



## รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

Development Method for Nitrogen Dioxide Measurement in Ambient Air.

โดย

นายศิวพันธุ์ ชูอินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีงบประมาณ 2550

ISBN 978-974-421-867-8

# รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

Development Method for Nitrogen Dioxide Measurement in Ambient Air.

โดย

นายศิวพันธุ์ ชูอินทร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีงบประมาณ 2550

ISBN 978-974-421-867-8

## บทคัดย่อ

หัวข้อรายงานการวิจัย : การพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ชื่อผู้วิจัย : นายศิวพันธุ์ ชูอินทร์

ปีที่ทำการวิจัย : 2550

.....

การศึกษาเรื่องการพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์วิธีการแบบพาสซีฟในการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเขตเมือง และนำไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาลัษราชภัฏสวนสุนันทา

การศึกษานี้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง โดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีอิเล็กโทรดด้วยอุปกรณ์ MultiRAE IR โดยใช้หลักการทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่เหมาะสมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ประกอบด้วยเมมเบรนชนิดมิกเซลลูโลส (mixcellulose - MCE) บรรจุอยู่ในคาสเซตที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และเคลือบด้วยสารดูดซับซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.002 โมลาร์ กับสารละลายโซเดียมอาร์ซีไนด์ (NaAsO<sub>3</sub>) เข้มข้น  $1.54 \times 10^{-4}$  โมลาร์ ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ในการเก็บตัวอย่างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟจะถูกครอบด้วยถ้วยกระดาษเพื่อลดผลที่จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากกระแสลม ความชื้นจากบรรยากาศ และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ นำไปเก็บตัวอย่างโดยติดตั้งสูงจากพื้นดิน 1.2 – 1.5 เมตร เมื่อทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์โดยสแกตเตอร์ไนโตรที่ไดจากการดูดซับด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ จะทำให้เกิดสีม่วง แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน และคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ผลการนำอุปกรณ์แบบพาสซีฟไปเก็บตัวอย่างและตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่ามีค่า ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0089 – 0.1099 พีพีเอ็ม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0543 พีพีเอ็ม โดยมี ค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รองมาคือตำแหน่งร้านเบเกอรี่ (ป้อม จราจร) หน้าอาคารศรีจุฑาภา และบริเวณประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยถนนอุทองนอก ซึ่งตำแหน่งที่ ตรวจวัดเป็นตำแหน่งที่ติดกับถนนมีรถเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้มีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนได ออกไซด์ออกมาทางท่อไอเสียของรถ ทั้งนี้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ทำการ ตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.163 พีพีเอ็ม

คำสำคัญ : มลพิษทางอากาศ, ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์, วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

## Abstract

**Research Title :** Developing Method for Nitrogen Dioxide Measurement in Ambient Air

**Author :** Mr. Sivapan Choo - in

**Year :** 2007

.....

This study focuses on developing a method used to measure nitrogen dioxide in ambient air. The main objective of the study is to apply the passive sampling method used for nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) sampling in urban air to measure nitrogen dioxide concentration in the area of Suan Sunandha Rajabhat University.

According to the study, air sampling instrument based on the passive sampling method have been developed to measure an average of 1 hour concentration of nitrogen dioxide. The concentrations of nitrogen dioxide derived from this process have been compared to those derived from sodium arsenite technique and electrode technique with MultiRARE IR using Independent - Samples Test (t-test) at the significant level of 95%.

It is concluded that the air sampling instrument mentioned above is made of mixcellulose membrane (MCE) contained in the cassette with a diameter of 37 millimeters and coated with absorbing agent. This absorbing agent is the mixture between sodium hydroxide solution (0.002 M NaOH) and sodium arsenite solution ( $1.54 \times 10^{-4}$  M NaAsO<sub>3</sub>) with the volume of 3.0 milliliters. In the process of air sampling, this instrument has been covered with cup of paper in order to reduce any error that might be occurred by wind, humidity, and sun light and so on. The instrument has been set up at the sample sites with 1.2 -1.5 meters high above the ground. Finally, air samples

(4)

collected by this method have been analyzed in the laboratory in order to obtain nitrogen dioxide concentration in the air.

As a consequence of the study, it is found that nitrogen dioxide concentrations in the area of Suan Sunandha Rajabhat University are in the range of 0.0089 – 0.1099 ppm with the average concentration of 0.0543 ppm. The maximum concentration of nitrogen dioxide is found at the sample site in front of the Faculty of Industrial Technology. The other sites of high concentration of NO<sub>2</sub> are as the followings; the bakery shop, Sri Jutapa building, and the gateway on U-thong Nok road, respectively. However, the concentrations of nitrogen dioxide found in the area of the university are lower than the standard level of 0.32 mg/m<sup>3</sup> or 0.163 ppm.

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

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเรื่อง “การพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ” สำเร็จได้ เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือ ให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำ ความคิดเห็นและกำลังใจ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ท่านอธิการบดี ท่านคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ท่านรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ ท่านผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา และอาจารย์ภายในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาที่มอบความไว้วางใจและเชื่อมั่นในตัวผู้วิจัย ให้ความอนุเคราะห์ด้านคำปรึกษา ตลอดจนการให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยตลอดมา ทำให้การดำเนินงานวิจัยประสบความสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาที่ได้สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

ผู้เขียนขอกราบพระคุณ รศ.ดร.วราวุธ เสือดี อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ด้านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้านมลพิษทางอากาศ ที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาวิจัย

ขอขอบพระคุณดร.อาณัติ ต๊ะปิ่นตา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ คำแนะนำในการทำวิจัย

ขอขอบคุณนักศึกษาที่ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่าง เก็บข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัวที่ได้ร่วมให้กำลังใจตลอดมาซึ่งทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์

สิงหาคม 2550

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(12)
สารบัญกราฟ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 สัญลักษณ์และคำย่อ	3
บทที่ 2 ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	5
2.2 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	17
3.1 สถานที่ทำวิจัย	17
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์	17
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	18
3.4 ระยะเวลาการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	24
บทที่ 4 ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล	25
4.1 การออกแบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	26
4.2 การทดสอบความแตกต่างของวิธีการเทียบเท่าและวิธีอิเล็กทรอนิกส์	27



	<b>หน้า</b>
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดย วิธีการพาสซีฟที่พัฒนา	100
ภาคผนวก ก ภาพในการศึกษา	106
ประวัติผู้เขียนรายงานวิจัย	111

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ	6
3.1	ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	19
3.2	วิธีการที่ปรับปรุงเพื่อหาอุปกรณ์และวิธีการที่เหมาะสม	21
3.3	ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เพื่อปรับปรุงอุปกรณ์และวิธีการที่เหมาะสม	21
3.4	ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	22
3.5	แผนการดำเนินงานวิจัย	24
4.1	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องมือ MultiRAE IR	27
4.2	ผลการวิเคราะห์ t-test จากข้อมูลในตารางที่ 4.1	29
4.3	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์และวิธีการต่าง ๆ	31
4.4	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ กับการวิเคราะห์วิธีพาสสิฟที่ใช้สารโซเดียมไอโอไดด์เป็นสารดูดซับ	34
4.5	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ กับการวิเคราะห์วิธีพาสสิฟที่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เป็นสารดูดซับ	34
4.6	ผลการคำนวณหาค่า %duplicate ของผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสสิฟที่ใช้สารดูดซับและเมมเบรนชนิดต่าง ๆ	36
4.7	วิธีการที่ปรับปรุงเพื่อหาอุปกรณ์และวิธีการที่เหมาะสม	37
4.8	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการปรับปรุงวิธีการเก็บตัวอย่าง	39

ตารางที่	หน้า
4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่พัฒนาและปรับปรุงขึ้นกับวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์	41
4.10 ผลการคำนวณหาค่า %duplicate (% RPD) ของผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่พัฒนา	42
4.11 สรุปความสัมพันธ์การวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมงของวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่พัฒนาขึ้นกับวิธีเทียบเท่า	43
4.12 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมงวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่พัฒนาขึ้นกับวิธีเทียบเท่า	43
4.13 ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นค่าความเฉลี่ย 3 ชั่วโมง	45
4.14 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงระหว่างการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟกับวิธีเทียบเท่า	45
4.15 สรุปความสัมพันธ์การวิเคราะห์ความถดถอย ระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟกับวิธีเทียบเท่า	45
4.16 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟกับวิธีเทียบเท่า	46
4.17 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	47
4.16 ค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ราย 1 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	48
ก.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย พ.ศ. 2538 ของกรมควบคุมมลพิษ (ที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ)	63
ข.1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์	64
ค.1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ	67
ง.1 ผลการวัดการดูดกลืนแสง	69
จ.1 สมการความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน	73

ตารางที่	หน้า
ด.1 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อปรับปรุงวิธีการตรวจวัด	76
ช.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทำกราฟมาตรฐาน	82
ซ.1 ตัวอย่างผลการตรวจวัดด้วยวิธีอิเล็กโทรด	87
ฅ.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	91
ญ.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	89
ฎ.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	103

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์	9
2.2 อิมพินเจอร์และปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ และวิธีทีจีเอส-เอเอ็นเอสเอ	10
2.3 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	11
3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน	23
4.1 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น	25
4.2 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น	26
4.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสซีฟ	38
4.4 อุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสซีฟ	39
ช.1 อิมพินเจอร์	78
ช.2 ปั๊มขนาดเล็กที่เข้ดูดอากาศ เก็บตัวอย่างอากาศ	79
ช.3 แผนภาพแสดงการประกอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	81
ช.1 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	86
ฎ.1 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่พัฒนาเบื้องต้น	106
ฎ.2 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่พัฒนา	106
ฎ.3 สีของสารละลายมาตรฐาน	107
ฎ.4 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าโรงเรียนมัธยมสาริต	107
ฎ.5 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณด้านข้างคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	108
ฎ.6 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าป้อมยามประตูทางเข้าถนนคู່ทองนอก	108
ฎ.7 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าอาคารศรีจุฑาภา	109

ภาพที่	หน้า
ฎ.8 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าด่านข้างร้านเบเกอรี่ข้างป้อมจราจรหน้าอาคารศรีจุฑาภา	109
ฎ.9 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าโรงแรมสวนสุนันทา	110

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในสถานการณ์ความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมา สารมลพิษทางอากาศที่สำคัญได้แก่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ อนุภาคฝุ่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซโอโซน เป็นต้น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูง การสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้งในรถยนต์และอุตสาหกรรม การหุงอาหาร การเผาขยะ การเผาป่า และการเผาผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น ผลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษพบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน การติดตามตรวจสอบเพื่อตรวจวัดและประเมินความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยการตรวจวัดที่เป็นวิธีการมาตรฐานคือวิธีการเคมีลูมิเนสเซนส์เป็นการวิธีการที่ใช้ต้นทุนสูง เครื่องมือมีราคาแพง จำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการตรวจวัดทำให้เกิดความยุ่งยาก วิธีการเทียบเท่าที่นำมาใช้คือวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีที่จีเอสเอเอ็นเอสเอ เป็นวิธีที่ให้ผลความน่าเชื่อถือ ใช้ป้มนในการดูดตัวอย่างอากาศทำให้ต้นทุนในการเก็บตัวอย่างสูง อีกวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ คือวิธีที่ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “อุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดพาสซีฟ (passive sampler)” ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการใหม่ที่ได้มีการประยุกต์ขึ้นแต่ในประเทศไทยยังนำมาใช้ไม่กว้างขวาง นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดในสถานประกอบการ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อประยุกต์การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์กับวิธีการแบบพาสซีฟ เพื่อลดต้นทุนและให้มีความง่ายในการนำไปใช้งาน ทั้งนี้เพราะวิธีการโซเดียมอาร์ซีไนด์เป็นการใช้สารละลายดูดซับมาดูดจับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แล้วเปลี่ยนเป็นสารไนไตรต์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์โดยการทำให้เกิดสีและวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ให้ผลที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ แต่ต้องใช้ป้มนในการดูดตัวอย่างอากาศทำ

ให้มีราคาสูงและไม่สามารถวัดได้ครอบคลุมทุกตำแหน่ง ทั้งนี้เพราะเมื่อปั๊มมีราคาแพงจะมีข้อจำกัดของจำนวนอุปกรณ์ จึงเป็นที่มาของแนวคิดในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยอาศัยหลักการของวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ร่วมกับวิธีพาสซีฟ เพื่อให้มีความง่ายต่อการนำไปใช้งาน โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เทียบกับวิธีเทียบเท่า วิธีที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือวิธีการอื่น เพื่อทดสอบความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนา ซึ่งจะต้องให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อได้วิธีการที่เหมาะสมแล้วนำวิธีการและอุปกรณ์ที่ได้ จากนั้นนำวิธีการที่ได้พัฒนาไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ศึกษาเพื่อพิจารณาว่าวิธีการของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดพาสซีฟทำได้อย่างไร ปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อความถูกต้องของผลการตรวจวัด สามารถพัฒนาให้มีผลการตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับวิธีการมาตรฐานหรือวิธีการเทียบเท่าที่ได้รับการยอมรับได้อย่างไร อีกทั้งจะทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาว่ามีระดับความเข้มข้นเท่าใด

## 1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประยุกต์วิธีการแบบพาสซีฟในการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีที่พัฒนาขึ้น

1.2.3 เพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศอย่างง่าย

1.3.1 ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น

1.3.3 ได้ทราบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### 1.4 สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
NO <sub>2</sub>	แทน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
µg/ml	แทน ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
µg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup> )	แทน ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
C (µg/m <sup>3</sup> )	แทน ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Mp	แทน น้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ

**คำย่อ**

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

## บทที่ 2

### ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ  $\text{NO}_2$  ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน (N) 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม เป็นก๊าซที่มีสีน้ำตาลแดง ละลายน้ำได้ดี และอยู่ในอากาศได้เพียง 3 วัน ก่อนที่จะกลายเป็นสารอื่นต่อไป ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นก๊าซประเภทเดียวกับก๊าซที่มีปฏิกิริยาสูงที่เรียกว่า “ออกไซด์ของไนโตรเจน (oxide of nitrogen หรือ  $\text{NO}_x$ )” ก๊าซเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจัดแบ่งได้ 7 รูปแบบ ดังนี้ ไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ไดไนโตรเจนเพนตอกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ) ไดไนโตรเจนไตรออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ) ไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) และไนโตรเจนไตรออกไซด์ ( $\text{NO}_3$ ) 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  $\text{NO}_x$ ”
2. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการเผาไหม้สารไนโตรเจนในเชื้อเพลิง เรียกว่า “fuel  $\text{NO}_x$ ”

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

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนถูกปล่อยจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น โรงไฟฟ้า โรงงานผลิตซีเมนต์ โรงงานผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

### ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ

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)

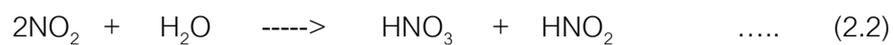
จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าก๊าซไนตริกออกไซด์จะเกิดได้น้อยที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยโดยทั่วไป แต่เกิดได้มากที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,500 องศาเซลเซียส

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง จะทำอันตรายต่อปอดโดยตรง เช่น ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด ระคายเคืองถุงลม (alveoli) มีผลให้ภูมิคุ้มกันของร่างกายลดลง ทำให้ปอดอักเสบ เกิดเนื้องอกในปอด ทำให้หลอดลม (emphysema) ตีบตัน และเป็นผลให้เกิดการตีบตันในระบบทางเดินหายใจ เช่น ไซหัดใหญ่ 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 ( $\text{HNO}_3$ ) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดฝนกรด ดังปฏิกิริยาในสมการที่ (2.2) - (2.3) ในบรรยากาศกรดไนตริกสามารถรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นแอมโมเนียมไนเตรต ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) ได้ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนเกิดเป็นก๊าซไอโซน ส่งผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อระบบนิเวศทั้งบนพื้นดินและแหล่งน้ำ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศยังเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ฝนกรด และปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไปก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ เนื่องจากมีสารไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่พืชน้ำไปใช้เพื่อสร้างความเจริญเติบโตลงไปในน้ำมาก



ทั้งก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่มีผลโดยตรงต่อวัตถุ อย่างไรก็ตาม ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีสมบัติในการดูดซับแสง ทำให้เป็นตัวการหนึ่งของการลดทัศนวิสัย เมื่อความเข้มข้นในอากาศมีค่ามากกว่า 0.25 พีพีเอ็ม ทำให้ท้องฟ้ามีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล ซึ่งเป็นสีของท้องฟ้าในตอนเย็น

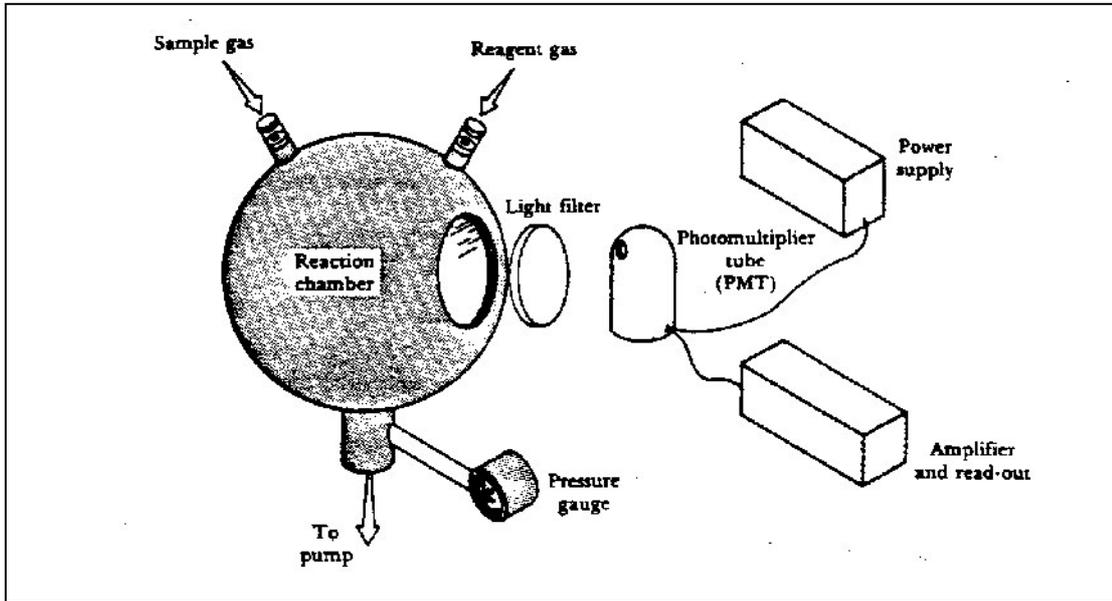
## 2.2 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

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:  $\text{NO}_2^*$ ) แล้วกลับสู่สภาวะพื้น (ground state) ทันทีพร้อมกับคายพลังงานแสง (photon) ออกมาดังสมการที่ (2.4)-(2.5) พลังงานแสงที่ออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณได้ สำหรับการตรวจวัดออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมดทำได้โดยการเปลี่ยนออกไซด์ของไนโตรเจนตัวอื่น ๆ ให้กลายเป็นก๊าซไนตริก ออกไซด์แล้ววัดปริมาณไนตริกออกไซด์ทั้งหมด ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมด จากนั้นวงจรวัดปริมาณไนตริกออกไซด์ก็จะคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยนำค่าความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในตอนแรกมาหักออกจากค่าความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมดหลังจากการเปลี่ยนรูปก๊าซออกไซด์ต่าง ๆ เป็นก๊าซไนตริกออกไซด์แล้ว





ภาพที่ 2.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์  
แหล่งที่มา : ICES (1999 : 8-7)

### 2.2.2 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์

วิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ มีหลักการคือเมื่อดูดตัวอย่างอากาศที่ต้องการตรวจวัดผ่านเข้ามาในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH) กับโซเดียม อาร์ซีไนด์ ( $\text{NaAsO}_3$ ) แล้วจะเกิดเป็นไนไตรต์ไอออน (nitrite ion :  $\text{NO}_2^-$ ) ขึ้น โดยปริมาณที่เกิดขึ้นสามารถตรวจวัดได้โดยวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร หลังจากทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก สารซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide) และสารเอ็น-(1-แนฟทิล) เอทิลีน ไดเอมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ (N - (1 - naphthyl) ethylene diamine dichloride) แล้ว โดยทำการเปรียบเทียบกับ การดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารไนไตรต์ไอออนในตัวอย่าง อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ประกอบด้วยอิมพิงเจอร์ (impinger) บั๊มดูดตัวอย่างอากาศ (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) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารเคมีเกิดไนเตรตไอออนซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยให้ไอออนนั้นทำปฏิกิริยากับสารซัลฟานิลลาไมด์และสารเอเอ็นเอสเอ (8 – anilino – 1 – naphthalenesulfonic acid ammonium salt) ซึ่งจะเกิดเป็นสารละลายที่มีสีและสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยทำการเปรียบเทียบกับ การดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว 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 พลิกซ์ของมวลสารสามารถใช้ “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)

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

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

$D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (diffusion coefficient)

$dC$  คือ ความเข้มข้นของมลพิษที่ต่างกันระหว่างในอากาศกับบนเมมเบรน

$dL$  คือ ระยะความยาวของการแพร่ (effective path length)

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

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

เมื่อ  $M$  คือ มวลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (g)

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

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน

$T$  คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (s)

วนิดา จีนาศาสตร์ (2548) ได้อธิบายวิธีการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.11)

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

- เมื่อ  $C_{\text{air}}$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ  
 $M$  คือ มวลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (g)  
 $F$  คือ ฟลักซ์ของมวลสาร ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ )  
 $L$  คือ ระยะความยาวของการแพร่ ( $41.2^{-1} \text{ m}$ )  
 $D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ( $1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ )  
 $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน  
 $T$  คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (s)

สราวุธ 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  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{nmol}/\text{m}^3$ )  
 $V$  คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)  
 $L$  คือ ระยะความยาวของการแพร่ ( $41.2 \text{ m}^{-1}$ )  
 $\text{NO}_2^-$  คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในตัวอย่าง ( $\mu\text{M}$ )  
 $D$  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 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ  
ในหน่วยพีพีบี

$\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ  
( $\text{nmol}/\text{m}^3$ )

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

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ  $1 \text{ atm}$

T คือ อุณหภูมิ (K)

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ (2548 : 31 - 38) ทำการศึกษาอุปกรณ์พาสซีฟในการเฝ้าระวัง  
คุณภาพอากาศ โดยทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม  
ในการผลิตอุปกรณ์แบบพาสซีฟ การเก็บรักษาและทดสอบ การใช้งานในบรรยากาศทั่วไป และใน  
การเฝ้าระวังการสัมผัสส่วนบุคคล สารเคมีที่เหมาะสมในการเคลือบแผ่นกรอง คือ สารละลายผสม  
ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไอโอไดต์ในเมทานอล โดยใช้แผ่นกรองใยแก้วเป็นสิ่งกีด  
ขวางฝุ่นหรือสารมลพิษอื่น ๆ โดยตรวจหาสารมลพิษที่ถูกดักจับไว้บนแผ่นกรองในรูปไนเตรตด้วย  
วิธียูวีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ อุปกรณ์พาสซีฟมีอายุการใช้งานได้ดีภายใน 1 เดือน โดยสามารถเก็บ  
รักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิปกติ สำหรับการใช้งานอุปกรณ์พาสซีฟจากการเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัด  
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบแอคทีฟภายในอาคารได้ผลสอดคล้องกันเป็นอย่างดีเมื่อใช้เวลาสัมผัส  
290 และ 360 นาที ผลจากการนำอุปกรณ์พาสซีฟที่ผลิตตามวิธีที่เหมาะสมไปวัดก๊าซไนโตรเจนได  
ออกไซด์เทียบกับการตรวจวัดโดยวิธีเคมีลูมิเนสเซนส์ในบรรยากาศทั่วไป ณ บริเวณสถานีตรวจวัด  
คุณภาพอากาศการเคหะแห่งชาติ และรวมค่าแห่งของกรมควบคุมมลพิษโดยสัมผัสตัวอย่าง  
อากาศ 24 ชั่วโมง รวม 14 วัน พบว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพ  
อากาศการเคหะแห่งชาติ ( $y = 1.2035x - 0.3291, R^2 = 0.6477$ ) ส่วนความสัมพันธ์ ณ สถานี  
ตรวจวัดรวมค่าแห่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ( $y = 0.59x + 9.8699, R^2 = 0.6016$ ) ทั้งนี้  
เนื่องมาจากการตรวจวัดจริงในภาคสนามมีปัจจัยอื่น ๆ ส่งผลต่อการดูดซับสารมลพิษบนอุปกรณ์  
พาสซีฟ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ เมื่อวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่บุคคลกลุ่มตัวอย่าง

รับสัมผัสด้วยวิธีพาสซีฟในช่วง 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 ใช้สารไตรเอทานอลเอมีนเป็นตัวดูดซับ ทำการศึกษามลของอุณหภูมิ ความชื้น และการเก็บตัวอย่างโดยการแพร่ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะวิเคราะห์หาโดยใช้หลักการทาสเปกโตร

โฟโตเมตริก เปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นไนโตรต์ โดยใช้สารละลาย saltman ทำการทดสอบที่ผลของการวิเคราะห์ซ้ำไม่เกิน 10% โดยมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง คือ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 สถานที่ทำวิจัย

การศึกษานี้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างง่ายในบรรยากาศ โดยดำเนินการตรวจวัดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์วิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และเครื่องมือที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำการตรวจวัดในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และริมถนนโดยรอบมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

#### 3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ ประกอบด้วย

1.1 อิมพินเจอร์

1.2 ไม้ดูดอากาศขนาดเล็ก

1.2 สายยาง

1.3 ขาดั่ง

1.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง

1.5 เครื่องแก้ว

1.6 สารเคมี

2. เครื่องตรวจวัดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยเครื่องมือ MultiRAE IR ดังภาพที่ 2.4

3. เมมเบรนหรือกระดาษกรองที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาชนิดที่เมมเบรนที่เหมาะสม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ประกอบด้วย

3.1 เมมเบรนชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride : PVC) มีขนาดรู (pore sizes) เท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร

3.2 เมมเบรนชนิดใยแก้ว (glass fiber) มีขนาดรู (pore sizes) เท่ากับ 1.0 ไมโครเมตร

3.3 เมมเบรนชนิดมิซเซลลูโลส (mixcellulose : MCE) มีขนาดรู เท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร

3.4 กระดาษ A4

3.5 กระดาษ PAD สำหรับรองกระดาษกรองในการเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่น

6. ถ้วยกระดาษ

7. เข็อก

8. เครื่องแก้วต่าง ๆ

9. คอมพิวเตอร์

10. โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows เวอร์ชัน 11.5

11. คาสเซต (cassette) สำหรับเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นที่ตัวบุคคล

12. เทอร์โมมิเตอร์

13. ปิเปตอัตโนมัติ (auto pipet)

14. ปากคีบ (forcep)

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษามีดังนี้

1. ศึกษาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

2. ออกแบบอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศแบบ

พาสซีฟ

3. ดำเนินการเก็บตัวอย่างปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ทำการเก็บ 2 ชั่วโมง ใช้การเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ต่อไปนี้พร้อมกัน

3.1 เก็บตัวอย่างโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีไฮเดียมอาร์ซีไนต์ ดังภาคผนวก ข

3.2 เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือ MultiRAE IR เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง ดัง  
ภาคผนวก ซ

3.3 เก็บตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟ

3.3.1 ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารโซเดียมอาร์ซีไนต์ ละลายในน้ำกลั่น  
เป็นสารดูดซับ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาสกัดด้วยน้ำ  
กลั่น วิเคราะห์โดยการทำให้เกิดสีและวัดการดูดกลืนแสงเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ดัง  
ภาคผนวก ฉ

3.3.2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และสารโซเดียมไอโอดेटที่ละลายในเมทานอล  
เป็นสารดูดซับปริมาตร 3 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาสกัดด้วยน้ำ  
กลั่นและวิเคราะห์โดยเติมสารทำให้เกิดสี (coloring agent) และวัดการดูดกลืนแสงเทียบกับ  
สารละลายมาตรฐาน ภาคผนวก ข

3.3.3 ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวดูดซับ ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 และ 3.3.2

3.3.4 ในการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟทั้งวิธีการในข้อ 2.3.1 และ 2.3.2 จะทำ  
การใช้กระดาษกรองเป็นตัวยัดสารละลายดูดซับ ดังนี้

- (1) เมมเบรนชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์
- (2) เมมเบรนชนิดใยแก้ว
- (3) เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูลูโลส
- (4) กระดาษ A4
- (5) กระดาษ PAD สำหรับรองกระดาษกรองในการเก็บอนุภาคฝุ่น

**ตารางที่ 3.1** ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ครั้งที่	วันที่	สถานที่ตรวจวัด
1	30 มีนาคม 2550	บริเวณด้านข้างร้านขายเบเกอรี่ ตรงข้ามอาคารศรีจุฑาภา
2	2 เมษายน 2550	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
3	4 เมษายน 2550	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
4	5 เมษายน 2550	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
5	26 เมษายน 2550	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
6	30 เมษายน 2550	ริมถนนราชวิถี ประตูทางเข้ามหาวิทยาลัย

## ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ครั้งที่	วันที่	สถานที่ตรวจวัด
7	2 พฤษภาคม 2550	ริมถนนราชวิถี ประตูทางเข้ามหาวิทยาลัย
8	3 พฤษภาคม 2550	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
9	4 พฤษภาคม 2550	หน้าอาคารศรีจุฑาภา
10	9 พฤษภาคม 2550	ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
11	11 พฤษภาคม 2550	ริมถนนราชวิถี ประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยด้านโรงพิมพ์
12	14 พฤษภาคม 2550	ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
13	15 พฤษภาคม 2550	บริเวณด้านข้างธนาคารไทยพาณิชย์
14	16 พฤษภาคม 2550	ริมถนนสามเสนหน้าร้านแม็คโดนัลด์
15	22 พฤษภาคม 2550	ป้อมจรรยา
16	23 พฤษภาคม 2550	บริเวณด้านหน้าอาคารศรีจุฑาภา
17	25 พฤษภาคม 2550	อาคาร 23 อาคารวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

4. นำผลความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ได้พัฒนาในข้อ 3.3 เปรียบเทียบกับผลที่ได้ในข้อ 3.1 และ 3.2 โดยใช้หลักการทางสถิติ t - test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพิจารณาจากค่าความแตกต่างในการวิเคราะห์ซ้ำ (%duplicate หรือ %RPD) ซึ่งยอมรับที่มีค่าไม่เกิน 10%

5. จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติในข้อ 4. จะเลือกสารละลายที่ใช้ในการดูดซับและชนิดของเมมเบรนที่ทำให้ผลของการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลมีค่าผลความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ที่สุดโดยมีค่าไม่แตกต่างกันตามหลักการทางสถิติ มีค่า %duplicate ซึ่งยอมรับที่มีค่าไม่เกิน 10% เพื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

5.1 ปริมาณแสง และลม ทำการทดสอบโดยใช้ถ้วยกระดาษครอบอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาเบื้องต้น

5.2 ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการดูดซับเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

5.3 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ศึกษาเป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง

ทำการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เพื่อเปรียบเทียบผลความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีการต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 เทียบกับการตรวจวัดโดยวิธีเทียบเท่าและวิธีอิเล็กทรอนิกส์ ณ ตำแหน่งตรวจวัดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 วิธีการที่ปรับปรุงเพื่อหาอุปกรณ์และวิธีการที่เหมาะสม

วิธีที่	การครอบอุปกรณ์	ชนิดของสารดูดซับ	ความเข้มข้นของสารดูดซับ
1	ไม่ครอบ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	ปกติ
2	ครอบด้วยถ้วยกระดาษ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	ปกติ
3	ไม่ครอบ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	เพิ่มความเข้มข้น
4	ครอบด้วยถ้วยกระดาษ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	เพิ่มความเข้มข้น
5	ไม่ครอบ	น้ำกลั่น (blank)	ปกติ
6	ครอบด้วยถ้วยกระดาษ	น้ำกลั่น	ปกติ

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เพื่อปรับปรุงอุปกรณ์และวิธีการให้เหมาะสม

ครั้งที่	วันที่	สถานที่ตรวจวัด
1	28 พฤษภาคม 2550	หน้าอาคารศรีจุฑาภา
2	29 พฤษภาคม 2550	หน้าอาคารศรีจุฑาภา
3	23 มิถุนายน 2550	ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
4	13 กรกฎาคม 2550	โรงเรียนวัดเทวราชกุญชร
5	14 กรกฎาคม 2550	ป้อมยาม ประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยถนนคู่งนอก
6	21 กรกฎาคม 2550	หน้าอาคารศรีจุฑาภา
7	6 สิงหาคม 2550	อาคาร 23 อาคารวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

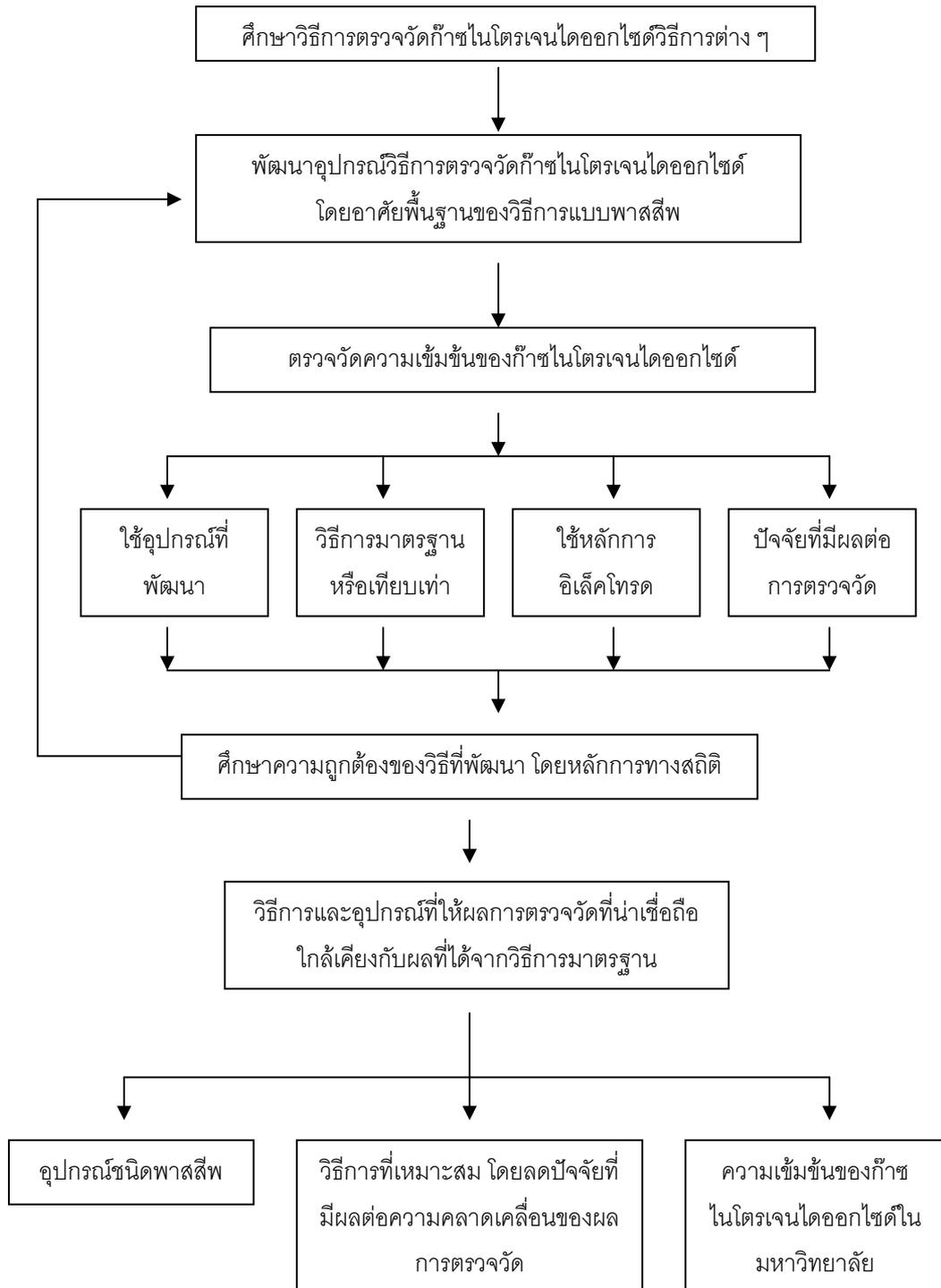
ครั้งที่	วันที่	สถานที่ตรวจวัด
8	7 สิงหาคม 2550	อาคาร 23 อาคารวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
9	9 สิงหาคม 2550	หน้าอาคาร 22

6. ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการที่ได้พัฒนาในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัย  
ราชภัฏสวนสุนันทา

ตัวอย่างที่	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง
1	หน้าอาคารศรีจุฬาภา
2	ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม (2322)
3	ป้อมจระจก (ประตุมัธยมสาธิต)
4	หน้าอาคาร 23
5	หน้าอาคาร 22
6	ข้างอาคารคณะครุศาสตร์
7	ข้างร้านเบเกอรี่ (ป้อมจระจก)
8	ข้างอาคาร 37
9	ข้างอาคาร 42
10	หน้าโรงแรมสวนสุนันทา
11	หน้าประตู (ถนนราชวิถี)

6. สรุปผล จัดทำรูปเล่มรายงานการวิจัย



ภาพที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน

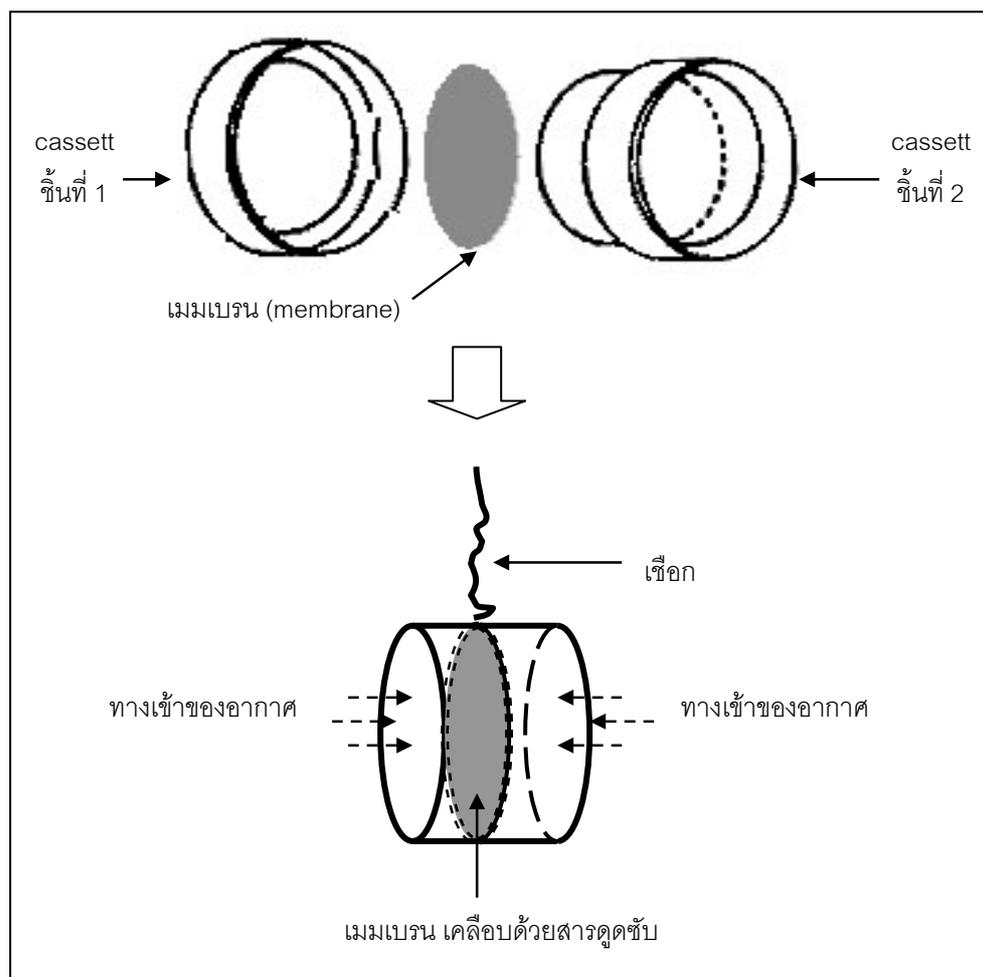


## บทที่ 4

### ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 การออกแบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟในการหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์  
ที่ได้ออกแบบในเบื้องต้นแสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น

โครงสร้างของอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการประยุกต์ในเบื้องต้นมีองค์ประกอบดังนี้

1. คาสเซตที่ใช้ในการเก็บอนุภาคฝุ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 37

มิลลิเมตร

2. เมมเบรน (membrane) สำหรับใช้ยึดเกาะสารละลายดูดซับ (absorption)

3. เชือก



ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ทำการออกแบบเบื้องต้น

## 4.2 การทดสอบความแตกต่างของวิธีการเทียบเท่าและวิธีอิเล็กทรอนิกส์

ในขั้นตอนนี้ทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์วิธีเทียบเท่าและวิธีอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อดูความแตกต่างหรือการยอมรับของผลการตรวจวัดทั้ง 2 วิธี ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องมือ MultiRAE IR

ตัวอย่าง	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	
		วิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์	MultiRAE IR
1	30/3/2007	8.54	9.12
2	30/3/2007	8.54	9.12
3	30/3/2007	8.54	9.12
4	2/4/2007	22.21	30.00
5	2/4/2007	22.21	30.00
6	4/4/2007	20.18	18.90
7	4/4/2007	20.18	18.90
8	5/4/2007	7.70	10.76
9	5/4/2007	7.70	10.76
10	26/4/2007	18.36	10.31
11	26/4/2007	18.36	10.31
12	30/4/2007	22.66	31.95
13	30/4/2007	22.66	31.95
14	2/5/2007	28.63	22.76
15	2/5/2007	28.63	22.76
16	3/5/2007	17.79	22.36
17	3/5/2007	17.79	22.36

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	
		วิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์	MultiRAE IR
18	4/5/2007	26.90	31.31
19	4/5/2007	26.90	31.31
20	9/5/2007	25.07	33.46
21	9/5/2007	25.07	33.46
22	11/5/2007	37.84	36.09
23	11/5/2007	37.84	36.09
24	14/5/2007	16.52	18.23
25	14/5/2007	16.52	18.23
26	15/5/2007	17.30	16.77
27	15/5/2007	17.30	16.77
28	16/5/2007	43.07	42.46
29	16/5/2007	43.07	42.46
30	22/5/2007	19.25	19.62
31	22/5/2007	19.25	19.62
32	23/5/2007	10.87	18.49
33	23/5/2007	10.87	18.49
34	25/5/2007	18.96	30.89
35	25/5/2007	18.96	30.89

นำผลการตรวจวัดโดยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรดจากตารางที่ 4.1 ไปวิเคราะห์ทางสถิติ t-test เพื่อทดสอบความสัมพันธ์หรือความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากทั้งสองวิธี โดยมีสมมติฐานที่ว่าผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรดด้วยเครื่อง MultiRAE IR มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนี้

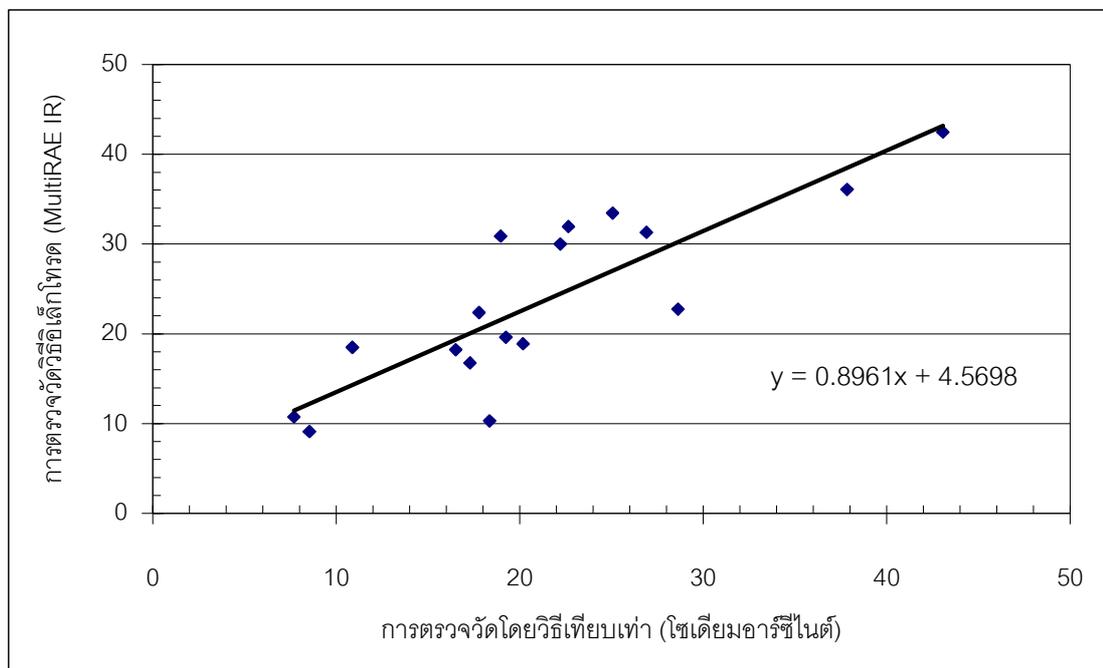
$H_0$  : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีอีเล็กโทรดด้วยเครื่อง MiltiRAE IR มีค่าแตกต่างกัน

$H_1$  : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์และวิธีอีเล็กโทรดด้วยเครื่อง MiltiRAE IR มีค่าไม่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ t - test ยอมรับสมมติฐาน  $H_1$  ซึ่งสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.847 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 และกราฟที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ t-test จากข้อมูลในตารางที่ 4.1

	การเปรียบเทียบ	N	Correlation	Sig.
Pair 1	วิธีเทียบเท่า & วิธีอีเล็กโทรด	35	0.847	0.000



กราฟที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการเทียบเท่าและวิธีอีเล็กโทรด

### 4.3 การพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

การพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ทำโดยใช้วิธีการ 3 วิธี พร้อมกัน เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ดังนี้

1. การตรวจวัดโดยใช้วิธีการเทียบเท่า วิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ ดังภาคผนวก ข ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.1

2. การตรวจวัดโดยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ ใช้เครื่องตรวจวัด MultiRAE IR ดังภาคผนวก ข ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.1

3. การเก็บตัวอย่างและตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ประยุกต์ขึ้นดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 และใช้สารละลายในการดูดซับ 2 ชนิด คือ

(1) สารละลายผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ กับสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เข้มข้น  $0.77 \times 10^{-4}$  โมลาร์ ละลายในน้ำกลั่น และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยดั่งวิธีการในภาคผนวก ฉ

(2) สารละลายผสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดด์ละลายในเมทานอลและวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการดังภาคผนวก ฉ

ในการตรวจวัดใช้เมมเบรนดังนี้

(1) เมมเบรนชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์

(2) เมมเบรนชนิดใยแก้ว

(3) เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูลูโลส

(4) กระดาษ A4

(5) กระดาษ PAD สำหรับรองกระดาษกรองในการเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่น

ผลการตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.3 ทั้งนี้การใช้กระดาษ A4 เป็นเมมเบรน ไม่สามารถทำการดูดซับและวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ ส่วน PAD ให้ผลการตรวจวัดที่ไม่แน่นอน โดยการคำนวณผลใช้สมการที่ (2.13) – (2.14)

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์และวิธีการต่าง ๆ

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)							
		สารที่ใช้ดูดซับ คือ NaOH + NaI				สารที่ใช้ดูดซับ คือ NaOH + NaAsO <sub>3</sub>			
		glass fiber	MCE	PVC	PAD	glass fiber	MCE	PVC	PAD
1	30/3/2007	46.77	-	-	-	198.34	-	-	-
2	30/3/2007	46.77	-	-	-	7,589.22	-	-	-
3	30/3/2007	46.77	-	-	-	104.39	-	-	-
4	2/4/2007	391.29	1,146.89	40.48	-	1,002.57	21,527.50	431.66	-
5	2/4/2007	674.64	984.98	80.96	-	278.49	20,300.02	97.47	-
6	4/4/2007	769.34	59.18	-93.36	-	214.21	10,171.66	201.39	-
7	4/4/2007	606.60	170.14	-115.55	-	165.84	17,634.56	153.01	-
8	5/4/2007	723.76	837.61	-	-	-248.73	13,131.30	124.00	-
9	5/4/2007	886.40	951.46	-	-	-380.41	13,862.85	132.00	-
10	26/4/2007	1,220.01	1,154.97	726.86	-	6,674.80	17,088.89	1,083.34	-
11	26/4/2007	1,132.82	1,205.00	1,397.98	-	465.95	20,210.79	186.38	-
12	30/4/2007	4,758.62	-329.13	3,181.55	-	214.48	25,649.36	681.29	-

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)							
		สารที่ใช้ดูดซับ คือ NaOH + NaI				สารที่ใช้ดูดซับ คือ NaOH + NaAsO <sub>3</sub>			
		glass fiber	MCE	PVC	PAD	glass fiber	MCE	PVC	PAD
13	30/4/2007	2,948.42	2,770.15	1,083.37	-	340.65	24,450.80	227.10	-
14	2/5/2007	493.54	-126.55	234.12	-	171.22	11,399.03	52.68	-
15	2/5/2007	253.10	132.88	56.95	-	217.31	10,595.64	39.51	-
16	3/5/2007	1,048.63	-74.90	449.41	586.73	308.05	17,890.64	426.53	414.22
17	3/5/2007	249.67	-87.39	249.67	362.03	663.49	16,516.26	509.47	527.80
18	4/5/2007	-20.49	34.15	27.32	-116.10	-53.86	11,041.45	305.21	189.41
19	4/5/2007	-150.25	0.00	0.00	-27.32	11.97	11,370.60	221.43	195.72
20	9/5/2007	20.77	-1.48	8.16	16.32	254.49	10,755.44	776.86	320.63
21	9/5/2007	14.84	-0.74	4.45	24.48	274.58	12,563.64	575.94	382.03
22	11/5/2007	615.14	328.08	95.69	123.03	764.31	31,841.27	365.54	423.56
23	11/5/2007	382.76	177.71	382.76	-82.02	1,030.16	24,624.07	620.31	385.63
24	14/5/2007	330.15	12.23	24.46	61.14	611.68	15,937.59	197.71	109.19

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)							
		สารที่ใช้ดูดซับ คือ NaOH + NaI				สารที่ใช้ดูดซับ คือ NaOH + NaAsO <sub>3</sub>			
		glass fiber	MCE	PVC	PAD	glass fiber	MCE	PVC	PAD
25	14/5/2007	67.25	18.34	177.30	18.34	154.46	14,837.81	160.64	167.00
26	15/5/2007	15.69	7.84	-54.91	-34.96	372.86	15,846.75	1,077.16	376.25
27	15/5/2007	345.14	-39.22	-47.07	-27.11	262.39	14,949.11	794.06	287.07
28	16/5/2007	416.62	484.18	33.78	-213.94	1,174.64	25,924.33	669.55	587.52
29	16/5/2007	529.22	540.48	67.56	-135.12	1,104.16	29,213.33	599.07	422.14
30	22/5/2007	391.56	901.50	81.95	-18.21	910.50	15,916.78	1,156.46	457.13
31	22/5/2007	664.75	1,229.32	1,666.42	36.42	158.90	20,242.48	582.64	228.56
32	23/5/2007	6,774.43	693.14	52.31	65.39	336.94	15,109.44	673.87	115.61
33	23/5/2007	483.89	1,347.04	235.40	78.47	242.17	16,920.46	526.46	81.60
34	25/5/2007	11,680.27	1,381.61	101.40	25.35	129.69	17,961.53	304.76	231.42
35	25/5/2007	221.82	995.01	19.01	12.68	84.30	16,794.35	226.95	57.86

ผลการตรวจวัดในตารางที่ 4.1 และ 4.3 นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าหรือวิธีอิเล็กทรอนิกส์กับวิธีแบบพาสซีฟที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบด้วย t – test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ผลดังตารางที่ 4.4 – 4.5

**ตารางที่ 4.4** ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ได้จากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ กับการวิเคราะห์วิธีพาสซีฟที่ใช้สารผสมระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดด์ละลายในเมทานอลเป็นสารดูดซับ

	การเปรียบเทียบ	N	Correlation	Sig.
Pair 1	IMPINGER & ELECTROD	35	0.847	0.000
Pair 2	MCE & IMPINGER	32	-0.215	0.237
Pair 3	MCE & ELECTROD	32	-0.077	0.676
Pair 4	PVC & IMPINGER	30	-0.093	0.626
Pair 5	PVC & ELECTROD	30	-0.068	0.721
Pair 6	GLASS & IMPINGER	35	-0.108	0.538
Pair 7	GLASS & ELECTROD	35	0.118	0.501

**ตารางที่ 4.5** ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ได้จากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ กับการวิเคราะห์วิธีพาสซีฟที่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผสมกับสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เป็นสารดูดซับ

	การเปรียบเทียบ	N	Correlation	Sig.
Pair 1	IMPINGER & ELECTROD	35	0.847	0.000
Pair 2	MCE & IMPINGER	32	0.516	0.003
Pair 3	MCE & ELECTROD	32	0.493	0.004
Pair 4	PVC & IMPINGER	32	0.069	0.708
Pair 5	PVC & ELECTROD	32	0.032	0.863
Pair 6	GLASS & IMPINGER	35	-0.070	0.688
Pair 7	GLASS & ELECTROD	35	-0.235	0.175

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าในการเปรียบเทียบมีคู่ความสัมพันธ์สองคู่ที่มีความสัมพันธ์กันโดยไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือ

1. ผลการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์กับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูลูโลสและใช้สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมอาร์ซีไนต์ คู่ที่ 2 (pair 2) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.516

2. ผลการตรวจวัดโดยใช้วิธีอิเล็กโทรดกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูลูโลสและใช้สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมอาร์ซีไนต์ คู่ที่ 3 (pair 3) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.493

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 4.6

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

เมื่อ D คือ ค่าความแตกต่างของผลการทดสอบ 2 ครั้ง  
M คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ 2 ซ้ำ

**ตารางที่ 4.6** ผลการคำนวณหาค่า %duplicate ของผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบ พาสซีฟที่ใช้สารดูดซับและเมมเบรนชนิดต่าง ๆ

วันที่	%duplicate							
	สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไอโอไดด์				สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารโซเดียมอาร์ซีไนต์			
	glass fiber	MCE	PVC	PAD	glass fiber	MCE	PVC	PAD
2/4/2007	26.58	7.59	33.33		83.70	16.93	63.16	
4/4/2007	11.83	48.39	10.62		46.55	26.84	13.65	
5/4/2007	10.10	6.36			152.72	2.71		
26/4/2007	3.71	2.12	31.58		110.65	8.37	70.64	
30/4/2007	23.49	126.97	49.20		67.87	2.39	50.00	
2/5/2007	32.20	4100.00	60.87		75.35	3.65	14.29	
3/5/2007	61.54	7.69	28.57	23.68	55.26	3.99	8.86	12.06
4/5/2007	76.00	100.00	100.00	61.90	3267.66	1.47	15.91	237.78
9/5/2007	16.67	33.33	29.41	20.00	95.48	7.75	14.85	8.74
11/5/2007	23.29	29.73	60.00	500.00	69.40	35.05	25.84	4.69
14/5/2007	66.15	20.00	75.76	53.85	168.92	10.21	10.34	20.93
15/5/2007	91.30	150.00	7.69	12.64	51.37	2.91	15.13	13.27
16/5/2007	11.90	5.49	33.33	22.58	76.97	5.97	5.56	130.56
22/5/2007	25.86	15.38	90.63	300.00	106.50	11.96	32.99	33.33
23/5/2007	86.67	32.05	63.64	9.09	45.12	5.65	12.28	17.24
25/5/2007	96.27	16.27	68.42	33.33	126.35	3.36	14.63	60.00

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อมีการวิเคราะห์หาค่า %duplicate พบว่ามีทุกเมมเบรน และสารเคลือบที่ใช้มีค่าสูงกว่า 10% แต่การใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลล์ลูโลสเคลือบด้วยสารผสม

ระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารโซเดียมไฮโอไดด์มีค่าที่เกิน 10% จำนวน 5 ข้อมูล จากการวิเคราะห์ทั้งหมด 16 ข้อมูล ซึ่งคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ โดยใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูลูโลสและใช้สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารโซเดียมอาร์ซีไนด์ แต่พบว่ายังมีความสัมพันธ์น้อย ซึ่งจำเป็นที่จะต้องพัฒนา ปรับปรุงเพื่อหาวิธีการที่จะเพิ่มค่าความสัมพันธ์ให้มีค่าสูงขึ้น และให้มีค่า %duplicate อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยจะพิจารณาจากสภาวะแวดล้อมในการเก็บตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ดูดซับ สำหรับการใส่สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายโซเดียมไฮโอไดด์และใช้เมมเบรนชนิดอื่น จะไม่ทำการปรับปรุง

#### 4.4 การปรับปรุงวิธีการเก็บตัวอย่าง

จากการทดสอบผลการพัฒนาอุปกรณ์แบบพาสซีฟในเบื้องต้น ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไม่สูง ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพาสซีฟที่ได้พัฒนาปรับปรุงเพื่อลดผลจากสิ่งแวดล้อมที่จะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน วิธีที่ปรับปรุงในการศึกษานี้แสดงดังตารางที่ 4.7 และผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 วิธีการที่ปรับปรุงเพื่อหาอุปกรณ์และวิธีการที่เหมาะสม

วิธีที่	ชนิดของเมมเบรน	การครอบอุปกรณ์	ชนิดของสารดูดซับ	ความเข้มข้นของสารดูดซับ
1	MCE	ไม่ครอบ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	ปกติ
2	MCE	ครอบด้วยถ้วยกระดาษ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	ปกติ
3	MCE	ไม่ครอบ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	เพิ่มความเข้มข้น

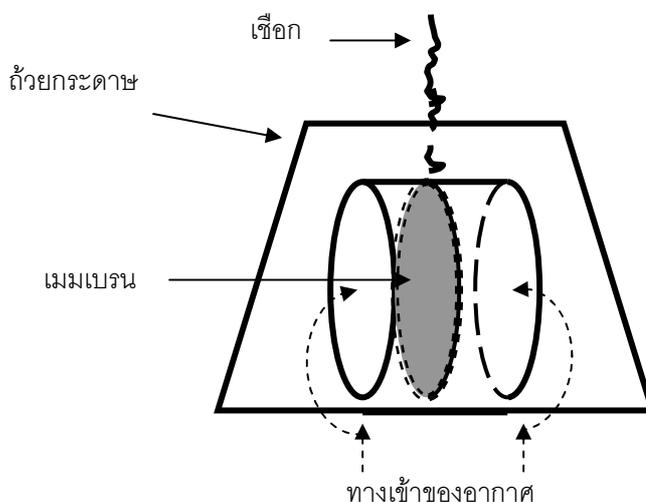
ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

วิธีที่	ชนิดของ เมมเบรน	การครอบอุปกรณ์	ชนิดของสารดูดซับ	ความเข้มข้นของ สารดูดซับ
4	MCE	ครอบด้วยถ้วย กระดาษ	โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมอาร์ซีไนด์	เพิ่มความเข้มข้น
5	MCE	ไม่ครอบ	น้ำกลั่น (blank)	ปกติ
6	MCE	ครอบด้วยถ้วย กระดาษ	น้ำกลั่น (blank)	ปกติ

ตารางที่ 4.7 เป็นวิธีการในการทดสอบวิธีการและอุปกรณ์ในการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ดังนี้

วิธีที่ 2 นำอุปกรณ์พาสซีฟที่ได้เบื้องต้นครอบด้วยถ้วยกระดาษดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 เพื่อลดปัจจัยที่อาจเกิดความผิดพลาดจากกระแสลม ป้องกันแสงแดด และความชื้นจากหยดน้ำฝน ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 ซึ่งไม่ทำการครอบด้วยถ้วยกระดาษ

วิธีที่ 4 ทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ใช้ดูดซับคือสารละลายผสมระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์และสารละลายโซเดียมอาร์ซีไนด์เข้มข้น  $7.7 \times 10^{-5}$  บนเมมเบรน ทำการเปรียบเทียบในกรณีนี้ที่ครอบด้วยถ้วยกระดาษและไม่ครอบด้วยกระดาษในวิธีที่ 3



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสซีฟ



ภาพที่ 4.4 อุปกรณ์ตรวจวัดแบบพาสซีฟ

ตารางที่ 4.8 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการปรับปรุงวิธีการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)				
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4	วิธีเทียบเท่า โซเดียมอาร์ซีไนต์
1	28/5/2007	18057.43	13009.48	15618.15	13788.70	57.31
2	28/5/2007	18463.98	12331.91	18599.49	15414.88	57.31
3	29/5/2007	10973.02	6695.27	14347.02	16252.42	75.11
4	29/5/2007	8186.46	7809.90	18338.58	13842.42	75.11
5	23/6/2007	585.82	295.05	1234.61	792.30	8.98
6	23/6/2007	307.85	269.44	954.50	642.91	8.98
7	13/7/2007	17634.41	14578.07	7226.74	9081.06	40.31
8	13/7/2007	16241.84	12731.08	12584.49	9278.95	40.31
9	14/7/2007	1129.10	1915.22	2816.75	2501.00	18.37

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

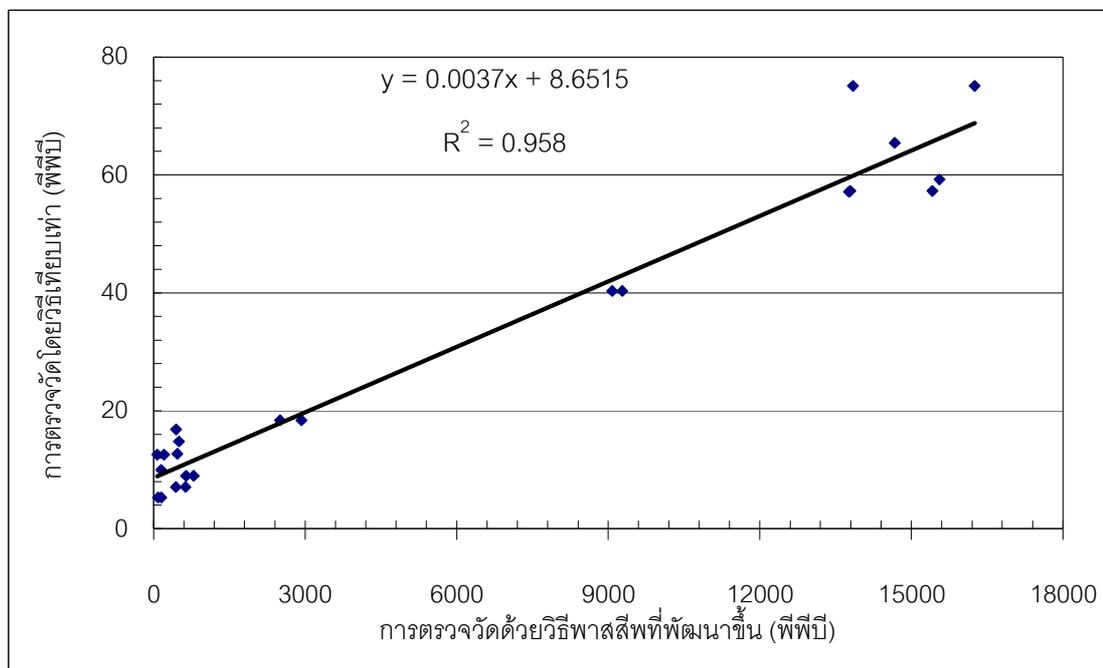
ตัวอย่าง ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)					วิธีเทียบเท่า ไฮเดียมอาร์ซีไนต์
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4		
10	14/7/2007	1129.10	1129.10	2990.96	2925.63	18.37	
11	14/7/2007	2343.66	645.62	214.84	87.25	5.30	
12	14/7/2007	1748.20	721.96	308.63	152.68	5.30	
13	21/7/2007	206.40	253.70	525.47	441.19	7.07	
14	14/7/2007	306.16	202.96	719.83	629.53	7.07	
15	6/8/2007	1364.49	1088.46	953.17	444.63	16.85	
16	6/8/2007	973.00	872.30	793.37	500.79	14.79	
17	6/8/2007	994.34	580.03	513.47	467.29	12.72	
18	7/8/2007	640.85	614.11	51.70	73.09	12.58	
19	7/8/2007	1074.02	1109.70	23.19	204.28	12.58	
20	7/8/2007	213.20	240.00	513.82	148.97	10.00	
21	9/8/2007	10513.81	2714.14	17425.09	14668.97	65.45	
22	9/8/2007	9416.36	6109.80	14841.08	13764.53	57.14	
23	9/8/2007	15843.75	5028.76	18494.90	15556.19	59.22	

จากตารางที่ 4.8 ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของผลการตรวจวัดที่ได้ โดยใช้  
หลักการทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่พัฒนาและปรับปรุงขึ้นกับวิธีเทียบเท่าวิธีไฮเดียมอาร์ซีไนต์

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์		N	Correlation	Sig.
Pair 1	วิธีที่ 1 & วิธีเทียบเท่า	23	0.806	0.000
Pair 2	วิธีที่ 2 & วิธีเทียบเท่า	23	0.704	0.000
Pair 3	วิธีที่ 3 & วิธีเทียบเท่า	23	0.964	0.000
Pair 4	วิธีที่ 4 & วิธีเทียบเท่า	23	0.979	0.000

จากตารางที่ 4.9 พบว่าทุกวิธีการมีความสัมพันธ์กับผลที่ได้จากวิธีการเทียบเท่า แต่เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์พบว่าวิธีการที่ 4 คือ การใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เซลลูโลส ทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับและครอบด้วยถ้วยกระดาษที่ค่าความสัมพันธ์ (correlation) สูงสุด คือเท่ากับ 0.979 และกราฟความสัมพันธ์แสดงดังกราฟที่ 4.2 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่ 4 เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้วัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ



กราฟที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีการพาสซีฟที่พัฒนาขึ้น (วิธีที่ 4) กับผลการตรวจวัดโดยวิธีเทียบเท่า

จากผลการตรวจวัดในตารางที่ 4.8 และการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.9 พบว่าการครอบอุปกรณ์แบบพาสซีฟทำให้ได้ผลที่มีความแม่นยำกว่าและมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าแบบไม่ครอบ ซึ่งอาจจะเนื่องจากอิทธิพลของกระแสลมทำให้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในกรณีที่ไม่ครอบสามารถแพร่เข้าสู่เมมเบรนที่เคลือบด้วยสารดูดซับได้เร็วกว่าและมากกว่าที่มีอยู่จริง นอกจากนี้การครอบด้วยถ้วยกระดาษจะลดอิทธิพลที่เกิดจากแสงอาทิตย์ซึ่งอาจทำให้เกิดการออกซิไดซ์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไปเป็นสารอื่นได้ ในการวิเคราะห์ที่เพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับพบว่าให้ค่าของความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่ามากกว่าความเข้มข้นเดิม

**ตารางที่ 4.10** ผลการคำนวณหาค่า %duplicate (% RPD) ของผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่พัฒนา

ตัวอย่างที่	วันที่	เวลา	สถานที่เก็บตัวอย่าง	% RPD
1	28/5/2007	12.25 - 13.35	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	4.85
2	29/5/2007	11.25 - 12.25	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	7.00
3	23/6/2007	11.30 - 12.30	ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม (2322)	2.59
4	14/7/2007	11.30 - 12.30	ป้อมจระจร (ประต้อมัธยมสาธิต)	4.35
5	14/7/2007	12.30 - 13.30	ป้อมจระจร (ประต้อมัธยมสาธิต)	1.43
6	21/7/2007	12.40 - 13.40	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	3.49

ตารางที่ 4.10 เป็นผลการคำนวณหาค่า %duplicate ของผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ใช้สารดูดซับเป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ และสารโซเดียมไฮโอไดด์เข้มข้น  $1.54 \times 10^{-4}$  โมลาร์ ใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เชลล์ลูโลส ซึ่งพบว่ามีค่าไม่เกิน 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ดังนั้นจึงสามารถสรุปวิธีการในการพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง เป็นดังนี้ (ภาคผนวก ฉ)

การเก็บตัวอย่าง

1. อุปกรณ์พาสซีฟ แสดงดังภาพที่ 4.1 – 4.2
2. สารดูดซับบนเมมเบรนเป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ และสารโซเดียมอาร์ซีไนด์เข้มข้น  $1.54 \times 10^{-4}$  โมลาร์

3. ทำการครอบด้วยถ้วยกระดาษ
4. ทำการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง
5. ติดตั้งสูงจากพื้นดิน 1.2 – 1.5 เมตร

#### การวิเคราะห์

1. นำเมมเบรนที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้ว สกัดสารไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลาไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ ทำให้เกิดสีม่วง

3. วัดการดูดกลืนแสงเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

เมื่อได้วิธีการที่เหมาะสมแล้ว 4 นำข้อมูลที่ได้ไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น กับผลการตรวจวัดโดยวิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ ด้วยหลักการวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.11

**ตารางที่ 4.11** สรุปความสัมพันธ์การวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมงของวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่พัฒนาขึ้นกับวิธีเทียบเท่า

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.979	0.958	0.956	5.24579

**ตารางที่ 4.12** ผลการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมงวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟที่พัฒนาขึ้นกับวิธีเทียบเท่า

Model		Unstandardized		Standardized	t	Sig.
		Coefficients		Coefficients		
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	8.652	1.461		5.923	0.000
	วิธีที่ 4	0.004	0.000	0.979	21.884	0.000

จากตารางที่ 4.11 – 4.12 เป็นผลของการวิเคราะห์ทางสถิติการวิเคราะห์ความถดถอย (regression) เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการใช้คำนวณผลของความเข้มข้นที่ได้จากอุปกรณ์พาสซีฟให้มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์วิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์ เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ในหน่วย พีพีบี

ดังนั้นการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 ชั่วโมง ในหน่วย พีพีบี ทำได้ด้วยสมการที่ (4.2)

$$\text{NO}_2 \text{ (ppb)} = (0.004 \times \text{PS}) + 8.652 \quad \dots \quad (4.2)$$

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

0.004 และ 8.652 คือ ค่าคงที่

การตรวจวัดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีการรายงานผลการตรวจวัดได้ 4 หน่วย คือ พีพีเอ็ม (ppm) พีพีบี (ppb) มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) และไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ซึ่งทั้ง 4 หน่วยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$$\text{C (ppm)} = \text{C (mg / m}^3 \text{)} \times \frac{24.45}{\text{Mp}} \quad \dots \quad (4.3)$$

$$\text{C (ppb)} = \text{C (}\mu\text{g / m}^3 \text{)} \times \frac{24.45}{\text{Mp}} \quad \dots \quad (4.4)$$

เมื่อ  $\text{C (ppm)}$  คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม

$\text{C (ppb)}$  คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี

$\text{C (mg}/\text{m}^3 \text{)}$  คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$\text{C (}\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{)}$  คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$\text{Mp}$  คือน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ

น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) เท่ากับ 48

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์พาสซีฟที่ได้พัฒนาขึ้นและการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์ เป็นค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมง ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางที่ 4.13** ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นค่าความเฉลี่ย 3 ชั่วโมง

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)				
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4	วิธีเทียบเท่า โซเดียมอาร์ซีไนต์
1	14/7/2007	3472.75	2560.84	3031.60	2588.24	23.67
2	14/7/2007	2877.30	1851.06	3299.60	3078.31	23.67
3	6/8/2007	419.04	262.98	227.87	177.81	44.36
4	7/8/2007	277.01	213.71	128.10	60.04	35.15
5	9/8/2007	15703.90	9666.09	19626.37	15101.52	181.81

**ตารางที่ 4.14** การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟกับวิธีเทียบเท่า

การเปรียบเทียบ		N	Correlation	Sig.
Pair 1	วิธีที่ 1 & วิธีเทียบเท่า	6	0.928	0.008
Pair 2	วิธีที่ 2 & วิธีเทียบเท่า	6	0.908	0.012
Pair 3	วิธีที่ 3 & วิธีเทียบเท่า	6	0.947	0.004
Pair 4	วิธีที่ 4 & วิธีเทียบเท่า	6	0.951	0.004

**ตารางที่ 4.15** สรุปความสัมพันธ์การวิเคราะห์ความถดถอย ระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟกับวิธีเทียบเท่า

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.951	0.905	0.881	21.56543

**ตารางที่ 4.16** ผลการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงระหว่างวิธีการตรวจวัดแบบพาสซีฟกับวิธีเทียบเท่า

Model		Unstandardized		Standardized	t	Sig.
		Coefficients		Coefficients		
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	17.759	10.713		1.658	0.173
	วิธีที่ 4	0.008	0.001	0.951	6.164	0.004

ตารางที่ 4.16 เป็นผลการวิเคราะห์เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการหาค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เป็นค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอย ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.881 ทำให้ได้สมการที่ได้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงในหน่วยพีพีบี ดังสมการที่ (4.5)

$$\text{NO}_2 \text{ (ppb)} = (0.008 \times \text{PS}) + 17.759 \quad \dots \quad (4.5)$$

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

#### 4.5 การตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

เมื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมแบบพาสซีฟในการตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ จากนั้นนำอุปกรณ์และวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ  
เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

วันที่	เวลา	สถานที่ตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (พีพีเอ็ม)
28/5/2007	12.25 - 13.35	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	0.0671
29/5/2007	11.25 - 12.25	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	0.0688
23/6/2007	11.30 - 12.30	ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม (2322)	0.0115
14/7/2007	11.30 - 12.30	ป้อมจระจก (ประต้อมัธยมสาธิต)	0.0195
14/7/2007	12.30 - 13.30	ป้อมจระจก (ประต้อมัธยมสาธิต)	0.0091
21/7/2007	12.40 - 13.40	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	0.0108
6/8/2007	11.55 - 12.55	หน้าอาคาร 23	0.0104
	13.00 - 14.00	หน้าอาคาร 23	0.0107
	14.20 - 15.20	หน้าอาคาร 23	0.0105
7/8/2007	10.20 - 11.20	หน้าอาคาร 23	0.0089
	11.25 - 12.25	หน้าอาคาร 23	0.0095
	12.30 - 13.30	หน้าอาคาร 23	0.0092
9/8/2007	10.55 - 11.55	หน้าอาคาร 22	0.0673
	12.00 - 13.00	หน้าอาคาร 22	0.0637
	13.05 - 14.05	หน้าอาคาร 22	0.0709
10/8/2007	11.24 - 12.24	ประตูทางเข้ามหาวิทยาลัย ถนนคู ทองนอก	0.1058
	11.29 - 12.29	ด้านข้างอาคารคณะครุศาสตร์	0.0972
	11.34 - 12.34	ด้านหน้าอาคารศรีจุฑาภา	0.1009
	11.38 - 12.38	ด้านข้างร้านเบเกอรี่ (ป้อมจระจก)	0.1075
	11.49 - 12.49	ด้านข้างอาคาร 37	0.0936
	12.04 - 13.04	ด้านข้างอาคาร 42	0.1099

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

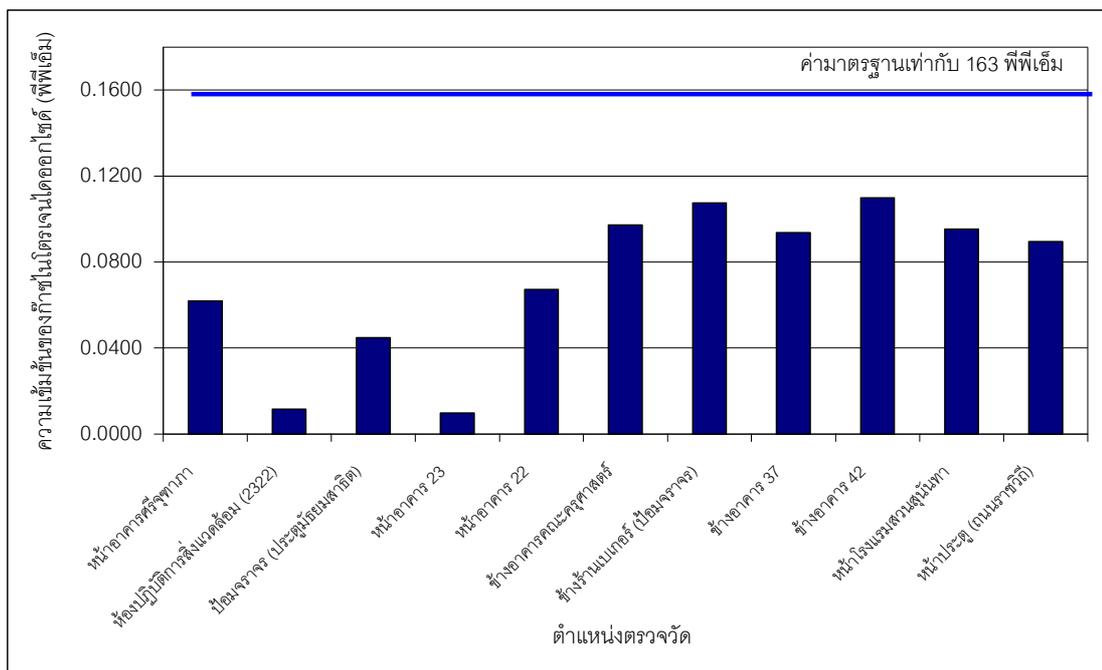
วันที่	เวลา	สถานที่ตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (พีพีเอ็ม)
10/8/2007	12.09 - 13.09	หน้าโรงแรมสวนสุนันทา	0.0953
	12.12 - 13.12	หน้าประตู (ถนนราชวิถี)	0.0896
ค่ามาตรฐาน			0.163

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ราย 1 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ตัวอย่างที่	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย (พีพีเอ็ม)	จำนวนการตรวจวัด
1	หน้าอาคารศรีจุฑาภา	0.0619	4
2	ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม (2322)	0.0115	1
3	ป้อมจระจร (ประตูมัธยมสาธิต)	0.0448	3
4	หน้าอาคาร 23	0.0099	6
5	หน้าอาคาร 22	0.0673	3
6	ด้านข้างอาคารคณะครุศาสตร์	0.0972	1
7	ด้านข้างร้านเบเกอรี่ (ป้อมจระจร)	0.1075	1
8	ด้านข้างอาคาร 37	0.0936	1
9	ด้านข้างอาคาร 42	0.1099	1
10	หน้าโรงแรมสวนสุนันทา	0.0953	1
11	หน้าประตู (ถนนราชวิถี)	0.0896	1
ค่ามาตรฐาน		0.163	

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ดังตารางที่ 4.17 – 4.18 และกราฟที่ 4.3 พบว่ามีค่า 0.0089 – 0.1099 พีพีเอ็ม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0543 พีพีเอ็ม โดยมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งบริเวณด้านข้างอาคาร 42 อาคารคณะเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม รองมาคือตำแหน่งด้านช่างร้านเบเกอร์ (ป้อมจระจก) หน้าอาคารศรีจุฑาภา และบริเวณประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยถนนคูทองนอก ซึ่งตำแหน่งที่ตรวจวัดเป็นตำแหน่งที่ติดกับถนน มีรถเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้มีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ออกมาทางท่อไอเสียของรถ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 0.163 พีพีเอ็ม พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด



กราฟที่ 4.3 ผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

#### 4.6 สรุปวิธีการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยวิธีการพาสซีฟ

จากผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลสามารถสรุปวิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

1. เตรียมสารเคมี ตามวิธีการวิเคราะห์
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ดังภาพที่ 4.1
3. ทำการหยดสารละลายดูดซับซึ่งเป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ และสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เข้มข้น  $1.54 \times 10^{-4}$  โมลาร์ลงบนเมมเบรนชนิดมิกซ์เซลล์ลูโลสปริมาณ 3 มิลลิลิตร เก็บอุปกรณ์ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท
4. นำไปติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง หลังจากหยดสารดูดซับแล้ว จดบันทึกเวลาเริ่มเก็บติดตั้ง วัดอุณหภูมิบรรยากาศในขณะนั้น
5. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง จดบันทึก เวลาหยุดเก็บตัวอย่าง เก็บอุปกรณ์ใส่ถุงพลาสติกและปิดสนิท
6. นำกลับไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ ซึ่งหากไม่ทำการวิเคราะห์ในทันที สามารถเก็บไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 2 ชั่วโมง หรือเก็บในตู้เย็นไม่เกิน 48 ชั่วโมง
7. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ และวัดการดูดกลืนแสง ตามวิธีการในภาคผนวก ก
8. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศและเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการที่พัฒนา มีดังนี้

1. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากกราฟมาตรฐาน ดังสมการที่

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots (4.5)$$

เมื่อ  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{nmol}/\text{m}^3$ )

V คือ ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

$\text{NO}_2^-$  คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ตัวอย่าง ( $\mu\text{M}$ ) ได้จากกราฟ หรือ สมการแสดงความสัมพันธ์

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

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

2. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (4.6)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots (4.6)$$

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

$\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{nmol}/\text{m}^3$ )

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 ชั่วโมงในหน่วย พีพีบี ทำได้ด้วยสมการที่ได้จากการพัฒนา สมการที่ (4.7)

$$\text{NO}_2 (\text{ppb}) = (0.004 \times \text{PS}) + 8.652 \quad \dots (4.7)$$

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

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

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถแปลงหน่วยเป็นหน่วยต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ดังสมการที่ (4.8) – (4.9)

$$C \text{ (ppm)} = C \text{ (mg/m}^3\text{)} \times \frac{24.45}{M_p} \quad \dots (4.8)$$

$$C \text{ (ppb)} = C \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} \times \frac{24.45}{M_p} \quad \dots (4.9)$$

เมื่อ C (ppm) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม

C (ppb) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี

C (mg/m<sup>3</sup>) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อ  
ลูกบาศก์เมตร

C (μg/m<sup>3</sup>) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัม  
ต่อลูกบาศก์เมตร

Mp คือน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ

น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) เท่ากับ 48

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ เป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ด้วยอุปกรณ์อย่างง่าย ในขั้นตอนของการศึกษาทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศด้วยวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นและนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีอิเล็กโทรดด้วยอุปกรณ์ MultiRAE IR เปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดด้วยหลักการทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟที่ได้พัฒนาขึ้นในเบื้องต้นโดยใช้เมมเบรนชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วยเมมเบรนชนิดมิกซ์เชลล์ ลูโลส ชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ เมมเบรนชนิดใยแก้ว PAD สำหรับรองกระดาษกรองในการเก็บอนุภาคฝุ่น และกระดาษ A4 โดยใช้สารดูดซับ 2 ชนิด คือ สารละลายผสมระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายโซเดียมอาร์ซีไนด์ละลายในน้ำกลั่น และสารผสมระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารโซเดียมไอโอไดด์ละลายในเมทานอล โดยจะทำการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง จากการศึกษาในเบื้องต้นนี้นำผลความเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นที่ได้จากอุปกรณ์แบบพาสซีฟในสภาวะต่าง ๆ กับผลที่ได้จากวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีอิเล็กโทรด พบว่าวิธีการที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้เมมเบรนชนิดมิกซ์เชลล์ลูโลส และเคลือบด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายโซเดียมอาร์ซีไนด์ มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.516 และ 0.493 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีอิเล็กโทรดตามลำดับ ทั้งนี้ค่าความสัมพันธ์ที่ได้ยังมีค่าไม่สูงจึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อลดปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ

จากการศึกษาเบื้องต้นทำการศึกษาเพื่อลดปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัด โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ การครอบอุปกณ์ด้วยถ้วยกระดาษเพื่อลดอิทธิพลของกระแสลม ความร้อนและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเป็น 2 เท่า และครอบด้วยถ้วยกระเบื้องทำให้มีความสัมพันธ์กันกับผลที่ได้จากวิธีเทียบเท่ามีค่าสูงขึ้น เป็น 0.979 และนำผลดังกล่าวไปวิเคราะห์ทางสถิติการวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อหาสมการที่ใช้ในการแปลงผลการตรวจวัดจากวิธีการแบบพาสซีฟให้มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์โดยวิธีเทียบเท่ามากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปวิธีการตรวจวัด

1. เตรียมสารเคมี ตามวิธีการวิเคราะห์
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ดังภาพที่ 4.1
3. ทำการหยดสารละลายดูดซับซึ่งเป็นสารผสมของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ และสารโซเดียมไฮไดรด์เข้มข้น  $1.54 \times 10^{-4}$  โมลาร์ลงบนเมมเบรนชนิดมิกซ์เซลล์ลูโลสปริมาณ 3 มิลลิลิตร เก็บอุปกรณ์ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท
4. นำไปติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัดสูงจากพื้นในช่วง 1.2 – 1.5 เมตร เป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง หลังจากหยดสารดูดซับแล้ว จดบันทึกเวลาเริ่มเก็บติดตั้ง วัดอุณหภูมิบรรยากาศในขณะนั้น
5. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง จดบันทึก เวลาหยุดเก็บตัวอย่าง เก็บอุปกรณ์ใส่ถุงพลาสติกและปิดสนิท
6. นำกลับไปที่วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ ซึ่งหากไม่ทำการวิเคราะห์ในทันที สามารถเก็บไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 2 ชั่วโมง หรือเก็บในตู้เย็นไม่เกิน 48 ชั่วโมง
7. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารซัลฟานิลไมด์ และสารเอ็นอีดีเอ และวัดการดูดกลืนแสง ตามวิธีการในภาคผนวก ก
8. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศและเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการที่พัฒนา มีดังนี้

1. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากกราฟมาตรฐาน ดังสมการที่ (5.1)

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \dots (5.1)$$

เมื่อ  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmoles/m<sup>3</sup>)

V คือ ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

$\text{NO}_2^-$  คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ตัวอย่าง ( $\mu\text{M}$ ) ได้จากกราฟ หรือ สมการแสดงความสัมพันธ์

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

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

2. ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (4.6)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots (5.2)$$

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

$\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmoles/m<sup>3</sup>)

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 ทำได้ด้วยสมการที่ได้จากการพัฒนา สมการที่ (5.3)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = (0.004 \times \text{PS}) + 8.652 \quad \dots (5.3)$$

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

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

ผลการนำอุปกรณ์แบบพาสซีฟไปตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.0089 – 0.1099 พีพีเอ็ม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0543 พีพีเอ็ม โดยมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งบริเวณด้านข้างอาคาร 42 อาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รองมาคือตำแหน่งด้านข้างร้านเบเกอรี่ (บ่อมจรรยา) หน้าอาคารศรีจุฬาฯ และบริเวณประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยถนนอุทงนอก ซึ่งตำแหน่งที่ตรวจวัดเป็นตำแหน่งที่ติดกับถนนมีรถเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้มีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ออกมาทางท่อไอเสียของรถ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 0.163 พีพีเอ็ม พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

## 5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคต

1. การศึกษานี้ยังไม่มีการศึกษาถึงระยะเวลาที่แน่นอนในการเก็บตัวอย่างอุปกรณ์ หลังจากการเคลือบสารดูดซับ ใช้ผลในการปฏิบัติจริง นำไปติดตั้งหลังจากหดยสารดูดซับแล้วภายในเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากเก็บตัวอย่างแล้วทำการตรวจวัดภายในเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง ซึ่งน่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของระยะเวลาในการเก็บทั้งก่อนเก็บตัวอย่างและหลังจากเก็บตัวอย่างแล้วก่อนนำไปวิเคราะห์ เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสม และคำนึงถึงการทำงานจริงที่สถานที่เก็บตัวอย่างกับสถานที่วิเคราะห์ซึ่งอยู่ห่างกันต้องใช้ระยะเวลาในการเดินทาง
2. การประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดในพื้นที่จราจรติดขัด
3. การพัฒนาหาเมมเบรนที่เหมาะสมที่ใช้วัสดุที่ทำจากเซลล์ลูโลสที่ผลิตได้ในประเทศ เพื่อลดต้นทุนในการตรวจวัด
4. 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 (NOx)**. 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 NO<sub>2</sub> และ SO<sub>2</sub>, เอกสารประกอบการสัมมนาระดมความคิดเห็น การประยุกต์ใช้ Passive sampling ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ**. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2543. **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในถนนที่มีลักษณะคล้ายอุโมงค์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- \_\_\_\_\_. 2549. **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- \_\_\_\_\_. 2549. **เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- \_\_\_\_\_. 2550. **การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- สรารัฐ เทพานนท์. 2548. **วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซนในบรรยากาศโดยเทคนิค Passive sampling**. กรุงเทพมหานคร : สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ.
- สุกรานต์ ไรจนไพรวงศ์ (บก.). 2544. **สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย 2542-43**. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิโลกสีเขียว.
- สุทิน อยู่สุข วรารัฐ เสือดี มีนา ทิพย์โสภณกิจ ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ และเกรียงศักดิ์ เจียรพสุอนันต์. 2544. **ศัพท์บัญญัติและนิยามมลพิษทางอากาศ**. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- Ayers, G.P., Keywood, M.D., Gillett, R.W., Manins, P.C., Malfroy, M. & Bardsley, T. 1998. Validation of passive diffusion sampler for SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> concentrations gradient in Sao Paulo, Brazil. **Environental 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 <sub>x</sub> )	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

### ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเทียบเท่า วิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยวิธีเทียบเท่า วิธีโซเดียมอาร์ซีไนต์

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ในการหา ความเข้มข้นของ NO <sub>2</sub> โดยวิธี เทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (มล./นาที่)	เวลา เก็บ (นาที่)	ปริมาตร อากาศ (M <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/M <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppb)
1	30 มีนาคม 2550	0.155	$y=0.4801x + 0.0687$	0.1798	550.00	60.00	0.0330	292.8547	0.0155	15.5213
2	2 เมษายน 2550	0.145	$y=0.2369x + 0.0807$	0.2714	550.00	63.33	0.0348	418.9486	0.0222	22.2043
3	4 เมษายน 2550	0.18	$y=0.4315x + 0.0887$	0.2208	550.00	61.83	0.0340	349.0763	0.0185	18.5010
4	5 เมษายน 2550	0.01	$y=0.4168x + 0.0005$	0.0228	133.80	63.05	0.0084	145.2586	0.0077	7.6987
5	26 เมษายน 2550	0.166	$y=0.4727x + 0.1446$	0.0453	133.80	61.45	0.0082	296.0310	0.0157	15.6896
6	30 เมษายน 2550	0.069	$y=0.4308x + 0.0415$	0.0638	89.80	60.00	0.0054	636.9663	0.0338	33.7592
7	2 พฤษภาคม 2550	0.186	$y=0.5075x + 0.1437$	0.0833	200.00	62.00	0.0124	361.3846	0.0192	19.1534
8	3 พฤษภาคม 2550	0.255	$y=0.4748x + 0.1777$	0.1628	280.00	63.00	0.0176	496.2006	0.0263	26.2986
9	4 พฤษภาคม 2550	0.212	$y=0.4776x + 0.1758$	0.0758	300.00	63.30	0.0080	507.6027	0.0269	26.9029

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ในการหา ความเข้มข้นของ NO <sub>2</sub> โดยวิธี เทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (มล./นาที่)	เวลา เก็บ (นาที่)	ปริมาตร อากาศ (M <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/M <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppb)
10	9 พฤษภาคม 2550	0.242	$y=0.4745x + 0.2082$	0.0712	133.80	60.52	0.0081	472.9470	0.0251	25.0662
11	11 พฤษภาคม 2550	0.258	$y=0.4919x + 0.1917$	0.1348	170.00	60.00	0.0102	710.4338	0.0377	37.6530
12	14 พฤษภาคม 2550	0.22	$y=0.4841x + 0.1684$	0.1066	300.00	62.16	0.0186	307.3048	0.0163	16.2872
13	15 พฤษภาคม 2550	0.343	$y=0.4716x + 0.2403$	0.2178	550.00	60.00	0.0330	354.7887	0.0188	18.8038
14	16 พฤษภาคม 2550	0.306	$y=0.4821x + 0.2475$	0.1213	138.80	60.00	0.0083	783.3666	0.0415	41.5184
15	22 พฤษภาคม 2550	0.24	$y=0.4775x + 0.2246$	0.0323	133.80	35.68	0.0048	363.2064	0.0192	19.2499
16	23 พฤษภาคม 2550	0.12	$y=0.4869x + 0.1044$	0.0320	133.80	62.75	0.0084	205.1644	0.0109	10.8737
17	25 พฤษภาคม 2550	0.125	$y=0.4673x + 0.1042$	0.0445	89.80	50.00	0.0045	532.9768	0.0282	28.2478
18	28 พฤษภาคม 2550	0.279	$y=0.4282x + 0.2326$	0.1084	89.80	60.00	0.0054	1081.2616	0.0573	57.3069
19	29 พฤษภาคม 2550	0.279	$y=0.4282x + 0.2326$	0.1084	89.80	60.00	0.0054	1081.2616	0.0573	57.3069
20	23 มิถุนายน 2550	0.271	$y=0.4591x + 0.2058$	0.1420	89.80	60.00	0.0054	1417.0976	0.0751	75.1062
21	13 กรกฎาคม 2550	0.347	$y=0.4866x + 0.3332$	0.0284	150.00	60.00	0.0090	169.4149	0.0090	8.9790
22	14 กรกฎาคม 2550	0.226	$y=0.6707x + 0.1406$	0.1273	89.80	60.00	0.0054	1270.5420	0.0673	67.3387

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วันที่	ค่าการ ดูดกลิ่น แสง (A)	สมการความสัมพันธ์ในการหา ความเข้มข้นของ NO <sub>2</sub> โดยวิธี เทียบเท่า (จากกราฟมาตรฐาน)	ความ เข้มข้น จากกราฟ	อัตราการ ไหล (มล./นาที่)	เวลา เก็บ (นาที่)	ปริมาตร อากาศ (M <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/M <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppb)
23	14 กรกฎาคม 2550	0.185	$y=0.4618x + 0.1611$	0.0518	133.80	60.00	0.0080	346.5961	0.0184	18.3696
24	21 กรกฎาคม 2550	0.168	$y=0.4618x + 0.1611$	0.0149	133.80	60.00	0.0080	100.0633	0.0053	5.3034
25	6 สิงหาคม 2550	0.196	$y=0.4716x + 0.1866$	0.0199	133.80	60.00	0.0080	133.4854	0.0071	7.0747
26	6 สิงหาคม 2550	0.27	$y=0.4603x + 0.2455$	0.0532	150.00	60.00	0.0090	317.9579	0.0169	16.8518
27	6 สิงหาคม 2550	0.267	$y=0.4603x + 0.2456$	0.0467	150.00	60.00	0.0090	279.0243	0.0148	14.7883
28	7 สิงหาคม 2550	0.264	$y=0.4603x + 0.2457$	0.0402	150.00	60.00	0.0090	240.0907	0.0127	12.7248
29	7 สิงหาคม 2550	0.216	$y=0.4909x + 0.1965$	0.0397	150.00	60.00	0.0090	237.2937	0.0126	12.5766
30	7 สิงหาคม 2550	0.216	$y=0.4909x + 0.1966$	0.0397	150.00	60.00	0.0090	237.2937	0.0126	12.5766
31	9 สิงหาคม 2550	0.212	$y=0.4909x + 0.1967$	0.0316	150.00	60.00	0.0090	188.6180	0.0100	9.9968
32	9 สิงหาคม 2550	0.229	$y=0.1975x + 0.2857$	0.1103	80.00	60.00	0.0048	1234.9408	0.0655	65.4519
33	9 สิงหาคม 2550	0.225	$y=0.1975x + 0.2858$	0.0963	80.00	60.00	0.0048	1078.1229	0.0571	57.1405
34	9 สิงหาคม 2550	0.226	$y=0.1975x + 0.2859$	0.0998	80.00	60.00	0.0048	1117.3274	0.0592	59.2184

## ภาคผนวก ค

### ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ

ตัวอย่าง ที่	วันที่	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			เริ่มเก็บตัวอย่าง	สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง
1	30 มีนาคม 2550	13.15 – 14.15	36.0	37.0
2	2 เมษายน 2550	13.30 – 14.30	39.0	37.0
3	4 เมษายน 2550	10.50 – 11.50	35.0	36.0
4	5 เมษายน 2550	13.25 – 14.25	36.0	36.0
5	26 เมษายน 2550	11.15 – 12.15	37.0	39.0
6	30 เมษายน 2550	11.10 – 12.10	29.0	31.0
7	2 พฤษภาคม 2550	11.05 – 12.05	30.0	31.0
8	3 พฤษภาคม 2550	11.05 – 12.05	31.0	32.0
9	4 พฤษภาคม 2550	11.30 – 12.30	30.0	31.0
10	9 พฤษภาคม 2550	12.50 – 13.50	29.0	30.0
11	11 พฤษภาคม 2550	11.30 – 12.30	31.0	33.0
12	14 พฤษภาคม 2550	11.10 – 12.10	30.0	29.0
13	15 พฤษภาคม 2550	11.40 – 12.40	29.0	28.0
14	16 พฤษภาคม 2550	11.10 – 12.10	33.0	32.0
15	22 พฤษภาคม 2550	11.20 – 12.20	40.0	36.0
16	23 พฤษภาคม 2550	10.45 – 11.45	36.0	34.0
17	25 พฤษภาคม 2550	11.20 – 12.20	34.0	33.0
18	28 พฤษภาคม 2550	12.25 – 13.25	36.0	34.0

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วันที่	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			เริ่มเก็บตัวอย่าง	สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง
19	29 พฤษภาคม 2550	11.25 – 12.25	34.0	33.0
20	23 มิถุนายน 2550	11.30 – 12.30	30.0	29.0
21	13 กรกฎาคม 2550	11.30 – 14.30	31.0	34.0
22	14 กรกฎาคม 2550	11.30 – 12.30	35.0	34.0
23	14 กรกฎาคม 2550	12.30 – 13.30	36.0	34.0
24	21 กรกฎาคม 2550	12.40 – 13.40	34.0	32.5
25	6 สิงหาคม 2550	11.55 – 12.55	31.5	32.1
26	6 สิงหาคม 2550	13.00 – 14.00	32.1	32.0
27	6 สิงหาคม 2550	14.20 – 15.20	32.0	31.0
28	7 สิงหาคม 2550	10.20 – 11.20	30.0	31.0
29	7 สิงหาคม 2550	11.25 – 12.25	31.0	30.5
30	7 สิงหาคม 2550	12.30 – 13.30	30.5	31.0
31	9 สิงหาคม 2550	10.55 – 11.55	31.9	30.5
32	9 สิงหาคม 2550	12.00 – 13.00	30.5	31.5
33	9 สิงหาคม 2550	13.05 – 14.05	31.5	32.5
34	10 สิงหาคม 2550	11.24 – 12.24	31.5	32.0
35	10 สิงหาคม 2550	11.29 – 12.29	34.0	33.0
36	10 สิงหาคม 2550	11.34 – 12.34	33.0	32.0
37	10 สิงหาคม 2550	11.38 – 12.38	33.5	33.0
38	10 สิงหาคม 2550	11.49 – 12.49	32.5	33.2
39	10 สิงหาคม 2550	12.04 – 13.04	33.0	34.0
40	10 สิงหาคม 2550	12.09 – 13.09	32.0	34.1
41	10 สิงหาคม 2550	12.12 – 12.12	32.5	33.3

## ภาคผนวก ง

### ผลการวัดการดูดกลืนแสง

ตารางที่ ง.1 ผลการวัดการดูดกลืนแสง

วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการดูดกลืนแสง (A)							
		สารที่ใช้เคลือบ สารผสมระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ กับโซเดียมอาร์ซีไนต์				สารที่ใช้เคลือบเป็นสารผสม ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับสารโซเดียมไอโอดีด์			
		glass fiber	MCE	PVC	pad	glass fiber	MCE	PVC	pad
23 มีนาคม 2550	1	0.059	-	-	-	0.077	-	-	-
	2	0.045	-	-	-	0.073	-	-	-
	น้ำกลั่น	-	-	-	-	0.04	-	-	-
27 มีนาคม 2550	1	0.053	-	-	0.021	0.067	-	-	-
	2	0.037	-	-	-	0.05	-	-	-
	3	0.029	-	-	-	0.075	-	-	-
	น้ำกลั่น	0.007	-	-	-	0.039	-	-	-
28 มีนาคม 2550	1	0.074	-	-	-	0.074	-	-	-
	2	0.075	-	-	-	0.075	-	-	-
	น้ำกลั่น	0.081	-	-	-	0.079	-	-	-
	น้ำกลั่น	0.079	-	-	-	-	-	-	-
30 มีนาคม 2550	1	0.092	-	-	-	0.08	-	-	-
	2	0.8	-	-	-	0.083	-	-	-
	3	0.083	-	-	-	-	-	-	-
	น้ำกลั่น	0.073	-	-	-	0.073	-	-	-

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการดูดกลืนแสง (A)							
		สารที่ใช้เคลือบเป็นสารผสมระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ กับโซเดียมอาร์ซีไนต์				สารที่ใช้เคลือบเป็นสารผสม ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับสารโซเดียมไอโอไดด์			
		glass fiber	MCE	PVC	pad	glass fiber	MCE	PVC	pad
2 เมษายน 2550	1	0.082	1.55	0.031	-	0.115	0.151	0.065	-
	2	0.03	2.18	0.007	-	0.136	0.139	0.068	-
	น้ำกลั่น	0.01	0.004	0	-	0.086	0.066	0.062	-
4 เมษายน 2550	1	0.046	1.51	0.02	-	0.101	0.025	0.008	-
	2	0.039	2.59	0.013	-	0.079	0.04	0.005	-
	น้ำกลั่น	0.015	0.038	-	-	0.003	0.017	-	-
5 เมษายน 2550	1	0.084	1.8	-	-	0.117	0.126	-	-
	2	0.066	1.9	-	-	0.137	0.14	-	-
	น้ำกลั่น	0.118	0.005	-	-	0.028	0.023	-	-
26 เมษายน 2550	1	0.743	1.606	0.213	-	1.88	1.788	1.186	-
	2	0.21	1.874	0.136	-	1.758	1.858	2.125	-
	น้ำกลั่น	0.17	0.139	0.12	-	0.173	0.172	0.169	-
30 เมษายน 2550	1	0.186	2.46	0.194	-	0.522	0.144	0.362	-
	2	0.196	2.365	0.158	-	0.39	0.37	0.209	-
	น้ำกลั่น	0.169	0.427	0.14	-	0.175	0.168	0.13	-
2 พฤษภาคม 2550	1	0.246	2	0.164	-	0.131	0.044	0.044	-
	2	0.253	1.878	0.162	-	0.093	0.085	0.016	-
	น้ำกลั่น	0.22	0.269	0.156	-	0.053	0.064	0.007	-

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการดูดกลืนแสง (A)							
		สารที่ใช้เคลือบ สารผสมระหว่าง				สารที่ใช้เคลือบเป็นสารผสม			
		โซเดียมไฮดรอกไซด์				ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์			
กับโซเดียมอาร์ซีไนต์				กับสารโซเดียมไอโอไดด์					
		glass fiber	MCE	PVC	pad	glass fiber	MCE	PVC	pad
3 พฤษภาคม 2550	1	0.23	1.712	0.21	0.286	0.297	0.165	0.188	0.25
	2	0.26	1.596	0.217	0.303	0.233	0.164	0.172	0.232
	น้ำกลั่น	0.204	0.202	0.174	0.224	0.213	0.171	0.152	0.203
4 พฤษภาคม 2550	1	0.229	2.065	0.234	0.135	0.221	0.187	0.183	0.186
	2	0.24	2.12	0.22	0.242	0.202	0.182	0.179	0.199
	น้ำกลั่น	0.238	0.22	0.183	0.211	0.224	0.182	0.179	0.203
9 พฤษภาคม 2550	1	0.234	1.89	0.339	0.29	0.24	0.203	0.193	0.256
	2	0.237	2.16	0.309	0.299	0.232	0.204	0.188	0.267
	น้ำกลั่น	0.196	0.284	0.223	0.243	0.212	0.205	0.182	0.234
11 พฤษภาคม 2550	1	0.276	1.316	0.252	0.314	0.269	0.228	0.204	0.246
	2	0.3	2.47	0.275	0.308	0.252	0.217	0.225	0.231
	น้ำกลั่น	0.207	0.247	0.219	0.247	0.224	0.204	0.197	0.237
14 พฤษภาคม 2550	1	0.29	1.168	0.217	0.219	0.24	0.183	0.172	0.196
	2	0.216	0.99	0.211	0.228	0.197	0.184	0.197	0.189
	น้ำกลั่น	0.191	0.207	0.185	0.202	0.186	0.181	0.168	0.186
15 พฤษภาคม 2550	1	0.312	2.69	0.461	0.378	0.343	0.262	0.244	0.273
	2	0.296	2.56	0.42	0.363	0.385	0.256	0.245	0.274
	น้ำกลั่น	0.258	0.395	0.305	0.314	0.341	0.261	0.251	0.277

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

วันที่	ตัวอย่าง ที่	ค่าการดูดกลืนแสง (A)							
		สารที่ใช้เคลือบ สารผสมระหว่าง				สารที่ใช้เคลือบเป็นสารผสม			
		โซเดียมไฮดรอกไซด์				ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์			
กับโซเดียมอาร์ซีไนต์				กับสารโซเดียมไอโอไดด์					
		glass fiber	MCE	PVC	pad	glass fiber	MCE	PVC	pad
16 พฤษภาคม 2550	1	0.332	2.52	0.327	0.359	0.322	0.289	0.237	0.244
	2	0.326	2.8	0.321	0.265	0.332	0.294	0.24	0.251
	3	0.232	0.313	0.27	0.276	0.285	0.246	0.234	0.263
22 พฤษภาคม 2550	1	0.133	1.92	0.236	0.157	0.29	0.335	0.238	0.229
	2	0.123	2.41	0.171	0.133	0.32	0.371	0.412	0.235
	น้ำกลั่น	0.105	0.117	0.105	0.109	0.247	0.236	0.229	0.231
23 พฤษภาคม 2550	1	0.146	1.596	0.188	0.136	0.64	0.177	0.121	0.125
	2	0.137	1.768	0.174	0.131	0.159	0.227	0.135	0.126
	น้ำกลั่น	0.114	0.161	0.124	0.119	0.122	0.124	0.117	0.12
25 พฤษภาคม 2550	1	0.146	2.94	0.181	0.162	1.986	0.358	0.149	0.139
	2	0.139	2.76	0.169	0.138	0.178	0.297	0.136	0.137
	น้ำกลั่น	0.126	0.17	0.134	0.13	0.143	0.14	0.133	0.135

## ภาคผนวก จ

### สมการความสัมพันธ์ ของกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ จ.1 สมการความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน

วันที่	สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างไซเดียมไฮดรอกไซด์กับไซเดียมอาร์ซีไนต์		สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างไซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารไซเดียมไอโอไดด์		วิธีเทียบเท่าวิธีไซเดียมอาร์ซีไนต์	
	สมการ	R <sup>2</sup>	สมการ	R <sup>2</sup>	สมการ	R <sup>2</sup>
23 มีนาคม 2550	$y=0.0313x + 0.0661$	0.9988	$y=0.0323x + 0.0753$	0.998		
27 มีนาคม 2550	$y=0.0176x + 0.0108$	0.9918	$y=0.0177x + 0.0006$	0.9993		
28 มีนาคม 2550	$y=0.0176x + 0.0108$	0.9987	$y=0.0317x + 0.0247$	0.9784		
30 มีนาคม 2550	$y=0.0176x + 0.0108$	0.9989	$y=0.0275x + 0.0111$	0.9979	$y=0.4801x + 0.0687$	0.9976
2 เมษายน 2550	$y=0.0125x + 0.0095$	0.9977	$y=0.0129x + 0.057$	0.9971	$y=0.2369x + 0.0807$	0.9989
4 เมษายน 2550	$y=0.0258x + 0.01$	0.9991	$y=0.0241x + 0.0115$	0.9989	$y=0.4315x + 0.0887$	0.9982
5 เมษายน 2550	$y=0.0239x + 0.0233$	0.9998	$y=0.0215x + 0.046$	0.9947	$y=0.4168x + 0.0005$	0.9987
26 เมษายน 2550	$y=0.0154x + 0.558$	0.922	$y=0.251x + 0.12$	0.9884	$y=0.4727x + 0.1446$	0.9997
30 เมษายน 2550	$y=0.025x + 0.009$	0.9999	$y=0.023x + 0.118$	0.9959	$y=0.4308x + 0.0415$	0.9898

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

วันที่	สารดูดซับ สารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมอาร์ซีไนด์		สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารโซเดียมไอโอดด์		วิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์	
	สมการ	R <sup>2</sup>	สมการ	R <sup>2</sup>	สมการ	R <sup>2</sup>
2 พฤษภาคม 2550	$y=0.027x + 0.2029$	0.9993	$y=0.0281x + 0.0795$	0.9629	$y=0.5075x + 0.1437$	0.9964
3 พฤษภาคม 2550	$y=0.0275x + 0.1825$	0.9999	$y=0.0261x + 0.1539$	0.9993	$y=0.4748x + 0.1777$	0.9048
4 พฤษภาคม 2550	$y=0.0291x + 0.188$	0.9994	$y=0.0255x + 0.1813$	0.9987	$y=0.4776x + 0.1758$	0.9994
9 พฤษภาคม 2550	$y=0.0272x + 0.2133$	0.9993	$y=0.248x + 0.1919$	0.9999	$y=0.4745x + 0.2082$	0.9984
11 พฤษภาคม 2550	$y=0.0294x + 0.1965$	0.9996	$y=0.0241x + 0.1501$	0.9998	$y=0.4919x + 0.1917$	
14 พฤษภาคม 2550	$y=0.0287x + 0.2173$		$y=0.091x + 0.1716$		$y=0.4841x + 0.1684$	
15 พฤษภาคม 2550	$y=0.0309x + 0.2597$	0.9961	$y=0.0272x + 0.2426$	0.9905	$y=0.4716x + 0.2403$	
16 พฤษภาคม 2550	$y=0.0263x + 0.2195$	0.9998	$y=0.0278x + 0.2862$	1	$y=0.4821x + 0.2475$	
22 พฤษภาคม 2550	$y=0.0259x + 0.2359$	1	$y=0.0199x + 0.2872$	0.9896	$y=0.4775x + 0.2246$	0.9999
23 พฤษภาคม 2550	$y=0.0276x + 0.1362$	0.9997	$y=0.0227x + 0.2127$	0.9953	$y=0.4869x + 0.1044$	0.9998
25 พฤษภาคม 2550	$y=0.0257x + 0.1307$	0.9996	$y=0.0266x + 0.1543$	0.9999	$y=0.4673x + 0.1042$	0.9994
28 พฤษภาคม 2550	$y=0.0277x + 0.1456$	0.9986			$y=0.4282x + 0.2326$	0.9982
29 พฤษภาคม 2550	$y=0.0248x + 0.1565$	0.9981			$y=0.4591x + 0.2058$	0.9992

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

วันที่	สารดูดซับ สารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมอาร์ซีไนด์		สารดูดซับเป็นสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสารโซเดียมไอโอไดด์		วิธีเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์	
	สมการ	R <sup>2</sup>	สมการ	R <sup>2</sup>	สมการ	R <sup>2</sup>
23 มิถุนายน 2550	$y=0.0263x + 0.3455$	0.999			$y=0.4866x + 0.3332$	0.9997
13 กรกฎาคม 2550	$y=0.0254x + 0.2162$	0.9996			$y=0.6707x + 0.1406$	0.9868
14 กรกฎาคม 2550	$y=0.0261x + 0.1721$	0.9997			$y=0.4618x + 0.1611$	0.9998
21 กรกฎาคม 2550	$y=0.0235x + 0.217$	0.9984			$y=0.4716x + 0.1866$	0.9993
6 สิงหาคม 2550	$y=0.0235x + 0.2732$	0.9588			$y=0.4603x + 0.2455$	0.9977
7 สิงหาคม 2550	$y=0.0286x + 0.2075$	0.9992			$y=0.4909x + 0.1965$	1
9 สิงหาคม 2550	$y=0.0265x + 0.2263$	0.9934			$y=0.1975x + 0.2857$	0.9993
10 สิงหาคม 2550	$y=0.019x + 0.2304$	0.9935				

ภาคผนวก จ

ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงในการทดสอบเพื่อปรับปรุงวิธีการตรวจวัด

ตารางที่ จ.1 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อปรับปรุงวิธีการตรวจวัด

วันที่	วิธีที่ 1			วิธีที่ 2			วิธีที่ 3		วิธีที่ 4	
	หยุดสาร ดูดซับ	หยุดสาร ดูดซับ	น้ำกลั่น	หยุดสาร ดูดซับ	หยุดสาร ดูดซับ	น้ำกลั่น	หยุดสาร ดูดซับ	หยุดสาร ดูดซับ	หยุดสาร ดูดซับ	หยุดสาร ดูดซับ
28/5/2007	2.9	2.96	0.235	2.145	2.045	0.225	2.54	2.98	2.26	2.5
29/5/2007	1.842	1.472	0.385	1.096	1.244	0.207	2.29	2.82	2.365	2.045
23/6/2007	1.444	0.923	0.346	0.894	0.846	0.341	2.66	2.135	1.826	1.546
13/7/2007	2.64	2.45	0.234	2.24	1.988	0.251	1.22	1.5	1.49	1.968
14/7/2007	1.25	1.25	0.213	1.972	1.972	0.213	2.8	2.96	2.51	2.9
	2.41	1.864	0.261	0.918	0.988	0.326	0.458	0.544	0.406	0.466
21/7/2007	0.607	0.723	0.367	0.543	0.484	0.248	0.978	1.204	0.761	0.98
6/8/2007	2.385		0.378	2.015		0.414	1.78		1.068	

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

วันที่	วิธีที่ 1			วิธีที่ 2			วิธีที่ 3		วิธีที่ 4	
	หยุดसार จุดซัป	หยุดसार จุดซัป	น้ำกลั่น	หยุดसार จุดซัป	หยุดसार จุดซัป	น้ำกลั่น	หยุดसार จุดซัป	หยุดसार จุดซัป	หยุดसार จุดซัป	หยุดसार จุดซัป
	1.742		0.312	1.66		0.378	1.478		1.114	
	1.942		0.478	1.298		0.444	1.234		1.132	
(3 ชม.)	2.19		0.34	1.472		0.311	1.346		1.096	
7/8/2007	1.064		0.345	0.987		0.298	0.403		0.38	
	1.79		0.586	1.508		0.264	0.612		0.493	
	0.539		0.3	0.242		0.248	0.876		0.415	
(3 ชม.)	1.146		0.214	0.923		0.204	0.645		0.406	
9/8/2007	1.772		0.269	0.611		0.223	2.76		2.32	
	1.644		0.297	1.15		0.276	2.42		2.245	
	2.51		0.251	0.967		0.25	2.888		2.468	
(3 ชม.)	2.44		0.198	1.614		0.234	3		2.39	

## 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)

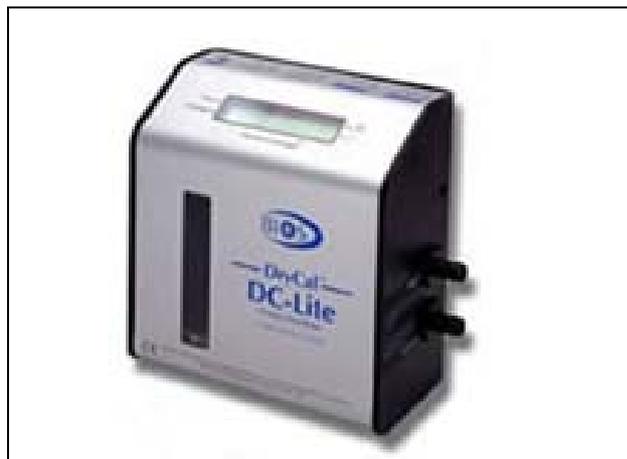


ภาพที่ ซ.1 อิมพินเจอร์

แหล่งที่มา : ICES, 1999, p. 5-6



ภาพที่ ๕.2 ป้มนขนาดเล็กที่ใช้ดูดอากาศ เก็บตัวอย่างอากาศ



ภาพที่ ๕.3 เครื่องปรับเทียบอัตราการไหลของป้มน

## ซ.2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

สารเคมีและการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซและวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีดังนี้

### 1. สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายดูดซึม (Absorbing)

#### 1.1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

#### 1.2. โซเดียมอาร์ซีไนต์ (NaAsO<sub>2</sub>)

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 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) เข้มข้น 85 % ของปริมาตร 50 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็น)

2.2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) เตรียมโดยเจือจางสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 30 % ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็นในที่มืด)

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

### 3. สารละลายมาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์

3.1. ในการเตรียมจะต้องใช้ Sodium Nitrite (NaNO<sub>2</sub>) ที่ระดับความบริสุทธิ์ของร้อยละ 97 (97 % NaNO<sub>2</sub>) เป็นอย่างน้อย

#### 3.2. สารละลาย Sodium Nitrite Stock Solution สามารถเตรียมได้ดังนี้

3.2.1 ชั่ง NaNO<sub>2</sub> อย่างละเอียด ระดับ 0.1 มิลลิกรัม โดยน้ำหนักของสารที่ชั่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (ซ - 1)

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

โดย  $G =$  น้ำหนักของ  $\text{NaNO}_2$  (กรัม)

$1.5 =$  Gravimetric conversion factor

$A =$  % ของ  $\text{NaNO}_2$  ในสารเคมี

3.2.2 เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมของ  $\text{NO}_2$  ต่อมิลลิลิตร

3.3. สารละลาย Sodium Nitrite Working Standard (10 ไมโครกรัมของ  $\text{NO}_2$  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

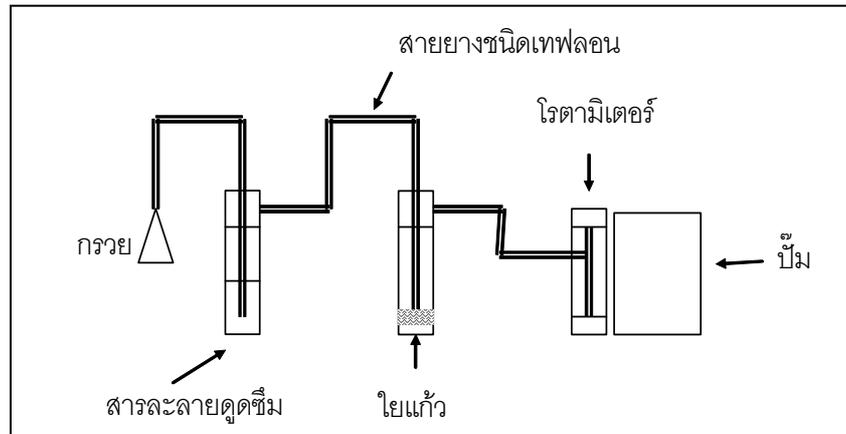
1.2. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศหรือก๊าซให้มีอัตราการไหลอยู่ในช่วงประมาณ 130 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อใช้เวลาเก็บ 3 ชั่วโมง โดยใช้มาตรฐานการไหลเป็นอุปกรณ์เปรียบเทียบ

1.3. เติมสารละลายดูดซึ่มเพื่อเป็นสารที่ใช้จับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ลงในอิมพินเจอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.4. เริ่มทำการเก็บตัวอย่าง

1.5. เมื่อหยุดเก็บตัวอย่างให้ดูอัตราการไหลของอากาศอีกครั้งหนึ่ง จดบันทึกค่า

1.6. เก็บตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์



ภาพที่ ข.3 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

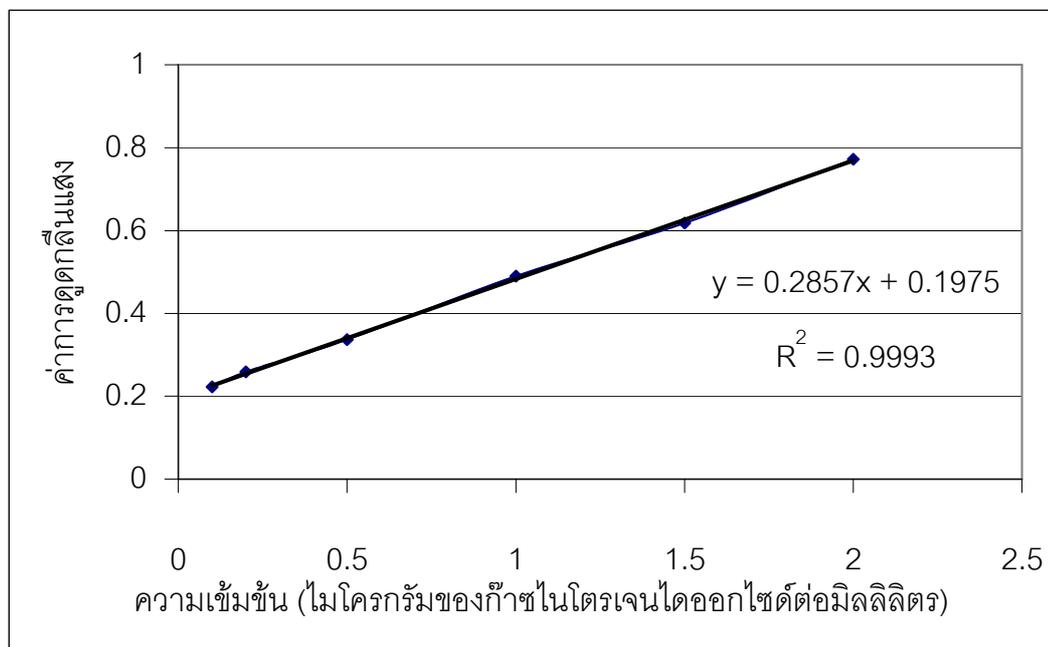
2.8 นำค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลีนแสง (แกน Y) กับความเข้มข้นของสาร ในหน่วยไมโครกรัมของ  $\text{NO}_2$  ต่อ มิลลิลิตร (แกน X) จะทำให้ได้เส้นกราฟมาตรฐาน

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 พีพีเอ็ม ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางในภาคผนวก ข.

## ภาคผนวก ซ

### การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ (MultiRAE IR)

#### ซ.1 อุปกรณ์

เครื่องมือวัดปริมาณสารระเหยในบรรยากาศ รุ่น MultiRAE IR ดังภาพที่ ซ.1



ภาพที่ ซ.1 เครื่องมือตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

#### ซ. 2 ขั้นตอนการตรวจวัด

ขั้นตอนการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีดังนี้

1. ทำการเช็คแบตเตอรี่ของเครื่องมือ
2. ตั้งเวลาการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง
3. ติดตั้งเครื่องมือที่ระดับความสูงเหนือพื้นดิน 1.2 เมตร แต่ไม่เกิน 1.5 เมตร
4. เปิดเครื่องเริ่มทำการตรวจวัด และเปิดระบบการบันทึกข้อมูล
5. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง หยุดระบบการบันทึกข้อมูล ปิดเครื่อง
6. นำเครื่องมือต่อสายสัญญาณเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อดึงข้อมูลเข้าสู่

คอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ปรากฏแสดงดังตารางที่

7. คำนวณผลการตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

ตารางที่ ๕.1 ตัวอย่างผลการตรวจวัดด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์

Instrument: Multi-gas Monitor (IR)      Serial Number: 900657  
 User ID: 00000001      Site ID: 00000001  
 Data Points: 3653      Data Type: Avg      Sample Period: 1 sec  
 Last Calibration Time: 09/27/2006 15:57

Gas Type:		NO <sub>2</sub> (ppm)	VOC(ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	LEL(%)	OXY(%)					
High Alarm Levels:		10	100	8000	60	23.5					
Low Alarm Levels:		1	50	8000	20	9.5					
Line#	Date Time	NO <sub>2</sub> (ppm)	Alarm	VOC(ppm)	Alarm	CO <sub>2</sub> (ppm)	Alarm	LEL(%)	Alarm	OXY(%)	Alarm
1	05/28/2007 12:17	0		1.5		820		0		20.9	
2	05/28/2007 12:17	0		1.5		750		0		20.9	
3	05/28/2007 12:17	0		1.5		820		0		20.9	
4	05/28/2007 12:17	0		1.4		910		0		20.9	
5	05/28/2007 12:17	0		1.4		910		0		20.9	
6	05/28/2007 12:17	0		1.3		890		0		20.9	
7	05/28/2007 12:17	0		1.3		870		0		20.9	
8	05/28/2007 12:17	0		1.2		870		0		20.9	
9	05/28/2007 12:17	0		1.3		850		0		20.9	
10	05/28/2007 12:17	0		1.3		850		0		20.9	
11	05/28/2007 12:17	0		1.3		850		0		20.9	
12	05/28/2007 12:17	0		1.4		850		0		20.9	
13	05/28/2007 12:17	0.1		1.3		920		0		20.9	
14	05/28/2007 12:17	0		1.3		1000		0		20.9	
15	05/28/2007 12:17	0.1		1.3		890		0		20.9	
16	05/28/2007 12:17	0.1		1.3		800		0		20.9	
17	05/28/2007 12:17	0		1.4		800		0		20.9	
18	05/28/2007 12:17	0		1.4		820		0		20.9	
19	05/28/2007 12:17	0.1		1.3		820		0		20.9	
20	05/28/2007 12:17	0.1		1.3		820		0		20.9	

## ภาคผนวก ฅ

### วิธีการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ วิธีพาสซีฟโดยใช้สารละลายผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารโซเดียมอาร์ซีไนต์เป็นสารดูดซับ

#### ฅ.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย

1. เมมเมรน
2. คาสเซตท์ (filter cassette) สำหรับใช้เก็บอนุภาคฝุ่น
3. ถังพลาสติกชนิดมีซีบ
4. เชือก
5. ขาตั้งกล่อง
6. เครื่องแก้ว
7. เครื่องแก้วต่าง ๆ
8. หลอดทดลอง
9. สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (540 นาโนเมตร)
10. ถ้วยกระดาษ
11. ปากคืบ
12. ปิเปตแบบอัตโนมัติ (auto pipet)

## ณ. 2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

### 1. สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายดูดซับ

1.1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1.2. โซเดียมอาร์ซีไนด์ (NaAsO<sub>3</sub>)

เตรียมโดยละลายสารโซเดียมอาร์ซีไนด์ หนัก 1 กรัม และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ หนัก 4 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<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) เข้มข้น

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

2.3. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) เตรียมโดยเจือจางสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 30 % ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ประมาณ 1 เดือน ถ้าแช่เย็นในที่มืด)

2.4. สารละลาย N - (1 - naphyl) ethylene diamine dichydrochloride (NEDA) เตรียมโดย ละลาย N - (1 - naphyl ) 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<sub>2</sub>

ละลาย NaNO<sub>2</sub> หนัก 0.69 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เก็บรักษาในขวดสีชาและแช่เย็น สามารถเก็บได้นาน 6 เดือน

### ณ.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นดังนี้

1. นำกระดาษเมมเบรน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ใส่ในคาสเซทท์ ทำพร้อมกัน จำนวน 3 ชุด
2. หยดสารละลายผสมไซเตียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไซเตียมอาร์ซีไนต์ หรือสารละลายดูดซับ ลงบนเมมเบรนจำนวน 2 ชุด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร อีก 1 ชุด หยดน้ำกลั่น ปริมาตร 3 มิลลิลิตร
3. เก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดสนิท
4. นำชุดคาสเซทท์และเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ไปติดตั้ง ที่ระดับความสูง 1.20 – 1.50 เมตร เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
5. เมื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง ทำการจับบันทึกเวลา และอุณหภูมิของบรรยากาศเริ่มต้น
6. ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ชั่วโมง
7. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จับบันทึกเวลาเก็บ และอุณหภูมิของบรรยากาศสุดท้าย เก็บชุดคาสเซทท์และเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท
8. ส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ผล

### ณ. 4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำได้ดังนี้

1. นำเมมเบรนออกจากคาสเซทท์ใส่ในบีกเกอร์เพื่อทำการสกัด
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
3. นำสารละลายที่ได้ใส่ในหลอดทดลอง 2 หลอด แต่ละหลอดมีปริมาตร 4 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลอดละ 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. เติมสารละลายซัลฟานิลไมด์ หลอดละ 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. เติมสารละลาย NEDA หลอดละ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. ทิ้งไว้ 10 นาที
8. วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร จับบันทึกค่าการดูดกลืน

แสง

9. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

## ณ. 5 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายสต็อกโซเดียมไนไตรต์ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายดูดซับ จนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไนไตรต์พร้อมใช้งาน

2. ทำการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ ณ.1

3. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อ 4

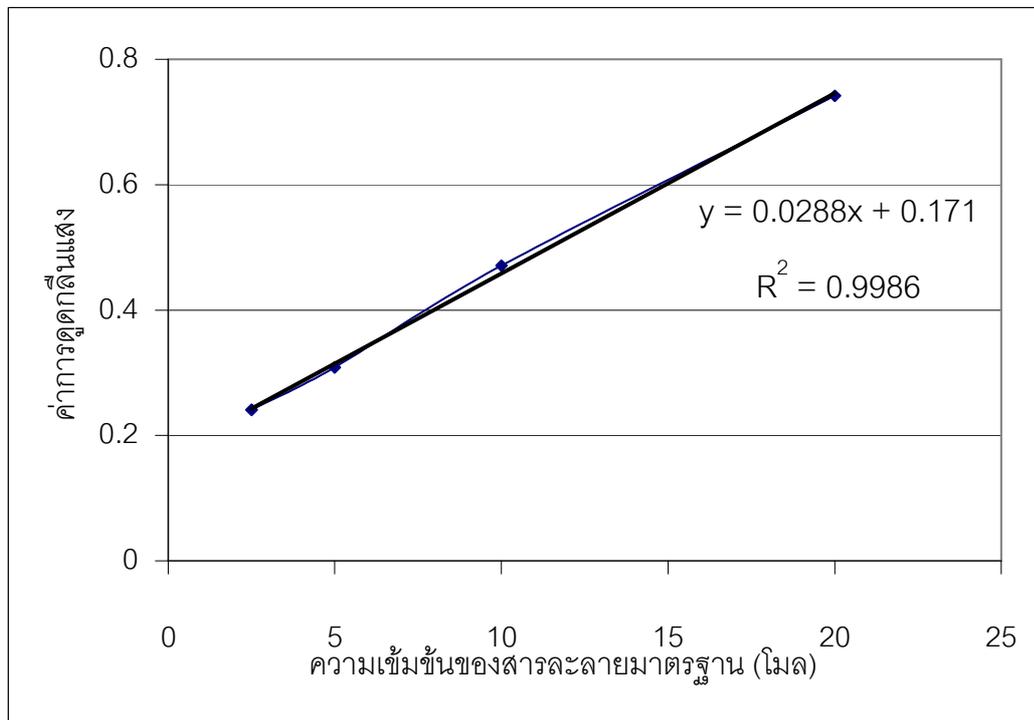
– 8

4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนเตรต ( $\text{NO}_2^-$ ) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง ดังกราฟที่ ณ.1

### ตารางที่ ณ.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

หลอดที่	ความเข้มข้น [ $\text{NO}_2^-$ ]	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 [ $\text{NO}_2^-$ ] หน่วยไมโครโมล



กราฟที่ ๑.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนเตรต ( $\text{NO}_2^-$ ) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง

## ๑.๖ การคำนวณ

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์คำนวณด้วยสมการที่ (๑ - 1)

$$\text{NO}_2 = \frac{L \times V \times [\text{NO}_2^-]}{D \times T} \quad \dots \quad (๑ - 1)$$

เมื่อ  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{nmol}/\text{m}^3$ )

V คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

$\text{NO}_2^-$  คือ ความเข้มข้นของไนเตรตในตัวอย่าง ( $\mu\text{M}$ ) ได้จากกราฟ หรือสมการแสดงความสัมพันธ์

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

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (ณ - 2)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots \quad (\text{ณ} - 2)$$

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

$\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (nmoles/m<sup>3</sup>)

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

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm

T คือ อุณหภูมิ (K)

## ณ. 7 ตัวอย่างการคำนวณ

ผลการทดลองในวันที่ 29 พฤษภาคม 2550 เมื่อไหมเมมเบรนชนิดมิกซ์เซลล์ลูโลส วิธีที่ 4 มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 2.045 (ตาราง ณ.1) มีอุณหภูมิเริ่มต้นเก็บตัวอย่าง 34.0 องศาเซลเซียส และสิ้นสุดเก็บตัวอย่างเท่ากับ 33.0 องศาเซลเซียส

การคำนวณความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

$$y = 0.0248x + 0.1565 \quad \dots \quad (\text{ณ} - 3)$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

x คือ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากกราฟ มาตรฐาน (ไมโครโมล)

จากการคำนวณด้วยสมการที่ (ณ - 3) มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ เท่ากับ 76.1492 ไมโครโมล

คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์คำนวณด้วยสมการที่ (ณ - 1)

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

เมื่อ  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ  
(nmoles/m<sup>3</sup>)

V เท่ากับ 10 มิลลิลิตร

L เท่ากับ 41.2 เมตร

$\text{NO}_2^-$  เท่ากับ 76.1492 ไมโครโมล

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

ผลการคำนวณได้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 565, 899.49 nmoles/m<sup>3</sup>

ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (ณ - 2)

$$\text{NO}_2(\text{ppb}) = \text{NO}_2 \times R \times T \times P \times 10^{-3} \quad \dots \quad (\text{ณ - 2})$$

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

$\text{NO}_2$  เท่ากับ 565, 899.49 nmoles/m<sup>3</sup>

R เท่ากับ 0.0821 L.atm/mol.K

P เท่ากับ 1 atm

T เท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียส (306.5 เคลวิน)

จากผลการคำนวณทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเท่ากับ 14,222 พีพีบี

## ภาคผนวก ญ

### วิธีการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ วิธีพาสซีฟ โดยใช้สารละลายโซเดียมไอโอดด์เป็นสารดูดซับ

#### ญ.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์หาก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1. เมมเมรน (กระดาษกรองชนิดต่าง ๆ)
2. คาสเซตต์ (filter cassette) สำหรับใช้เก็บอนุภาคฝุ่น
3. ถังพลาสติกชนิดมีซีบ
4. เข็อก
5. ขาดั่งกั๋อง
6. ปิปตแบบอัตโนมัติ (auto pipet)
7. ปากคืบ
8. เครื่องแก้ว
9. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

#### ญ.2 สารเคมีและการเตรียมสารเคมี

1. สารละลายดูดซับ
  - 1.1 ละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หนัก 0.44 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
  - 1.2 เติมสารโซเดียมไอโอดด์ (NaI) หนัก 3.95 กรัม
  - 1.3 ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วย เมทานอล (methanol)

## 2. สารละลายทำให้เกิดสี (coloring reagent)

2.1 ต้มน้ำกลั่น ประมาณ 300 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 – 80 องศาเซลเซียส

- เติมสารละลายกรดออร์โธฟอสฟอริก (orthophosphoric acid) ปริมาตร

4.0 มิลลิลิตร

- วางทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

- เติมกรดซัลฟานิลิก (sulphanilic acid) หนัก 4.0 กรัม ในสารละลาย

2.2 เตรียมสารละลาย n-1-naphthylethylene diamine dihydrochloride ซึ่งหนัก 0.1 กรัม และละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารในข้อ 2.2 ลงในสารละลายที่ได้ในข้อ 2.1 แล้วปรับให้มีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

## 3. สารละลาย NaI สำหรับเจือจางสารละลายมาตรฐาน

ละลาย NaI หนัก 0.79 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

4. สารละลายสต็อกไนไตรต์ (stock standard sodium nitrite) 0.1 M  $\text{NaNO}_2$ ละลาย  $\text{NaNO}_2$  หนัก 0.69 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร5. สารละลายมาตรฐานไนไตรต์พร้อมใช้งาน (working standard sodium nitrite) 0.1 M  $\text{NaNO}_2$ 

นำสารละลายสต็อกไนไตรต์ (จากข้อ 4) 0.1 M ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลาย NaI (ในข้อ 3) จนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

**ญ.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง**

การเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์พาสซีฟมีขั้นตอนดังนี้

1. นำกระดาษเมมเบรน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ใส่ในคาสเซตท์ ทำพร้อมกัน จำนวน 3 ชุด

2. หยดสารละลายไซเตียมไฮโดรไดด์ ลงบนเมมเบรนจำนวน 2 ชุด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร อีก 1 ชุด หยดน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3. เก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดสนิท

4. นำชุดคาสเซทและเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ไปติดตั้ง ที่ระดับความสูง 1.20 – 1.50 เมตร เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
5. เมื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง ทำการจับบันทึกเวลา และอุณหภูมิของบรรยากาศเริ่มต้น
6. ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ชั่วโมง
7. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จับบันทึกเวลาเก็บ และอุณหภูมิของบรรยากาศสุดท้าย เก็บชุดคาสเซทและเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท
8. ส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ผล

#### ญ.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำเมมเบรนออกจากคาสเซทใส่ในบีกเกอร์เพื่อทำการสกัด
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทั้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
3. นำสารละลายที่ได้ใส่ในหลอดทดลอง 2 หลอด แต่ละหลอดมีปริมาตร 4 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายที่ทำให้เกิดสี (coloring reagent) หลอดละ 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทั้งทั้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
5. วัดการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร จับบันทึกค่าการดูดกลืนแสง
6. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

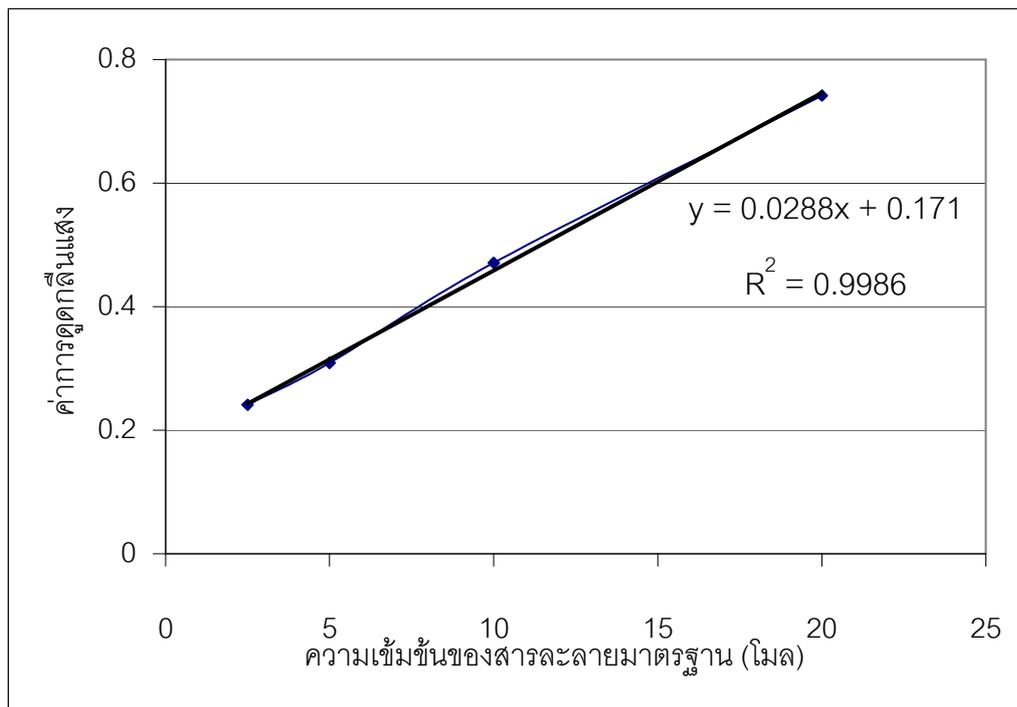
#### ญ.5 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายสต็อก  $\text{NaNO}_2$  ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮไดรด์ จนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐาน  $\text{NaNO}_2$  พร้อมใช้งาน
2. ทำการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ ญ.1
3. ทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสง เช่นเดียวกับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อ 4 – 5
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนไตรต์ ( $\text{NO}_2^-$ ) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง ดังกราฟที่ ญ.1

ตารางที่ ๑.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

หลอดที่	ความเข้มข้น [NO <sub>2</sub> ]	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน พร้อมใช้งานที่บีบเปิด (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 [NO<sub>2</sub>] หน่วยไมโครโมล



กราฟที่ ๑.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนไตรต์ (NO<sub>2</sub>) ในหน่วย ไมล (mol) กับ  
ค่าการดูดกลืนแสง

## ญ.6 การคำนวณ

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์คำนวณด้วยสมการที่ (ญ - 1)

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

เมื่อ  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ  
(nmoles/m<sup>3</sup>)

V คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

$\text{NO}_2^-$  คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ตัวอย่าง ( $\mu\text{M}$ ) ได้จากกราฟ หรือ  
สมการแสดงความสัมพันธ์

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

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb)  
ทำได้ด้วยสมการที่ (ญ - 2)

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

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

$\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ  
(nmoles/m<sup>3</sup>)

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

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm

T คือ อุณหภูมิ (K)

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยวิธีการพาสซีฟที่พัฒนา

#### ก.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีดังนี้

1. เมมเมรน
2. คาสเซต (filter cassette) สำหรับใช้เก็บอนุภาคฝุ่น
3. ถังพลาสติกชนิดมีซีบ
4. เชือก
5. ขาดั่งกล่อง
6. เครื่องแก้ว
7. เครื่องแก้วต่าง ๆ
8. หลอดทดลอง
9. สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (540 นาโนเมตร)
10. ถ้วยกระดาษ
11. ปากคีบ
12. ปิเปตแบบอัตโนมัติ (auto pipet)

#### ก.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

### กฎ.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำกระดาษเมมเบรน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ใส่ในคาสเซทท์ ทำพร้อมกัน จำนวน 3 ชุด

2. หยดสารละลายผสมไซเตียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไซเตียมอาร์ซีไนต์ หรือสารละลายดูดซับ ลงบนเมมเบรนจำนวน 2 ชุด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร อีก 1 ชุด หยดน้ำกลั่น ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3. เก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดสนิท

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

5. เมื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง ทำการจับบันทึกเวลา และอุณหภูมิของบรรยากาศเริ่มต้น

6. ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ชั่วโมง
7. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จดบันทึกเวลาเก็บ และอุณหภูมิของบรรยากาศสุดท้าย เก็บชุดคาสเซท และเมมเบรนทั้ง 3 ชุด ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท
8. ส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ผล

#### ฏ.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้

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

#### ฏ.5 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายสต็อกโซเดียมไนไตรต์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายดูดซับ จนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายมาตรฐานไซ พร้อมใช้งาน
2. ทำการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ ฏ.1
3. ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง (A) เช่นเดียวกับขั้นตอนการวิเคราะห์

ข้อ 4 – 8

4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารไนเตรต ( $\text{NO}_2^-$ ) ในหน่วย โมล (mol) กับค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ ฎ.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

หลอดที่	ความเข้มข้น $[\text{NO}_2^-]$	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน พร้อมใช้งานที่ปิเปต (มิลลิลิตร)	ปริมาตรสารดูด ช้บ (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  $[\text{NO}_2^-]$  หน่วยไมโครโมล

## ฎ.6 การคำนวณ

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์คำนวณด้วยสมการที่ (ฎ - 1)

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

เมื่อ  $\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{nmol}/\text{m}^3$ )

V คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (ml)

L คือ ระยะความยาวของการแพร่ (41.2 m)

$\text{NO}_2^-$  คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในตัวอย่าง ( $\mu\text{M}$ ) ได้จากกราฟ หรือสมการแสดงความสัมพันธ์

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

T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (s)

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วยพีพีบี (ppb) ทำได้ด้วยสมการที่ (ฏ - 2)

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

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

$\text{NO}_2$  คือ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ( $\text{nmoles/m}^3$ )

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

P คือ ความดันบรรยากาศเท่ากับ  $1 \text{ atm}$

T คือ อุณหภูมิ (K)

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

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

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

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

ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถแปลงหน่วยเป็นหน่วยต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ดังสมการที่

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

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

- เมื่อ C (ppm) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีเอ็ม
- C (ppb) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยพีพีบี
- C ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- C ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- Mp คือน้ำหนักโมเลกุลของสารมลพิษทางอากาศ
- น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) เท่ากับ 48

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์พาสซีฟ ในเบื้องต้นตามการคำนวณในภาคผนวกที่ ๗ พบว่าบรรยากาศเท่ากับ 14,222 พีพีบี ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเท่ากับ

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

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

ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในวันที่ 29 พฤษภาคม 2550 เป็นค่าเฉลี่ยราย 1 มีค่าเท่ากับ 65.54 พีพีบี

## ภาคผนวก ฎ

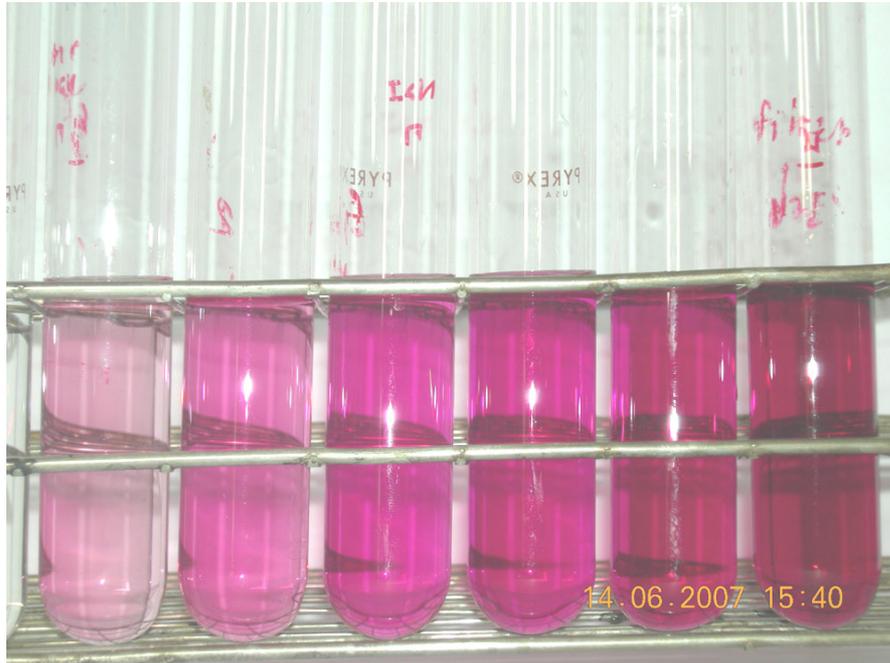
### ภาพในการศึกษา



ภาพที่ ฎ.1 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่พัฒนาเบื้องต้น



ภาพที่ ฎ.2 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่พัฒนา



ภาพที่ ๓ สีของสารละลายมาตรฐาน



ภาพที่ ๔ การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าโรงเรียนมัธยมสาธิต



ภาพที่ ๕.5 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณด้านข้างคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม



ภาพที่ ๕.6 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าป้อมยามประตูทางเข้าถนนคู่ทองนอก



ภาพที่ ๗.7 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าอาคารศรีจุฑาภา



ภาพที่ ๗.8 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ บริเวณหน้าด้านข้างร้านเบเกอรี่ข้างป้อมจราจรหน้าอาคารศรีจุฑาภา



ภาพที่ ๙.๑ การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ  
บริเวณหน้าโรงแรมสวนสุนันทา

## ประวัติผู้เขียนรายงานการวิจัย

ชื่อ – สกุล นาย ศิวพันธุ์ ชูอินทร์

### การศึกษา

ปริญญาโท วทม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (พ.ศ. 2544)  
ปริญญาตรี วทบ. (วิทยาศาสตร์เคมี)  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (พ.ศ. 2540)

### ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

อาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### ผลงานวิชาการ

สุทิน อยู่สุข, วรารุช เสือดี, มีนา ทิพย์โสภณกิจ, ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ และเกรียงศักดิ์ เจียรพสุ  
อนันต์. 2544. ศัพท์บัญญัติและนิยามมลพิษทางอากาศ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ.  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2549. ความรู้เบื้องต้นด้านมลพิษทางเสียง. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวน  
สุนันทา.

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. 2549. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินคุณภาพ  
อากาศในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

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

อาณัติ ต๊ะปิ่นตา, ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์, นิธินาถ เจริญโภคราช, ศรีสุวรรณ เกษม  
สวัสดิ์, อาทิตย์ ปุษะนะนาวิน, ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ และพิมพ์นัส วิมุกตายน. 2550. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับสิ่งแวดล้อม**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.