

1. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากกราฟมาตรฐาน ดังสมการที่

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots \quad (3.1)$$

เมื่อ NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmoles/m³)

V คือ ปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

NO_2^- คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในตัวอย่าง (μM) ได้จากกราฟหรือสมการแสดงความสัมพันธ์

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

2. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (3.2)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots (3.2)$$

เมื่อ $\text{NO}_2(\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmoles/m³)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (0.0821 L.atm/mol.K)

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm

T คือ อุณหภูมิ (K)

3. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ในหน่วย พีพีบี ด้วยสมการที่ (3.3)

$$\text{NO}_2 (\text{ppb}) = (0.004 \times \text{PS}) + 8.652 \quad \dots (3.3)$$

เมื่อ $\text{NO}_2 (\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

PS คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟในหน่วยพีพีบี คือ ค่า $\text{NO}_2(\text{ppb})$ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถแปลงหน่วยเป็นหน่วยต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ดังสมการที่ (3.4) – (3.5)

$$C (\text{ppm}) = C (\text{mg} / \text{m}^3) \times \frac{24.45}{\text{Mp}} \quad \dots (3.4)$$

$$C (\text{ppb}) = C (\mu\text{g} / \text{m}^3) \times \frac{24.45}{\text{Mp}} \quad \dots (3.5)$$

เมื่อ	C (ppm)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม
	C (ppb)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี
	C (mg/m ³)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	C (μg/m ³)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	Mp	คือน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) เท่ากับ 48

3.4 ระยะเวลาการวิจัย และแผนดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระยะเวลาในการวิจัย 8 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551

ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการศึกษา	เดือน							
	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค
1. ศึกษาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ	↔							
2. เก็บตัวอย่างเพื่อหาระยะเวลาในการรักษาตัวอย่างหลังจากหยุดสารดูดซับ			↔					
3. เก็บตัวอย่างเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น					↔			
4. ทดสอบทางสถิติเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 2 และ 3					↔		↔	
6. ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา							↔	
7. สรุปผล								↔
8. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่ผลการศึกษา / ส่งตีพิมพ์								↔

บทที่ 4

ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

4.1 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่าง

ผลการดำเนินการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมและเก็บรักษาตัวอย่าง โดยทำการกำหนดเวลาและตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่อาศัยพื้นฐานของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่ใช้สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมอาร์ซีไนต์ และตรวจวัดเทียบกับวิธีการเทียบเท่า ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาเป็นดังนี้

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษากระดาศกรงหรือเมมเบรนหลังจากทำการหยุดสารละลายดูดซับแล้ว 5 ระยะเวลา คือ

- 1.1 หลังจากทำการหยุดสารละลายดูดซับแล้ว นำไปตรวจวัดทันที
- 1.2 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 นาที
- 1.3 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 นาที
- 1.4 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 นาที
- 1.5 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 นาที

2. ระยะเวลาในการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมงตามมาตรฐานคุณภาพอากาศ

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างที่ทำการเก็บตัวอย่างแล้ว ก่อนการนำมาสกัดด้วยน้ำกลั่น

- 3.1 ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นทันที หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้ว
- 3.2 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น
- 3.3 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น
- 3.4 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น
- 3.5 เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 นาที ก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยการเปลี่ยนระยะเวลา
หลังจากหยุดสารละลายดูดซับและทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นภายใน 30 นาที

ลำดับ ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)					วิธี เทียบเท่า
		ระยะเวลาในการเก็บรักษากระดาศกรองก่อนตรวจวัด					
		โดยวิธีการแบบพาสซีฟ					
		0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที	
1	24 มีนาคม 2551	146.76	177.59	224.73	309.96	335.04	362.64
2		152.51	166.10	234.40	302.40	344.71	362.64
3		129.23	181.52	197.84	303.01	334.44	369.08
4		138.30	179.70	204.49	303.91	329.00	369.08
5	25 มีนาคม 2551	238.68	125.60	234.01	346.51	385.08	402.02
6		234.59	126.18	238.10	347.68	375.73	402.02
7		251.83	122.38	168.26	347.08	351.18	392.86
8		241.61	126.47	225.53	349.29	362.87	392.86
9	26 มีนาคม 2551	141.09	207.53	225.45	250.81	269.83	291.08
10		143.02	206.43	220.76	246.12	277.00	291.08
11		124.82	175.55	142.19	245.30	273.69	277.03
12		123.72	175.27	136.95	242.27	271.49	277.03
13	27 มีนาคม 2551	152.80	148.24	183.56	272.43	277.05	309.71
14		151.66	150.23	184.13	267.30	276.65	309.71
15		140.83	158.78	182.42	276.42	271.58	309.71
16		128.59	152.51	184.70	287.24	265.31	309.71
17	28 มีนาคม 2551	181.79	176.28	218.98	291.96	325.02	332.40
18		180.42	178.69	219.66	285.77	320.20	332.40
19		167.33	189.02	217.60	280.95	325.36	323.23
20		152.53	181.45	220.35	275.44	317.79	323.23

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ลำดับ ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)					วิธี เทียบเท่า
		ระยะเวลาในการเก็บรักษากระดาศกรองก่อนตรวจวัด					
		โดยวิธีการแบบพาสซีฟ					
0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที			
21	31 มีนาคม 2551	117.12	198.00	298.05	292.06	213.87	331.22
22		139.89	195.30	302.84	278.28	215.97	331.22
23		133.00	143.48	202.49	294.45	238.44	337.59
24		131.50	145.28	203.99	294.15	276.48	337.59
25	1 เมษายน 2551	263.72	244.32	295.81	253.84	330.03	317.34
26		247.50	231.62	327.91	261.96	326.85	317.34
27		212.93	237.97	308.51	291.23	348.01	334.25
28		200.23	233.39	292.29	281.71	340.96	334.25
29	2 เมษายน 2551	242.72	278.26	284.06	236.55	318.88	300.73
30		275.00	266.29	288.05	235.10	311.63	300.73
31		228.21	259.76	298.57	273.55	333.39	333.62
32		230.39	260.13	300.38	264.12	331.57	333.62
33	3 เมษายน 2551	163.30	177.40	222.60	331.60	364.30	360.68
34		160.73	192.79	226.77	327.11	343.14	360.68
35		132.84	209.14	233.82	330.96	334.81	400.50
36		135.41	217.47	233.50	323.26	345.06	400.50

จากผลการตรวจวัดดังตารางที่ 4.1 นำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดที่ได้จากวิธีการเทียบเท่ากับวิธีการแบบพาสซีฟที่ทำการเก็บรักษากระดาศกรงหรือเมมเบรนหลังหยุดสารละลายดูดซับแล้วที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยให้หลักการทางสถิติ t - test และหาค่าความสัมพันธ์ของคู่เปรียบเทียบที่มีค่าสูงสุด เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่นต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ t-test เพื่อทดสอบความสัมพันธ์หรือความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากทั้งสองวิธี โดยมีสมมติฐานที่ว่าผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการแบบพาสซีฟในระยะเวลาเก็บรักษาเมมเบรนต่าง ๆ กับวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนี้

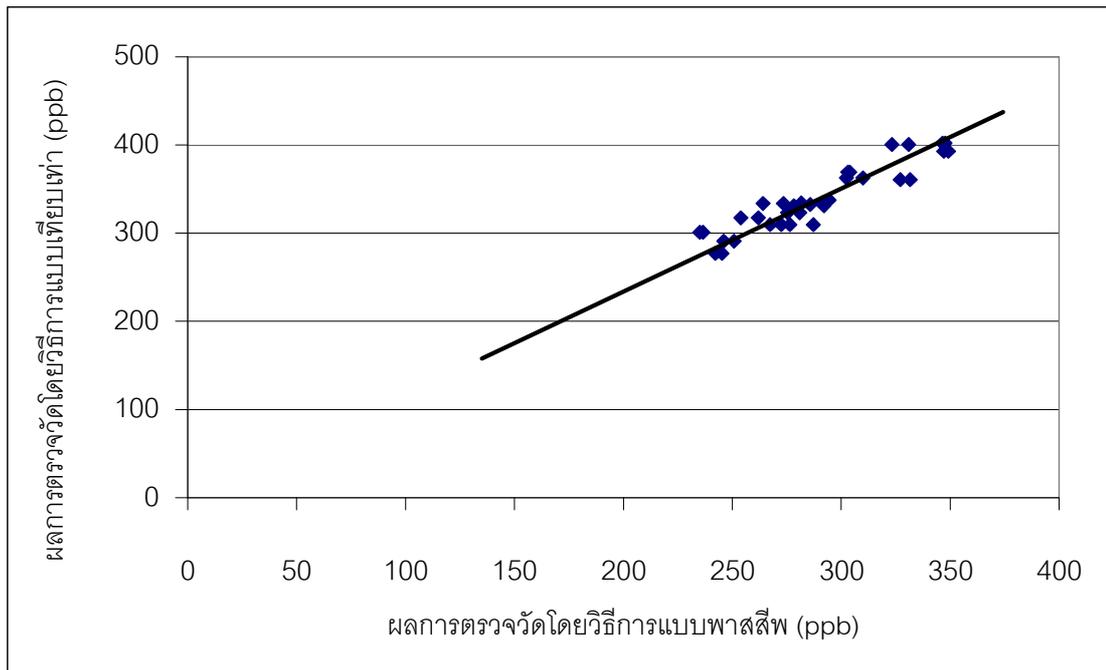
H_0 : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีแบบพาสซีฟ มีค่าแตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีแบบพาสซีฟ มีค่าไม่แตกต่างกัน

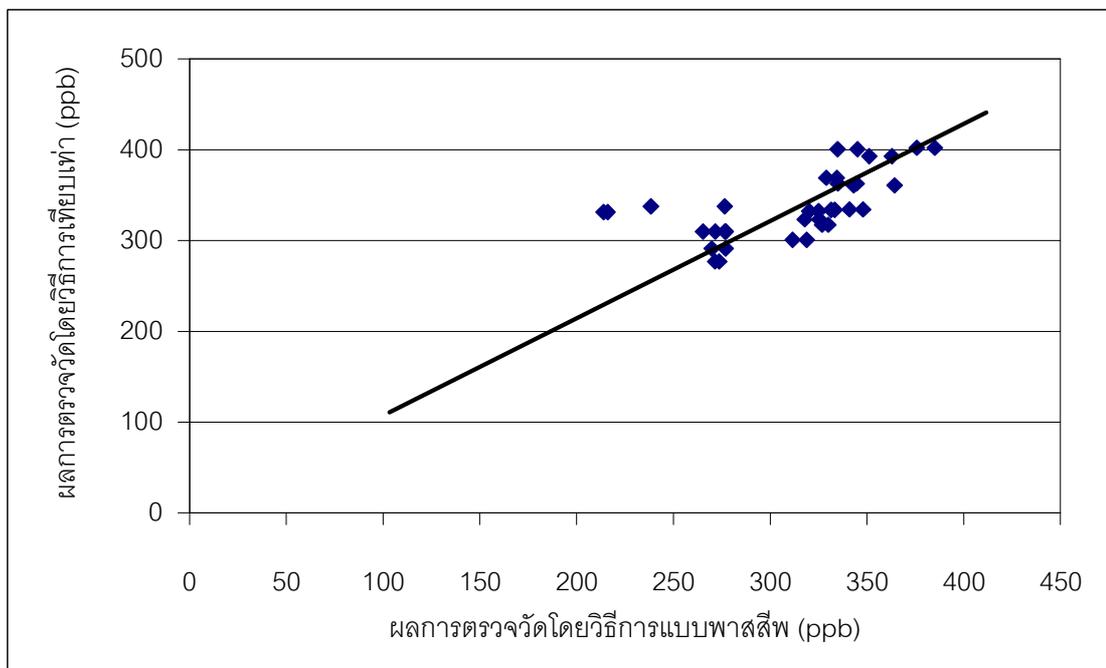
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ t - test ยอมรับสมมติฐาน H_1 ซึ่งสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีที่มีระยะเวลาในการรักษากระดาศกรงหลังจากหยุดสารละลายดูดซับแล้วที่ 5, 30 และ 60 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ -0.348 0.931 และ 0.637 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 และกราฟที่ 4.1 – 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ Paired Samples Correlations

	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์	N	Correlation	Sig.
Pair 1	ระยะเวลาเก็บ 0 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	36	0.152	0.376
Pair 2	ระยะเวลาเก็บ 5 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	36	-0.348	0.037
Pair 3	ระยะเวลาเก็บ 10 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	36	0.053	0.757
Pair 4	ระยะเวลาเก็บ 30 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	36	0.931	0.000
Pair 5	ระยะเวลาเก็บ 60 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	36	0.637	0.000



กราฟที่ 4.1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษากระดาศกรง 30 นาที ก่อนการดำเนินการเก็บตัวอย่างกับวิธีการแบบเทียบเท่า



กราฟที่ 4.2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษากระดาศกรง 60 นาที ก่อนการดำเนินการเก็บตัวอย่างกับวิธีการแบบเทียบเท่า

ในการพิจารณาค่าความแตกต่างของผลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อทำการวิเคราะห์ซ้ำ (%duplicate : %RPD) ดังสมการที่ (4.1) ซึ่งตามหลักการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ทางเคมี ยอมรับผลการวิเคราะห์ที่มีค่า %RPD ไม่เกินร้อยละ 10 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) โดยการทดสอบตัวอย่างซ้ำ 2 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง ค่าที่ยอมรับได้ คือ ไม่มากกว่า 10% (+10% หรือ -10%) ผลการหาค่า %duplicate แสดงดังตารางที่ 4.3

$$\% \text{ RPD} = \frac{D \times 100}{M} \quad \dots (4.1)$$

เมื่อ D คือ ค่าความแตกต่างของผลการทดสอบ 2 ครั้ง
M คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.3 ค่า % duplicate ของการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการแบบพาสซีฟ

ลำดับที่	วันที่	ค่า % duplicate				
		ระยะเวลาในการเก็บรักษากระดาศกรงก่อนตรวจวัด				
		โดยวิธีการแบบพาสซีฟ				
		0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที
1	24 มีนาคม 2551	11.7	2.3	11.7	2.3	0.2
2	25 มีนาคม 2551	5.6	2.6	27.9	0.8	67.5
3	26 มีนาคม 2551	11.4	15.5	37.3	2.2	1.4
4	27 มีนาคม 2551	7.9	7.1	0.6	7.7	34.5
5	28 มีนาคม 2551	8.0	7.2	0.6	3.8	34.7
6	31 มีนาคม 2551	12.4	27.7	31.8	0.8	11.4
7	1 เมษายน 2551	19.9	2.7	4.1	7.5	5.5
8	2 เมษายน 2551	5.6	6.8	5.1	5.7	4.6
9	3 เมษายน 2551	18.8	17.1	5.0	0.2	8.3
10	4 เมษายน 2551	13.2	28.5	1.3	5.8	27.2

ดังนั้นจากการศึกษาความสัมพันธ์ตามตารางที่ 4.2 – 4.3 และกราฟที่ 4.1 – 4.2 พบว่าการเก็บตัวอย่างโดยทำการเก็บรักษาที่ระยะเวลา 30 นาที ให้ผลของความสัมพันธ์สูงสุด มีค่า % duplicate ไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ จึงนำระยะเวลาดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาในการรักษาตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่าง มีผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ระยะเวลาในการรักษากระดาษกรองหลังจากหยดสารละลายดูดซับเป็นระยะเวลา 30 นาที

ลำดับ	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)					วิธีเทียบเท่า
		ระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างหลังจากเก็บ					
		ตัวอย่างด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ					
0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที			
1	27 พฤษภาคม 2551	341.21	402.91	353.85	328.57	309.98	364.5
2		341.95	405.89	358.31	338.23	308.50	364.5
3		367.23	396.97	349.39	341.95	295.11	364.5
4		373.18	391.02	359.79	328.57	297.35	364.5
5	28 พฤษภาคม 2551	263.92	290.47	298.67	327.52	362.93	224.87
6		250.94	287.52	303.92	330.14	365.55	224.87
7	29 พฤษภาคม 2551	193.36	241.49	213.11	182.57	284.99	213.71
8		192.44	244.88	209.10	214.96	288.38	213.71
9	5 มิถุนายน 2551	475.94	494.00	503.30	555.28	605.08	488.48
10		496.74	516.98	547.62	628.61	642.29	488.48
11	8 มิถุนายน 2551	238.73	206.13	252.41	280.94	275.71	157.85
12		238.73	216.32	259.11	286.33	282.84	157.85
13	9 มิถุนายน 2551	223.93	230.98	263.94	273.66	282.96	215.91
14		224.07	235.62	271.41	266.48	275.50	215.91

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)					วิธี เทียบเท่า
		ระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างหลังจากเก็บ ตัวอย่างด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ					
		0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที	
15	10 มิถุนายน 2551	243.21	278.62	257.60	252.95	299.21	206.73
16		237.85	270.29	242.37	249.28	297.52	206.73
17	12 มิถุนายน 2551	198.01	175.23	205.83	254.08	240.41	158.56
18		194.85	177.56	209.57	251.27	258.98	158.56
19	16 มิถุนายน 2551	228.87	215.61	225.39	228.79	278.29	169.61
20		232.34	223.59	228.99	225.00	278.29	169.61

ตารางที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ Paired Samples Correlations

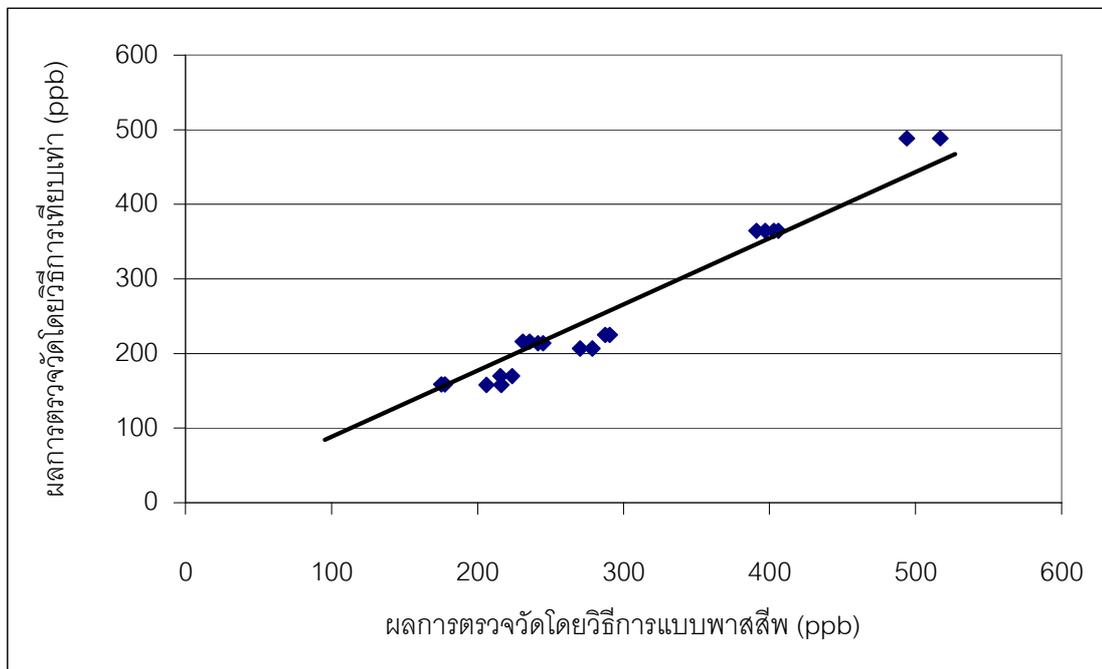
	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์	N	Correlation	Sig.
Pair 1	ระยะเวลาเก็บ 0 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	20	0.958	0.000
Pair 2	ระยะเวลาเก็บ 5 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	20	0.984	0.000
Pair 3	ระยะเวลาเก็บ 10 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	20	0.945	0.000
Pair 4	ระยะเวลาเก็บ 30 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	20	0.854	0.000
Pair 5	ระยะเวลาเก็บ 60 นาที กับ วิธีเทียบเท่า	20	0.773	0.000

การวิเคราะห์ทางสถิติ t-test เพื่อทดสอบความสัมพันธ์หรือความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากทั้งสองวิธี โดยมีสมมติฐานที่ว่าผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการแบบพาสซีฟในระยะเวลาเก็บรักษาเมมเบรนก่อนการสกัดตัวน้ำกลั่นต่าง ๆ กับวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนี้

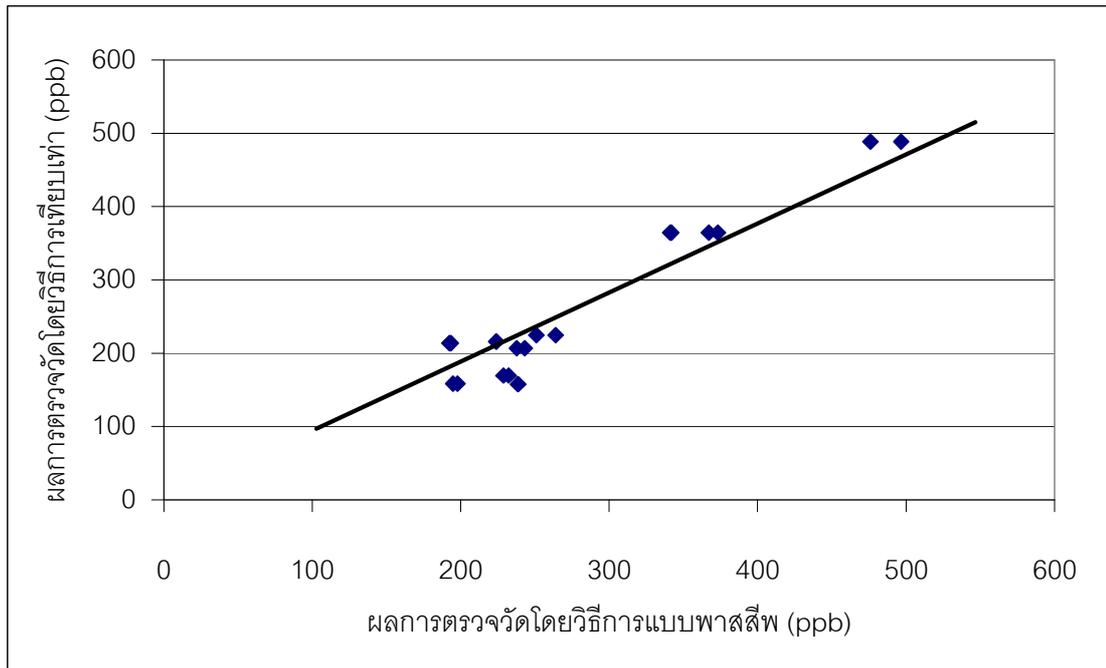
H_0 : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีแบบพาสซีฟ มีค่าแตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีแบบพาสซีฟ มีค่าไม่แตกต่างกัน

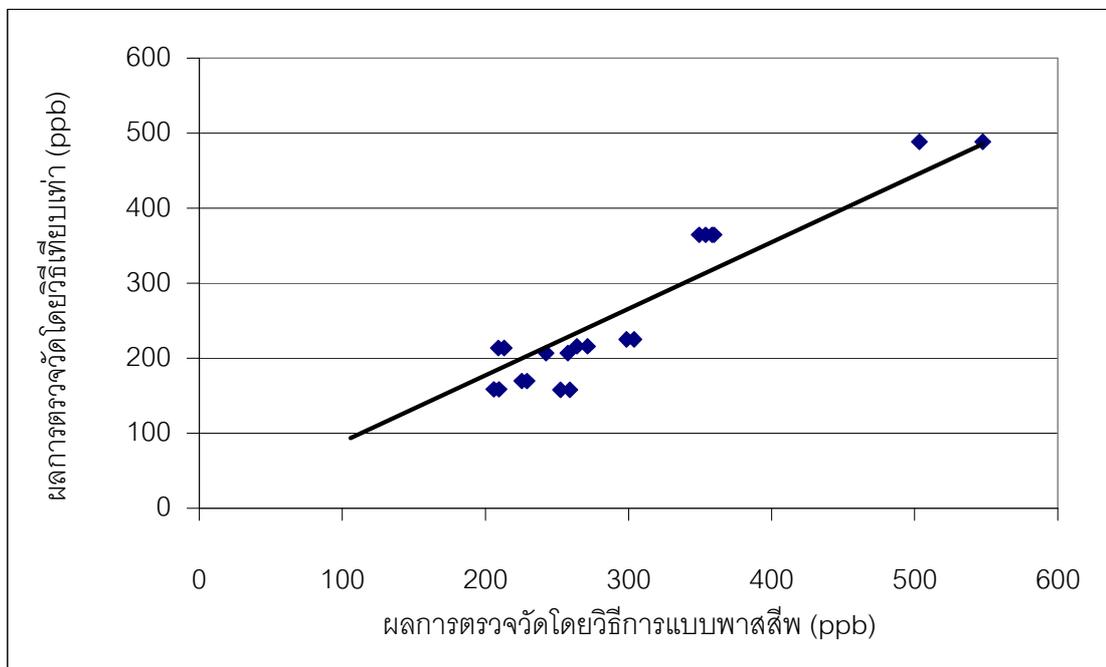
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ t - test ยอมรับสมมติฐาน H_1 ซึ่งสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีที่มีระยะเวลาในการรักษากระดาษกรองหลังจากเก็บตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่นที่ 0 5 10 30 และ 60 นาทีมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.958 0.984 0.945 0.854 และ 0.773 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 และกราฟที่ 4.3 – 4.5



กราฟที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น 5 นาที กับวิธีการแบบเทียบเท่า



กราฟที่ 4.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น 0 นาที (สกัดทันที) กับวิธีการแบบเทียบเท่า



กราฟที่ 4.5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่างก่อนสกัดด้วยน้ำกลั่น 10 นาที กับวิธีการแบบเทียบเท่า

ผลการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรักษาตัวอย่างก่อนทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ เก็บรักษาตัวอย่าง 5 นาที ก่อนที่ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์แบบพาสซีฟและวิธีการแบบเทียบเท่าที่มีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.984 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการเก็บที่ 0 และ 10 นาที มีค่าความสัมพันธ์ในระดับสูง เช่นกัน คือ เท่ากับ 0.958 และ 0.945 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาในการเติมน้ำกลั่นเพื่อสกัดสามารถทำได้ในระยะเวลา 10 นาที ที่จะให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง

สรุปการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรักษากระดาศกรองและการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1. ในการเก็บตัวอย่างเมื่อทำการหยุดสารละลายดูดซับบนกระดาศกรองหรือเมมเบรนแล้วจะต้องทำการเก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศในบรรยากาศเป็นระยะเวลา 30 นาที จึงนำออกไปเพื่อเริ่มเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2. หลังจากเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเสร็จสิ้นแล้ว ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นภายในระยะเวลา 10 นาที เพื่อให้ผลของการวิเคราะห์มีความถูกต้องที่สุด ทั้งนี้หากไม่เติมน้ำกลั่นทันทีต้องเก็บใส่ถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศ แต่เก็บได้ในระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที

4.2 การตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ได้พัฒนาขึ้นไปตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 5 จุด ดังตารางที่ 4.6 โดยมีตำแหน่งการตรวจวัดดังภาพที่ 4.1 และผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.7

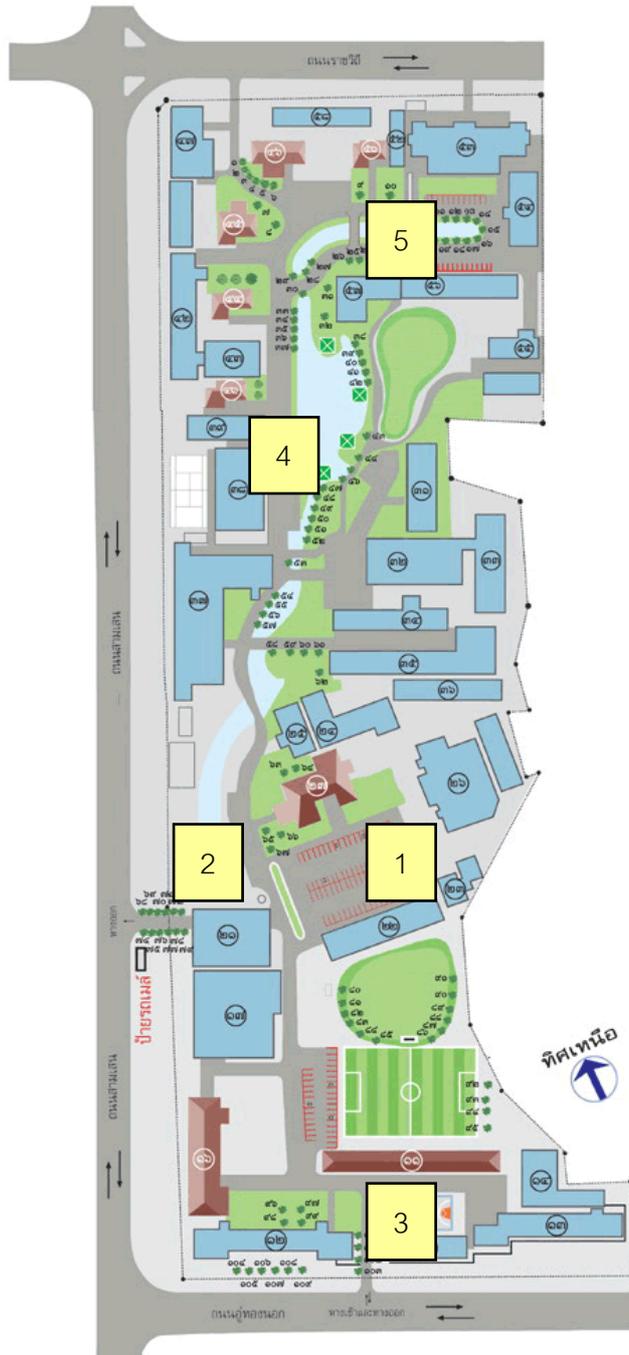
ตารางที่ 4.6 ตำแหน่งตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัย ฯ

ที่	ตำแหน่งตรวจวัด	ลักษณะของพื้นที่
1	อาคาร 23	เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากถนนสายหลักภายในมหาวิทยาลัย แต่เป็นบริเวณริมถนน
2	ศรีจุฑาภา	ตรวจวัดในตำแหน่งป้อมจราจร หน้าอาคาร ซึ่งเป็นถนนสายหลัก
3	ป้อมยามอุ้ทงนอก	ตรวจวัดตรงป้อมยามประตูทางเข้ามหาวิทยาลัย
4	อาคาร 37	ตรวจวัดริมถนนสายหลักในมหาวิทยาลัย
5	อาคาร 57	ตรวจวัดริมถนนหน้าอาคาร

ตารางที่ 4.7 ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัย เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

ที่	ตำแหน่งตรวจวัด	ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)				
		12 ก.ค.	24 ก.ค.	26 ก.ค.	9 ส.ค.	16 ส.ค.
		2551	2551	2551	2551	2551
1	อาคาร 23	114.02	43.87	75.66	13.88	14.90
2	ศรีจุฑาภา	139.47	46.68	53.41	16.23	31.40
3	ป้อมยามถนนอุ้ทงนอก	90.04	33.20	23.31	22.78	21.41
4	อาคาร 37	136.01	26.19	55.80	24.10	35.08
5	อาคาร 57	137.37	28.15	24.08	18.23	18.77
ค่ามาตรฐาน		320				

แผนที่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา



เขตพื้นที่ ๑

- ๑๑ อาคารกรรณการณพิพัฒน์ (คน-ศรศาสตร์)
- ๑๒ อาคารนิลรัตนการ (โปรแกรมวิชาภาษาต่างประเทศ)
- ๑๓ อาคารประชุมพรโสภิน (นิเทศศาสตร์)
- ๑๔ อาคารนิเทศศาสตร์ (หลังใหม่)
- ๑๕ อาคารนิเทศศาสตร์
- ๑๖ อาคารประมณศาสตร์
- ๑๗ อาคารหอประชุมสุนันทานุสรณ, ศูนย์อาหารและศูนย์หนังสือ

เขตพื้นที่ ๒

- ๒๑ อาคารศรียุทธการ (บัณฑิตศึกษาศูนย์คอมพิวเตอร์)
- ๒๒ อาคารวิบูลราชศิลปสดุฑ์ (คน-วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
- ๒๓ อาคารวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดลอม
- ๒๔ อาคารมาลีนิภาดาธา (อาคารประมณเก่า)
- ๒๕ อาคารสดันสนธิ์ดิยดเกษม (โปรแกรมวิชาคหกรรมศาสตร์)
- ๒๖ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์
- ๒๗ อาคารสายสุภรานกมล (สำนักศิลปวัฒนธรรม)

เขตพื้นที่ ๓

- ๓๑ อาคารห้องประชุมห้องแก้ว
- ๓๒ อาคารบันจอนราชบรมนาคกรม (สำนักวิทยบริการ)
- ๓๓ อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ (สำนักวิทยบริการ)
- ๓๔ อาคารเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษา
- ๓๕ อาคารนิภาภนดล (คน-มนุษยศาสตร์, อาคารเรียนรวม)
- ๓๖ อาคารศิลปกรรม
- ๓๗ อาคารเหมวดีพิทักษ์ (สำนักงานอธิการบดี)
- ๓๘ อาคารสันทนบงกช (อาคารพลศึกษา)
- ๓๙ อาคารศูนย์สุขภาพและสรวายน้ำ

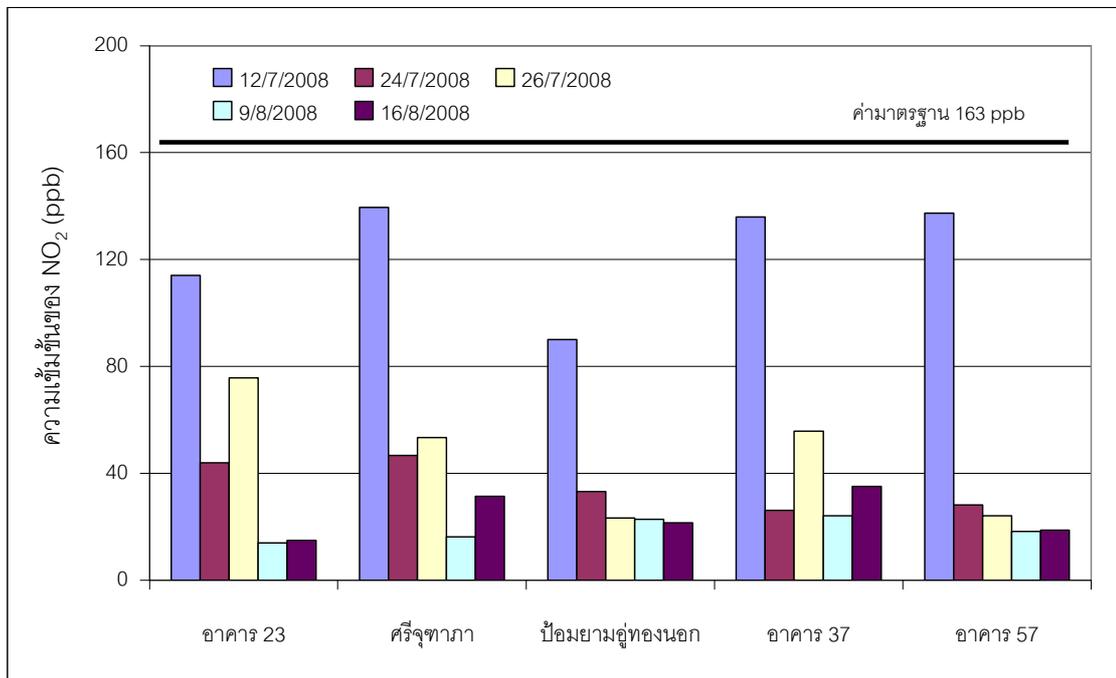
เขตพื้นที่ ๔

- ๔๑ อาคารศรียุทธประไฟ (สำนักกิจการนักศึกษา)
- ๔๒ อาคารคน-เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- ๔๓ อาคารสำนักงานคน-เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- ๔๔ อาคารพิภมัยพิมลสดุฑ์
- ๔๕ อาคารจุฑารัตนการณ (โปรแกรมวิชาดนตรี)
- ๔๖ อาคารอาคารพิภมัยนิवास (คน-ศิลปกรรมศาสตร์)
- ๔๗ อาคารศูนย์ปฏิบัติการเทคโนโลยีการพิมพ์

เขตพื้นที่ ๕

- ๕๑ อาคารเอื้ออาชวณเกมทวลย์
- ๕๓ อาคารอรประไฟออดิศึกษาศึกษ์ (โปรแกรมวิชานาฏศิลป์)
- ๕๔ อาคารโรงแรมแก้วเจ้าจอม
- ๕๕ อาคารเกษตรสินธิ์มศาสตร์
- ๕๖ อาคารสุภภักตธนิเวศน (คน-วิทยาการจัการ)
- ๕๗ อาคารสุภภักตธนิเวศน (คน-วิทยาการจัการใหม่)
- ๕๘ อาคารคน-ศิลปกรรมศาสตร์

แผนที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัย



กราฟที่ 4.6 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการแบบพาสซีฟในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ดังตารางที่ 4.7 และกราฟที่ 4.6 พบว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 13.88 – 139.47 พีพีบี บริเวณที่ทำการตรวจพบความเข้มข้นสูงสุด พบที่หน้าอาคารศรีจุฑาภา (อาคาร 21) ซึ่งเป็นบริเวณริมถนนที่เป็นจุดทางออกของรถที่วิ่งออกนอกมหาวิทยาลัย และอยู่ใกล้กับถนนสามเสน ส่วนค่าต่ำสุดที่ตรวจพบคือบริเวณหน้าอาคาร 23 ซึ่งอยู่ริมถนน แต่เป็นถนนที่มีปริมาณรถจำนวนน้อย ห่างไกลจากถนนโดยรอบของมหาวิทยาลัย อย่างไรก็ตามผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือมีค่าน้อยกว่า 163 พีพีบี ทุกครั้งในการตรวจวัด

4.3 สรุปวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยวิธีการแบบพาสซีฟ

1. เตรียมสารเคมี ตามวิธีการวิเคราะห์ ดังภาคผนวก ซ.
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ
3. ทำการหยดสารละลายดูดซับซึ่งเป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ และสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เข้มข้น 1.54×10^{-4} โมลาร์ลงบนเมมเบรนชนิดมิกซ์เซลล์ลูโลสปริมาณ 3 มิลลิลิตร เก็บอุปกรณ์ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท
4. ทิ้งไว้ 30 นาที
5. นำไปติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง หลังจากหยดสารดูดซับแล้ว จดบันทึกเวลาเริ่มเก็บติดตั้ง วัดอุณหภูมิบรรยากาศในขณะนั้น
6. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง จดบันทึก เวลาหยุดเก็บตัวอย่าง เก็บอุปกรณ์ใส่ถุงพลาสติกและปิดสนิท วัดอุณหภูมิในบรรยากาศหลังเก็บตัวอย่าง
7. ทำการสกัดด้วยน้ำตัวอย่างภายในระยะเวลา 10 นาที หลังจากหยุดเก็บตัวอย่าง เมื่อครบระยะเวลา 1 ชั่วโมง
8. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลาไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ และวัดการดูดกลืนแสง ตามวิธีการในภาคผนวก ซ.
9. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
ขั้นตอนการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ ดังนี้

1. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากกราฟมาตรฐาน ดังสมการที่ (4.2)

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots (4.2)$$

เมื่อ NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
(nmoles/m³)

V คือ ปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

NO_2^- คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในตัวอย่าง (μM) ได้จากกราฟ
หรือสมการแสดงความสัมพันธ์

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

2. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb)
ทำได้ด้วยสมการที่ (4.3)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots \quad (4.3)$$

เมื่อ $\text{NO}_2(\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
ในหน่วยพีพีบี

NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
(nmol/m^3)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ ($0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K}$)

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm

T คือ อุณหภูมิ (K)

3. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นค่าเฉลี่ยราย 1
ชั่วโมง ในหน่วย พีพีบี ด้วยสมการที่ (4.4)

$$\text{NO}_2 (\text{ppb}) = (0.004 \times \text{PS}) + 8.652 \quad \dots \quad (4.4)$$

เมื่อ $\text{NO}_2 (\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

PS คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ได้จากการ
วิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟในหน่วยพีพีบี คือ ค่า $\text{NO}_2(\text{ppb})$ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจน
ไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถแปลงหน่วยเป็นหน่วยต่าง ๆ
ตามที่ต้องการได้ ดังสมการที่ (4.5) – (4.6)

$$C \text{ (ppm)} = C \text{ (mg/m}^3\text{)} \times \frac{24.45}{M_p} \quad \dots (4.5)$$

$$C \text{ (ppb)} = C \text{ (\mu g/m}^3\text{)} \times \frac{24.45}{M_p} \quad \dots (4.6)$$

เมื่อ	C (ppm)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม
	C (ppb)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี
	C (mg/m ³)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วย มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	C (μg/m ³)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศใน หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	M _p	คือน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) เท่ากับ 48

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

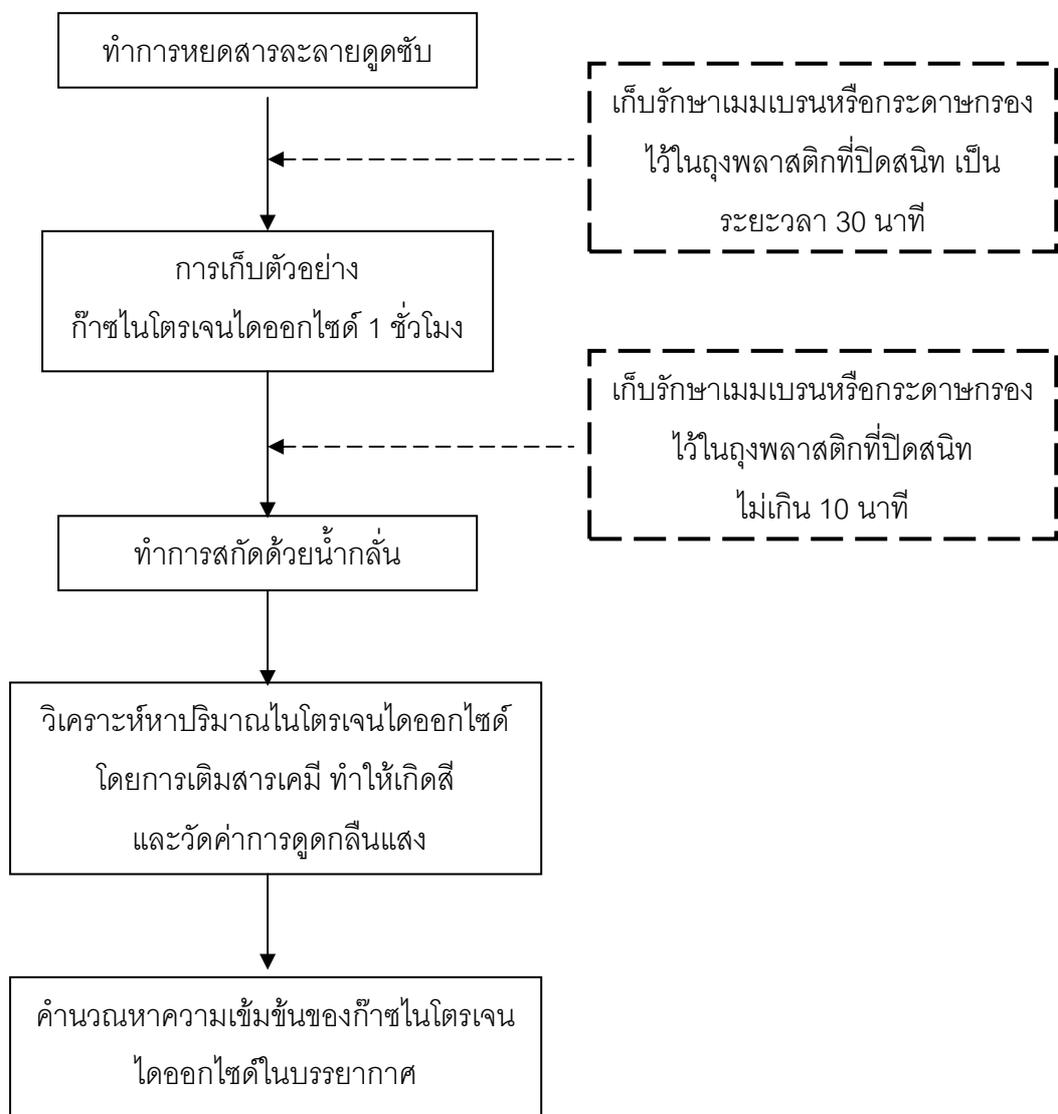
การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเมมเบรนหรือกระดาษกรองหลังจากหยดสารละลายดูดซับและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเมมเบรนหรือกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้วก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลา 0 5 10 30 และ 60 นาที ในการศึกษาใช้กระดาษกรองชนิดมิกซ์เซลลูลูโลส และหยดสารละลายดูดซับที่เป็นสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมอาร์ซีไนด์ ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์

ผลการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาเมมเบรนหลังจากหยดสารละลายดูดซับพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา 30 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่ได้กับการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการแบบเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ ด้วยหลักการทางสถิติ $t - test$ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าความสัมพันธ์สูงกว่าระยะเวลาอื่น ๆ คือมีค่าเท่ากับ 0.931 ค่าการวิเคราะห์ซ้ำให้ผลความแตกต่างของการวิเคราะห์ซ้ำไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์ยอมรับ จากนั้นนำผลที่ได้ไปศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างก้ำชไนโตรเจนไดออกไซด์ครบ 1 ชั่วโมง ก่อนการสกัดด้วยน้ำกลั่น พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ เก็บรักษาตัวอย่าง 5 นาที ก่อนทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์แบบพาสซีฟและวิธีการแบบเทียบเท่ามีความสัมพันธ์มากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.984 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการเก็บที่ 0 และ 10 นาที มีความสัมพันธ์ในระดับสูง คือ เท่ากับ 0.958 และ 0.945 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาในการเติมน้ำกลั่นเพื่อสกัดสามารถทำได้ในระยะเวลา 10 นาที ที่จะให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง

สรุปการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการรักษากระดาษกรองและการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1. ในการเก็บตัวอย่างเมื่อทำการหยุดสารละลายดูดซับบนกระดาษกรองหรือเมมเบรนแล้วจะต้องทำการเก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศเป็นระยะเวลา 30 นาที

2. หลังจากเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเสร็จสิ้นแล้ว ทำการสกัดด้วยน้ำกลั่นภายในระยะเวลา 10 นาที เพื่อให้ผลของการวิเคราะห์มีความถูกต้องที่สุด ทั้งนี้หากไม่เติมน้ำกลั่นทันทีต้องเก็บใส่ถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศ แต่เก็บได้ไม่เกิน 10 นาที



ภาพที่ 5.1 สรุปขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการแบบพาสซีฟ

เมื่อได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 13.88 – 139.47 พีพีบี บริเวณที่ทำการตรวจพบความเข้มข้นสูงสุด พบที่หน้าอาคารศรีจุฑาภา (อาคาร 21) ซึ่งเป็นบริเวณริมถนนที่เป็นจุดทางออกของรถที่วิ่งออกนอกมหาวิทยาลัย และอยู่ใกล้กับถนนสามเสน ส่วนค่าต่ำสุดที่ตรวจพบคือบริเวณหน้าอาคาร 23 ซึ่งอยู่ริมถนน แต่เป็นถนนที่มีปริมาณรถจำนวนน้อย ห่างไกลจากถนนโดยรอบของมหาวิทยาลัย อย่างไรก็ตามผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือมีค่าน้อยกว่า 163 พีพีบี ทุกครั้งในการตรวจวัด

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต

1. การประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดในพื้นที่จราจรริมถนน โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐานวิธีเคมีคูมิเนสเซนส์
2. การพัฒนาหาเมมเบรนที่เหมาะสมที่ใช้วัสดุที่ทำจากเซลล์ลูโลสที่ผลิตได้ในประเทศ เพื่อลดต้นทุนในการตรวจวัด
3. การศึกษานี้ทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งมีราคาสูงและไม่เหมาะกับการเคลื่อนย้าย น่าจะมีการศึกษาวิธีการในการวิเคราะห์รูปแบบอื่นที่ง่ายต่อการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2538. **มลพิษทางอากาศจากรถยนต์**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- _____. 2543. **ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์, การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและการประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล**. กรุงเทพมหานคร: ซีคอท.
- _____. 2543. **สถานการณ์มลพิษของประเทศไทยในรอบทศวรรษ**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- _____. 2547. **คู่มือการควบคุมและประกันคุณภาพงานห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- _____. 2548. **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2547**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- _____. 2548. **กฎหมายด้านมลพิษทางอากาศ**. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2548 จาก <http://www.pcd.go.th>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. **ตำราบำบัดมลพิษอากาศ**. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์. 2548. ทางเลือกใหม่ : เครื่องมืออย่างง่ายในการเฝ้าระวังอากาศเขตเมือง. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม**. 1 (27). หน้า 31 – 38.
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และวงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์. 2546. **อุปกรณ์พาสซีฟกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในเขตเมือง**. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 15. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กลิ่นปทุม ปัญญาปิง. 2546. **การใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศอย่างง่ายในการตรวจสอบคุณภาพอากาศที่ปนเปื้อนด้วยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x)**. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 16. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

- กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 2540. **การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศโรงงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร: กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2543. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล เวอร์ชัน 7-10**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2541. **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพมหานคร: โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จรัญ จันทร์ลักขณา และอนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2540. **สถิติเบื้องต้น แบบประยุกต์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.
- พลพร แสงบางนา. 2537. **ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วนิดา จินศาสตร์. 2548. **กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค Passive sampling ในประเทศไทย, เอกสารประกอบการสัมมนาระดมความคิดเห็น การประยุกต์ใช้ Passive sampling ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.
- วรารุณ เสือดี. 2541. **การศึกษามลภาวะทางอากาศในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต**. ปทุมธานี: สถาบันคดีไทยศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- _____. 2543. **เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ความรู้เบื้องต้น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง และการตรวจวัด วิเคราะห์**. ปทุมธานี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- _____. 2546. **การประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. เอกสารประกอบการอบรมเชิงวิชาการ “การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศและการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินคุณภาพอากาศ”**. กรุงเทพมหานคร: โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา.
- วินัย สมบูรณ์. **การพัฒนาและทดสอบ Passive sampling ในการตรวจวัด NO₂ และ SO₂, เอกสารประกอบการสัมมนาระดมความคิดเห็น การประยุกต์ใช้ Passive sampling ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2543. **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในถนนที่มีลักษณะคล้ายอุโมงค์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- _____. 2549. **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- _____. 2549. **เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- _____. 2550. **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- _____. 2550. **การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- สรารุณ เทพานนท์. 2548. **วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซนในบรรยากาศโดยเทคนิค Passive sampling**. กรุงเทพมหานคร : สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ.
- สุกรานต์ ใจจนไพรวงศ์ (บก.). 2544. **สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย 2542-43**. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิโลกสีเขียว.
- สุทิน อยู่สุข วรารุณ เสือดี มีนา ทิพย์โสภณกิจ ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ และเกรียงศักดิ์ เจียรพสุอนันต์. 2544. **ศัพท์บัญญัติและนิยามมลพิษทางอากาศ**. กรุงเทพมหานคร: สภาคณาจารย์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- Ayers, G.P., Keywood, M.D., Gillett, R.W., Manins, P.C., Malfroy, M. & Bardsley, T. 1998. Validation of passive diffusion sampler for SO₂ and NO₂ under Australian condition. *Atmospheric Environment Journal*, 33. p. 425 – 437.
- Bush, T., Mooney, D. & Stevenson, K. 1999. *United Kingdom Nitrogen Dioxide Network 1997*. Culham : AEA Technology, NETCEN.
- Carmichal, G.R., Fern, M.A., Ahmed, J., Mohan, M., Hong, M.S., Chen, L., 1995. Observed regional distribution of sulfur dioxide in Asia. *Water, Air and Soil pollution journal*. 88. p. 2289 – 2294.

- Da Silva, A.S., Cardoso, M. R., Meliefste, Kees. & Brunekreef, B. 2006. Use of passive diffusion sampling method for defining NO₂ concentrations gradient in Sao Paulo, Brazil. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, 5 (9). p. 1 – 9.
- Davis, W.T. 2000. **Air pollution engineering manual (12 th ed.)**. Air & Waste Management Association. New York: John Wiley & Sons.
- De Nervers, N. 2000. **Air Pollution Control Engineering**. Singapore : McGraw-Hill.
- Garrett, M.H., Hooper, M.A. & Hooper, B.M. 1999. Nitrogen dioxide in Australian Homes : level and source. **Journal of the Air and Waste Management Association**. 49. p. 76 – 81.
- Heal, M.R., O'Donoghue, M.A. & Cape, J.N. 1999. Overestimation of urban nitrogen dioxide by passive diffusion tube : a comparative exposure and model study. **Atmospheric Environment Journal**, 33. p. 523 - 524.
- ICES, Ltd. 1999. **APTI Course 435, Atmospheric Sampling Student Manual**. North Carolina: United States Environmental Protection Agency.
- Kappinen. A., Kukkonen. J., Elolahde. T., Konttinen. M., Koskentalo. T. & Rantakrans. 1999. A modeling system for predicting urban air pollution: model description and application in the Helsinki metropolitan area. **Journal of the Atmospheric Environment**, 34 (2000), p. 3723 –3733.
- Kolehmainen, M. 1999. **Evaluating the Goodness of the Model**. (Online) Available at <http://www.uku.fi/Laitokset/ympkem/airquality/hybrid/poster/evalgood.html>.
- Krochmal, D & Gorski, L. 1991. Determination of nitrogen dioxide in ambient air by use of a passive sampling technique and triethanolamine as absorbent. **Environ. Sci. Technol.** 25 (3), p. 531-535.
- Mycock, J.C., McKenna, J.D. & Theodore, L. 1995. **Handbook of Air Pollution Control Engineer and Technology**. New York: Lewis.
- Peavy, H. S., Rowe, D. R. & Tchobanaglou, G. 1985. **Environmental engineering (international ed.)**. Singapore: McGraw – Hill.

Sensidyne. 2006. **Gilair-3 & Gilair-5, Air sampling systems operation manual.** Florida:
Author.

Wark, K., Warner, C.F. & David, W. T. 1998. **Air Pollution, It Origin and Control (3 th ed.).**
New York: Addison - Wesley.

Wight. G.D. 1994. **Fundamental of Air Sampling.** New York: Lewis.

ภาคผนวก

ผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย พ.ศ. 2538

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย พ.ศ. 2538 ของกรม
ควบคุมมลพิษ (ที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ)

สารมลพิษ	ค่ามาตรฐาน (มก. / ลบ.ม.)					วิธีการตรวจวัด
	1 ชม.	8 ชม.	24 ชม.	1 เดือน	1 ปี	
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	34.2	10.26	-	-	-	นันทิสเปอร์ซีฟ อินฟราเรด ดีเทคชั่น
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (as NO _x)	0.32	-	-	-	-	เคมีลูมิเนสเซนส์
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.78	-	0.30	-	0.10	พาราโรซานิลีน
ฝุ่นละออง	-	-	0.33	-	0.10	กราวิเมตริก ไฮโวลุ่ม
โอโซน	0.20	-	-	-	-	เคมีลูมิเนสเซนส์
ตะกั่ว	-	-	0.01	0.0015	-	อะตอมมิกแอบซอบ ชัน สเปกโตรมิเตอร์

แหล่งที่มา: กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ และ
เทคโนโลยี (2540 : 15)

ภาคผนวก ข

ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ใน การหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีเทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (ml/min)	เวลา เก็บ (นาที)	ปริมาตร อากาศ (M ³)	ความเข้มข้นของ NO ₂			
									(ug/M ³)	(ppm)	(ppb)	เฉลี่ย
1	24 มีนาคม 2551	1	0.08	$y=0.0503x - 0.004$	1.6700	220	60	0.0132	6801.81	0.3605	360.5	362.64
2			0.081		1.6899	220	60	0.0132	6882.78	0.3648	364.79	
3		2	0.079		1.6501	220	60	0.0132	6720.83	0.3562	356.2	369.08
4			0.085		1.7694	220	60	0.0132	7206.68	0.382	381.95	
5	25 มีนาคม 2551	1	0.086	$y=0.0518x - 0.0022$	1.7027	200	60	0.012	7628.60	0.4043	404.32	402.02
6			0.085		1.6834	200	60	0.012	7542.10	0.3997	399.73	
7		2	0.084		1.6641	200	60	0.012	7455.61	0.3951	395.15	392.86
8			0.083		1.6448	200	60	0.012	7369.12	0.3906	390.56	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ใน การหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีเทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (ml/min)	เวลา เก็บ (นาที)	ปริมาตร อากาศ (M ³)	ความเข้มข้นของ NO ₂			
									(ug/M ³)	(ppm)	(ppb)	เฉลี่ย
9	26 มีนาคม 2551	1	0.064	$y=0.0552x + 0.0026$	1.1123	180	60	0.0108	5537.23	0.2935	293.47	291.08
10			0.063		1.0942	180	60	0.0108	5447.05	0.2887	288.69	
11		2	0.067		1.1667	200	60	0.012	5227.00	0.277	277.03	277.03
12			0.067		1.1667	200	60	0.012	5227.00	0.277	277.03	
13	27 มีนาคม 2551	2	0.065	$y=0.0532x - 0.00005$	1.2209	180	60	0.0108	6077.58	0.3221	322.11	309.71
14			0.06		1.1269	180	60	0.0108	5609.72	0.2973	297.31	
15	28 มีนาคม 2551	1	0.044	$y=0.0444x + 0.0031$	0.9212	130	60	0.0078	6349.40	0.3365	336.52	332.40
16			0.043		0.8986	130	60	0.0078	6194.16	0.3283	328.29	
17		2	0.06		1.2815	200	60	0.012	5741.63	0.3043	304.31	323.02
18			0.067		1.4392	200	60	0.012	6447.98	0.3417	341.74	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ใน การหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีเทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (ml/min)	เวลา เก็บ (นาที)	ปริมาตร อากาศ (M ³)	ความเข้มข้นของ NO ₂			
									(ug/M ³)	(ppm)	(ppb)	เฉลี่ย
19	31 มีนาคม 2551	1	0.082	$y=0.0509x + 0.0039$	1.5344	220	60	0.0132	6249.52	0.3312	331.22	331.22
20			0.082		1.5344	220	60	0.0132	6249.52	0.3312	331.22	
21		2	0.084		1.5737	220	60	0.0132	6409.55	0.3397	339.71	337.59
22			0.083		1.5540	220	60	0.0132	6329.54	0.3355	335.47	
23	1 เมษายน 2551	1	0.067	$y=0.0434x - 0.0002$	1.5484	230	60	0.0138	6032.36	0.3197	319.72	317.34
24			0.066		1.5253	230	60	0.0138	5942.60	0.315	314.96	
25		2	0.067		1.5484	220	60	0.0132	6306.56	0.3342	334.25	334.25
26			0.067		1.5484	220	60	0.0132	6306.56	0.3342	334.25	
27	2 เมษายน 2551	1	0.065	$y=0.042x + 0.00749$	1.3693	220	60	0.0132	5577.08	0.2956	295.59	300.73
28			0.067		1.4169	220	60	0.0132	5771.04	0.3059	305.86	
29		2	0.067		1.4169	200	60	0.012	6348.14	0.3365	336.45	333.62
30			0.066		1.3931	200	60	0.012	6241.47	0.3308	330.8	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ใน การหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีเทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (ml/min)	เวลา เก็บ (นาที)	ปริมาตร อากาศ (M ³)	ความเข้มข้นของ NO ₂			
									(ug/M ³)	(ppm)	(ppb)	เฉลี่ย
31	3 เมษายน 2551	1	0.062	$y=0.0477x + 0.00766$	1.1392	150	60	0.009	6805.28	0.3607	360.68	360.68
32			0.062		1.1392	150	60	0.009	6805.28	0.3607	360.68	
33		2	0.067		1.2440	150	60	0.009	7431.45	0.3939	393.87	400.50
34			0.069		1.2860	150	60	0.009	7681.92	0.4071	407.14	
35	4 เมษายน 2551	1	0.068	$y=0.0241x - 0.0013$	2.8755	200	60	0.012	12883.15	0.6828	682.81	648.32
36			0.061		2.5851	200	60	0.012	11581.82	0.6138	613.84	
37		2	0.06		2.5436	200	60	0.012	11395.92	0.604	603.98	599.06
38			0.059		2.5021	200	60	0.012	11210.01	0.5941	594.13	
39	27 พฤษภาคม 2551	1	0.114	$y=0.0522x + 0.01284$	1.9379	250	60	0.015	6945.99	0.3681	368.14	364.50
40			0.112		1.8996	250	60	0.015	6808.66	0.3609	360.86	
41	28 พฤษภาคม 2551	1	0.159	$y=0.0283x + 0.1384$	0.7279	150	60	0.009	4348.36	0.2305	230.46	224.87
42			0.158		0.6926	150	60	0.009	4137.27	0.2193	219.28	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ใน การหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีเทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (ml/min)	เวลา เก็บ (นาที)	ปริมาตร อากาศ (M ³)	ความเข้มข้นของ NO ₂			
									(ug/M ³)	(ppm)	(ppb)	เฉลี่ย
43	29 พฤษภาคม 2551	1	0.088	$y=0.024x + 0.0625$	1.0625	250	60	0.015	3808.24	0.2018	201.84	213.71
44			0.091		1.1875	250	60	0.015	4256.27	0.2256	225.58	
45	5 มิถุนายน 2551	1	0.128	$y=0.049x + 0.0068$	2.6020	250	60	0.015	9326.31	0.4943	494.29	488.48
46			0.125		2.5408	250	60	0.015	9106.87	0.4827	482.66	
47	8 มิถุนายน 2551	1	0.03	$y=0.0522x + 0.0053$	0.4732	200	60	0.012	2119.98	0.1124	112.36	157.85
48			0.05		0.8563	200	60	0.012	3836.57	0.2033	203.34	
49	9 มิถุนายน 2551	1	0.05	$y=0.0506x + 0.0149$	0.9587	200	60	0.012	4295.23	0.2276	227.65	215.92
50			0.045		0.8599	200	60	0.012	3852.52	0.2042	204.18	
51	10 มิถุนายน 2551	1	0.065	$y=0.0541x + 0.0029$	1.1479	200	60	0.012	5142.81	0.2726	272.57	206.73
52			0.035		0.5933	200	60	0.012	2658.36	0.1409	140.89	
53	12 มิถุนายน 2551	1	0.05	$y=0.0611x + 0.0067$	0.7087	200	60	0.012	3175.06	0.1683	168.28	158.56
54			0.045		0.6268	200	60	0.012	2808.43	0.1488	148.85	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ใน การหาความเข้มข้นของ NO ₂ โดยวิธีเทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (ml/min)	เวลา เก็บ (นาที)	ปริมาตร อากาศ (M ³)	ความเข้มข้นของ NO ₂			
									(ug/M ³)	(ppm)	(ppb)	เฉลี่ย
55	16 มิถุนายน 2551	1	-0.02	$y=0.0602x - 0.0062$	0.6977	200	60	0.012	3125.78	0.1657	165.67	169.61
56			-0.018		0.7309	200	60	0.012	3274.63	0.1736	173.56	
57	5 กรกฎาคม 2551	1	0.027	$y=0.0747x + 0.0077$	0.2584	200	61	0.0122	1138.58	0.0603	60.345	58.32
58			0.026		0.2450	200	62	0.0124	1062.17	0.0563	56.295	
59	5 กรกฎาคม 2551	1	0.037	$y=0.0812x + 0.0082$	0.3547	200	63	0.0126	1513.40	0.0802	80.21	82.32
60			0.039		0.3793	200	64	0.0128	1593.21	0.0844	84.44	
61	10 กรกฎาคม 2551	1	0.021	$y=0.0423x + 0.0081$	0.3050	200	65	0.013	1261.23	0.0668	66.845	58.68
62			0.018		0.2340	200	66	0.0132	953.25	0.0505	50.522	

ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ

ตัวอย่าง ที่	วันที่	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			เริ่มเก็บตัวอย่าง	สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง
1	19 มีนาคม 2551	10.10 – 11.10	31.0	33.0
2	20 มีนาคม 2551	10.10 – 11.10	31.0	33.0
3	21 มีนาคม 2551	11.40 – 12.40	31.5	33.5
4	24 มีนาคม 2551	11.40 – 12.40	32.0	32.0
5	25 มีนาคม 2551	11.40 – 12.40	31.5	31.5
6	26 มีนาคม 2551	11.10 – 12.10	33.0	34.0
7	27 มีนาคม 2551	10.10 – 11.10	31.0	33.0
8	28 มีนาคม 2551	10.10 – 11.10	33.0	34.0
9	31 มีนาคม 2551	10.10 – 11.10	31.5	34.5
10	1 เมษายน 2551	11.40 – 12.40	33.5	34.0
11	2 เมษายน 2551	11.40 – 12.40	32.0	35.0
12	3 เมษายน 2551	11.40 – 12.40	34.5	35.0
13	4 เมษายน 2551	11.40 – 12.40	33.0	34.0
14	27 พฤษภาคม 2551	12.00 – 13.00	31.0	33.0
15	28 พฤษภาคม 2551	12.00 – 13.00	30.0	33.0
16	29 พฤษภาคม 2551	11.00 – 12.00	30.0	31.5
17	5 มิถุนายน 2551	11.00 – 12.00	28.0	33.0
18	6 มิถุนายน 2551	12.25 – 13.25	31.5	34.0

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วันที่	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			เริ่มเก็บตัวอย่าง	สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง
19	9 มิถุนายน 2551	11.00 – 12.00	32.5	32.5
20	10 มิถุนายน 2551	11.30 – 12.30	36.0	36.0
21	12 มิถุนายน 2551	13.30 – 14.30	32.0	33.5
22	16 มิถุนายน 2551	13.30 – 14.30	33.0	33.5
23	3 กรกฎาคม 2551	12.30 – 13.30	32.0	31.5
24	5 กรกฎาคม 2551	13.40 – 14.40	33.5	34.0
25	10 กรกฎาคม 2551	13.30 – 14.30	27.0	32.1
26	12 กรกฎาคม 2551	10.15 – 11.15	34.0	34.0
27	24 กรกฎาคม 2551	12.00 – 13.00	32.0	31.0
28	26 กรกฎาคม 2551	13.00 – 14.00	30.0	31.0
29	9 สิงหาคม 2551	11.00 – 12.00	31.0	30.5
30	16 สิงหาคม 2551	12.30 – 13.30	38.0	35.0

ภาคผนวก ง.

สมการความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ง. 1 สมการความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน

ลำดับที่	วันที่	สมการ	R ²
1	24 มีนาคม 2551	$y=0.0246x - 0.004$	0.9991
2	25 มีนาคม 2551	$y=0.0254x - 0.0022$	0.9976
3	26 มีนาคม 2551	$y=0.0271x + 0.0026$	0.9993
4	27 มีนาคม 2551	$y=0.0261x - 0.00005$	0.9998
5	28 มีนาคม 2551	$y=0.0217x + 0.0031$	0.9994
6	31 มีนาคม 2551	$y=0.0249x + 0.0039$	0.9973
7	1 เมษายน 2551	$y=0.0212x - 0.0002$	0.9977
8	2 เมษายน 2551	$y=0.0206x + 0.0746$	0.9994
9	3 เมษายน 2551	$y=0.0234x + 0.0766$	0.9911
10	4 เมษายน 2551	$y=0.0118x - 0.0013$	0.9995
11	27 พฤษภาคม 2551	$y=0.0250x + 0.1284$	0.9999
12	28 พฤษภาคม 2551	$y=0.0283x + 0.1384$	0.9995
13	29 พฤษภาคม 2551	$y=0.024x + 0.0005$	0.9975
14	5 มิถุนายน 2551	$y=0.024x + 0.00676$	0.9998
15	6 มิถุนายน 2551	$y=0.0256x + 0.00535$	0.9999
16	9 มิถุนายน 2551	$y=0.0258x$	0.9969
17	10 มิถุนายน 2551	$y=0.0267x$	0.9998
18	12 มิถุนายน 2551	$y=0.0319x$	0.9978
19	16 มิถุนายน 2551	$y=0.029x$	0.9997

ตารางที่ ง. 1 (ต่อ)

ลำดับที่	วันที่	สมการ	R ²
20	3 กรกฎาคม 2551	$y=0.0747x + 0.0077$	0.9996
21	5 กรกฎาคม 2551	$y=0.0812x + 0.0082$	0.9998
22	10 กรกฎาคม 2551	$y=0.0423x + 0.0081$	0.9971
23	12 กรกฎาคม 2551	$y=0.0455x + 0.0114$	0.9977
24	24 กรกฎาคม 2551	$y=0.0733x + 0.0168$	0.9955
25	26 กรกฎาคม 2551	$y=0.0822x + 0.0233$	0.9997
26	9 สิงหาคม 2551	$y=0.0435x + 0.0155$	0.9930
27	16 สิงหาคม 2551	$y=0.0497x + 0.0173$	0.9951

หมายเหตุ : y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

ภาคผนวก จ

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเมมเบรนหลังจากหยุดสารละลายดูดซับ

ตารางที่ จ.1 การศึกษาหาระยะเวลาในการเก็บรักษาเมมเบรนหลังหยุดสารละลายดูดซับในการหาความเข้มข้นของ NO₂ โดยวิธีการแบบพาสซีฟ

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาที่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
1	24 มีนาคม 2551	1	0	0.453	18.5772	10	185.7724	1380559.37	305	146.76	0.1468	149.6342
2			0	0.472	19.3496	10	193.4959	1437956.80	305	152.51	0.1525	
3		2	0	0.395	16.2195	10	162.1951	1205346.14	305	129.23	0.1292	133.7680
4			0	0.425	17.4390	10	174.3902	1295973.67	305	138.30	0.1383	
5		3	5	0.555	22.7236	10	227.2358	1688692.97	305	177.59	0.1776	171.8468
6			5	0.517	21.1789	10	211.7886	1573898.10	305	166.10	0.1661	
7		4	5	0.568	23.2520	10	232.5203	1727964.90	305	181.52	0.1815	180.6110
8			5	0.562	23.0081	10	230.0813	1709839.39	305	179.70	0.1797	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาที)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
9	24 มีนาคม 2551	5	10	0.711	29.0650	10	290.6504	2159956.12	305	224.73	0.2247	229.5694
10			10	0.743	30.3659	10	303.6585	2256625.49	305	234.40	0.2344	
11			6	10	0.622	25.4472	10	254.4715	1891094.45	305	197.84	0.1978
12		10		0.644	26.3415	10	263.4146	1957554.64	305	204.49	0.2045	
13		7		30	0.993	40.5285	10	405.2846	3011854.90	305	309.96	0.3100
14			30	0.968	39.5122	10	395.1220	2936331.96	305	302.40	0.3024	
15			8	30	0.97	39.5935	10	395.9350	2942373.80	305	303.01	0.3030
16		30		0.973	39.7154	10	397.1545	2951436.55	305	303.91	0.3039	
17		9		60	1.076	43.9024	10	439.0244	3262591.07	305	335.04	0.3350
18	60		1.108	45.2033	10	452.0325	3359260.43	305	344.71	0.3447		
19	10		60	1.074	43.8211	10	438.2114	3256549.23	305	334.44	0.3344	331.7173
20		60	1.056	43.0894	10	430.8943	3202172.71	305	329.00	0.3290		

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
21	25 มีนาคม 2551	1	0	0.785	30.9921	10	309.9213	2303166.65	304.5	238.68	0.2387	236.6376
22			0	0.771	30.4409	10	304.4094	2262205.86	304.5	234.59	0.2346	
23		2	0	0.83	32.7638	10	327.6378	2434826.33	304.5	251.83	0.2518	246.7190
24			0	0.795	31.3858	10	313.8583	2332424.36	304.5	241.61	0.2416	
25		3	5	0.398	15.7559	10	157.5591	1170893.41	304.5	125.60	0.1256	125.8884
26			5	0.4	15.8346	10	158.3465	1176744.95	304.5	126.18	0.1262	
27		4	5	0.387	15.3228	10	153.2283	1138709.93	304.5	122.38	0.1224	124.4273
28			5	0.401	15.8740	10	158.7402	1179670.72	304.5	126.47	0.1265	
29		5	10	0.769	30.3622	10	303.6220	2256354.32	304.5	234.01	0.2340	236.0531
30				0.783	30.9134	10	309.1339	2297315.11	304.5	238.10	0.2381	
31		6	10	0.544	21.5039	10	215.0394	1598055.92	304.5	168.26	0.1683	196.8964
32				0.74	29.2205	10	292.2047	2171506.97	304.5	225.53	0.2255	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂			
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)	
33	25 มีนาคม 2551	7	30	1.154	45.5197	10	455.1969	3382776.02	304.5	346.51	0.3465	347.0946	
34				1.158	45.6772	10	456.7717	3394479.10	304.5	347.68	0.3477		
35		8	30	1.164	45.9134	10	459.1339	3412033.72	304.5	349.43	0.3494	349.2862	
36				1.163	45.8740	10	458.7402	3409107.95	304.5	349.14	0.3491		
37		9	60	1.186	46.7795	10	467.7953	3476400.68	304.5	355.86	0.3559	351.1856	
38				1.154	45.5197	10	455.1969	3382776.02	304.5	346.51	0.3465		
39		10	60	1.165	45.9528	10	459.5276	3414959.49	304.5	349.72	0.3497	362.8741	
40				1.255	49.4961	10	494.9606	3678278.85	304.5	376.02	0.3760		
41		26 มีนาคม 2551	1	0	0.483	17.7269	10	177.2694	1317369.80	306.5	141.09	0.1411	142.0547
42					0.49	17.9852	10	179.8524	1336565.44	306.5	143.02	0.1430	
43	2		0	0.424	15.5498	10	155.4982	1155577.92	306.5	124.82	0.1248	124.2732	
44				0.42	15.4022	10	154.0221	1144608.98	306.5	123.72	0.1237		

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
45	26 มีนาคม 2551	3	5	0.724	26.6199	10	266.1993	1978248.48	306.5	207.53	0.2075	206.9779
46			5	0.72	26.4723	10	264.7232	1967279.54	306.5	206.43	0.2064	
47		4	5	0.608	22.3395	10	223.3948	1660149.20	306.5	175.55	0.1756	175.4123
48			5	0.607	22.3026	10	223.0258	1657406.96	306.5	175.27	0.1753	
49		5	10	0.789	29.0185	10	290.1845	2156493.77	306.5	225.45	0.2254	223.1053
50			10	0.772	28.3911	10	283.9114	2109875.77	306.5	220.76	0.2208	
51		6	10	0.487	17.8745	10	178.7454	1328338.74	306.5	142.19	0.1422	139.5736
52			10	0.468	17.1734	10	171.7343	1276236.27	306.5	136.95	0.1370	
53		7	30	0.881	32.4133	10	324.1328	2408779.41	306.5	250.81	0.2508	248.4681
54			30	0.864	31.7860	10	317.8598	2362161.41	306.5	246.12	0.2461	
55		8	30	0.861	31.6753	10	316.7528	2353934.71	306.5	245.30	0.2453	243.7815
56			30	0.85	31.2694	10	312.6937	2323770.12	306.5	242.27	0.2423	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
57	26 มีนาคม 2551	9	60	0.95	34.9594	10	349.5941	2597993.64	306.5	269.83	0.2698	273.4174
58			60	0.976	35.9188	10	359.1882	2669291.76	306.5	277.00	0.2770	
59		10	60	0.964	35.4760	10	354.7601	2636384.94	306.5	273.69	0.2737	272.5903
60			60	0.956	35.1808	10	351.8081	2614447.05	306.5	271.49	0.2715	
61	27 มีนาคม 2551	1	0	0.506	19.3889	10	193.8889	1440877.02	305	152.80	0.1528	152.2276
62			0	0.502	19.2356	10	192.3563	1429487.82	305	151.66	0.1517	
63		2	0	0.464	17.7797	10	177.7969	1321290.35	305	140.83	0.1408	134.7097
64			0	0.421	16.1322	10	161.3218	1198856.38	305	128.59	0.1286	
65		3	5	0.49	18.7759	10	187.7586	1395320.20	305	148.24	0.1482	149.2368
66			5	0.497	19.0441	10	190.4406	1415251.31	305	150.23	0.1502	
67		4	5	0.527	20.1935	10	201.9349	1500670.36	305	158.78	0.1588	155.6458
68			5	0.505	19.3506	10	193.5057	1438029.72	305	152.51	0.1525	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
69	27 มีนาคม 2551	5	10	0.614	23.5268	10	235.2682	1748385.61	305	183.56	0.1836	183.8453
70			10	0.616	23.6034	10	236.0345	1754080.21	305	184.13	0.1841	
71		6	10	0.61	23.3736	10	233.7356	1736996.40	305	182.42	0.1824	183.5605
72			10	0.618	23.6801	10	236.8008	1759774.81	305	184.70	0.1847	
73		7	30	0.926	35.4808	10	354.8084	2636743.74	305	272.43	0.2724	269.8682
74			30	0.908	34.7912	10	347.9119	2585492.31	305	267.30	0.2673	
75		8	30	0.94	36.0172	10	360.1724	2676605.96	305	276.42	0.2764	281.8317
76			30	0.978	37.4732	10	374.7318	2784803.43	305	287.24	0.2872	
77		9	60	0.942	36.1015	10	361.0153	2682870.02	305	277.05	0.2770	276.8469
78			60	0.941	36.0479	10	360.4789	2678883.80	305	276.65	0.2766	
79		10	60	0.923	35.3659	10	353.6590	2628201.83	305	271.58	0.2716	268.4440
80			60	0.901	34.5230	10	345.2299	2565561.19	305	265.31	0.2653	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
81	28 มีนาคม 2551	1	0	0.506	23.1751	10	231.7512	1722248.82	306.5	181.79	0.1818	181.1045
82			0	0.502	22.9908	10	229.9078	1708550.28	306.5	180.42	0.1804	
83		2	0	0.464	21.2396	10	212.3963	1578414.16	306.5	167.33	0.1673	159.9310
84			0	0.421	19.2581	10	192.5806	1431154.87	306.5	152.53	0.1525	
85		3	5	0.49	22.4378	10	224.3779	1667454.67	306.5	176.28	0.1763	177.4896
86			5	0.497	22.7604	10	227.6037	1691427.11	306.5	178.69	0.1787	
87		4	5	0.527	24.1429	10	241.4286	1794166.15	306.5	189.02	0.1890	185.2360
88			5	0.505	23.1290	10	231.2903	1718824.19	306.5	181.45	0.1814	
89		5	10	0.614	28.1521	10	281.5207	2092109.38	306.5	218.98	0.2190	219.3202
90			10	0.616	28.2442	10	282.4424	2098958.65	306.5	219.66	0.2197	
91		6	10	0.61	27.9677	10	279.6774	2078410.84	306.5	217.60	0.2176	218.9759
92			10	0.618	28.3364	10	283.3641	2105807.91	306.5	220.35	0.2204	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาท)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂			
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)	
93	28 มีนาคม 2551	7	30	0.826	37.9217	10	379.2166	2818131.94	306.5	291.96	0.2920	288.8659	
94			30	0.808	37.0922	10	370.9217	2756488.52	306.5	285.77	0.2858		
95		8	30	0.794	36.4470	10	364.4700	2708543.63	306.5	280.95	0.2809	278.1930	
96			30	0.778	35.7097	10	357.0968	2653749.48	306.5	275.44	0.2754		
97		9	60	60	0.922	42.3456	10	423.4562	3146896.88	306.5	325.02	0.3250	322.6058
98				60	0.908	41.7005	10	417.0046	3098952.00	306.5	320.20	0.3202	
99		10	60	60	0.923	42.3917	10	423.9171	3150321.52	306.5	325.36	0.3254	321.5730
100				60	0.901	41.3779	10	413.7788	3074979.55	306.5	317.79	0.3178	
101		31 มีนาคม 2551	1	0	0.366	14.5422	10	145.4217	1080695.07	306	117.12	0.1171	128.5021
102				0	0.442	17.5944	10	175.9438	1307518.67	306	139.89	0.1399	
103	2		0	0	0.419	16.6707	10	166.7068	1238874.69	306	133.00	0.1330	132.2465
104				0	0.414	16.4699	10	164.6988	1223952.09	306	131.50	0.1315	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
105	31 มีนาคม 2551	3	5	0.636	25.3855	10	253.8554	1886515.76	306	198.00	0.1980	196.6498
106			5	0.627	25.0241	10	250.2410	1859655.07	306	195.30	0.1953	
107		4	5	0.454	18.0763	10	180.7631	1343332.93	306	143.48	0.1435	144.3783
108			5	0.46	18.3173	10	183.1727	1361240.05	306	145.28	0.1453	
109		5	10	0.97	38.7992	10	387.9920	2883345.79	306	298.05	0.2980	300.4441
110			10	0.986	39.4418	10	394.4177	2931098.13	306	302.84	0.3028	
111		6	10	0.651	25.9880	10	259.8795	1931283.58	306	202.49	0.2025	203.2399
112			10	0.656	26.1888	10	261.8876	1946206.18	306	203.99	0.2040	
113		7	30	0.95	37.9960	10	379.9598	2823655.37	306	292.06	0.2921	285.1670
114			30	0.904	36.1486	10	361.4859	2686367.40	306	278.28	0.2783	
115		8	30	0.958	38.3173	10	383.1727	2847531.54	306	294.45	0.2945	294.3033
116			30	0.957	38.2771	10	382.7711	2844547.02	306	294.15	0.2942	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
117	31 มีนาคม 2551	9	60	0.689	27.5141	10	275.1406	2044695.38	306	213.87	0.2139	214.9224
118			60	0.696	27.7952	10	277.9518	2065587.02	306	215.97	0.2160	
119		10	60	0.771	30.8072	10	308.0723	2289426.10	306	238.44	0.2384	257.4586
120			60	0.898	35.9076	10	359.0763	2668460.28	306	276.48	0.2765	
121	1 เมษายน 2551	1	0	0.723	34.1132	10	341.1321	2535108.50	306.75	263.72	0.2637	255.6075
122			0	0.677	31.9434	10	319.4340	2373859.89	306.75	247.50	0.2475	
123		2	0	0.579	27.3208	10	273.2075	2030330.26	306.75	212.93	0.2129	206.5832
124			0	0.543	25.6226	10	256.2264	1904135.70	306.75	200.23	0.2002	
125		3	5	0.668	31.5189	10	315.1887	2342311.25	306.75	244.32	0.2443	237.9728
126			5	0.632	29.8208	10	298.2075	2216116.69	306.75	231.62	0.2316	
127		4	5	0.65	30.6698	10	306.6981	2279213.97	306.75	237.97	0.2380	235.6803
128			5	0.637	30.0566	10	300.5660	2233643.71	306.75	233.39	0.2334	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
129	1 เมษายน 2551	5	10	0.814	38.4057	10	384.0566	2854100.30	306.75	295.81	0.2958	311.8620
130			10	0.905	42.6981	10	426.9811	3173092.11	306.75	327.91	0.3279	
131		6	10	0.85	40.1038	10	401.0377	2980294.86	306.75	308.51	0.3085	300.3995
132			10	0.804	37.9340	10	379.3396	2819046.26	306.75	292.29	0.2923	
133		7	30	0.695	32.7925	10	327.9245	2436957.17	306.75	253.84	0.2538	257.9000
134			30	0.718	33.8774	10	338.7736	2517581.48	306.75	261.96	0.2620	
135		8	30	0.801	37.7925	10	377.9245	2808530.04	306.75	291.23	0.2912	286.4681
136			30	0.774	36.5189	10	365.1887	2713884.12	306.75	281.71	0.2817	
137		9	60	0.911	42.9811	10	429.8113	3194124.53	306.75	330.03	0.3300	328.4385
138			60	0.902	42.5566	10	425.5660	3162575.89	306.75	326.85	0.3269	
139		10	60	0.962	45.3868	10	453.8679	3372900.16	306.75	348.01	0.3480	344.4860
140			60	0.942	44.4434	10	444.4340	3302792.07	306.75	340.96	0.3410	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาท)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
141	2 เมษายน 2551	1	0	0.72	31.3301	10	313.3010	2328282.83	306.5	242.72	0.2427	258.8577
142			0	0.809	35.6505	10	356.5049	2649350.65	306.5	275.00	0.2750	
143		2	0	0.68	29.3883	10	293.8835	2183982.68	306.5	228.21	0.2282	229.3002
144			0	0.686	29.6796	10	296.7961	2205627.71	306.5	230.39	0.2304	
145		3	5	0.818	36.0874	10	360.8738	2681818.18	306.5	278.26	0.2783	272.2765
146			5	0.785	34.4854	10	344.8544	2562770.56	306.5	266.29	0.2663	
147		4	5	0.767	33.6117	10	336.1165	2497835.50	306.5	259.76	0.2598	259.9457
148			5	0.768	33.6602	10	336.6019	2501443.00	306.5	260.13	0.2601	
149		5	10	0.834	36.8641	10	368.6408	2739538.24	306.5	284.06	0.2841	286.0579
150			10	0.845	37.3981	10	373.9806	2779220.78	306.5	288.05	0.2881	
151		6	10	0.874	38.8058	10	388.0583	2883838.38	306.5	298.57	0.2986	299.4767
152			10	0.879	39.0485	10	390.4854	2901875.90	306.5	300.38	0.3004	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂			
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)	
153	2 เมษายน 2551	7	30	0.703	30.5049	10	305.0485	2266955.27	306.5	236.55	0.2366	235.8282	
154			30	0.699	30.3107	10	303.1068	2252525.25	306.5	235.10	0.2351		
155		8	30	0.805	35.4563	10	354.5631	2634920.63	306.5	273.55	0.2735	268.8311	
156			30	0.779	34.1942	10	341.9417	2541125.54	306.5	264.12	0.2641		
157		9	60	60	0.93	41.5243	10	415.2427	3085858.59	306.5	318.88	0.3189	315.2528
148				60	0.91	40.5534	10	405.5340	3013708.51	306.5	311.63	0.3116	
149		10	60	60	0.97	43.4660	10	434.6602	3230158.73	306.5	333.39	0.3334	332.4796
150				60	0.965	43.2233	10	432.2330	3212121.21	306.5	331.57	0.3316	
151		3 เมษายน 2551	1	0	0.559	20.6154	10	206.1538	1532023.53	307.75	163.30	0.1633	162.0152
152				0	0.551	20.2735	10	202.7350	1506616.84	307.75	160.73	0.1607	
153	2		0	0	0.464	16.5556	10	165.5556	1230319.06	307.75	132.84	0.1328	134.1252
154				0	0.472	16.8974	10	168.9744	1255725.76	307.75	135.41	0.1354	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
155	3 เมษายน 2551	3	5	0.603	22.4957	10	224.9573	1671760.34	307.75	177.40	0.1774	185.0966
156			5	0.651	24.5470	10	245.4701	1824200.49	307.75	192.79	0.1928	
157		4	5	0.702	26.7265	10	267.2650	1986168.15	307.75	209.14	0.2091	213.3073
158			5	0.728	27.8376	10	278.3761	2068739.90	307.75	217.47	0.2175	
159		5	10	0.744	28.5214	10	285.2137	2119553.29	307.75	222.60	0.2226	224.6877
160			10	0.757	29.0769	10	290.7692	2160839.16	307.75	226.77	0.2268	
161		6	10	0.779	30.0171	10	300.1709	2230707.56	307.75	233.82	0.2338	233.6638
162			10	0.778	29.9744	10	299.7436	2227531.73	307.75	233.50	0.2335	
163		7	30	1.084	43.0513	10	430.5128	3199337.70	307.75	331.60	0.3316	329.3555
164			30	1.07	42.4530	10	424.5299	3154875.99	307.75	327.11	0.3271	
165		8	30	1.082	42.9658	10	429.6581	3192986.03	307.75	330.96	0.3310	327.1115
166			30	1.058	41.9402	10	419.4017	3116765.95	307.75	323.26	0.3233	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา ก่อน เก็บ (นาที)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความเข้มข้น จากกราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
167	3 เมษายน 2551	9	60	1.186	47.4103	10	474.1026	3523273.02	307.75	364.30	0.3643	353.7192
168			60	1.12	44.5897	10	445.8974	3313667.81	307.75	343.14	0.3431	
169		10	60	1.094	43.4786	10	434.7863	3231096.06	307.75	334.81	0.3348	339.9345
170			60	1.126	44.8462	10	448.4615	3332722.83	307.75	345.06	0.3451	

ภาคผนวก จ

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเมมเบรนหลังเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ จ.1 การศึกษาหาระยะเวลาในการเก็บรักษาเมมเบรนที่เหมาะสมหลังการเก็บตัวอย่าง โดยวิธีการแบบพาสตีฟ

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาท)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
1	27 พฤษภาคม 2551	1	0	2.365	89.464	5	447.32	3324239.54	305	341.21	0.3412	341.58
2			0	2.37	89.664	5	448.32	3331671.00	305	341.95	0.3420	
3		2	0	2.54	96.464	5	482.32	3584340.55	305	367.23	0.3672	370.20
4			0	2.58	98.064	5	490.32	3643792.21	305	373.18	0.3732	
5		3	5	2.78	106.064	5	530.32	3941050.51	305	402.91	0.4029	404.40
6			5	2.8	106.864	5	534.32	3970776.33	305	405.89	0.4059	
7		4	5	2.74	104.464	5	522.32	3881598.85	305	396.97	0.3970	393.99
8			5	2.7	102.864	5	514.32	3822147.19	305	391.02	0.3910	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
9	27 พฤษภาคม 2551	5	10	2.45	92.864	5	464.32	3450574.31	305	353.85	0.3538	356.08
10			10	2.48	94.064	5	470.32	3495163.06	305	358.31	0.3583	
11		6	10	2.42	91.664	5	458.32	3405985.57	305	349.39	0.3494	354.59
12			10	2.49	94.464	5	472.32	3510025.97	305	359.79	0.3598	
13		7	30	2.28	86.064	5	430.32	3197904.76	305	328.57	0.3286	333.40
14			30	2.345	88.664	5	443.32	3294513.71	305	338.24	0.3382	
15		8	30	2.37	89.664	5	448.32	3331671.00	305	341.95	0.3420	335.26
16			30	2.28	86.064	5	430.32	3197904.76	305	328.57	0.3286	
17		9	60	2.155	81.064	5	405.32	3012118.33	305	309.98	0.3100	309.24
18			60	2.145	80.664	5	403.32	2997255.41	305	308.50	0.3085	
19		10	60	2.055	77.064	5	385.32	2863489.18	305	295.12	0.2951	296.23
20			60	2.07	77.664	5	388.32	2885783.55	305	297.35	0.2973	

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาทึ่)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
21	28 พฤษภาคม 2551	1	0	2.085	68.784452	5	343.922	2555843.65	304.5	263.92	0.2639	257.43
22			0	1.986	65.286219	5	326.431	2425858.79	304.5	250.94	0.2509	
23		2	5	2.35	78.14841	5	390.742	2903782.91	304.5	298.67	0.2987	290.47
24			5	2.225	73.731449	5	368.657	2739660.61	304.5	282.28	0.2823	
25		3	10	2.35	78.14841	5	390.742	2903782.91	304.5	298.67	0.2987	301.29
26			10	2.39	79.561837	5	397.809	2956302.04	304.5	303.92	0.3039	
27		4	30	2.57	85.922261	5	429.611	3192638.14	304.5	327.52	0.3275	328.83
28			30	2.59	86.628975	5	433.145	3218897.71	304.5	330.14	0.3301	
29		5	60	2.84	95.462898	5	477.314	3547142.30	304.5	362.93	0.3629	364.24
30			60	2.86	96.169611	5	480.848	3573401.86	304.5	365.55	0.3655	
31	29 พฤษภาคม 2551	1	0	1.198	49.895833	5	249.479	1853993.81	303.75	193.37	0.1934	192.90
32			0	1.192	49.645833	5	248.229	1844704.49	303.75	192.44	0.1924	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาท)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂			
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)	
33	29 พฤษภาคม 2551	2	5	1.51	62.895833	5	314.479	2337038.54	303.75	241.49	0.2415	243.19	
34			5	1.532	63.8125	5	319.063	2371099.39	303.75	244.88	0.2449		
35		3	10	1.326	55.229167	5	276.146	2052166.01	303.75	213.11	0.2131	211.10	
36			10	1.3	54.145833	5	270.729	2011912.28	303.75	209.10	0.2091		
37		4	30	1.128	46.979167	5	234.896	1745618.39	303.75	182.57	0.1826	198.76	
38			30	1.338	55.729167	5	278.646	2070744.65	303.75	214.96	0.2150		
39		5	60	1.792	74.645833	5	373.229	2773636.66	303.75	284.99	0.2850	286.69	
40			60	1.814	75.5625	5	377.813	2807697.51	303.75	288.38	0.2884		
41		5 มิถุนายน 2551	1	0	0.878	126.33136	5	631.657	4694130.66	303.5	475.94	0.4759	486.34
42				0	0.916	131.95266	5	659.763	4903002.98	303.5	496.74	0.4967	
43	2		5	0.911	131.21302	5	656.065	4875519.78	303.5	494.00	0.4940	505.49	
44			5	0.953	137.42604	5	687.13	5106378.66	303.5	516.98	0.5170		

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาที)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
45	5 มิถุนายน 2551	3	10	0.928	133.72781	5	668.639	4968962.66	303.5	503.30	0.5033	525.46
46			10	1.009	145.71006	5	728.55	5414190.51	303.5	547.62	0.5476	
47		4	30	1.023	147.78107	5	738.905	5491143.47	303.5	555.28	0.5553	591.95
48			30	1.157	167.60355	5	838.018	6227693.25	303.5	628.61	0.6286	
49		5	60	1.114	161.2426	5	806.213	5991337.72	303.5	605.08	0.6051	623.68
50	60		1.182	171.30178	5	856.509	6365109.25	303.5	642.29	0.6423		
51	8 มิถุนายน 2551	1	0	1.586	61.744141	5	308.721	2294244.76	305.75	238.73	0.2387	238.73
52			0	1.586	61.744141	5	308.721	2294244.76	305.75	238.73	0.2387	
53		2	5	1.362	52.994141	5	264.971	1969118.50	305.75	206.13	0.2061	211.22
54			5	1.432	55.728516	5	278.643	2070720.46	305.75	216.32	0.2163	
55		3	10	1.68	65.416016	5	327.08	2430681.68	305.75	252.42	0.2524	255.76
56			10	1.726	67.212891	5	336.064	2497448.68	305.75	259.11	0.2591	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาที)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
57	8 มิถุนายน 2551	4	30	1.876	73.072266	5	365.361	2715167.16	305.75	280.95	0.2809	283.64
58			30	1.913	74.517578	5	372.588	2768871.05	305.75	286.33	0.2863	
59		5	60	1.84	71.666016	5	358.33	2662914.72	305.75	275.71	0.2757	279.27
60			60	1.889	73.580078	5	367.9	2734036.09	305.75	282.84	0.2828	
61	9 มิถุนายน 2551	1	0	1.528	59.224806	5	296.124	2200633.13	298.25	223.93	0.2239	224.00
62			0	1.529	59.263566	5	296.318	2202073.34	298.25	224.07	0.2241	
63		2	5	1.578	61.162791	5	305.814	2272643.38	298.25	230.98	0.2310	233.30
64			5	1.611	62.44186	5	312.209	2320170.14	298.25	235.62	0.2356	
65		3	10	1.812	70.232558	5	351.163	2609651.33	298.25	263.94	0.2639	267.68
66			10	1.865	72.286822	5	361.434	2685982.19	298.25	271.41	0.2714	
67		4	30	1.881	72.906977	5	364.535	2709025.47	298.25	273.67	0.2737	270.07
68			30	1.83	70.930233	5	354.651	2635575.02	298.25	266.48	0.2665	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาที)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂			
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)	
69	9 มิถุนายน 2551	5	60	1.947	75.465116	5	377.326	2804079.00	298.25	282.96	0.2830	279.23	
70			60	1.894	73.410853	5	367.054	2727748.13	298.25	275.50	0.2755		
71	10 มิถุนายน 2551	1	0	1.663	62.284644	5	311.423	2314328.41	309	243.21	0.2432	240.53	
72			0	1.625	60.861423	5	304.307	2261445.38	309	237.85	0.2379		
73			2	5	1.914	71.685393	5	358.427	2663634.74	309	278.62	0.2786	274.46
74			5	1.855	69.475655	5	347.378	2581526.88	309	270.29	0.2703		
75			3	10	1.765	66.104869	5	330.524	2456277.60	309	257.60	0.2576	249.98
76			10	1.657	62.059925	5	310.3	2305978.46	309	242.37	0.2424		
77			4	30	1.732	64.868914	5	324.345	2410352.86	309	252.95	0.2529	251.11
78			30	1.706	63.895131	5	319.476	2374169.73	309	249.28	0.2493		
79	5	60	2.06	77.153558	5	385.768	2866816.91	309	299.21	0.2992	298.36		
80			60	2.048	76.70412	5	383.521	2850117.01	309	297.52	0.2975		

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ที่	วันที่	ตัวอย่าง ที่	เวลา รักษา (นาที)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	% การ เจือจาง	ความ เข้มข้นจาก กราฟ	ความเข้มข้น (uM)	T (K)	ความเข้มข้น NO ₂		
										(ppb)	(ppm)	เฉลี่ย (ppb)
81	12 มิถุนายน 2551	1	0	1.621	50.815047	5	254.075	1888149.29	305.75	198.01	0.1980	196.43
82			0	1.594	49.968652	5	249.843	1856699.55	305.75	194.85	0.1949	
83		2	5	1.426	44.702194	5	223.511	1661012.27	305.75	175.23	0.1752	176.40
84			5	1.446	45.329154	5	226.646	1684308.38	305.75	177.56	0.1776	
85		3	10	1.688	52.915361	5	264.577	1966191.25	305.75	205.83	0.2058	207.70
86				1.72	53.918495	5	269.592	2003465.01	305.75	209.57	0.2096	
87		4	30	2.101	65.862069	5	329.31	2447255.81	305.75	254.08	0.2541	252.68
88				2.077	65.109718	5	325.549	2419300.48	305.75	251.27	0.2513	
89		5	60	1.984	62.194357	5	310.972	2310973.60	305.75	240.41	0.2404	249.70
90				2.143	67.178683	5	335.893	2496177.63	305.75	258.98	0.2590	
91	16 มิถุนายน 2551	1	0	1.711	59	5	295	2192279.94	306.25	228.87	0.2289	230.60
92			0	1.738	59.931034	5	299.655	2226874.66	306.25	232.34	0.2323	

ภาคผนวก ซ

การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีเทียบเท่า

ซ.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. เครื่องแก้วต่าง ๆ (glass ware)
2. หลอดทดลอง (test tube)
3. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer : ใช้ที่ 540 นาโนเมตร)
4. อิมพินเจอร์ (impinger) ดังภาพที่ ซ.1
5. สายยางที่เป็นชนิดเทฟลอน (Teflon)
6. ใยแก้ว (glass wood)
7. บั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (personal pump) ดังภาพที่ ซ.2
8. มาตรฐานการไหลของอากาศแบบแห้ง (dry calibration)



ภาพที่ ซ.1 อิมพินเจอร์

แหล่งที่มา : ICES, 1999, p. 5-6



ภาพที่ ๕.2 ปุ่มขนาดเล็กที่ใช้ดูดอากาศ เก็บตัวอย่างอากาศ



ภาพที่ ๕.3 มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแห้ง

ซ.2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

สารเคมีและการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซและวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีดังนี้

1. สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายดูดซึม (Absorbing)

1.1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1.2. โซเดียมอาร์ซีไนต์ (NaAsO₂)

เตรียมโดยละลายสารโซเดียมอาร์ซีไนต์ หนัก 1 กรัม และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ หนัก 4 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) การเก็บจะต้องเก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารเคมีที่เป็น สารรีเอเจนต์

2.1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide) เตรียมโดยละลายสารซัลฟานิลาไมด์ หนัก 20 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 700 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมกรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) เข้มข้น 85 % ของปริมาตร 50 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็น)

2.2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เตรียมโดยเจือจางสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 30 % ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็นในที่มืด)

2.3. สารละลาย N - (1 - naphyl) ethylene diamine dichydrochloride (NEDA) เตรียมโดย ละลาย N - (1 - naphyl) ethylene diamine dichydrochloride (NEDA) หนัก 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็นในที่มืด)

3. สารละลายมาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์

3.1. ในการเตรียมจะต้องใช้ Sodium Nitrite (NaNO₂) ที่ระดับความบริสุทธิ์ของร้อยละ 97 (97 % NaNO₂) เป็นอย่างน้อย

3.2. สารละลาย Sodium Nitrite Stock Solution สามารถเตรียมได้ดังนี้

3.2.1 ชั่ง NaNO₂ อย่างละเอียด ระดับ 0.1 มิลลิกรัม โดยน้ำหนักของสารที่ชั่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (ซ - 1)

$$G = \frac{1.5 \times 50}{A} \quad \dots \quad (\text{ข} - 1)$$

โดย G = น้ำหนักของ NaNO_2 (กรัม)

1.5 = Gravimetric conversion factor

A = % ของ NaNO_2 ในสารเคมี

3.2.2 เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมของ NO_2 ต่อมิลลิลิตร

3.3. สารละลาย Sodium Nitrite Working Standard (10 ไมโครกรัมของ NO_2 ต่อมิลลิลิตร) สามารถเตรียมได้ดังนี้

3.3.1 ปิเปตสารละลาย Stock Solution 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยสารละลายดูดซึ่มจนมีปริมาตรถึงขีดบอกปริมาตร

3.3.2 เตรียมใหม่ทุกครั้งเมื่อต้องการใช้งาน

ข.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1. ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ดังภาพที่ ข.3

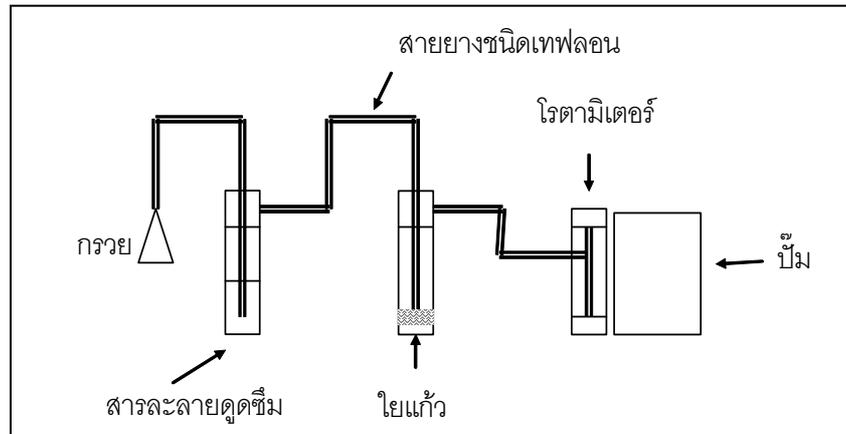
1.2. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศหรือก๊าซให้มีอัตราการไหลอยู่ในช่วงประมาณ 130 - 250 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้เวลาเก็บ 1 ชั่วโมง โดยใช้มาตรการไหลเป็นอุปกรณ์เปรียบเทียบ

1.3. เติมสารละลายดูดซึ่มเพื่อเป็นสารที่ใช้จับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ลงในอิมพินเจอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.4. เริ่มทำการเก็บตัวอย่าง

1.5. เมื่อหยุดเก็บตัวอย่างให้ดูอัตราการไหลของอากาศอีกครั้งหนึ่ง จดบันทึกค่า

1.6. เก็บตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์



ภาพที่ ข.4 แผนภาพแสดงการประกอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

2. การทำกราฟมาตรฐาน

การทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) เพื่อหาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์มีขั้นตอนดังนี้

2.1 เตรียมสารละลายเบลงค์ (blank)

2.2 บีบสารละลาย Working Standard เพื่อให้ได้ความเข้มข้น ดังตารางที่ ข.1

2.3 บีบ สารละลายที่ได้ ในข้อ 2.2 (ตารางที่ ข.1) และสารละลายเบลงค์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาใส่ในแต่ละหลอดทดลอง

2.4 เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

ตารางที่ ข.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทำกราฟมาตรฐาน

Working Standard	Final Volume (ml.)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g NO}_2$ / ml.)
0.5	50	0.1
1.0	50	0.2
2.5	50	0.5
5.0	50	1.0
7.5	50	1.5
10.0	50	2.0

2.5 เติมสารละลายซัลฟานิลลาไมด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.6 เติมสารละลาย NEDA ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที

2.7 นำสารละลายที่ได้ ซึ่งจะมีสีที่แตกต่าง ๆ กัน วัดอัตราการดูดกลืนคลีนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเซลล์ (cell) ขนาด 1 เซนติเมตร

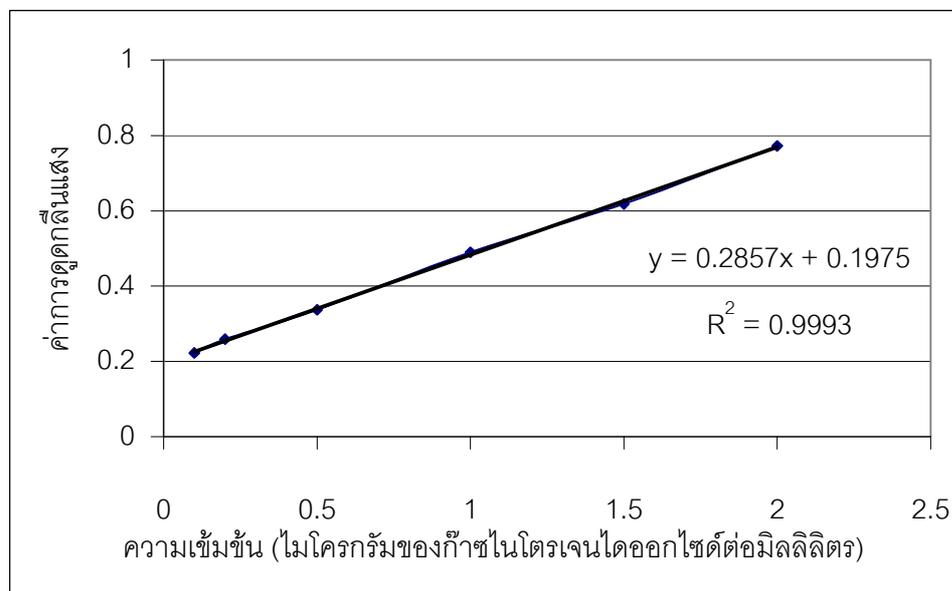
2.8 นำค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลีนแสง (แกน Y) กับความเข้มข้นของสาร ในหน่วยไมโครกรัมของ NO_2 ต่อ มิลลิลิตร (แกน X) จะทำให้ได้เส้นกราฟมาตรฐาน

3. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เก็บได้

3.1. เติมน้ำกลั่นลงในอิมปิเจอร์ที่บรรจุสารละลายดูดซึม ให้ได้ระดับเดิมเพื่อทดแทนส่วนที่ระเหยไป

3.2. ปิเปตสารละลายที่ได้ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.4 – 2.7

3.3. หาค่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ จากการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน



กราฟที่ ข.1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน

ซ.4 การวิเคราะห์ผล

1. คำนวณหาปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บ

ปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บคำนวณได้จากสมการที่ (ซ - 2)

$$V = \frac{(F_i + F_f)}{2} \times t_s \times 10^{-6} \quad \dots \quad (\text{ซ} - 2)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)

F_i คือ อัตราการไหลของอากาศเมื่อเริ่มทำการเก็บตัวอย่าง (มิลลิลิตรต่อ นาที)

F_f คือ อัตราการไหลของอากาศเมื่อหยุดทำการเก็บตัวอย่าง (มิลลิลิตรต่อ นาที)

t_s คือ ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง (นาที)

10^{-6} คือ ค่าการเปลี่ยนหน่วยจาก มิลลิลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร

2. หาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เมื่อทราบค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ได้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในหน่วยไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร

3. การคำนวณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากสมการที่ (ซ - 3)

$$\text{NO}_2 (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{NO}_2 (\mu\text{g}/\text{ml.}) \times D \times 50}{V \times 0.93} \quad \dots \quad (\text{ซ} - 3)$$

เมื่อ $\text{NO}_2 (\mu\text{g}/\text{ml.})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

50 คือ ปริมาตรของสารละลายดูดซึมที่ใช้

V คือ ปริมาตรอากาศที่เก็บ

0.93 คือ ประสิทธิภาพของระบบดูดซับ

D คือ แฟกเตอร์การเจือจาง ($D = 1$ ถ้าไม่มีการเจือจาง และ $D = 2$ เมื่อ มีการเจือจางสารตัวอย่าง 1 : 1)

4. เปลี่ยนหน่วยจากมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นหน่วยพีพีเอ็มโดยคำนวณจาก ทำได้โดยสมการที่ (ข - 4)

$$\text{NO}_2 \text{ (ppm)} = \text{NO}_2 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} \times 0.53 \times 10^{-3} \quad \dots \quad \text{(ข - 4)}$$

ข. 5 ตัวอย่างการคำนวณ

การเก็บตัวอย่างได้ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ทำการเก็บได้ เท่ากับ 0.279 การเตรียมกราฟมาตรฐานได้สมการกราฟมาตรฐานดังสมการที่ (ข - 5)

$$y = 0.4282x + 0.2326 \quad \dots \quad \text{(ข - 5)}$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง
 x คือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

เมื่อค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.279 แทนค่าลงในสมการที่ (ข - 5) ได้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากกราฟ มาตรฐานเท่ากับ 0.1084 (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

ในการเก็บตัวอย่างทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 60 นาที และใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 89.80 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อแทนค่าลงไปสมการที่ (ข - 2) ทำให้ได้ปริมาณอากาศทั้งหมดที่ทำการเก็บตัวอย่าง เท่ากับ 0.0054 ลูกบาศก์เมตร

คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยใช้สมการที่ (ข - 5) มีค่าเท่ากับ 57.3069 พีพีบี

ภาคผนวก ซ

วิธีการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยวิธีการพาสสีฟ

ซ.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีดังนี้

1. เมมเบรนหรือกระดาษกรองชนิดมิกซ์เซลลูลอส ยี่ห้อ SKC.
2. คาสเซตต์ (filter cassette) สำหรับใช้เก็บอนุภาคฝุ่น
3. ถังพลาสติกชนิดมีชีป
4. เข็อก
5. ขาดั่งกล่อง
6. เครื่องแก้ว
7. เครื่องแก้วต่าง ๆ
8. หลอดทดลอง
9. สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (540 นาโนเมตร)
10. ถ้วยกระดาษ
11. ปากคืบ
12. ปิเปตแบบอัตโนมัติ (auto pipet)

ซ.2 การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายดูดซับ

เตรียมโดยละลายสารโซเดียมอาร์ซีไนต์ หนัก 2 กรัม และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ หนัก 8 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร การเก็บจะต้องเก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารเคมีที่เป็น สารรีเอเจนต์

2.1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide) เตรียมโดยละลายสารซัลฟานิลาไมด์ หนัก 20 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 700 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติมกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เข้มข้น

2.2. 85 % ของปริมาตร 50 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็น)

2.3. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เตรียมโดยเจือจางสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 30 % ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็นในที่มืด)

2.4. สารละลาย N - (1 - naphthyl) ethylene diamine dichydrochloride (NEDA) เตรียมโดย ละลาย N - (1 - naphthyl) ethylene diamine dichydrochloride หนัก 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็นในที่มืด)

3. สารละลายสต็อกไนไตรต์ (stock standard sodium nitrite) 0.1 M $NaNO_2$

ละลาย $NaNO_2$ หนัก 0.69 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เก็บรักษาในขวดสีชาและแช่เย็น สามารถเก็บได้นาน 6 เดือน

ซ.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำกระดาษเมมเบรนหรือกระดาษกรองชนิดมิกซ์เซลลูลูโลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ใส่ในคาสเซทท์ ทำพร้อมกัน จำนวน 3 ชุด

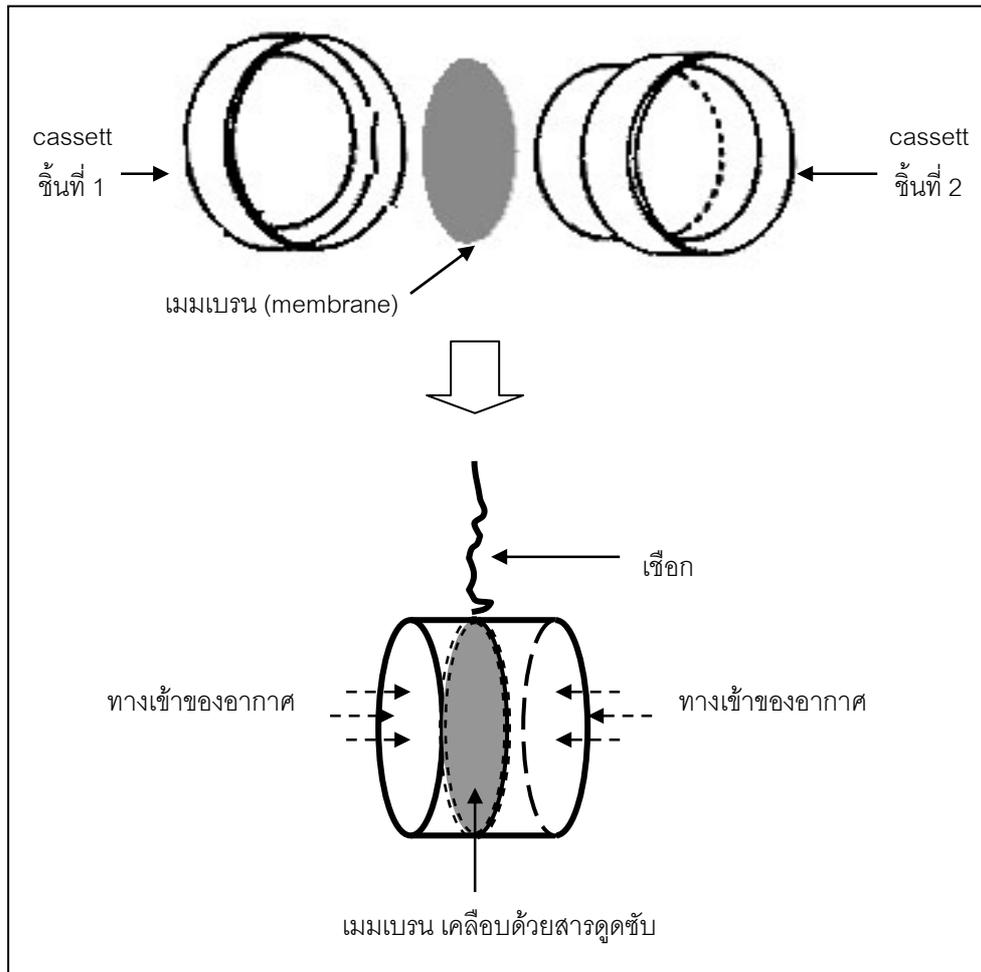
2. หยดสารละลายผสมไซเตียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไซเตียมอาร์ซีไนต์ หรือสารละลายดูดซับ ลงบนเมมเบรนจำนวน 2 ชุด ชุดละ 3 มิลลิลิตร อีก 1 ชุด หยดน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3. เก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดสนิท ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 นาที

4. นำชุดคาสเซทท์และเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ไปติดตั้ง ที่ระดับความสูง 1.20 - 1.50 เมตร โดยครอบด้วยถ้วยกระดาษ เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

5. เมื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง ทำการจับบันทึกเวลา และอุณหภูมิของบรรยากาศเริ่มต้น

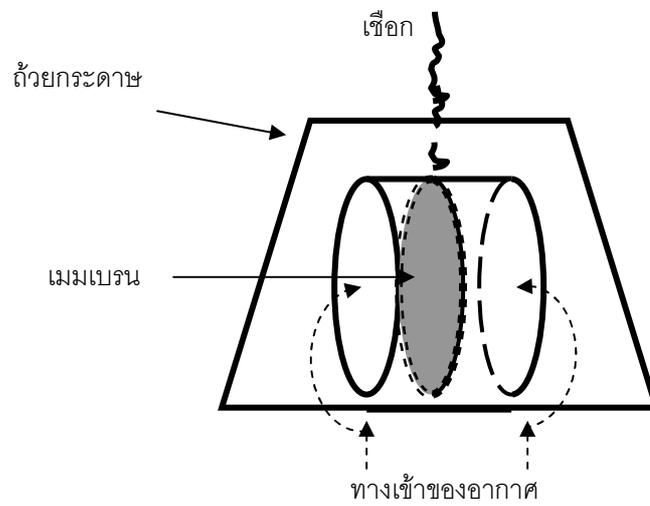
6. ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ชั่วโมง
7. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จดบันทึกเวลาเก็บ และอุณหภูมิของบรรยากาศสุดท้าย เก็บชุดคาสเซต และเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท
8. ส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ผล โดยต้องสกัดด้วยน้ำกลั่นภายใน 10 นาที



ภาพที่ ๕.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ



ภาพที่ ๕.2 อุปกรณ์แบบพาสตีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น



ภาพที่ ๕.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสตีฟ

ซ.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำเมมเบรนออกจากคาสเซตที่ ใส่ในบีกเกอร์เพื่อทำการสกัด ภายใน 10 นาที หลังจากหยุดเก็บตัวอย่าง
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
3. นำสารละลายที่ได้ใส่ในหลอดทดลอง 2 หลอด แต่ละหลอดมีปริมาตร 4 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลอดละ 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ หลอดละ 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. เติมสารละลาย NEDA หลอดละ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. ทิ้งไว้ 10 นาที
8. วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสง
9. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

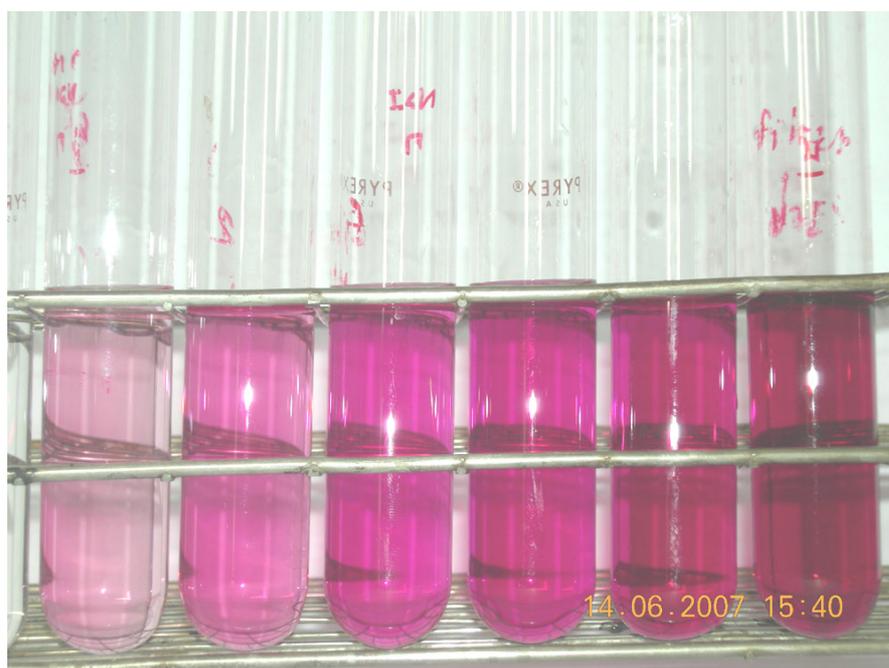
ซ.5 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายสต็อกโซเดียมไนไตรต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายดูดซับ จนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานโซ พร้อมใช้งาน
2. ทำการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ ซ.1
3. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง (A) เช่นเดียวกับขั้นตอนการวิเคราะห์ ข้อ 4 – 8
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนเตรต (NO_2^-) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง

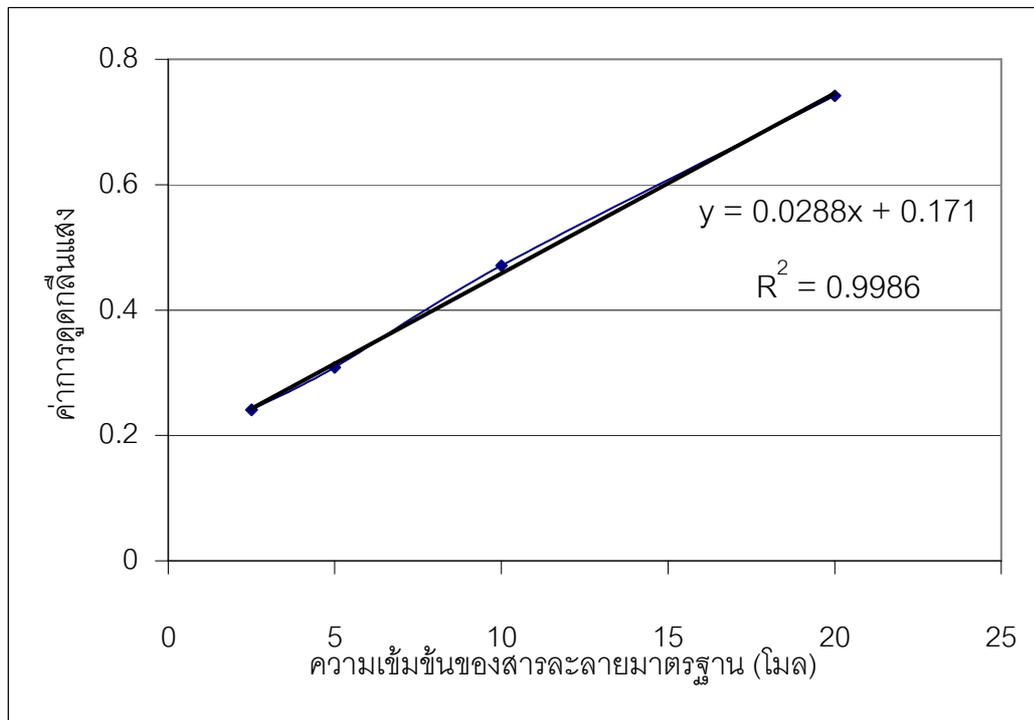
ตารางที่ ๕.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

หลอดที่	ความเข้มข้น [NO ₂]	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน พร้อมใช้งานที่ปิเปต (มิลลิลิตร)	ปริมาตรสารดูด ซับ(มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)
1	Blank (0)	0	4	4
2	1	0.04	3.96	4
3	2.5	0.10	3.90	4
4	5	0.20	3.80	4
5	10	0.40	3.60	4
6	20	0.80	3.20	4

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของ [NO₂] หน่วยไมโครโมล



ภาพที่ ๕.4 สีของสารละลายมาตรฐาน



กราฟที่ ๕.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนเตรต (NO_2^-) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง

๕.6 การคำนวณ

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์คำนวณด้วยสมการที่ (๕ - 1)

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots \quad (๕ - 1)$$

เมื่อ NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmol/m^3)

V คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

NO_2^- คือ ความเข้มข้นของไนไตรต์ในตัวอย่าง (μM) ได้จากกราฟ หรือสมการแสดงความสัมพันธ์

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (ซ - 2)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots \quad (\text{ซ} - 3)$$

เมื่อ $\text{NO}_2(\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

NO_2 คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmol/m^3)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ ($0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K}$)

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm

T คือ อุณหภูมิ (K)

ดังนั้นการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ในหน่วย พีพีบี ทำได้ด้วยสมการที่ (ซ - 4))

$$\text{NO}_2 (\text{ppb}) = (0.004 \times \text{PS}) + 8.652 \quad \dots \quad (\text{ซ} - 4)$$

เมื่อ $\text{NO}_2 (\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี

PS คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟในหน่วยพีพีบี คือ ค่า $\text{NO}_2(\text{ppb})$ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี ในสมการที่ (ซ - 3)

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถแปลงหน่วยเป็นหน่วยต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ดังสมการที่

$$C (\text{ppm}) = C (\text{mg} / \text{m}^3) \times \frac{24.45}{M_p} \quad \dots \quad (\text{ซ} - 5)$$

$$C (\text{ppb}) = C (\mu\text{g} / \text{m}^3) \times \frac{24.45}{M_p} \quad \dots \quad (\text{ซ} - 6)$$

เมื่อ C (ppm)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม
C (ppb)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี
C (mg/m ³)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
C (µg/m ³)	คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Mp	คือน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) เท่ากับ 48

๗.7 ตัวอย่างการคำนวณ

ผลการทดลองมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 2.045 มีอุณหภูมิเริ่มต้นเก็บตัวอย่าง 34.0 องศาเซลเซียส และสิ้นสุดเก็บตัวอย่างเท่ากับ 33.0 องศาเซลเซียส

การคำนวณความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

$$y = 0.0248x + 0.1565 \quad \dots \quad (๗ - 7)$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

x คือ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากกราฟ มาตรฐาน (ไมโครโมล)

จากการคำนวณด้วยสมการที่ (๗ - 3) มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์เท่ากับ 76.1492 ไมโครโมล

คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์คำนวณด้วยสมการที่ (๗ - 8)

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots \quad (๗ - 8)$$

เมื่อ NO₂ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmoles/m³)

V เท่ากับ 10 มิลลิลิตร

L เท่ากับ 41.2 เมตร

NO_2^- เท่ากับ 76.1492 ไมโครโมล

D เท่ากับ $1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

ผลการคำนวณได้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 565, 899.49 nmoles/m³

ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วย พีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (ซ - 9)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots \quad (\text{ซ} - 9)$$

เมื่อ $\text{NO}_2(\text{ppb})$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วย พีพีบี

NO_2 เท่ากับ 565, 899.49 nmoles/m³

R เท่ากับ 0.0821 L.atm/mol.K

P เท่ากับ 1 atm

T เท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียส (306.5 เคลวิน)

จากผลการคำนวณทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเท่ากับ 14,222 พีพีบี

ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเท่ากับ

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = (0.004 \times 14,222) + 8.652$$

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = 65.54$$

ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 มีค่าเท่ากับ 65.54 พีพีบี

ภาคผนวก ฅ

ภาพในการศึกษา



ภาพที่ ฅ.1 การตรวจวัดหน้าอาคารคณะวิทยาการจัดการ



ภาพที่ ฅ.2 การตรวจวัดบริเวณป้อมยามประตูถนนคู่ทองนอก



ภาพที่ ฅ.3 การตรวจวัดตรงข้ามอาคารศรีจุฑาภา



ภาพที่ ฅ.4 การตรวจวัดหน้าอาคาร 23



ภาพที่ ฅ.5 การตรวจวัดหน้าอาคาร 37



ภาพที่ ฅ.6 การตรวจวัดหน้าอาคาร 57

ประวัติผู้เขียนรายงานการวิจัย

ชื่อ – สกุล นาย ศิวพันธุ์ ชูอินทร์



การศึกษา

ปริญญาโท วทม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (พ.ศ. 2544)

ปริญญาตรี วทบ. (วิทยาศาสตร์เคมี)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (พ.ศ. 2540)

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

อาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์
ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผลงานวิชาการ

สุทิน อยู่สุข, วรารุช เสือดี, มีนา ทิพย์โสภณกิจ, ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ และเกรียงศักดิ์ เจียร
พสุพันธ์. 2544. **ศัพท์บัญญัติและนิยามมลพิษทางอากาศ**. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง
ประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2549. **เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ**.
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2549. **ความรู้เบื้องต้นด้านมลพิษทางเสียง**. มหาวิทยาลัยราชภัฏ
สวนสุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2549. **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมิน
คุณภาพอากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2550. **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประเมิน
คุณภาพอากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ.
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2550. **การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2551. **การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม

อาณัติ ต๊ะปิ่นตา, ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์, นิธินาถ เจริญโภคธาต, ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์, อาทิตย์ ปุษะนาวิณ, ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ และพิมพ์นัส วิมุขตายน. 2550. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับสิ่งแวดล้อม**.