

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีการเก็บมลสาร ในอากาศทั่วไปด้วย  
อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

Development of Pollutants Sampling in Ambient Air by  
Passive Sampler



RCH  
TD  
890  
ก186ว

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 73041  
วัน,เดือน,ปี... 2.7. ส.ย. 2550

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์  
ประจำปีงบประมาณ 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

11767881  
b.....  
i.....

# รายงานการวิจัย

**เรื่อง** การพัฒนาวิธีการเก็บมลสาร ในอากาศทั่วไปด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

**ทุนวิจัย** จากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ประจำปีงบประมาณ 2548

**โดย** ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

## บทคัดย่อ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีผลิตอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) แบบพาสซีฟ โดยเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม โดยพัฒนาให้สามารถเก็บตัวอย่างสารมลพิษได้พร้อมกันและวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการแยกไอออนโครมาโทกราฟี โดยแบ่งการทดลองเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรก ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์พาสซีฟ ทำการศึกษา 3 ตัวแปรในห้องทดสอบ คือ เวลาในการเก็บรักษานิตดิ่งกีดขวาง ได้แก่ แผ่นกรองเทฟลอน (T) เซลลูโลส (W) และใยแก้ว (G) และสารเคมีสำหรับเคลือบได้แก่ ไตรเอทานอลามีน (TEA 20% w/w) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 0.1% w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$  20% w/w) จากผลการทดสอบ พบว่าระยะเวลา 0, 15 และ 30 วัน ไม่ส่งผลทำให้ความเข้มข้นซัลเฟตบนแผ่นกรองที่เคลือบด้วยสารละลาย TEA และ NaOH มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนที่สองทำการศึกษความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ย  $\text{SO}_2$  ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสซีฟซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เทียบกับวิธีแอดทีพซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีพาราโรซานิลีน ทำการผลิต  $\text{SO}_2$  1 และ 3 ส่วนในล้านส่วน ภายในห้องทดสอบขนาด 40\*50\*60 ลบ.ซม เป็นแบบระบบปิดและใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 480 นาที

เมื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบ 2 ทาง (Two Way - ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า สิ่งกีดขวางทั้ง 3 ชนิด และสารเคมีสำหรับเคลือบทั้ง 3 ชนิด ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p = 0.01$ ) และผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสซีฟเทียบกับวิธีแอดทีพ พบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลส (W) และ TEA 20% w/w มีความสัมพันธ์กับวิธีแอดทีพมากที่สุด

โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ  $y = 1.0387x - 0.0098$  ( $R^2 = 0.9656$ ) เมื่อ  $x$  และ  $y$  คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีแอกทีฟกับวิธีพาสซีฟ ตามลำดับ

เมื่อนำอุปกรณ์พาสซีฟไปใช้เฝ้าระวังบุคลากรอาสาสมัครจากห้องปฏิบัติการเคมีจำนวน 5 คน โดยติดตั้งอุปกรณ์บริเวณปกเสื้อตลอดเวลา 100 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารมลพิษทั้ง 2 อยู่ในระดับต่ำ

**คำสำคัญ :** ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์ อุปกรณ์พาสซีฟ, ไอออนโครมาโทกราฟี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TITLE**            **DEVELOPMENT OF POLLUTANTS SAMPLING IN AMBIENT AIR BY  
PASSIVE SAMPLER**

**BY**                ASST. PROF. KRONGKAEW TIPPAYASAK

**YEAR**            2005

---

---

### **ABSTRACT**

The aims of this research were to study the suitable materials for Sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) and Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) passive sampler which expose and analyze both pollutants at the same time by Ion Chromatography method. First, the barriers and impregnated chemical types that affected to passive efficiency were experimented as variable parameters. Teflon filter (T), Cellulose filter (W) and Fiber glass filter (G) were studied as barrier parameters. The impregnated chemicals were Triethanolamine (TEA 20% w/w), Sodium Hydroxide (NaOH 0.1% w/w) and Potassium Carbonate (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>20% w/w). The experiment was done in the experimental chamber – made from stainless steel with size 40\*50\*060 cm<sup>3</sup>. Sulphur dioxide was generated in chamber at initial theoretical concentration 1 and 3 ppm. The passive and active sampling periods were 480 minutes. The results showed that there are not significant different of sulphate ion - impregnated on filter among TEA and NaOH chemicals. Secondly, the relationships between passive and active method were also studied.

Hypothesis testing by Two Way – ANOVA resulted that there are not significant difference (p=0.01) of Sulphur dioxide sampling by passive sampler with 3 types of chemicals and barriers. The linear regression correlations between passive and active methods were also compared. The SO<sub>2</sub> measurement from cellulose filter (W) - Triethanolamine (TEA 20% w/w) passive sampler and active sampler was the best correlation. The linear correlation equation between passive and active method was calculated ( $y = 1.0387x - 0.0098$ ,  $R^2 = 0.9656$ ).

The passive air samplers were chosen as personal monitoring device. The volunteers, from chemical laboratory room, had worn the passive for consecutive 100 hours. Both SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> exposure were low levels.

**Key words:** Sulphur dioxide, Nitrogen dioxide, Passive sampler, Ion Chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาวิธีการเก็บมลสารในอากาศทั่วไปด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ Development of Pollutants Sampling in Ambient Air by Passive Sampler" นี้ได้รับทุนวิจัยจากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2548 สำเร็จลุล่วงได้ อันเนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สนับสนุน เครื่องมือ อุปกรณ์ในการวิจัยด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณปรานี บุญวัฒน์ นักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมที่ช่วยงานวิจัยทุกท่าน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อ ความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ กำลังใจจากครอบครัว ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา บุคคลอื่นใดที่ให้ความช่วยเหลือและความปรารถนาดี แต่มิได้เอ่ยนามไว้ทุกท่าน ขอกล่าวขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

# สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญเรื่อง	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สัญลักษณ์ คำย่อที่ใช้	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	4
2.2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ	4
2.3 สารมลพิษที่ศึกษา	7
2.4 สารเคมีและปฏิกิริยาเคมี	10
2.5 การใช้งานและการประยุกต์ใช้	12
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการ	
3.1. สารเคมี	17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์พาสซีฟ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์	19
3.3.2 การผลิตอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์	19
3.4 การจำลองสถานการณ์ที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบ (Experimental Chamber Atmosphere)	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล	25
4.1 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	25
4.1.1 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธีแอกทีฟ	25
4.1.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ	26
4.2 อายุก่อนการใช้งานของสารเคมีที่เคลือบ	27
4.3 การจำลองสถานการณ์ที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบ	29
4.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจวัดวิธีพาสซีฟและแอกทีฟ	31
4.5 การทดลองการใช้อุปกรณ์พาสซีฟในการเฝ้าระวังบุคคลจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	35
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	37
5.1.1 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	37
5.1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสซีฟเทียบกับวิธีแอกทีฟ	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก ก การประกันการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอกทีฟ	43
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บด้วยวิธีแอกทีฟ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค การคำนวณหาความเข้มข้นสารมลพิษโดยการเก็บตัวอย่างแบบ พาสซีฟ	53
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการทดสอบสมมุติฐาน	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่มีต่อมนุษย์	10
ตารางที่ 3.1 การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1.0 และ 3.0 ส่วนในล้านส่วน	20
ตารางที่ 4.1 ค่าการคงไว้ พื้นที่ที่พืคและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน	26
ตารางที่ 4.2 ผลของการเก็บรักษาอุปกรณ์พาสตีฟต่อปริมาณสารซัลเฟต และไนไตรต์	28
ตารางที่ 4.3 ผลของสิ่งกีดขวางและสารเคมีที่ใช้เคลือบ ในห้องทดสอบจำลองสถานการณ์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้มข้น 1 ppm	29
ตารางที่ 4.4 ผลของการศึกษาชนิดของสิ่งกีดขวางและสารเคมีที่ใช้เคลือบ ในห้องทดสอบ จำลองสถานการณ์ให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้มข้น 3 ppm	30
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความเข้มข้น SO <sub>2</sub> (gas) ระหว่างวิธีแอคทีฟกับวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย TEA 20% (w/w)	32
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความเข้มข้น SO <sub>2</sub> (gas) ระหว่างวิธีแอคทีฟกับวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย NaOH 0.1% (w/w)	32
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความเข้มข้น SO <sub>2</sub> (gas) ระหว่างวิธีแอคทีฟกับวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20% 0.1% (w/w)	33
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีแอคทีฟและพาสตีฟที่มีสารเคลือบชนิดต่างๆ เมื่อรับสัมผัส 8 ชั่วโมง	34
ตารางที่ 4.9 ผลการใช้อุปกรณ์พาสตีฟเฝ้าระวังบุคลากรที่ทำงานห้องปฏิบัติการเคมี	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะ และส่วนประกอบอุปกรณ์พาสตีฟ	6
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์พาสตีฟยี่ห้อต่างๆ	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของสารพาราโรซานิซีนที่เกิดสี	12
รูปที่ 3.1 แผนภาพในห้องทดสอบ	20
รูปที่ 3.2 ห้องทดสอบ (Experimental Chamber)	20
รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์พาสตีฟลงบนแผงอลูมิเนียม	22
รูปที่ 3.4 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ และเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ	23
รูปที่ 3.5 การเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟในห้องทดสอบ	23
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานสารละลายซัลไฟต์ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธีแอคทีฟ	25
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ระหว่างวิธีพาสตีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) กับวิธีแอคทีฟ	32
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) กับวิธีแอคทีฟ	32
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่าง วิธีพาสตีฟสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) กับวิธีแอคทีฟ	33
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟ โดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และใช้สารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกันเทียบกับวิธีแอคทีฟ	

## สัญลักษณ์ คำย่อที่ใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
TEA	ไตรเอทาโนลามีน
PRA	พาราโรซานีน
TCM	โพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต
T	แผ่นกรองเทพลอน
W	แผ่นกรองเซลลูโลส
G	แผ่นกรองใยแก้ว
ชม.	ชั่วโมง
มล.	มิลลิลิตร
µg, มคก.	ไมโครกรัม
มก.	มิลลิกรัม
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
mol/L	โมลต่อลิตร
pbb	ส่วนในพันล้านส่วน
pbbv	ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตรอากาศ
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ppmv	ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตรอากาศ
g	กรัม
N	นอร์มัล
M	โมลาร์ (โมล/ลิตร)
mM	มิลลิโมลาร์ (มิลลิโมล/ลิตร)
µM	ไมโครโมลาร์ (ไมโครโมล/ลิตร)
mL	มิลลิลิตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
nmol/m <sup>3</sup>	นาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร
m <sup>2</sup> /s	ตารางเมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหามลพิษในอากาศโดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นมีระดับความรุนแรงของปัญหามากส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชากรอย่างยิ่ง ทำให้มีความสนใจในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัญหานี้หลายหลากมากขึ้น สำหรับไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) เป็นสารมลพิษในอากาศที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการคมนาคม และอุตสาหกรรม มีผลต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่รับสัมผัส จึงต้องมีการตรวจวัดและเฝ้าระวัง (Monitoring) จัดว่าสารมลพิษที่ต้องตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไป (Criteria air pollutants) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) มาตรฐานคุณภาพอากาศทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ต้องมีค่าไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมงใน 1 วัน น้อยกว่า 0.17 ส่วนในล้านส่วน หรือ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้วิธีการตรวจวัดแบบเคมีลูมิเนสเซนซ์ (Chemiluminescence) สำหรับค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมงใน 1 วัน น้อยกว่า 0.12 ส่วนในล้านส่วน หรือ 0.30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้วิธีการตรวจวัดแบบยูวีฟลูออเรสเซนซ์ (UV Fluorescence) เนื่องจากเป็นสารที่สามารถก่อให้เกิดการความเป็นพิษระคายเคืองต่อผู้ที่ได้รับสัมผัส (Exposure) เป็นสารที่ก่อให้เกิดปัญหาฝนกรด และ NO<sub>x</sub> ยังเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยแสงกับสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Photochemical Reaction) ซึ่งก่อให้เกิดโอโซน และสารออกซิไดซ์อื่นๆเป็นหมอกควันพิษ (Photochemical smog) ได้ [กรมควบคุมมลพิษ, 2544] เช่นในปี พ.ศ.2539 ค่าโอโซนเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เกินค่ามาตรฐาน 0.2% ตรวจพบความเข้มข้น 80-174 ppb จากค่ามาตรฐาน 100 ppb แต่ในปี พ.ศ. 2540 ตรวจวัดได้ 0-423 ppb และมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ทำให้เป็นปัญหาด้านสุขภาพต่อสาธารณสุข โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาเพิ่มขึ้น เพื่อเฝ้าระวังและป้องกันการเกิดปัญหาโอโซนดังกล่าว จึงต้องมีการตรวจระดับความเข้มข้นไนโตรเจนออกไซด์ที่เป็นสารตั้งต้นในบริเวณสภาวะแวดล้อมย่อยเฉพาะบริเวณ(Micro-environment) ที่มีผังเมืองแออัด การจราจรคับคั่ง อากาศเสียไม่สามารถกระจายตัวไปบริเวณอื่นได้

การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศนั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า มีสถานที่กว้างขวางเพียงพอตั้งเครื่องมือ และค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดสูง ตามวิธีการตรวจวัดของ US EPA ค่าติดตั้งประมาณ 36,000 ดอลลาร์ต่อ 1 จุด และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา 12,000 ดอลลาร์ใน 1 จุดต่อระยะเวลาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ปี (Washington State Department of Health, 2000) จึงทำให้มีการตั้งสถานีตรวจวัดได้น้อยจุดและคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ทำให้ไม่ครอบคลุมและสามารถเฝ้าระวังในบริเวณที่มีสถานะแวดล้อมย่อยได้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พาสซีฟเพื่อใช้ในการเก็บและวิเคราะห์สารมลพิษภายในประเทศได้เองแล้ว จะสามารถผลิตและนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวังมลสารได้ เนื่องจากมีขนาดเล็ก สะดวกต่อการใช้งาน เพราะไม่ต้องการใช้พลังงานในขณะที่เก็บตัวอย่างอากาศในภาคสนาม เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเสร็จแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง และประการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศอย่างต่อเนื่องจะเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ทำนายแนวโน้ม หรือติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ การใช้อุปกรณ์พาสซีฟในการเก็บตัวอย่างจะช่วยให้การจัดทำฐานข้อมูลได้เป็นบริเวณกว้าง และหลายจุดได้

สำหรับในห้องปฏิบัติการ เป็นพื้นที่ที่มีการทดลองเกี่ยวกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในบางเวลา บุคลากรหรือผู้ที่อยู่บริเวณนั้นอาจมีโอกาสรับสัมผัสก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ทั้งจากในอาคาร หรือภายนอกอาคาร การใช้อุปกรณ์พาสซีฟที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจความเสี่ยงภัยที่อาจเกิดได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีผลิตอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไนโตรเจนออกไซด์ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบพาสซีฟ โดยเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสม
2. พัฒนารีวิววิเคราะห์ไนโตรเจนออกไซด์ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้พร้อมกัน เมื่อเก็บตัวอย่างอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ที่ระยะเวลาสัมผัสสัมผัสสั้น ๆ โดยพัฒนางานต่อจากที่ทำผ่านมาแล้ว สามารถนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟไปใช้งานในภาคสนามได้

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ศึกษาตัวแปร คือชนิดของสิ่งกีดขวางและสารเคมีสำหรับเคลือบบนแผ่นกรองที่เหมาะสมของอุปกรณ์พาสซีฟในการเก็บตัวอย่างอากาศ โดยเลือกสิ่งกีดขวางในอุปกรณ์พาสซีฟ 3 ชนิด คือแผ่นกรองใยแก้ว (G) แผ่นกรองเซลลูโลส (W) แผ่นกรองเทฟลอน (T) และสารเคมีสำหรับเคลือบบนแผ่นกรอง มี 3 ชนิด คือไตรเอทานอลามีน 20% (2,2,2-nitrilo-triethanol, TEA 20%w/w) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (NaOH 0.1%w/w) โพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% ( $K_2CO_3$  20%w/w)
- ศึกษาความสัมพันธ์ของการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟและแอกทีฟของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบที่จำลองสถานการณ์
- ทดลองการใช้อุปกรณ์พาสซีฟในการเฝ้าระวังบุคคลจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ จากสิ่งแวดล้อม

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- สามารถผลิตอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟได้เอง ภายในประเทศ
- เสนอผลงานวิจัยและเผยแพร่ ผลงานเพื่อเป็นแนวทางเลือก ให้ประชากร ชุมชน บุคคลที่เกี่ยวข้องมีส่วนร่วมโดยใช้เป็นเครื่องมือเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายใน ชุมชนเอง กระตุ้นการรับรู้และมีส่วนร่วมต่อปัญหามลภาวะทางอากาศของส่วนรวม โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟเป็นเครื่องมือได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ปัญหามลภาวะทางอากาศ เป็นปัญหาที่ประสบกันมากทั้งในเขตเมือง อุตสาหกรรม และเขตชนบท สารมลพิษก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้คนที่รับสัมผัส สิ่งก่อสร้าง หรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษเพื่อเตรียมการป้องกัน หรือแก้ไขไม่ให้เกิดปัญหาที่รุนแรง

ฐานข้อมูลที่ได้จะเป็นส่วนช่วยในการทำนายการแพร่ของสารด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจำลองสถานการณ์ต่างๆได้ ในประเทศไทยการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศอยู่ในความรับผิดชอบของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับการตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบต่อเนื่องมีค่าใช้จ่ายสูง มีขีดจำกัดในการตั้งสถานีบริเวณเขตเมืองที่มีพื้นที่จำกัด หรือเขตชนบทที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าบริเวณนั้น จึงทำให้มีผู้สนใจศึกษาการตรวจวัดสารมลพิษแบบพาสซีฟกันมากขึ้น

ข้อดีของการเก็บตัวอย่างแบบอุปกรณ์พาสซีฟ คือมีค่าใช้จ่ายต่ำ ระบบการวางตัวอย่างอุปกรณ์สามารถยืดหยุ่นหรือแปรเปลี่ยนได้ตามความจำเป็น เช่นการวางอุปกรณ์ในป่าสงวนที่ชนบทซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน พื้นที่บริเวณกว้างเพื่อติดตามตรวจสอบมาตรฐานลดมลสารในบรรยากาศระยะยาว ฯลฯ

#### 2.2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ อาศัยหลักการแพร่ผ่านเมมเบรนอย่างอิสระของสารมลพิษที่ศึกษา (Free molecular diffusion) บนเมมเบรนมีสารเคมีเคลือบอยู่ เพื่อดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารมลพิษนั้นๆ การผ่านของสารมลพิษที่ศึกษาเป็นการแพร่ของโมเลกุลที่เกิดจากความเข้มข้นที่ต่างกันของสารมลพิษในอากาศกับสารมลพิษบนเมมเบรน ฟลักซ์ของมวลสาร (The mass flux,  $g/cm^2 \cdot s$ ) สามารถใช้กฎข้อแรกของฟิค (Fick's First Law of Diffusion) อธิบายได้ว่าเป็น สัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความเข้มข้นของมลพิษ ดังสมการ (2.1)

$$F = -D \frac{dC}{dL} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $F$  = ฟลักซ์ของมวลสาร ( $g/cm^2 \cdot s$ )  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (Diffusion coefficient)  
dC = ความเข้มข้นของมลพิษที่ต่างกันระหว่างในอากาศกับบนเมมเบรน  
dL = ระยะความยาวของการแพร่ (Effective path length)

สำหรับสารมลพิษที่ดูดซับอยู่บนเมมเบรนสามารถหาได้จากสมการ (2.2)

$$M = F \times A \times T \quad (2.2)$$

- เมื่อ M = มวลของสารบนเมมเบรน (กรัม)  
A = พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน  
T = ระยะเวลาที่รับสัมผัส (Exposure time, second)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สามารถหาค่าได้จากการทดลองในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเป็นรูปทรงเลขาคณิตของอุปกรณ์พาสซีฟ คุณลักษณะทางกายภาพของก๊าซ (เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น) โดยควบคุมไม่ให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศ (Turbulence flow) และระยะเวลาที่สัมผัสมลพิษ จากนั้นนำมาหาความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศได้ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยที่แปรผันขณะที่ทำการเก็บในภาคสนามซึ่งจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ (Validation) ความสัมพันธ์ด้วย (Hopper *et al.*, 2003) นอกจากนี้ การใช้อุปกรณ์พาสซีฟมีขีดจำกัดคือความเข้มข้นที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยตามเวลาที่รับสัมผัส ไม่สามารถรายงานผลได้ทันทีและไม่สามารถรายงานค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาสั้นได้ ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมลพิษ ระยะเวลาที่รับสัมผัส และขีดจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

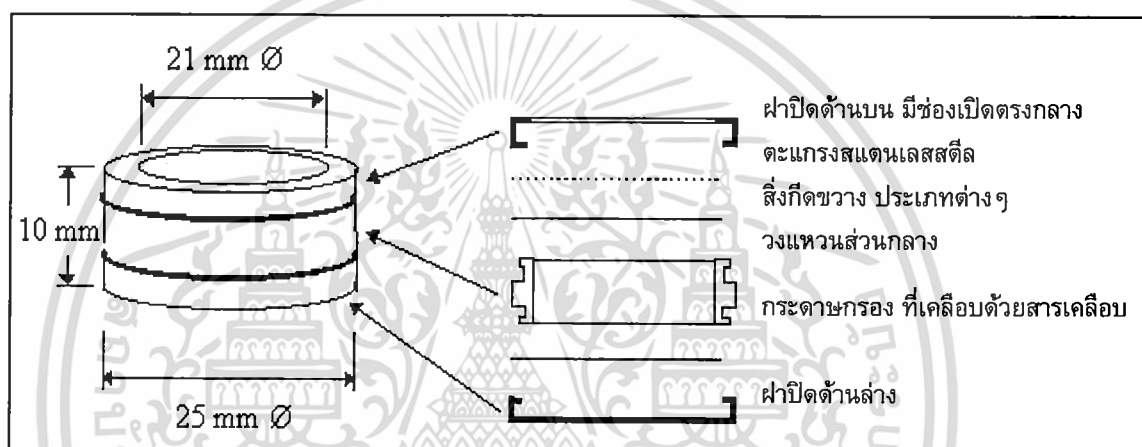
$$C_{air} = \frac{M \times L}{D \times A \times T} \quad (2.3)$$

รูปทรงอุปกรณ์แบบพาสซีฟมีทั้งแบบแผ่น (Badge, Cassette type) และแบบหลอด (Tube type) ปัจจุบันมีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ เช่น อุปกรณ์พาสซีฟสำหรับไอระเหยง่ายของยี่ห้อ SKC มีลักษณะเป็นแผ่นเมมเบรนเคลือบด้วยสารดูดซับแบบหลอดบรรจุสารดูดซับไอสารอินทรีย์ของยี่ห้อ Perkin Elmer แบบ Cassette สำหรับเก็บไอโซน ในไนโตรเจน ออกไซด์ ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ ของยี่ห้อ Ogawa และที่ผลิตโดย CSIRO ประเทศออสเตรเลีย ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์พาสซีฟตามที่ มีการวิจัยและพัฒนา โดย Ayers, G. *et al.* และปรับปรุง

โดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปทรงอุปกรณ์พาสซีฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีแพดเตอร์การเก็บตัวอย่างที่สัมพันธ์กับรูปทรง (L) เท่ากับ 41.2 ต่อเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D) เท่ากับ  $1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  และ  $1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ (Hopper et al., 2001)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว การวิเคราะห์ระดับมลพิษในอากาศมีความจำเป็นต้องตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวังปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้น อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟจึงเป็นแนวทางที่ดีและสามารถพัฒนาต่อไปได้ ให้เหมาะสมกับงาน เช่น การจัดทำฐานข้อมูลมลพิษในพื้นที่เขตเมือง ซึ่งไม่สามารถตั้งสถานีตรวจวัดถาวรได้ หรือใช้ในการเฝ้าระวังสำหรับส่วนบุคคล



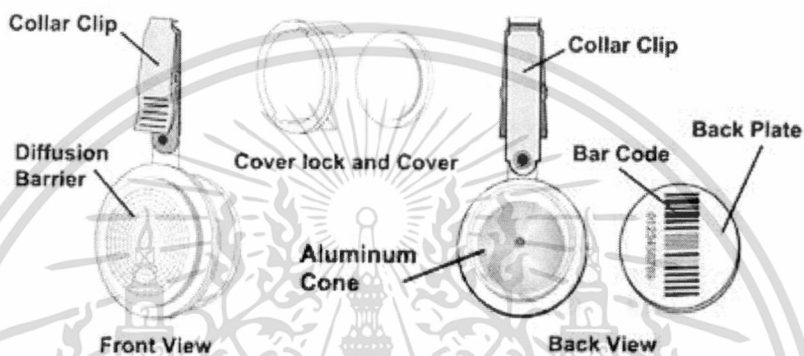
รูปที่ 2.1 ลักษณะ และส่วนประกอบอุปกรณ์พาสซีฟ

### ข้อดีและข้อจำกัดของอุปกรณ์พาสซีฟ

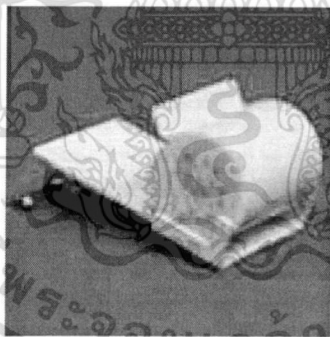
จากการที่ได้มีผู้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์พาสซีฟมีข้อดีและมีข้อจำกัดดังนี้ คือ (Carmichael; et al. 2003; Cox, 2003; Cruz; et al. 2005) ข้อดี คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถผลิตได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้ง เหมาะสมกับการใช้ตรวจวัดแบบบุคคล ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง สามารถใช้ตรวจวัดมลสารได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ใช้ตรวจวัดมลสารในสภาวะย่อยได้ เก็บตัวอย่างมลพิษได้เป็นบริเวณกว้าง สามารถทำซ้ำได้หลายค่า และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาต่ำ ข้อจำกัด คือ ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสูงสุดของมลสารได้ และผลการตรวจวัดอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น นอกจากนี้ความว่องไวในการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์พาสซีฟต่ำกว่าการตรวจวัดด้วยวิธีแอกทีฟ

อย่างไรก็ตาม หากได้มีการวัดเทียบระหว่างวิธีพาสซีฟกับวิธีแอกทีฟและนำค่าปรับแก้ (Correction factor) มาช่วยในการตรวจวัด จะเป็นการเพิ่มค่าประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์พาสซีฟ ที่นำมาใช้ในการตรวจวัดได้

สำหรับอุปกรณ์พาสซีฟที่มีจำหน่ายทางการค้ามีการทำหลายหลากรูปแบบดังรูปที่ 2.2 เนื่องจากราคาจำหน่ายในประเทศไทยมีราคาสูง ประมาณ 5000 บาท ต่อชิ้น การพัฒนาการผลิต และวิเคราะห์เองเพื่อใช้งานจะเป็นการช่วยลดปัญหาค่าใช้จ่ายสูงได้



อุปกรณ์พาสซีฟยี่ห้อ SKC 575 Series (SKC, 2005)



อุปกรณ์พาสซีฟยี่ห้อ Ogawa (Ogawa & Company Passive Sampler, 1999)

รูปที่ 2.2 อุปกรณ์พาสซีฟยี่ห้อต่างๆ

### 2.3 สารมลพิษที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้สารมลพิษในบรรยากาศที่ทำการศึกษาคือไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ละสารมีแหล่งกำเนิดและสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งจะกล่าวโดยสรุปต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ไนโตรเจนไดออกไซด์

แหล่งกำเนิดของไนโตรเจนไดออกไซด์

ไนโตรเจนไดออกไซด์นั้นมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ ก๊าซทั้งสองเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ ไฟผ่า ไฟแลบ ภูเขาไฟระเบิด ปฏิริยาของจุลินทรีย์ในดิน หรืออาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ คือ การเผาผลาญเชื้อเพลิง การอุตสาหกรรม ทำกรดไนตริก ชุบโลหะ ทำกรดกำมะถัน และทำวัตถุระเบิด เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรวมทั้งโลกของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและมนุษย์แล้ว พบว่าธรรมชาติเป็นต้นเหตุมากกว่ามนุษย์ถึงประมาณสี่สิบเท่า

การใช้เชื้อเพลิงของมนุษย์เป็นส่วนสำคัญซึ่งทำให้เกิดไนโตรเจนไดออกไซด์ และมีไนตริก ออกไซด์เป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 90-95 โดยปริมาตร การเกิดไนตริกออกไซด์มีอุณหภูมิเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุด กล่าวคือ เกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ เมื่อมีการสันดาปที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นยานยนต์จึงก่อให้เกิดก๊าซนี้

ก๊าซไนตริกออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับโอโซนในบรรยากาศเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจน ในทางตรงกันข้าม แสงแดดทำให้ไนโตรเจนไดออกไซด์แตกตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ดังสมการที่ 2.4



เนื่องจากก๊าซนี้สามารถละลายน้ำ และอนุภาคมลสารยังดูดซับก๊าซนี้ได้ จึงทำให้ถูกกำจัดออกจากบรรยากาศได้ทั้งในรูปการตกแบบแห้งกับอนุภาคฝุ่นละอองที่ดูดซับได้ และการตกแบบเปียกมากับการละลายในน้ำฝน ถ้ามีปริมาณมากทำให้เกิดการสะสมของฝนกรดได้ ระดับของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในย่านชนบทอยู่ในพิสัย 0.4-9.4 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. และไนตริกออกไซด์ 0-7.4 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ส่วนค่าเฉลี่ยตลอดปีของไนโตรเจนไดออกไซด์ในเมืองใหญ่ในสหรัฐอเมริกา เป็น 49 ถึง 95 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. ทั้งนี้อาจมีค่าสูงสุดต่อวันเป็น 100-400 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. และค่าสูงสุดต่อชั่วโมงเกินกว่า 800 ไมโครกรัมต่อลบ.ม.

ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อร่างกายมนุษย์

คนเริ่มได้กลิ่นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ระดับ 230 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. หากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดกลิ่นเร็วขึ้น แต่ผู้ที่สูดหายใจก๊าซนี้ที่ระดับ 140 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. จะสามารถปรับสายตาให้เข้ากับควมมืดได้ไม่ตีเท่าเดิม ผู้ป่วยด้วยโรคหอบหืดอาจมีอาการหอบหืดเร็วขึ้นหากได้รับก๊าซนี้ที่ระดับ 190 ไมโครกรัมต่อลบ.ม ร่วมกับสารกระตุ้นให้หลอดลมตีบ แต่บรรดาแม่บ้านชาวอเมริกันซึ่งใช้เตาอบก๊าซ และสูดหายใจก๊าซนี้ที่ระดับ 940 ไมโครกรัมต่อลบ.ม กลับไม่ปรากฏมีผลร้ายต่อระบบทางเดินหายใจแต่ประการใด อย่างไรก็ตามความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจคนทั่วไปเริ่มต้นเมื่อร่างกายรับก๊าซที่ 1,300-3,800 ไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อลบ.ม ถ้าได้รับที่ระดับ 1,320-1,880 ไมโครกรัมต่อลบ.ม ผู้รับก๊าซยังสามารถออกกำลังกาย ได้ดังเดิม

## ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

แหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ กระบวนการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากแหล่ง ธรรมชาติ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ซึ่งเกิดจากภูเขาไฟ การสลายตัวทางชีวภาพของ สารอินทรีย์และปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟต เกิดการออกซิไดซ์โดยออกซิเจน ( $O_2$ ) หรือ โอโซน ( $O_3$ ) และมีฝุ่นละออง หรือละอองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

แหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) มีแหล่งกำเนิด มาจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ โดยมาจากแหล่งที่สำคัญคือ การเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านหินและน้ำมัน ซึ่งมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์เจือปนอยู่ ประมาณ ครึ่งหนึ่งของซัลเฟอร์ (S) ในถ่านหิน จะอยู่ในรูปของ ไพไรต์ ( $FeS_2$ ) และอีกครึ่งหนึ่งจะอยู่ใน รูปของสารอินทรีย์ การเผาไหม้ไพไรต์เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) เป็นส่วนใหญ่ อาจจะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $SO_3$ ) ขึ้นได้ แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะทำ ปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศ แล้วเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ได ออกไซด์ ( $SO_2$ ) ออกสู่บรรยากาศจากการเผาไหม้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของซัลเฟอร์ (S) ซึ่ง ปรากฏอยู่ในเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) ออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูงได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำมันปิโตรเลียม โรงงาน อุตสาหกรรมโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้แหล่งที่สำคัญอื่นๆ ในการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) ออกสู่บรรยากาศ คือ อุตสาหกรรมถลุงโลหะ ซึ่งสินแร่บางชนิด เช่นสินแร่สังกะสีและ ทองแดงมักอยู่ในรูปของซัลไฟด์ ระหว่างการถลุงจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) ระบาย ออกมาด้วย และโรงงานทำกระดาษ นอกจากนี้แหล่งที่น่าสนใจอีกแหล่งหนึ่งก็คือ จาก โรงงานผลิตกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ )

ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมนุษย์และสัตว์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นทำให้ระบบทางเดินหายใจ เช่น จมูก ลำคอเกิดการอักเสบ ระคายเคือง เกิดโรคปอด เช่น โรคหลอดลมอักเสบ ถุงลมโป่งพอง และผู้ที่ ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ เด็ก คนชรา และผู้ป่วยโรคหืด การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีความเข้มข้นสูง มีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมาก ก๊าซนี้มีอันตรายต่อร่างกายมากยิ่งขึ้นเมื่อ รวมตัวกับฝุ่น และมีความชื้น ซึ่งฝุ่นบางชนิดสามารถดูดซึมและละลายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ ในตัว เช่น โซเดียมคลอไรด์ ละอองไอของเหล็กเฟอรัส แมงกานีส วานาเดียม เป็นต้น ผลกระทบ จากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อมนุษย์เมื่อได้รับที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสัตว์ทำให้เจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจส่วนบนในอัตราสูง ถ้าสูดดมเข้าไปเสมอ ๆ ทำให้เกิดหลอดลมอักเสบเรื้อรัง ถ้ามากทำให้ลิ้นไก่สั้นเกิดการเกร็งหดปิดทางเดินหายใจตายทันที

## ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อมนุษย์

ความเข้มข้น (ppm)	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
3-5	ปริมาณที่เริ่มได้กลิ่น
8-12	ปริมาณที่ทำให้คออักเสบ
20	ปริมาณที่เริ่มทำให้ไอ ตาอักเสบ และเป็นปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้สัมผัสได้เป็นเวลานาน
50-100	ปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้สัมผัสได้เป็นเวลาสั้นๆ
400-500	ปริมาณที่เป็นอันตรายต่อชีวิต แม้ได้รับเป็นเวลาสั้นๆ

ที่มา: ศศิธร, 2543

### ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อวัสดุ และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ

วัสดุและสิ่งก่อสร้างที่ได้รับผลกระทบโดยตรงได้แก่ หินปูน และหินอ่อน เมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศถูกดูดซับเข้าไปในหินปูน จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต ซึ่งซัลเฟตจะเข้าไปแทนที่คาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ในแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) แต่เนื่องจากแคลเซียมซัลเฟตมีความหนาแน่นน้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จึงเกิดการขยายตัวในโครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้เกิดรอยร้าวและสึกกร่อนในที่สุด ปรากฏการณ์นี้เป็นปัญหาสำคัญในการรักษาโบราณวัตถุ อนุสาวรีย์ ประติมากรรม นอกจากนี้ยังทำความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างอื่นๆ เช่น ทำให้สีทาสบ้านซีดและลอกออก ทำให้โลหะสึกกร่อน และทำให้สิ่งทอด้วยฝ้าย ไนลอน เรยอน ตลอดจนวัตถุที่ทำด้วยหนังสือพิมพ์และยางเสื่อมคุณภาพ และสีจางเร็ว

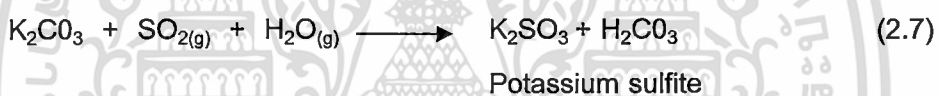
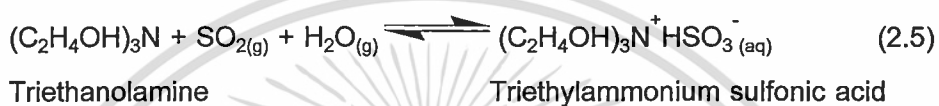
### 2.4 สารเคมีและปฏิกิริยาเคมี

สารเคมีที่เลือกมาใช้ในการเคลือบแผ่นกรองในอุปกรณ์พาสตีฟเป็นทางเลือกในการเจาะจงให้เกิดปฏิกิริยากับสารมลพิษที่ต้องการศึกษาโดยเฉพาะ สารมลพิษอื่นที่มีในบรรยากาศไม่สามารถจับ ดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารที่เคลือบได้ดังตัวอย่างสมการเคมีที่ 2.5 – 2.7

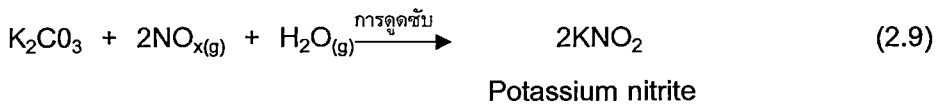
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามการเตรียมอุปกรณ์พาสซีฟและเก็บไว้นานอาจมีผลต่อความสามารถในการเก็บตัวอย่างได้ ในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดต่างๆ ในอุปกรณ์พาสซีฟกับสารมลพิษที่ต้องการศึกษาจะมีความเจาะจงมากยิ่งขึ้นหรือทำให้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงสามารถวิเคราะห์ได้ในระดับที่ต่ำมากๆ ด้วยเครื่องไอออน โครมาโทกราฟี เช่นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีที่เคลือบเป็นดังสมการที่ 2.5 – 2.7



จากสมการ 2.5-2.7 สารประกอบซัลไฟด์ที่บนแผ่นกรองเมื่อทำการสกัด จะถูกออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์( $H_2O_2$  0.15%) กลายเป็นสารประกอบซัลเฟต ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีได้ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำๆได้ ส่วนสารมลพิษอื่นๆเช่นไนโตรเจน ไดออกไซด์ จะเกิดการดูดซับได้เช่นกัน เมื่อสกัดเกิดเป็นไอออนไนไตรต์ ดังสมการที่ 2.8 – 2.9 (สมการไม่ดุล) ซึ่งเทคนิคการแยกสารแบบโครมาโทกราฟี จะช่วยในการจำแนกชนิดของสารได้



สำหรับการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจน ออกไซด์โดยวิธีแอดทีฟ และทำให้เกิดสีด้วยพาราโรซานิลีน และวัดโดยวิธีอูลตราไวโอเล็ต สเปคโตรโฟโตเมตรี จะเกิดสีต่างกันไปเช่นสีของพาราโรซานิลีน ในกรดไฮโดรคลอริก เป็นสีเขียวเหลือง แต่ถ้ามีสารประกอบ



ระดับการรับสัมผัส  $\text{NO}_x$  ในกลุ่มคนขับรถมีค่าสูงสุดถึง  $6.6 \mu\text{g}$  รองลงมา คือกลุ่มตำรวจจราจรที่ปฏิบัติงานบนท้องถนน มีค่าสูงสุดถึง  $4.84 \mu\text{g}$  และน้อยที่สุด คือ กลุ่มนักศึกษาและเจ้าหน้าที่สำนักงาน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในที่ร่ม มีค่าสูงสุดเพียง  $0.77 \mu\text{g}$ .

กรองแก้ว และวงค์พันธ์ (2545) นำอุปกรณ์ฟาสสิฟไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยหาความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คำนวณได้จากวิธีฟาสสิฟ และความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คำนวณได้จากวิธีมาตรฐาน โดยทำการเลือกวิธีเคมีลูมิเนสเซนซ์เป็นวิธีมาตรฐาน และทำการเก็บตัวอย่างมลพิษนาน 24 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจวัด 2 แห่ง คือ สถานีตรวจวัดมหาวิทยาลัยรามคำแหง และสถานีตรวจวัดการเคหะแห่งชาติ (คลองจั่น) ระหว่างวันที่ 21 ก.พ. - 7 มี.ค. 2546 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่อชั่วโมงในการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ สถานีตรวจวัดการเคหะแห่งชาติ (คลองจั่น) ทั้งการเก็บโดยวิธีฟาสสิฟ และวิธีมาตรฐานมีความสัมพันธ์ปานกลาง คือ  $y = 1.2035x - 0.3291$   $R^2 = 0.6477$  ความสัมพันธ์ สำหรับสถานีตรวจวัดมหาวิทยาลัยรามคำแหง พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ คือ  $y = 0.59x - 0.8699$   $R^2 = 0.6016$  ระดับต่ำที่สุดที่ตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ (Limit of Detection, LOD) ของอุปกรณ์ฟาสสิฟ เท่ากับ 5 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb)

เจตินภางค์ ชณัญชิตา และ ณัฐนิชา (2546) ศึกษาหาส่วนประกอบที่เหมาะสมสำหรับผลิตอุปกรณ์ฟาสสิฟสำหรับไนโตรเจนไดออกไซด์ พบว่า สิ่งกีดขวางและสารเคมีสำหรับเคลือบที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์ฟาสสิฟ คือ กระจกกรองใยแก้ว และโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับโซเดียมไอโอไดด์ โดยมีการตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้อุปกรณ์ฟาสสิฟที่เตรียมและวิเคราะห์โดยใช้ เอธิลีนไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ N-(1-NAPHTHYL) ETHYLENEDIAMINE DIHYDROCHLORIDE เป็นสารทำให้เกิดสี และวิเคราะห์ด้วยเครื่องอูลตราไวโอเล็ต สเปคโตรโฟโตมิเตอร์เปรียบเทียบกับวิธีแอกทีฟโดยจะทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 290 และ 360 นาที พบว่าอุปกรณ์ฟาสสิฟมีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.90 และ 0.94 ตามลำดับ

ศิวพร และปาริชาติ (2547) ทำการทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการตรวจวัดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ ทดสอบการใช้งานได้ (Validation) ของอุปกรณ์เก็บอากาศ โดยเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างวิธีแอกทีฟ ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยนำไปตรวจวัดโอโซนที่สำนักงานไปรษณีย์ เขตราชบุรีบูรณะ เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษที่ตรวจวัดโดยเครื่องมืออัตโนมัติโดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศคาบละ 48 ชั่วโมง รวม 7 ครั้ง และได้ใช้อุปกรณ์เก็บ

ตัวอย่างในการศึกษาปริมาณโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยฯ คาบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 48 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศที่พัฒนาขึ้นในการเก็บตัวอย่าง ก๊าซโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าความแม่นยำ 16.9% เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล โอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9858 และ 0.9895 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าในช่วงเดือนตุลาคม 2547 ถึงมกราคม 2548 ค่าสูงสุดโอโซนในบรรยากาศเป็น 60.90 ส่วนในพันล้านส่วน และมีค่าต่ำสุดเป็น 7.54 ส่วนใน พันล้านส่วน โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.74 ส่วนในพันล้านส่วน และความเข้มข้นของก๊าซ ไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าสูงสุดเป็น 11.73 ส่วนในพันล้านส่วน และมีค่าต่ำสุดเป็น 2.27 ส่วน ในพันล้านส่วน โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.83 ส่วนในพันล้านส่วน

วินัย สมบูรณ์ (2548) ได้พัฒนาอุปกรณ์เก็บอากาศ โดยทำการเก็บไนโตรเจนได ออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และทำการทดสอบการใช้ได้ (Validation) ในห้องทดลอง และ ในภาคสนาม ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสิงหราช กทม. เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลกับผล การศึกษาโดยวิธีการตรวจวัดมาตรฐานแบบแอคทีฟ ซึ่งตรวจวัดโดยกรมควบคุมสิ่งแวดล้อมเป็น เวลา 1 เดือน โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้แผ่นกรองอากาศ 3 ชนิดคือ แผ่นเทป ลอน แผ่นเซลลูโลส และแผ่นฟิวทริต เมื่อเปรียบเทียบกันผลการวิเคราะห์แล้วพบว่าความ เข้มข้นของ  $\text{NO}_2$  และ  $\text{SO}_2$  โดยใช้แผ่นกรองอากาศทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีแนวโน้มไปในทาง เดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบโดยใช้วิธีทางสถิติแล้วพบว่าข้อมูลที่ได้จากการวิธีพาสซีฟโดยใช้ แผ่นกรองทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าสหสัมพันธ์ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจากต่างประเทศ จากการทดสอบ ประสิทธิภาพในห้องทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพดีเท่าเทียมกับที่ผลิตจากต่างประเทศ และ ประมาณราคาอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นถ้าใช้แผ่นกรองชนิด เทปลอน เซลลูโลส และฟิวทริต จะมีราคา ขึ้นละประมาณ 200 บาท 60 บาท และ 10 บาท ตามลำดับ

Krochmal and Kalina (1997 a.) ได้ทดลองเก็บตัวอย่างสารมลพิษคือไนไตรต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยอุปกรณ์พาสซีฟพร้อมกันทั้ง 2 มลสารโดยใช้ ไตรเอทานอลามีน 20 % เป็นสารเคลือบ และนำสารละลายที่สกัดจากอุปกรณ์พาสซีฟ มาออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจน เปอร็อกไซด์เปลี่ยนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้เป็นซัลเฟตไอออน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย เครื่องไอออนโครมาโทกราฟีได้ ในการวิเคราะห์สามารถหาปริมาณมลสารทั้ง 2 ชนิดในเวลา เดียวกันโดยอาศัยเทคนิคการแยกไอออนไนไตรต์และซัลเฟตของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี วิธีนี้สามารถช่วยพัฒนาให้ขีดต่ำสุดสำหรับการวัดปริมาณมลสารที่ใช้อุปกรณ์พาสซีฟรับสัมผัส นานเป็นเวลา 1 เดือนต่ำถึง 0.5 และ 0.7 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม.อากาศ สำหรับก๊าซไนโตรเจนได ออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การรับสัมผัสในช่วงเวลาที่สั้นลง จะทำให้ขีดต่ำสุดสำหรับการวัดปริมาณมลสารสูงขึ้นได้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์พาส ซีฟมีประสิทธิภาพดีมีค่าการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ของการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็น 6 % และ 14 % ตามลำดับ และมีการนำมาใช้ในโครงการเฝ้าระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ขนาดใหญ่หลายโครงการแล้วทั้งในพื้นที่เขตเมืองและเขตชนบท [Krochmal และ Kalina (1997 b.)] ได้ค่าเฉลี่ยต่อปีของไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 7 – 62 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม. อากาศ จากแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างครั้งละ 1 เดือน จำนวน 12 ครั้ง (ค่าเฉลี่ยมาตรฐานต่อปีของไนโตรเจนไดออกไซด์ สาธารณะรัฐโปแลนด์กำหนดไว้ 50 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม.อากาศ) และความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อยู่ระหว่าง 6 – 78 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม.อากาศ ค่าเฉลี่ยมาตรฐานต่อปีของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สาธารณะรัฐโปแลนด์กำหนดไว้ 32 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม.อากาศ) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของโปแลนด์ยังมีปริมาณมลสารต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ในช่วงปี ค.ศ. 1993 แต่เมื่อมีการใช้พลังงานจากถ่านหินมากขึ้น พบว่ามีพื้นที่บริเวณกว้างมีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะช่วง เดือน พฤศจิกายน ค.ศ. 1993 – เมษายน ค.ศ. 1994

Garret, M. H. et al. (1999) มีการนำอุปกรณ์พาสซีฟมาตรวจวัดการได้รับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารบ้านเรือน เพื่อดูความสัมพันธ์กับอาการของระบบทางเดินหายใจของเด็กๆ ในประเทศออสเตรเลีย จำนวน 80 ครอบครัว โดยทำการเก็บ 5 ครั้งๆละ 4 วัน ในช่วงเวลา 1 ปี โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบแผ่น (Badge type) โดยใช้ ไตรเอทานอลามีน 20 % จำนวน 0.25 มล.เป็นสารเคลือบและวิเคราะห์ด้วยการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรหลังสกัดด้วยสารทำให้เกิดสี พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับไนโตรเจนไดออกไซด์ในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร และขึ้นกับฤดูกาล ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 11.6 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม. (6.0 ppb) อยู่ในช่วง น้อยกว่า 0.7 – 246 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม. ซึ่งเชื่อว่าแหล่งกำเนิดมลสารที่สำคัญคือเตาแก๊ส ก๊าซที่มาจากเครื่องทำความร้อน และการสูบบุหรี่ตามลำดับ การประกอบอาหารด้วยเตาแก๊สพบว่ามีพีคของไนโตรเจนไดออกไซด์สูง และเชื่อว่ามีอิทธิพลต่อสุขภาพอนามัยมากกว่าการรับสัมผัสเป็นเวลานานๆ

Gillett, Kreibich and Ayers (2000) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบเฟอร์ม (Ferm type passive sampler) โดยใช้ 2,4 – dinitrophenylhydrazine (2,4 – DNPH) เป็นสารเคลือบ เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วทำการสกัดสารอนุพันธ์ของ 2,4 – DNPH จากแผ่นกรองด้วยอะซิโตนไทรอิล และใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการสกัดนาน 30 นาที นำสารที่สกัดได้มาหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography สัมประสิทธิ์การแพร่ของฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  ที่ 25 °C สามารถนำมาใช้ในการหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในอาคารต่างๆได้ตั้งแต่ช่วง 9 – 1250 ppbv ในช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 7 – 61 ชั่วโมง

Stvenson et al. (2001) ได้ทำการศึกษาและเฝ้าระวังไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยทำเป็นเครือข่ายตรวจวัดมากกว่า 1,000 แห่ง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 – 1997. โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบหลอดที่ประยุกต์ตามวิธีของ Palmes et al. (1976) ทั้งนี้เพื่อการประเมินเครือข่ายการเฝ้าระวังพื้นที่กว้าง ทั่วสหราชอาณาจักรอังกฤษ และเจาะจงบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นสูงด้วย พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับของไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ กรุงลอนดอน และเขตเมือง มีความคล้ายคลึงกันในช่วงเวลา 5 ปี ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนไดออกไซด์ ช่วง ค.ศ. 1997 บริเวณริมถนน 23 ppb และในเขตเมือง 17 ppb ซึ่งตามเป้าหมายของมาตรการจัดการคุณภาพอากาศของสหภาพยุโรป และ สหราชอาณาจักร (The EC Directive on "Ambient Air Quality Assessment and Management 1996" EU, 1996) ที่เน้นสำหรับบรรยากาศทั่วไปว่า ไนโตรเจนไดออกไซด์ จะต้องมีค่าเฉลี่ยรายปี 21 ppb หรือน้อยกว่านั้นก่อนปี ค.ศ. 2005. ในการตรวจวัดนี้การควบคุม และประกันคุณภาพการวิเคราะห์ มีการพัฒนาและปรับปรุง โดยใช้สารละลายไนไตรต์ (Quality Control solution) เพื่อตรวจสอบการควบคุม และใส่สารที่ทราบลงในหลอดพาสสิฟ (Doped tube) ผลการวิเคราะห์มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าจริงไม่เกิน  $\pm 25\%$  ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป 1999. สำหรับไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดโดยใช้อุปกรณ์พาสสิฟ และการวัดด้วยเทคนิคเคมีลูมิเนสเซนซ์

Cruz et al. (2004) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศวิธีพาสสิฟ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีแอกทีฟ สำหรับเก็บซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน ย่านอุตสาหกรรมและเขตเมืองของประเทศบราซิล ซึ่งมีช่วงระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ คือ 7, 14, 21 และ 28 วัน ในการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีพาสสิฟนั้น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกจับให้อยู่บนเมมเบรนที่เคลือบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) จากนั้นทำการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) เป็นซัลเฟตไอออนและทำการสกัดในเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นเวลา 15 นาที และวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออนด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatograph) สำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีแอกทีฟ ย่านอุตสาหกรรมมีการตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธียูวี ฟลูออเรสเซนส์ (UV-fluorescence) และในเขตเมืองจะใช้วิธีพาราโรซานิสีนพบว่า ความเที่ยงตรง ซึ่งแสดงในรูปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่เก็บ 3 ซ้ำ มีค่าไม่เกิน 10% และค่าความเบี่ยงเบนของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสิฟเทียบกับวิธีแอกทีฟมีค่า 15% อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศวิธีพาสสิฟ สามารถเป็นตัวแทนในการเฝ้าระวังซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนได้อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำอีกด้วย

## บทที่ 3

### การวิจัยและการดำเนินการ

#### 3.1 สารเคมี

1. เมทานอล (Methanol) เกรดวิเคราะห์ (LAB SCAN)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
3. โซเดียมไอโอดेट (Sodium Iodide) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
4. โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium Carbonate) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
5. ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine) เกรดวิเคราะห์ (UNILAB)
6. โซเดียมไนไตรต์ (Sodium Nitrite) เกรดวิเคราะห์ (MERCK)
7. กรดซัลฟานิลิก (Sulfanilic acid) เกรดวิเคราะห์ (UNILAB)
8. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) เกรดวิเคราะห์ (BDH LABORATORY)
9. กรดอะซิติก (Acetic acid) เกรดวิเคราะห์ (MERCK)
10. กรดเกลือ (Hydrochloric) เกรดวิเคราะห์ (FISHER CHEMICAL)
11. ซัลฟานิลามายด์ (Sulfanilamide) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
12. โซเดียมออกซาเลต (Sodium Oxalate) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
13. โพแทสเซียมเปอร์มันงานาต (Potassium permanganate) เกรดวิเคราะห์ (CARLO ERBA)
14. NEDH (N-1-Naphthylethylene Diaminedihydrochloride) เกรดวิเคราะห์ (FLUKA CHEMIKA)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือปรับเทียบอัตราการไหลอิเล็กทรอนิกส์ (Ultra Flo™ Calibrator) ยี่ห้อ SKC
2. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล (Personal Air Sampling) รุ่น 224-PCXR4 ยี่ห้อ SKC พร้อมอุปกรณ์อิมพินเจอร์และแทรปเปอร์
3. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟ คอลัมน์ METROSEP A SUPP5-150 (6.1006.520) ขนาด 4.0 x 150 mm. ยี่ห้อ Metrohm สารละลายที่ใช้ชะ คือ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3.2 mM และ  $\text{NaHCO}_3$  1.0 mM ให้อัตราการไหลผ่านคอลัมน์ 0.70 มิลลิลิตร/นาที ความดันภายในไม่เกิน 10 MPa
4. เครื่องอัลตราโซนิก รุ่น KLSC09 ยี่ห้อ Labquip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 73041 อย่างอึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ห้องทดสอบ ขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร ปริมาตร 120 ลิตร
6. เครื่องยิวี-วิสซิเบล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway
7. ไมโครปิเปตขนาด 100, 1000, 5000, ไมโครลิตร รุ่น WITOPET digital ยี่ห้อ WITEG

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์

- ใช้อุปกรณ์พาสซีฟตามที่มีการวิจัยและพัฒนา โดย Ayers, G. et al. และปรับปรุง โดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia เป็นตัวอย่างในการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์พาสซีฟ ตามรูปที่ 2.1 โดยใช้พอลิเอทีลีนเป็นวัสดุในการผลิตชิ้นส่วน ยกเว้นส่วนที่เป็นตะแกรงเหล็ก
- ล้างกระดาษกรองและตลับคลาสเซ็ทด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเมทานอลอีก 1 ครั้ง
- ทำความสะอาดแผ่นฟลอยด์โดยเช็ดด้วยเมทานอล แล้วนำกระดาษกรองและคลาสเซ็ทที่ทำความสะอาดแล้ววางบนแผ่นฟลอยด์ จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟลอยด์ เพื่อป้องกันฝุ่น ทิ้งไว้ให้แห้งสำหรับใช้งานต่อไป

#### 3.3.2 การผลิตอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเลือกสารเคลือบชนิดต่างๆ ดังการเตรียมต่อไปนี้

- การเตรียมสารละลายไตรเอทาโนลามีน 20%
  1. ปิเปตสารละลายไตรเอทาโนลามีน 17.79 มิลลิลิตร โดยใช้ไมโครปิเปต ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
  2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
- การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
  1. ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.50 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
  2. ปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล
- การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20 %
  1. ละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
  2. ปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์พาสซีฟ

3.4.1 การศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้เคลือบ และ ชนิดของสิ่งกีดขวาง

3.4.2 การตรวจสอบคุณสมบัติของสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน

- ทำการเคลือบสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด คือ TEA 20%, NaOH 0.1% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 20 % ลงบนแผ่นกรอง จำนวนชนิดละ 10 ซ้ำ ทิ้งไว้เป็นเวลา 0,15 และ 30 วัน ในถุงซิปปิดสนิท จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

### 3.5 การจำลองสถานการณ์ที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบ (Experimental Chamber Atmosphere)

#### ห้องทดสอบ (Experimental Chamber)

ห้องทดสอบที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟมีขนาด 40\*50\*60 ลบ.ซม. ปริมาตรภายใน 120 ลบ.ซม.ผนังทำจากสแตนเลสสตีล ด้านหน้าเปลี่ยนผนังให้เป็นกระจกใส เพื่อความสะดวกและสามารถมองเห็นอุปกรณ์ภายในได้ ด้านข้างเป็นประตูบานพับสำหรับปิดเปิดในการจัดชุดการทดลองและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในมีพัดลมขนาดเล็กปรับระดับความเร็วได้ เพื่อให้บรรยากาศภายในห้องทดสอบมีระดับความเข้มข้นของสารมลพิษที่ศึกษาเท่ากันทุกจุด มีไฮโกรมิเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดความชื้นและอุณหภูมิของบรรยากาศ ด้านบนมีแถบรางห้อยลงมาเพื่อติดตั้งอุปกรณ์พาสซีฟ ระหว่างรอยต่อของวัสดุที่เป็นผนัง ข้อต่อมีสารซิลิโคนและแผ่นเทฟลอนเป็นตัวประสานไม่ให้มีการรั่วไหลของสารมลพิษออกมาจากห้องทดสอบ หรือมีสารแปลกปลอมเข้าสู่ห้องทดสอบ

การจำลองสถานการณ์ที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

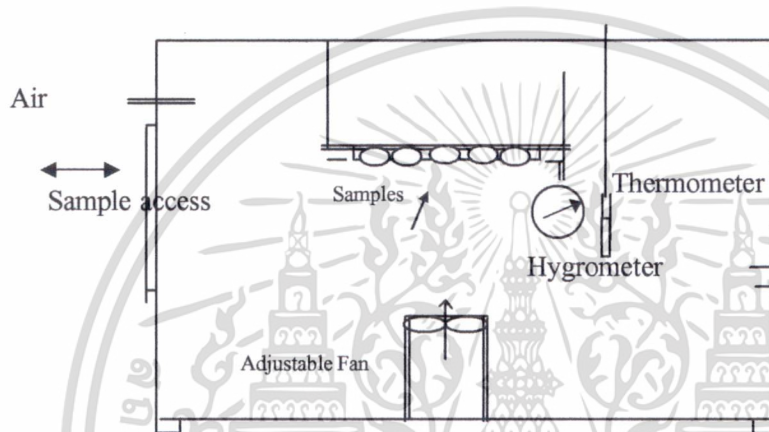
เมื่อให้โซเดียมไฮโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังสมการ



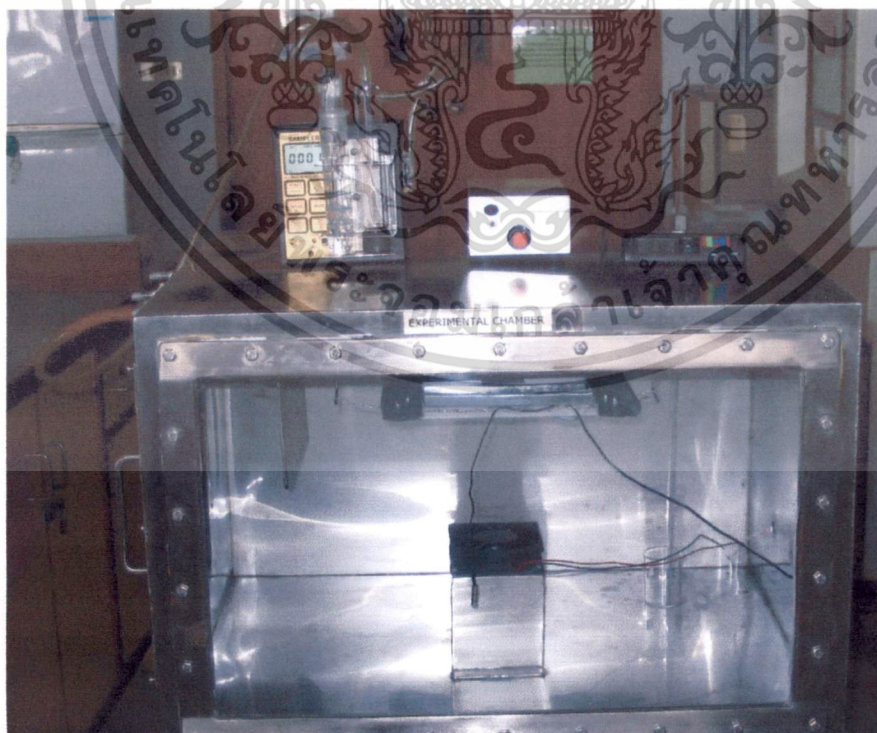
กรดที่ใส่มากเกินพอ และโซเดียมไฮโอซัลเฟตเป็นสารที่ปริมาณจำกัด (Limiting agent) และทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วโดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO<sub>3</sub>)ในสภาวะที่เป็นกรดและมีไอโอไดด์ (I<sup>-</sup>) มากเกินพอ ทำให้ในการจำลองสภาวะสามารถควบคุมปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงสามารถจำลองให้บรรยากาศในห้องทดสอบมีความเข้มข้นของสารมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศตามที่ต้องการได้ โดยใช้สารปริมาณต่างๆตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ต้องใช้ในการจำลองให้บรรยากาศมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์

[SO <sub>2</sub> ] ในห้องทดสอบ (พีพีเอ็ม)	ปริมาณ Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> เข้มข้น 0.001 โมลาร์ (มล.)	ปริมาณ HCl เข้มข้น 0.01 โมลาร์ (มล.)
1.02	5.00	1.00
3.00	15.00	4.00



รูปที่ 3.1 แผนภาพในห้องทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.2 ห้องทดสอบ Experimental Chamber**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งอยู่ที่เมืองโอไฮโอ สหรัฐอเมริกา

บริษัท HCL เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด	บริษัท O.S. เทคโนโลยี จำกัด	บริษัท [ ] จำกัด
00.1	00.2	00.3
00.4	00.5	00.6

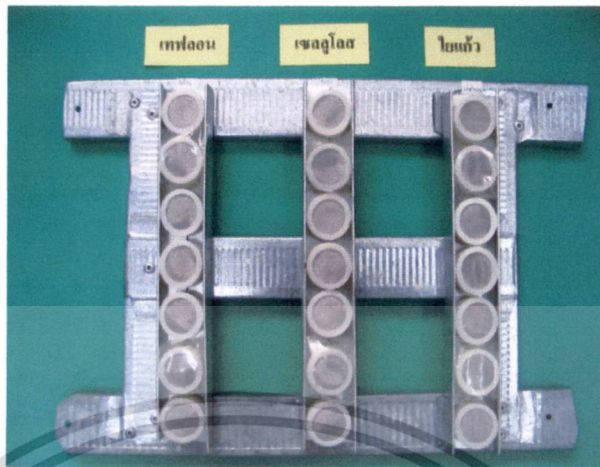


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดลอง

### 1. การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีพาสสีพในห้องทดสอบ ที่มีสารมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- ทำการวางอุปกรณ์ สารเคมีในการสร้างบรรยากาศที่เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ให้พร้อม แต่ยังไม่ผสมให้เกิดปฏิกิริยา โดยจัดให้เหมาะสมตั้งไว้ในห้องทดสอบ
- ทำการวางอุปกรณ์เก็บตัวอย่างพาสสีพที่เขียนรหัสแล้ว วางในห้องทดสอบเพื่อเตรียมการรับสัมผัสอากาศ จำนวน 3 ชุด ดังรูปที่ 3.3 พร้อมแบลงค์อีก 2 ชุด (โดยบรรจุในถุงปิดสนิทไม่ให้สัมผัสอากาศใดๆได้)
- ปิดประตูห้องทดสอบให้สนิท ตรวจสอบข้อต่อและรอยต่อระหว่างผนัง ไม่ให้มีการรั่วไหลได้
- ทำการผสมสารเคมี เพื่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้มข้น 1 พีพีเอ็ม เปิดพัดลมภายในห้องทดสอบเพื่อให้สารกระจายตัวทั่วห้องนาน 1 นาที
- ให้วางอุปกรณ์พาสสีพรับสัมผัสก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นาน 2 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.3 แล้วจึงนำออกมาจากห้องทดสอบ บรรจุในถุงปิดสนิท ไม่ให้สัมผัสอากาศใดๆได้อีก เก็บไว้สำหรับทำการวิเคราะห์หาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อสกัดออกมาในรูปของซัลเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ในตอนต่อไปโดยเปรียบเทียบกับแบลงค์
- การวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี  
นำแผ่นกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างอากาศแล้วมาสกัด แฉลงในน้ำความบริสุทธิ์สูง จำนวน 3 มิลลิลิตร เขย่าเป็นครั้งคราวประมาณ 2-3 ครั้ง บีบสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) 0.15% ลงในขวดปากกว้างที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร บีบสารที่สกัดได้จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) 0.15% อยู่แล้ว ผสมสารให้เข้ากันจากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี กรณีที่เป็นแบลงค์ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน
- ทำความสะอาดห้องทดสอบให้เรียบร้อยจากนั้นเปิดฝาห้องทดสอบและเปิดพัดลมระบายอากาศ แล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนทำการทดลองครั้งต่อไปอีก 2 ชั่วโมง
- ทำซ้ำคล้ายกันแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบเป็น 3 พีพีเอ็ม รวม 3 ชั่วโมง

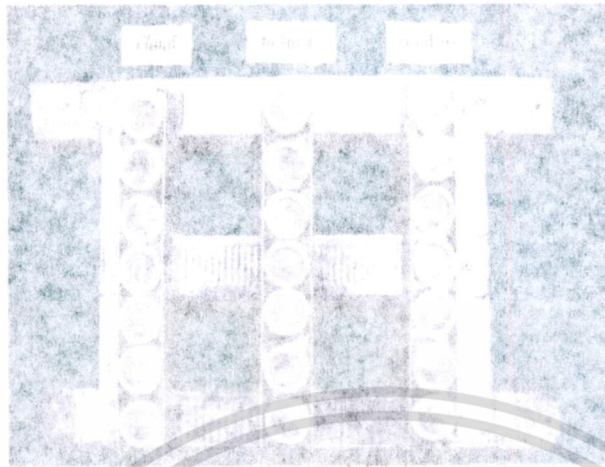


รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ฟอสฟอรัสบนแผงอลูมิเนียม

## 2. การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีแอกทีฟในห้องทดสอบ ที่มีสารมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- ทำการวางอุปกรณ์ สารเคมีในการสร้างบรรยากาศที่เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ให้พร้อม แต่ยังไม่ผสมให้เกิดปฏิกิริยา โดยจัดให้เหมาะสมตั้งไว้ในห้องทดสอบ
- ต่ออุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบแอกทีฟไว้ให้พร้อม
- ปิดประตูห้องทดสอบให้สนิท ตรวจสอบข้อต่อและรอยต่อระหว่างผนัง ไม่ให้มีการรั่วไหลได้
- ทำการผสมสารเคมี เพื่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้มข้น 1 พีพีเอ็ม เปิดพัดลมภายในห้องทดสอบเพื่อให้สารกระจายตัวทั่วห้องนาน 5 นาที ทั้งวันนาน 2 ชั่วโมง
- ทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบแบบวิธีแอกทีฟ ด้วยปั๊มเก็บอากาศ อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที นาน 120 นาที โดยจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารละลาย sodium tetrachloromercurate เกิดเป็น sodium dichloro-sulphofomercurate ในการวิเคราะห์ควรเว้นช่วงไว้เวลาอย่างน้อย 20 นาที ก่อนนำสารดูดซึมที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้วมาวิเคราะห์ เพื่อให้สารออกซิไดซ์ที่มี เกิดการสลายตัวก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธียูวี - วิสสิเบิล
- บันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ทั้งก่อนและหลังทำการทดลองทุกครั้ง
- วัดอัตราการไหลหลังเก็บตัวอย่าง โดยวัดซ้ำ 10 ครั้ง นำอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศตลอด 2 ชั่วโมง (120 นาที)
- ทำความสะอาดอุปกรณ์และห้องทดสอบ เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

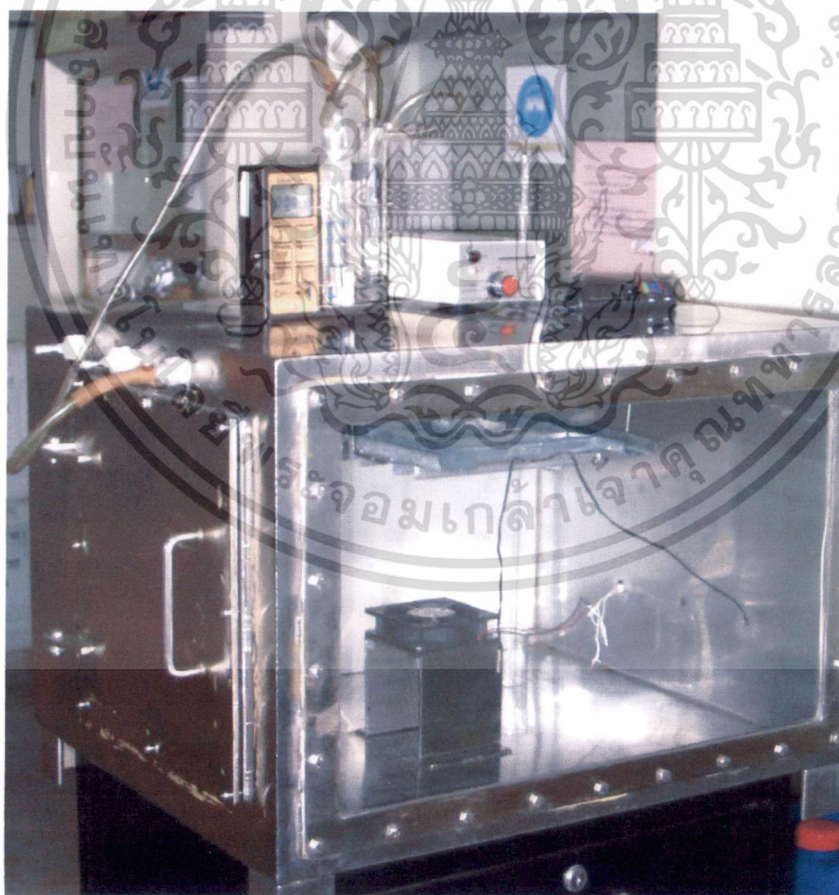


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เพิ่มความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็น 3 ส่วนในล้านส่วน



รูปที่ 3.4 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ และเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 3.5 การเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟในห้องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขต

สาขาวิชา

เลขที่



ชื่อผู้ลงทะเบียน

ชื่อผู้ลงทะเบียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวางตัวอย่างอุปกรณ์พาสซีฟภาคสนาม เพื่อศึกษาการรับสัมผัสมลสารในอากาศของส่วนบุคคล

เลือกอาสาสมัครจากบุคลากรในห้องปฏิบัติการเคมี ที่มีการทดลองเกี่ยวกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จำนวน 5 คน ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยติดอุปกรณ์พาสซีฟไว้ที่แต่ละบุคคล บริเวณหน้าอกให้ใกล้จมูกมากที่สุด ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในช่วงสัปดาห์ที่ไม่มีการทดลองเกี่ยวกับมลสาร นาน 100 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

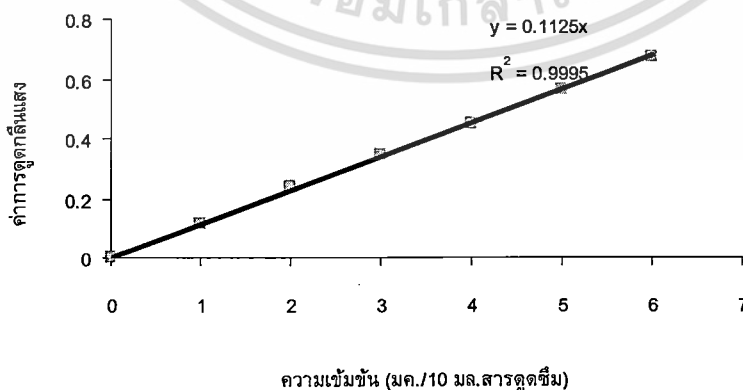
#### 4.1 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

##### 4.1.1 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธีแอกทีฟ

ในการเก็บตัวอย่างที่มีการตรวจสอบปริมาณอากาศที่เก็บจากห้องทดสอบว่ามีปริมาตรที่แท้จริงเท่าใด ซึ่งขณะที่เก็บต้องมีการทำงานของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศอัตโนมัติของไหลสม่ำเสมอ ในการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอกทีฟแต่ละครั้งจะทำการวัดอัตราการไหลของอากาศ 1 ลิตรต่อนาที ดังรูปชุดเก็บตัวอย่างรูปที่ 3.4 สำหรับเกณฑ์ความเชื่อมั่นอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ จะทำการเก็บข้อมูลทั้งก่อนและหลังการทดลองอย่างน้อย 10 ครั้ง และอัตราการไหลต้องมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ไม่เกิน 10 % อัตราการไหลก่อนและหลังต้องไม่ต่างกันเกิน 3 % และทำการเปลี่ยนเป็นปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน คือที่ 25° เซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในภาคผนวก ก

การเก็บตัวอย่างอากาศที่มีการจำลองสถานการณ์มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบ โดยการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปฏิกิริยาเคมีเป็นการจำลองแบบครั้งเดียว (Batch) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการดูดซับโดยพื้นผิวห้องทดสอบ ความชื้นในห้องทดสอบและอื่น ๆ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาต่างๆได้ ทำให้มีความเข้มข้นลดลง ในการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยทำให้เกิดสีกับพาราโรซานิลีน และวัดสีด้วยการดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต นำมาเทียบค่ากับการทำกราฟมาตรฐาน โดยกราฟมาตรฐานที่ทำแต่ละครั้งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าการดูดกลืนแสง และค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่ตี (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์,  $R^2$  เข้าใกล้ 1) ดังรูปที่ 4.1

กราฟมาตรฐานซัลไฟด์



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานสารละลายซัลไฟด์ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซ

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธีแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

สำหรับการวิเคราะห์ไนไตรต์และซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ สกัดด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี มีการประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ โดยตรวจสอบค่าของเวลาที่คงที่ (Retention time, Rt) และพื้นที่ใต้พีคของโครมาโตแกรม การตรวจสอบทำโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรต์และซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนคือ 1 ส่วนในล้านส่วน ฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี จำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรต์และซัลเฟตที่เตรียม ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ค่าการคงไว้ พื้นที่พีคและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

ครั้งที่	สารละลายมาตรฐานไนไตรต์		
	ค่าเวลาการคงไว้ (นาที)	พื้นที่พีค	ความเข้มข้น (ppm)
1	4.93	66.630	1.000
2	4.93	66.536	1.001
3	4.93	66.638	1.000
Avg.	4.93	66.601	1.001
SD	0.00	0.057	0.001
% RSD	0	0.085	0.085
ครั้งที่	สารละลายมาตรฐานซัลเฟต		
	ค่าเวลาการคงไว้ (นาที)	พื้นที่พีค	ความเข้มข้น (ppm)
1	9.56	79.264	1.028
2	9.54	76.596	0.994
3	9.53	74.393	0.965
Avg.	9.543	76.751	0.996
SD	0.015	2.439	0.032
% RSD	0.16	3.18	3.17

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองซ้ำๆ 3 ครั้ง โดยใช้สภาวะเช่นเดิมทุกครั้ง สามารถตรวจสอบความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณสารมาตรฐานที่เตรียมด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) ได้จาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของค่าเวลาการคงไว้ ซึ่งถือเป็นค่าเฉพาะตัวของความสามารถในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกสารของคอลัมน์ที่ใช้ ต้องมีค่าเท่าเดิมหรือใกล้เคียงกับค่าเดิมตลอดการทดลอง นอกจากนี้พื้นที่ใต้พีค และความเข้มข้นของทั้งไนโทรต์และซัลเฟต พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ที่คำนวณได้จากตารางที่ 4.1 มีค่าต่ำกว่า 10% แสดงว่าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีมีความแม่นยำในการวิเคราะห์ไอออนทั้งสองชนิดนี้สูง

#### 4.2 อายุก่อนการใช้งานของสารเคมีที่เคลือบ

สารเคมีที่เคลือบมีความสามารถในการดูดซับสารมลพิษที่ศึกษาจากอากาศทั่วไป ขณะที่ผลิต เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานๆ อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการเก็บรักษาได้ ในการวิจัยจึงทำการผลิตแผ่นกรองและหยดสารเคมีที่ใช้เคลือบเหมือนการผลิตอุปกรณ์พาสตีฟ ตามปกติ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีที่เกิดขึ้นหลังจากการผลิตตามระยะเวลาที่ทิ้งไว้ 0, 15 และ 30 วันตามลำดับ จากนั้นสกัดด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูงจำนวน 3 มล. ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตที่เกิดขึ้นและ ดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซัลเฟตจากแผ่นกรองที่เคลือบด้วยสารเคมีต่างๆ ไปบ้างเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่เมื่อทำการทดสอบสมมุติฐาน ระยะเวลา 0, 15 และ 30 วัน ไม่ส่งผลทำให้ความเข้มข้นซัลเฟต บนแผ่นกรองที่เคลือบด้วยสารละลาย TEA 20% และ NaOH 0.1% มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังการคำนวณในภาคผนวก ค ผลการทดสอบสมมุติฐานความเข้มข้นของซัลเฟต บนแผ่นกรอง วันที่ 0, 15 และ 30 วันจากการผลิตไม่ต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (Two way – ANOVA) จากผลที่ได้แสดงว่ากรณีที่ทำการผลิต และ นำมาใช้งานภายใน 30 วันจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของซัลเฟตบนแผ่นกรองแบบลงค์อย่างมีนัยสำคัญด้วย สำหรับอนุมูลไนโทรต์ไม่สามารถใช้ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้บางส่วนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

**ตารางที่ 4.2** ผลของการเก็บรักษาอุปกรณ์พาสซีฟต่อปริมาณสารซัลเฟต และไนไตรต์

ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)		ความเข้มข้นซัลเฟตที่สกัดจากแผ่นกรอง (ppm, n = 10) สารเคมีที่ใช้เคลือบ		
		TEA 20% (w/w)	NaOH 0.1% (w/w)	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20% (w/w)
0	X	0.1151	0.1409	0.0519
	SD	0.0461	0.0043	0.0163
15	X	0.1542	0.1783	0.1000
	SD	0.0584	0.0196	0.0136
30	X	0.1467	0.1596	0.1606
	SD	0.0259	0.0259	0.0223
ระยะเวลาเก็บรักษา(วัน)		ความเข้มข้นไนไตรต์ที่สกัดจากแผ่นกรอง (ppm, n = 10) สารเคมีที่ใช้เคลือบ		
		TEA 20% (w/w)	NaOH 0.1% (w/w)	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20% (w/w)
0	X	ND	0.0175	ND
	SD	-	0.0011	-
15	X	ND	0.0196	0.2065
	SD	-	0.0013	0.0028
30	X	0.0253	0.2044	0.2094
	SD	0.0512	0.0031	0.0033

หมายเหตุ ND = ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

**ตารางที่ 4.3** ผลของสิ่งกีดขวางและสารเคมีที่ใช้เคลือบ ในห้องทดสอบจำลองสถานการณ์  
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้มข้น 1 ppm

สิ่งกีดขวาง	ความเข้มข้นเฉลี่ย, $X(\pm SD)$ ของก๊าซ SO <sub>2</sub> โดยวิธีพาสซีฟในการรับสัมผัส 8 ชั่วโมง (ppm, n = 5)			ความเข้มข้นของก๊าซ SO <sub>2</sub> โดยวิธีแอกทีฟ (ppm n = 5)
	สารเคมีที่ใช้เคลือบ			
	TEA 20% (w/w)	NaOH 0.1% (w/w)	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20% (w/w)	
<b>เทฟลอน</b>				
ครั้งที่ 1	0.004(+0.001)	0.003(+0.001)	0.007(+0.001)	0.0138
ครั้งที่ 2	0.003(+0.001)	0.001(+0.000)	0.001(+0.000)	0.0123
ครั้งที่ 3	0.003(+0.001)	0.003(+0.001)	0.004(+0.001)	0.0136
<b>เซลลูโลส</b>				
ครั้งที่ 1	0.005(+0.001)	0.007(+0.001)	0.004(+0.000)	0.0138
ครั้งที่ 2	0.003(+0.001)	0.006(+0.002)	0.003(+0.002)	0.0123
ครั้งที่ 3	0.005(+0.001)	0.007(+0.002)	0.004(+0.003)	0.0136
<b>ใยแก้ว</b>				
ครั้งที่ 1	0.005(+0.001)	0.004(+0.002)	0.006(+0.002)	0.0138
ครั้งที่ 2	-	0.002(+0.001)	0.003(+0.001)	0.0123
ครั้งที่ 3	0.004(+0.003)	0.003(+0.000)	0.005(+0.001)	0.0136

หมายเหตุ \* ปรับแก้ค่าเบี่ยงเบนแล้ว

#### 4.3 การจำลองสถานการณ์ที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบ

ภายในห้องทดสอบที่ทำความสะอาดและเปิดพัดลมระบายอากาศในห้องทดสอบแล้ว ทำการสู่มตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในห้องทดสอบหรือไม่ ผลการสู่มไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปนเปื้อนในระดับที่สามารถตรวจวัดได้ จากนั้นจึงทำการศึกษาผลของสิ่งกีดขวาง และสารเคมีที่ใช้เคลือบ โดยสร้างให้ในบรรยากาศมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เกิดขึ้น ทางทฤษฎี 1, 3 ppm ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.4** ผลของการศึกษาชนิดของสิ่งกีดขวางและสารเคมีที่ใช้เคลือบ ในห้องทดสอบ  
จำลองสถานการณ์ให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เข้มข้น 3 ppm

สิ่งกีดขวาง	ความเข้มข้นเฉลี่ย, $X(\pm SD)$ ของก๊าซSO <sub>2</sub> ในการรับสัมผัส 8 ชั่วโมง (ppm, n = 5)			ความเข้มข้น ของก๊าซ SO <sub>2</sub> โดยวิธีแอกทีฟ(ppm )
	สารเคมีที่ใช้เคลือบ			
	TEA 20% (w/w)	NaOH 0.1% (w/w)	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20% (w/w)	
<b>เทฟลอน</b>				
ครั้งที่ 1	0.004(+0.001)	0.004(+0.003)	0.016(+0.001)	0.0432
ครั้งที่ 2	0.005(+0.001)	0.010(+0.003)	0.016(+0.004)	0.0447
ครั้งที่ 3	0.005(+0.003)	0.028(+0.012)	0.022(+0.005)	0.0457
<b>เซลลูโลส</b>				
ครั้งที่ 1	0.029(+0.012)	0.011(+0.007)	0.008(+0.005)	0.0432
ครั้งที่ 2	0.038(+0.013)	0.013(+0.001)	0.011(+0.000)	0.0447
ครั้งที่ 3	0.042(+0.005)	0.013(+0.002)	0.012(+0.001)	0.0457
<b>ใยแก้ว</b>				
ครั้งที่ 1	0.005(+0.001)	0.003(+0.000)	0.012(+0.000)	0.0432
ครั้งที่ 2	0.006(+0.001)	0.005(+0.001)	0.019(+0.002)	0.0447
ครั้งที่ 3	0.023(+0.001)	0.006(+0.003)	0.025(+0.004)	0.0457

จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ โดยใช้อุปกรณ์พาสสิฟที่มีสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทาโนลามีน 20% (w/w) เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทฟลอน เซลลูโลส และใยแก้ว มีการจำลองให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบแบบความเข้มข้น 1 และ 3 ppm ในตอนเริ่มต้นเพียงครั้งเดียว ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจเกิดการสลายตัวเองส่วนหนึ่ง เนื่องจากมีค่าเวลาครึ่งชีวิตต่ำ (Half life) อีกส่วนหนึ่งอาจเกิดการดูดซับกับพื้นผิวของห้องทดสอบ และถูกดูดซึมโดยความชื้นและละลายลงในสารละลายที่เหลือจากการสังเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบีกเกอร์ การละลายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เหนือของเหลวจะเกิดตลอดระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์พาสสิฟ ซึ่งเป็นไปตามกฎของเฮนรี (Henry's Law) ทำให้ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เก็บได้โดยวิธีพาสสิฟ และแอกทีฟมีค่าต่ำกว่าที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสังเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎีมาก (ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 และ 3 ppm) อาจเนื่องจากขณะทำการศึกษาอยู่ในช่วงฤดูฝน มีฝนตกหนักบ่อยครั้ง ทำให้ภายในห้องทดสอบที่ใช้ทำการทดลองนั้นมีความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นใบเช็คใบเสร็จต้นการค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์สูง (65 – 85 %) ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศกลายเป็นกรดซัลฟิวริก และแม้ว่าห้องทดสอบทำมาจากเหล็กแอสแตนเลส แต่มุมตามขอบและรอยเชื่อมต่อบางส่วนเป็นเหล็ก ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับภาชนะดังกล่าวได้ ซึ่งสังเกตเห็นได้จากคราบสนิมที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนอาจถูกสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนรบกวนการเกิดสีกับพาราโรซานิลินได้ ทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศภายในห้องทดสอบลดต่ำลงมาก อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ทั้งทางวิธีพาสสิฟ และแอกทีฟมีระดับค่าเฉลี่ยในระยะเวลา 8 ชั่วโมงสอดคล้องซึ่งกันและกัน แต่วิธีพาสสิฟจะให้ความเข้มข้นต่ำกว่าวิธีแอกทีฟ สามารถอธิบายทั้งนี้เนื่องมาจากการแพร่โดยอิสระของก๊าซเกิดได้ช้าและน้อยกว่าการใช้เครื่องสูบลมอากาศที่มีปริมาตรอากาศมากกว่ามาก ทำให้มวลสารที่ผ่านสิ่งกีดขวางและจับกับสารเคมีที่เคลือบน้อยไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องไอออนโครมาโทกราฟีช่วยให้การตรวจวัดซัลเฟตไอออนที่เกิดขึ้นทำได้ในระดับความเข้มข้นต่ำมาก ถือว่าเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของการวัดแบบพาสสิฟได้ดีขึ้น สำหรับข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

สำหรับปัญหาในการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบแอกทีฟด้วยวิธีเคมีแบบเปียก โดยผ่านก๊าซลงในสารละลายโพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต (Potassium tetrachloromercurate; TCM) เกิดเป็น dichloro sulfite mercurate (II) ion จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสารเชิงซ้อนของปรอท หรือเมอร์คิวรี

#### 4.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจวัดวิธีพาสสิฟและแอกทีฟ

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดทั้ง 2 วิธีมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าที่ตรวจวัดจากวิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟ โดยใช้สารเคลือบ ไตรเอทานอลามีนไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และใช้แผ่นกรองเทฟลอน เซลลูโลส และใยแก้ว โดยทำการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟ เพื่อต้องการทราบว่าสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดใดมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด โดยใช้การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ดังรูปที่ 4.1 – 4.3

จากกราฟพบว่าอุปกรณ์พาสสิฟที่ใช้ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุดดังรูปที่ 4.4 เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง ( $R^2$ ) ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสสิฟโดยใช้สิ่งกีดขวางชนิดแผ่นกรองเซลลูโลสกับวิธีแอกทีฟเท่ากับ 0.9656 ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารเคมีสำหรับเคลือบอีก 2 ชนิด ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง ( $R^2$ ) คือ 0.9294 และ 0.9289 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** เปรียบเทียบความเข้มข้น SO<sub>2</sub> (gas) ระหว่างวิธีแอกทีฟกับวิธีฟาสส์ฟที่เคลือบด้วย TEA 20% (w/w)

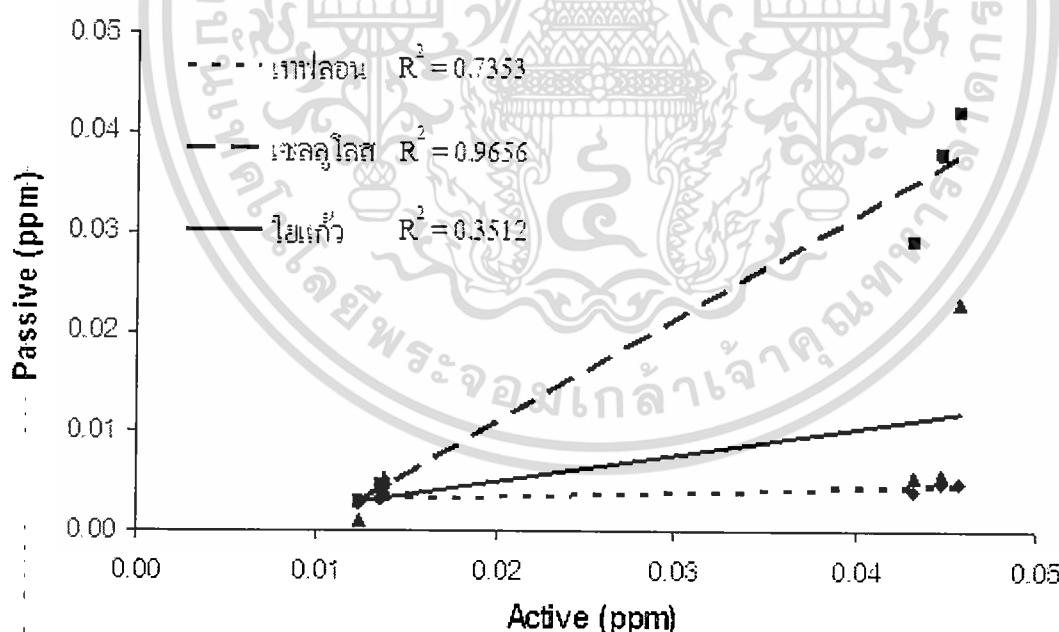
ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO <sub>2</sub> (gas) จากวิธีแอกทีฟ (ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO <sub>2</sub> (gas) จากวิธีฟาสส์ฟที่เคลือบด้วย TEA 20% (w/w) (ppm , n = 6)		
		เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	0.01376	0.00393	0.00474	0.00533
2	0.01231	0.00272	0.00291	0.00108
3	0.01356	0.00310	0.00467	0.00392
4	0.04317	0.00406	0.02911	0.00543
5	0.04471	0.00480	0.03778	0.00581
6	0.04569	0.00486	0.04212	0.02302

**ตารางที่ 4.6** เปรียบเทียบความเข้มข้น SO<sub>2</sub> (gas) ระหว่างวิธีแอกทีฟกับวิธีฟาสส์ฟที่เคลือบด้วย NaOH 0.1% (w/w)

ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO <sub>2</sub> (gas) จากวิธีแอกทีฟ (ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO <sub>2</sub> (gas) จากวิธีฟาสส์ฟที่เคลือบด้วย NaOH 0.1% (w/w) (ppm , n = 6)		
		เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	0.01376	0.00311	0.00728	0.00440
2	0.01231	0.00147	0.00570	0.00152
3	0.01356	0.00272	0.00689	0.00330
4	0.04317	0.00442	0.01068	0.00329
5	0.04471	0.01023	0.01272	0.00543
6	0.04569	0.02773	0.01340	0.01046

**ตารางที่ 4.7** เปรียบเทียบความเข้มข้น SO<sub>2</sub> (gas) ระหว่างวิธีแอกทีฟกับวิธีพาสซีฟที่เคลือบด้วย K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 20% 0.1% (w/w)

ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO <sub>2</sub> (gas) จากวิธีแอกทีฟ (ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO <sub>2</sub> (gas) จากวิธีพาสซีฟที่เคลือบด้วย K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20% 0.1% (w/w) (ppm , n = 6)		
		เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	0.01376	0.00728	0.00425	0.00575
2	0.01231	0.00118	0.00275	0.00320
3	0.01356	0.00424	0.00351	0.00510
4	0.04317	0.01623	0.00845	0.01188
5	0.04471	0.01649	0.01111	0.01914
6	0.04569	0.02167	0.01212	0.02527

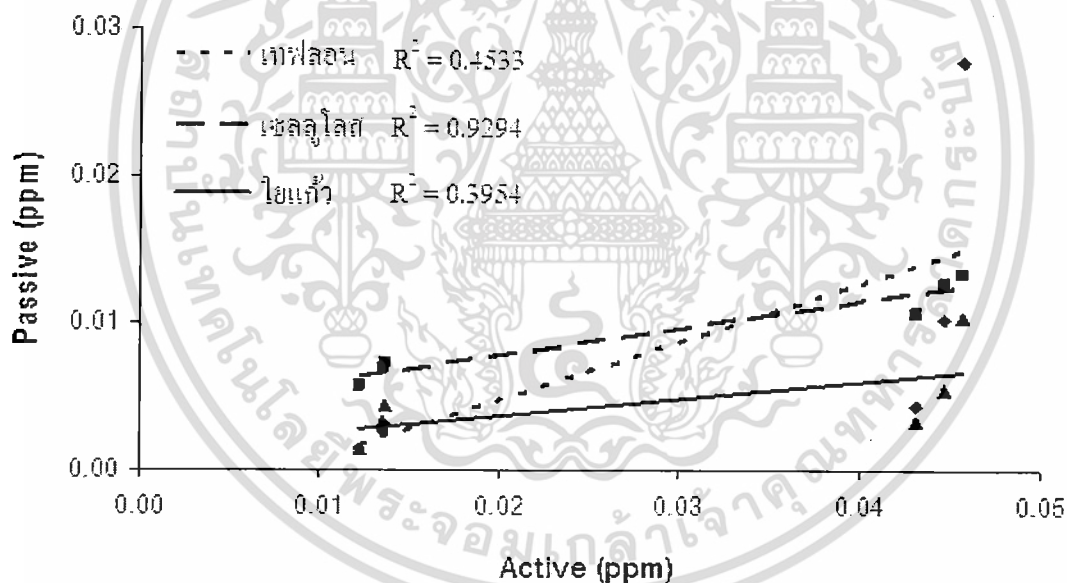


**รูปที่ 4.2** ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ

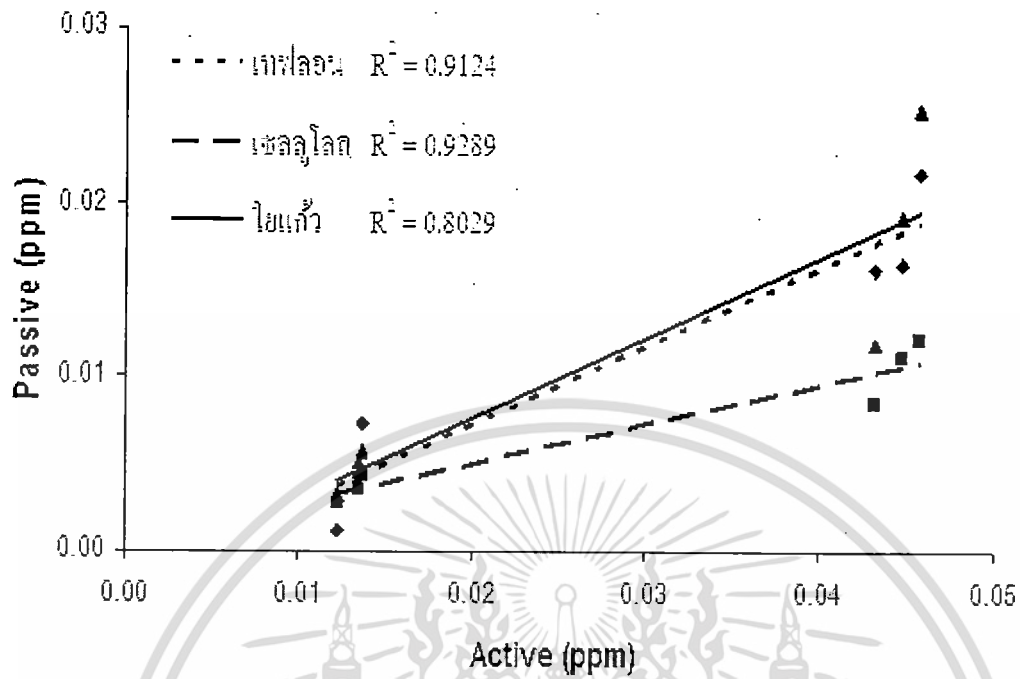
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.8** ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีแอกทีฟและพาสซีฟที่มีสารเคลือบชนิดต่างๆ เมื่อรับสัมผัส 8 ชั่วโมง

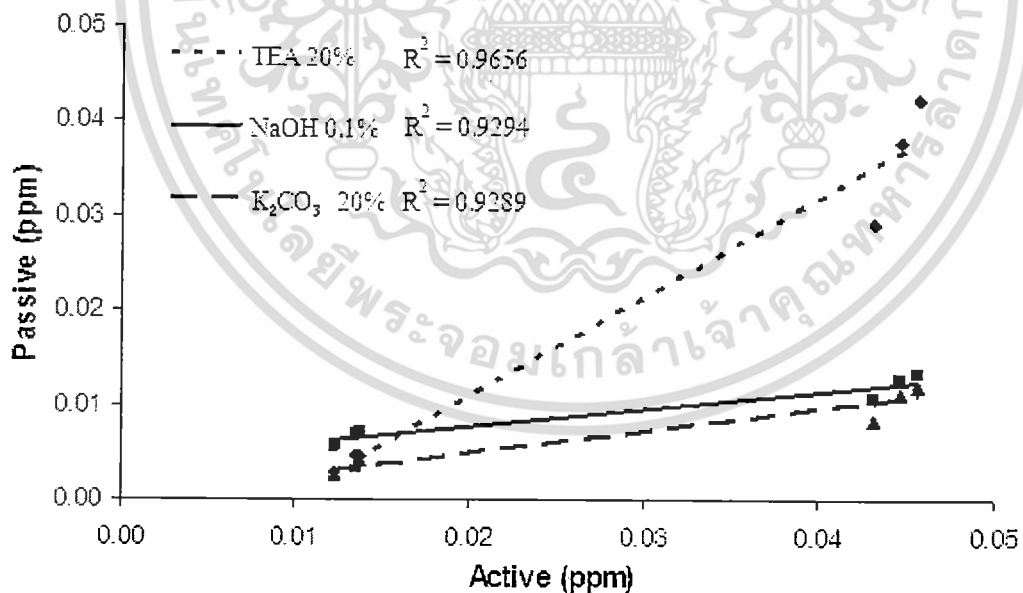
สารเคลือบ	สมการความสัมพันธ์ระหว่างวิธีแอกทีฟและพาสซีฟที่มีสารเคลือบ และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ (n=6)		
	เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
<b>TEA</b>	$y = 0.0436x + 0.0027$ $R^2 = 0.7353$	$y = 1.0387x - 0.0098$ $R^2 = 0.9656$	$y = 0.2703x - 0.0004$ $R^2 = 0.3512$
<b>NaOH</b>	$y = 0.3924x - 0.003$ $R^2 = 0.4533$	$y = 0.1829x + 0.0042$ $R^2 = 0.9294$	$y = 0.1133x + 0.0015$ $R^2 = 0.3954$
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	$y = 0.4497x - 0.0018$ $R^2 = 0.9124$	$y = 0.2286x + 0.0004$ $R^2 = 0.9289$	$y = 0.4612x - 0.0016$ $R^2 = 0.8029$



**รูปที่ 4.3** ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ



**รูปที่ 4.4** ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟ โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โฟแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ



**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟโดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และใช้สารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกันเทียบกับวิธีแอกทีฟ

#### 4. 5 การทดลองการใช้อุปกรณ์พาสซีฟในการเฝ้าระวังบุคคลจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การทดลองเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยขอความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ (S1, S3, S4, S5) และนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ ที่มีหน้าที่เตรียมสารเคมีโดยเฉพาะ (S2) ให้ติดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่บริเวณปกเสื้อตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 100 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีมีการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ แต่เจ้าหน้าที่ ทำงานตามปกติ (ระหว่างวันที่ 25 -29 กรกฎาคม 2548)

ตารางที่ 4.9 ผลการใช้อุปกรณ์พาสซีฟเฝ้าระวังบุคลากรที่ทำงานห้องปฏิบัติการเคมี

ตัวอย่าง	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]จาก IC	[SO <sub>2</sub> ] ในบรรยากาศ	
	ppm	(nmoles/m <sup>3</sup> )	(ppb)
Blank 1	0.259	70.17	1.73
Blank 2	0.261	70.71	1.75
S1	0.289	78.30	1.94
S2	2.746	744.00	18.39
S3	0.667	180.61	4.47
S4	0.678	183.70	4.54
S5	0.265	71.80	1.78
ตัวอย่าง	[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ]จาก IC	[NO <sub>2</sub> ] ในบรรยากาศ	
	ppm	(nmoles/m <sup>3</sup> )	(ppb)
Blank 1	0.027	13.09	0.32
S1	0.284	137.64	3.40
S2	0.406	196.77	4.87
S3	0.261	126.50	3.13
S4	0.359	173.99	4.30
S5	0.306	148.31	3.67

การผลิตอุปกรณ์พาสตีฟใช้เทฟลอนเป็นสิ่งกีดขวางฝุ่นละอียดแทนเซลลูโลส และใช้ไตรเอทาโนลามีน เป็นสารเคมีที่ใช้เคลือบ เนื่องจากต้องเก็บตัวอย่างอากาศ เป็นเวลานานกว่าที่ทดลองในห้องทดสอบ จะมีการดูดความชื้น หรือ สารอื่นๆ ได้น้อยเนื่องจากสมบัติของเทฟลอนเอง (Seinfeld; 1998) และจากการศึกษาของ เจิตนภางค์ และคณะ 2546 ระบุว่า ไตรเอทาโนลามีนเป็นสารเคมีที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์สำหรับไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วย จากผลการใช้อุปกรณ์พาสตีฟในการเฝ้าระวัง พบว่า อุปกรณ์พาสตีฟแปลงค์ที่วางไว้ในห้องปฏิบัติการมีการตรวจวัดปริมาณซัลเฟตได้ มากกว่าปริมาณซัลเฟตของอุปกรณ์พาสตีฟที่ผลิตและเก็บรักษาไว้นาน 30 วัน(0.1467 ppm) อาจมีการดูดซับสารมลพิษจากบรรยากาศในห้องได้บ้าง

สำหรับ S2 จากผลการวิเคราะห์ที่ได้รับสัมผัสก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยสูงมากเมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่าง 18.39 ส่วนในพันล้านส่วน (ดังตารางที่ 4.4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะงานที่ทำ ต้องเตรียมสาร และสัมผัสกับสารเคมีขณะที่ทำงาน ทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงมาก แต่อย่างไรก็ตาม การรับสัมผัสนี้รวมไปอย่างต่อเนื่องที่มีกิจกรรมอื่นนอกเหนือจากการทำงาน ถ้าเทียบกับความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไปที่ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน 0.30 ppm หรือ 30 ppb จะเห็นได้ว่า S2 ยังอยู่ในบรรยากาศระดับที่ปลอดภัย ส่วนการรับสัมผัสไนโตรเจนออกไซด์กลุ่มตัวอย่างทุกคนมีปริมาณที่ได้รับสัมผัสที่ต่ำ และเป็นเกณฑ์ปลอดภัย (ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นสารมลพิษในอากาศ จากการใช้อุปกรณ์พาสตีฟดังกล่าว ค)

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลิตอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์พาสซีฟที่ทำในห้องทดสอบเหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคาร ซึ่งตัวแปรเนื่องมาจากสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเทียบกับภาคสนาม อาทิเช่น อุณหภูมิภายใน ความเร็วของกระแสลมที่ผ่านอุปกรณ์พาสซีฟ ความชื้นในห้องทดสอบ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารมลพิษที่ทำการศึกษา ในแง่การทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องทดสอบ โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษา 3 ตัวแปร ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา ชนิดสิ่งกีดขวาง และสารเคมีสำหรับเคลือบ และส่วนที่สองทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสซีฟกับวิธีแอกทีฟโดยทำการเก็บตัวอย่างนาน 8 ชั่วโมง เพื่อต้องการทราบว่าตัวแปรใดส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สำหรับการสร้างบรรยากาศในห้องทดสอบ จำลองสถานการณ์เฉพาะการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่านั้น การตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีเจือปนในบรรยากาศด้วยจะทำการตรวจวัดไปได้พร้อมกัน และนำอุปกรณ์พาสซีฟไปทดสอบการใช้งานในภาคสนาม

##### 5.1.1 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- ระยะเวลาในการเก็บรักษา 0 – 30 วันไม่ทำให้สารเคมีที่ใช้เคลือบเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอนุมูลในไทรด์ หรือซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลสและใยแก้ว ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์พาสซีฟไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01
- สารเคมีสำหรับเคลือบที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w), โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์พาสซีฟไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่

### ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสิฟเทียบกับวิธีแอกทีฟ

- อุปกรณ์พาสสิฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลสเป็นสิ่งกีดขวางมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟสูงที่สุด เมื่อเทียบกับสิ่งกีดขวางชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะอุปกรณ์พาสสิฟนั้นจะเคลือบด้วยสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดใดก็ตาม

- อุปกรณ์พาสสิฟที่ใช้ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นๆ โดยใช้สิ่งกีดขวางชนิดเซลลูโลส

- จากผลการทดลองที่ได้สรุปว่า อุปกรณ์พาสสิฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ คือ  $y = 1.0387x - 0.0098$  เมื่อ  $x$  และ  $y$  คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทีฟและวิธีพาสสิฟตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้สมการความสัมพันธ์นี้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้เป็นการทดลองภายในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) ซึ่งเป็นระบบปิดเป็นส่วนใหญ่ เพราะสามารถตรวจวัดและเก็บข้อมูลในการทดลอง ควบคุมปัจจัยด้านการหมุนเวียนของอากาศในห้องทดสอบด้วยการเปิดพัดลมในระดับความเร็วสม่ำเสมอด้วย และทำการวัดความชื้น อุณหภูมิได้สะดวก แต่ข้อจำกัดด้านการวางอุปกรณ์ภาคสนาม จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงไม่มีการศึกษาถึงปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น ความเร็วลม ความชื้น อุณหภูมิ การนำไปใช้ในภาคสนาม ต้องมีการศึกษาปัจจัยดังกล่าวเพิ่มเติมด้วย

2. การเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีแอกทีฟของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตรวจวัดโดยวิธีพาราโรซานิสีน ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของ TCM ให้ต่ำ และอยู่ในช่วง  $15 \pm 10$  °C

3. การนำไปใช้ในภาคสนามสำหรับเฝ้าระวังบุคคลในสถานที่ทำงาน มีจำนวนตัวอย่างในการตรวจวัดน้อย จำเป็นต้องมีการสำรวจกิจกรรมขณะทำงานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีโดยละเอียดเพื่อหาปัจจัยที่อาจมีผลต่อสารเคมีที่ทำการเคลือบบนแผ่นกรองของอุปกรณ์พาสสิฟได้ แต่กรณีที่เป็นกรณีการนำไปใช้งานภายนอกอาคาร จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานของการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไป หรือการทดสอบการใช้งานได้ (Validation) เช่นเทียบกับสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประเทศไทยจำเป็นต้องมีการตรวจวัดข้อมูลสารมลพิษทางอากาศ เพื่อเป็นฐานข้อมูล ในการจัดทำแบบจำลองเพื่อ วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ และข้อดีของแบบจำลอง และนำไปใช้ในการพยากรณ์ในอนาคตได้ การใช้อุปกรณ์พาสซีฟจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยเก็บข้อมูลได้มาก สามารถครอบคลุมทั้งเวลาและพื้นที่ (Time and space) โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539 **บันทึกสำเนาตารางรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2539**. หน้า 2-4.
2. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2540 **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2539-2540**. หน้า 12.
3. กรมควบคุมมลพิษ **โครงการสำรวจและวิเคราะห์ห้องค์ประกอบโอโซน เพื่อแก้ไขปัญหา มลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร 2544** กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.
4. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และกลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์. 2547. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ 2546 **อุปกรณ์พาสซีฟกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในเขตเมือง (Passive Sampler and Air Quality Monitoring in Urban Area)** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ประจำปีครั้งที่ 15. สวสท.46.
6. กลิ่นประทุม ปัญญาปิง. 2546. **การใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศอย่างง่ายในการตรวจสอบคุณภาพอากาศที่ปนเปื้อนด้วยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) (Application of Simple Passive Sampler for Determination of  $\text{NO}_x$ ).** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 16 จังหวัดภูเก็ต. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
7. กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2542** กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.
8. เจิดนงศ์ บุญไชยพฤกษ์ ชณัญชญา ดาวสุโข และ ณัฐนิชา สุภาสวัสดิ์ **การตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยอุปกรณ์พาสซีฟ 2546** โครงการงานพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. วินัย สมบูรณ์ **การทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซ  $\text{NO}_2$  และ  $\text{SO}_2$  ชนิดพาสซีฟในภาคสนาม (ระยะที่ 1-2)** ปีงบประมาณ 2548 - 2549.  
<http://www.kmutt.ac.th/rippc/airpass.htm>

10. ศิวพร ดอพล และปาริชาติ สุดสุริยะ. 2547, **การตรวจวัดก๊าซโอโซนโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศชนิดพาสซีฟที่พัฒนาขึ้น**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
11. สรวุฑ เทพานนท์ 2544. **เครือข่ายการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออก (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia)** วารสาร คพ. ฉบับที่ 1 ปีที่ 5. ประจำปี 2544 หน้า 27-30.
12. อ้อยใจ คำกวน. 2543, **ความไวในการวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยพาราโรซานิลิน**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการสอนเคมี. คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
13. Chao, C. Y. H. 2001. **Comparison between Indoor and Outdoor Air Contaminant Levels in Residential Buildings from Passive Sampler Study**. Building and Environment. 36: 999-1007.
14. Cox, R. M., Malcolm, J. W. Hughes, R. N. and William, T. P. W. 2001. **Sampling Ozone Exposure of Canadian Forests at Different Scales: Some Case Studies**. Proceedings of the International Symposium on Passive Sampling of the International Symposium on Passive Sampling of Gaseous Air Pollutants in Ecological Effects Research. The Scientific World 1: 823-835.
15. Garrett, M. H., Hooper, M.A. and Hooper, B.M., **Nitrogen Dioxide in Australian Homes: Levels and Sources**, J. of the Air & waste Manage. Assoc. vol. 49, January 1999.p 76 –81.
16. Gillett, R.W., Kreibich, H. and Ayers, G. P., **Measurement of Indoor Formaldehyde Concentrations with a Passive Sampler**. Environ Sci & Technol, 34, 2000. p 2051 – 2056.
17. Gorecki, T. and Namiesnik, J (2002) **Passive Sampling** Trends in Analytical Chemistry, 21 (4): 276 – 291.
18. Hooper, M.A.; Panther, B.C. and Hooper, B.M. 2001. **The Potential of the Passive Air Sampler: Scope, Value and Limitation**. In National Workshop “Innovative Air Quality Monitoring Tools for Gaseous and Odours. June 12, 2001. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

19. Hooper, M.A., Panther, Babara., Wanna Liawagul., Krongkaew Tipayasak., Wongpan Limpaseni and Hooper, B.M., 2003, **Passive Air Sampler monitoring technology: Value and Application based on Case studies covering outdoor, indoor and personal sampling.** Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment. 12-14 February 2003.
20. <http://www.nilu.no/information/fakta/passive01.html> **A Passive Sampler for SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>**, accessed on Mar 28, 2001.
21. Krochmal, D., Kalina, A., **A Method of Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide Determination in Ambient Air by use of Passive Samplers and Ion Chromatography.** Atmospheric Environment 31, 1997 a. p 3473–3479.
22. Krochmal, D., Kalina, A., **Measurements of Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide Concentrations in Urban and Rural Areas of Poland using a Passive Sampling Method.** Environmental pollution, vol. 96 no.3, 1997 b. p 401 – 407.
23. Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. **“Atmospheric Chemistry and Physics”** John Wiley & Sons, Inc., USA, 1998.
24. Stevenson, K., Bush, T., and Mooney, D., **Five Years of Nitrogen Dioxide Measurement with Diffusion Tube Samplers at Over 1000 Sites in the UK,** Atmospheric Environment vol. 35, 2001. p. 281 –287.
25. U.S. EPA. 1993. **Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen.** Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office, Research Triangle Park, NC. EPA-600/8-91/049aF.
26. Washington State Department of Health, Washington State Department of Ecology, Puget Sound Clean Air Agency. **Addressing Community Health Concerns around Sea Tac Airport.** March, 2000.  
<http://doh.wa.gov/RHSPHL/Epidemiology/NICE/default.htm> accessed on Jan 11, 2002.
27. Yamada, E.; Kimura, M.; Tomazawa, K. and Fuse, Y. 1999, **Simple analysis of Atmospheric NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in Mountains by Using Passive Samplers.** Environ Sci Technol 33(23): 4141-4145.

## ภาคผนวก ก

### การประกันการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟ

อัตราการไหล

ครั้งที่	ก่อนเก็บตัวอย่าง (mL/min)	หลังเก็บตัวอย่าง (mL/min)
1	1026	1023
2	1028	1025
3	1023	1019
4	1024	1021
5	1027	1023
6	1025	1025
7	1028	1022
8	1023	1025
9	1030	1024
10	1019	1024
เฉลี่ย	1025	1023
SD	3.03	1.87
% RSD	0.30	0.18

\*\*อัตราการไหลก่อน-หลังเก็บตัวอย่างแตกต่างกันไม่เกิน 10 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้\*\*

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเฉลี่ย} &= (1025 + 1023) / 2 \\ &= 1024 \quad \text{mL/min} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่ามีอัตราการเก็บตัวอย่างอากาศคงที่ (%RSD < 1%)

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บด้วยวิธีแอดทิฟ

#### หลักการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอดทิฟ

ทำการชักตัวอย่างอากาศผ่านสารละลายโพแทสเซียม เตตระคลอโรเมอร์คิวเรต (Potassium tetrachloromercurate ; TCM) เกิดเป็น dichloro sulfite mercurate (II) ion ซึ่งทนต่อการเกิดออกซิเดชัน โดยออกซิเจนในอากาศ และการเติมเอทิลีนไดเอมีน เตตระอะซิติก แอซิดไดโซเตียมซอลท์ (Ethylene diamine-tetraacetic acid disodium salt, EDTA) ลงในสารละลายจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนแล้ว ยังเสถียรต่อสารออกซิเดนต์อื่นๆ ที่มีฤทธิ์รุนแรง เช่น  $O_3$ ,  $NO_x$  และ  $H_2O_2$  หลังจากทำการชักตัวอย่างอากาศเสร็จเรียบร้อย และไอโซนเกิดสารละลายตัวแล้ว จึงเติมกรดซัลฟามิกเพื่อทำลายไนไตรต์ที่อาจเกิดขึ้นจากการดูดซึมของไนโตรเจนออกไซด์ที่มีในบรรยากาศแล้วจึงทำการเติมสารละลายของฟอร์มัลดีไฮด์ และพาราโรซานิลีน ที่ควบคุมค่าพีเอชโดยกรดฟอสฟอริก และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารพาราโรซานิลีน และฟอร์มัลดีไฮด์ (Pararosaniline and Formaldehyde) จะเกิดเป็นสีของกรดพาราโรซานิลีน เมทิล ซัลโฟนิค (Pararosaniline Methyl sulfonic Acid) ซึ่งสามารถนำมาตรวจวัดได้โดยวิธีเทียบสี (Colorimetric Method) โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร

#### 1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล
- เครื่อง Ultra flow
- เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- ไมโครปิเปตขนาด 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร
- เครื่องแก้ว

#### 2. สารเคมี

- สารดูดซึมโพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต (TCM)  $K_2HgCl_4$  0.04 M เตรียมโดยละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์  $HgCl_2$  จำนวน 10.86 กรัม, โพแทสเซียมคลอไรด์, KCl 5.96 กรัม และ EDTA 0.066 กรัมในน้ำ (ระวัง!  $HgCl_2$  มีความเป็นพิษสูงและกัดกร่อน) เจือจางจนถึง 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร ค่าพีเอชสารละลายควรอยู่ในช่วง  $4 \pm 1$  (กรณีที่ไม่ใช่ KCl อาจใช้ NaCl 4.68 กรัมแทนได้) ในการเก็บรักษาสามารถเก็บไว้ใช้งานได้นาน 6 เดือน แต่ถ้ามีการตกตะกอนต้องทิ้งไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารละลายกรดซัลฟามิก 0.6 % ละลายกรดซัลฟามิก 0.6 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดปิดสนิทได้นาน 10 วัน
- กรดไฮโดรคลอริก 1.0 N เจือจางกรด HCl เข้มข้น 37 % จำนวน 83 มิลลิลิตร จนได้ปริมาตร 1 ลิตร
- กรดฟอสฟอริก 3 M เจือจางกรด  $H_3PO_4$  เข้มข้น 85 % จำนวน 205 มิลลิลิตร จนได้ปริมาตร 1 ลิตร
- สารละลายสตอคพาราโรซานีน(PRA) 0.2 % เตรียมโดยชั่งพาราโรซานีนบริสุทธิ์ละลายด้วย HCl 1 N จำนวน 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร(ต้องละลายให้สมบูรณ์ในบีกเกอร์ก่อน) แล้วจึงปรับปริมาตรด้วย HCl 1 N จึงถึงขีดวัด
- สารละลายพาราโรซานีนรีเจนต์ นำสตอค PRA มา 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร กรณีที่มี  $SO_2$  ต่ำ ต้องเติม  $H_3PO_4$  3 M จำนวน 25 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตร สารละลายนี้สามารถเสถียรได้ถึง 9 เดือน
- สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 0.2 % เจือจางฟอร์มัลดีไฮด์ 37 % จำนวน 5 มิลลิลิตร จนได้ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น ต้องเตรียมใหม่ๆ แต่ละวันที่ใช้
- อินดิเคเตอร์, น้ำแป้ง ชั่งแป้ง (Soluble Starch) 0.4 กรัม นำมาละลายในน้ำใช้ปริมาณน้อยๆ แล้วจึงเติมน้ำเดือด 200 มล. ลงไป ต้มต่อจนได้สารละลายใส ทำให้เย็น เก็บในขวดที่มีฝาปิด ถ้าเกิดตะกอนให้เตรียมใหม่
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N ละลาย  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  25 กรัม ลงในน้ำที่เพิ่งเดือดใหม่ๆ 1 ลิตร ต่อจากนั้นควรทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วย
- สารละลายมาตรฐานซัลไฟต์ ละลาย  $Na_2SO_3$  0.400 กรัม (หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.300 กรัม) ในน้ำกลั่นต้ม จำนวน 500 มล. ถ้าถือว่าสารเคมีที่ใช้บริสุทธิ์ 100% และไม่มีการสูญเสียซัลไฟต์ขณะเตรียมจะได้  $SO_2$  จากสารละลายน้ำ 406  $\mu g/mL$  (ถ้าใช้  $Na_2S_2O_5$ ) แต่ในทางปฏิบัติจริงมีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำลง 0-10% จากค่าทางทฤษฎีถ้าค่าที่ลดต่ำไปยอมรับว่าเป็นค่าที่ไม่แน่นอน (uncertainty) ก็ไม่จำเป็นต้องทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายซัลไฟต์ และเพื่อป้องกันการสูญหายของซัลไฟต์การเจือจางเมื่อจะใช้งาน แต่ถ้าจะหาความเข้มข้นแน่นอนทำได้โดยเติมไอโอดีนมากเกินไป (รู้ปริมาตร) และทำการไทเทรตย้อนกลับหาไอโอดีนที่เหลือกับโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน สารละลายซัลไฟต์จะไม่ค่อยเสถียร เนื่องจากถูกอากาศออกซิไดซ์ได้หรือจากการสูญเสียในรูป  $SO_2(g)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การไทเทรตย้อนกลับหาความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ให้ขวดแรกเป็นแบลงค์โดยเติมน้ำอีก 25 มล. ส่วนใบที่ 2 เติมสารละลายซัลไฟต์ 25 มิลลิลิตร ปิดจุกและทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 5 นาที แล้วจึงนำแต่ละขวดไปไทเทรตกับ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่หาความเข้มข้นแน่นอนมาแล้ว เมื่อได้สีชาจึงเติมน้ำแบ่ง 5 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป คำนวณหาตามสูตร

$$\text{SO}_2(\mu\text{g/mL}) = \frac{(X - Y) N Z}{S}$$

- เมื่อ X = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในขวดแบลงค์ (มล.)  
Y = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในขวดตัวอย่าง (มล.)  
N = ความเข้มข้นของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (นอร์มัล)  
S = ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาใช้ (มล.)  
Z = น้ำหนักสมมูลของ  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g/meq}$ ) =  $3.203 \times 10^4$

— สารละลายซัลไฟต์เจือจาง

— ต้องเตรียมทันทีหลังการหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยปิเปตมา 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.04 M TCM ถ้าเก็บไว้ที่ 5°C จะเก็บได้ถึง 30 วัน

— น้ำกลั่นต้ม

#### วิธีการทดลอง

1. เติมสารดูดซิมโพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต(TCM) 0.04 M จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายซัลไฟต์เจือจางเป็นอนุกรม คือ 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
3. เติมกรดซัลฟามิก 0.6 % 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที เพื่อทำลายไนไตรต์
4. เติมฟอร์มาลดีไฮด์ 0.2 % 2 มิลลิลิตร และสารละลายพาราโรซานิซีนรีเจนต์ 5 มิลลิลิตร
5. ปรับปริมาตรสารจนถึงขีดวัดปริมาตรด้วยน้ำต้มเดือด

\*\*ใช้น้ำกลั่นต้มเป็นแบลงค์ ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1 ต้องเจือจางในอัตราส่วน 1:1 กับรีเอเจนต์แบลงค์ และต้องอ่านค่าการดูดกลืนแสงทันที ถ้าสารละลายมีค่าการดูดกลืนแสงสูงมากอาจเจือจางได้ถึง 6 เท่า

6. เตรียมรีเอเจนต์แบลงค์ โดยใส่สารดูดซึ่ม 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟามิก 0.6 % และสารอื่นๆ เช่นเดียวกับการทำกราฟมาตรฐาน
7. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร
8. พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ทำการหาค่าความชันเพื่อใช้เป็นค่า Calibration factor, B( $\mu\text{g}/\text{A.U.}$ )

การคำนวณ

$$\text{SO}_2(\text{ppm}) = \frac{(A-A_0) \cdot 0.382 \cdot B}{V}$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานซัลไฟต์

$A_0$  = ค่าการดูดกลืนแสงของรีเอเจนต์แบลงค์

0.382 = ปริมาตรของ  $\text{SO}_2$  1  $\mu\text{g}$  (หน่วย  $\mu\text{L}$ ) ที่ 25°C, ความดัน 101.3 kPa

B = Calibration factor ( $\mu\text{g}/\text{A.U.}$ )

V = ปริมาตรของอากาศที่ชักตัวอย่าง โดยปรับให้เป็นภาวะมาตรฐานที่ 25°C, 101.3 kPa จากสูตร  $PV = nRT$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลทั่วไป

### 1 น้ำหนักสาร

$\text{KIO}_3$	1.7830	g	ละลายในน้ำกลั่น 500 mL
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	12.3956	g	ละลายในน้ำกลั่น 500 mL
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	-	g	ละลายในน้ำกลั่นต้ม 100 mL

### 2 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ผลิตก๊าซ  $\text{SO}_2$  เข้มข้น 1 ppm ในห้องทดสอบ

โดยใช้	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0.001 N.	= 5 mL
และ	HCl	0.01 N.	= 4 mL

### 3 อุณหภูมิ

ก่อนเก็บตัวอย่าง	31.7	$^{\circ}\text{C}$	=	304.85	K
หลังเก็บตัวอย่าง	30.6	$^{\circ}\text{C}$	=	303.75	K
เฉลี่ย	31.2	$^{\circ}\text{C}$	=	304.30	K

### 4 อัตราการไหล

ครั้งที่	ก่อนเก็บตัวอย่าง (mL/min)	หลังเก็บตัวอย่าง (mL/min)
1	1050	1054
2	1056	1049
3	1028	1039
4	1026	1035
5	1033	1041
6	1032	1049
7	1034	1048
8	1032	1057
9	1040	1055
10	1058	1052
เฉลี่ย	1039	1048

\*\*อัตราการไหลก่อน-หลังเก็บตัวอย่างแตกต่างกันไม่เกิน 10 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้\*\*

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเฉลี่ย} &= (1039 + 1048) / 2 \\ &= 1043 \quad \text{mL/min} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ปริมาตรอากาศ

$$\begin{aligned} \text{จาก } Q &= V/T \\ V &= 125.21 \text{ L} \end{aligned}$$

6 ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $V_{std}$ ) ความดัน = 1 atm

$$\begin{aligned} \text{จาก } P_1V_1/T_1 &= P_2V_2/T_2 \\ V_{std} &= 122.68 \text{ L} \end{aligned}$$

**ตอนที่ 1** หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายปฐุมภูมิโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ )

น้ำหนัก  $KIO_3$  1.7830 g ละลายในน้ำกลั่น 500 mL

น้ำหนักสมมูล 35.67 g/mol

$$[KIO_3] = 1.7830/35.67 \times 2$$

$$= 0.1000 \text{ N}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของ  $KIO_3$  เท่ากับ 0.1000 N

**ตอนที่ 2** หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ )

ครั้งที่	ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ (mL)		
	เริ่มต้น	สุดท้าย	ที่ใช้ไป
1	-	-	21.60
2	-	-	21.55
3	-	-	21.80
		เฉลี่ย	21.58

$$\begin{aligned} \text{จาก } N_1V_1 &= N_2V_2 \\ N_1 &= (0.1000 \text{ N})(20.00 \text{ mL}) / (21.58 \text{ mL}) \\ &= 0.0927 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของ  $Na_2S_2O_3$  เท่ากับ 0.0927 N

**ตอนที่ 3** หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )

\*\*ใส่สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.05 M จำนวน 50 mL และสารละลายซัลไฟต์ 15 mL\*\*

ครั้งที่	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)		
	เริ่มต้น	สุดท้าย	ที่ใช้ไป
1	-	-	9.90
2	-	-	9.90
3	-	-	10.00
		เฉลี่ย	9.93

\*\*ใส่สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.05 M จำนวน 50 mL และน้ำกลั่นต้ม 15 mL\*\*

ครั้งที่	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)		
	เริ่มต้น	สุดท้าย	ที่ใช้ไป
1	-	-	10.35
2	-	-	10.10
3	-	-	10.00
		เฉลี่ย	10.05

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมซัลไฟต์} &= 10.05 - 9.93 \\ &= 0.12 \text{ mL} \\ \text{จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\ N_1 &= (0.0927 \text{ N})(0.12 \text{ mL}) / (15.00 \text{ mL}) \\ &= 0.0007 \text{ N} \end{aligned}$$

ทำเป็นไมโครกรัม

$$\begin{aligned} [\text{Na}_2\text{SO}_3] &= 0.00074 \text{ N} * 64 \text{ g} * 1000 \\ &= 46.13 \text{ } \mu\text{g/mL} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของ  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ที่เจือจางแล้ว

$$\begin{aligned} N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\ N_1 &= (47.4513 \text{ } \mu\text{g/mL})(2.00 \text{ mL}) / (100 \text{ mL}) \\ &= 0.9226 \text{ } \mu\text{g/mL} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของ  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  เท่ากับ 0.9226 N

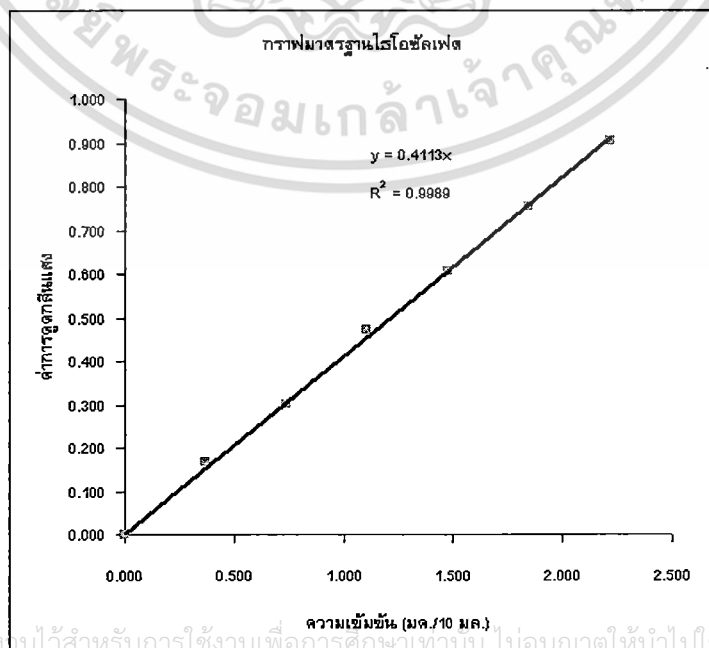
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 4** กราฟมาตรฐานวิธีพาราโรซานีน ที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร

ปริมาณ $\text{Na}_2\text{SO}_3$ (mL)	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์
0	0.155	0.000
1	0.325	0.170
2	0.456	0.301
3	0.627	0.472
4	0.761	0.606
5	0.909	0.754
6	1.060	0.905
ตัวอย่าง	0.229	0.074

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/mL}$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์
0.000	0.155	0.000
0.369	0.325	0.170
0.738	0.456	0.301
1.107	0.627	0.472
1.476	0.761	0.606
1.845	0.909	0.754
2.214	1.060	0.905
ตัวอย่าง	0.229	0.074



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 5** การคำนวณหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)  $y = 0.4113x$

จากกราฟ slope = 0.4113

$$\text{SO}_2(\text{ppm}) = \frac{(A-A_0) \cdot 0.382 \cdot B}{V}$$

$$\text{SO}_2(\text{ppm}) = \frac{(0.074 \cdot 0.382 \cdot 0.4113)}{122.68}$$

$$\text{SO}_2 = 5.72\text{E-}04 \text{ ppm}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การคำนวณหาความเข้มข้นสารมลพิษโดยการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

#### การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วย nmoles/m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad [\text{SO}_2]_{(g)} &= \frac{L V [\text{SO}_4^{2-}]}{TD} \\ \text{เมื่อ} \quad L &= 41.2 \quad \text{m}^{-1} \\ \quad V &= 3.00 \quad \text{mL} \\ \quad D &= 1.32 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2/\text{s} \\ \text{ดังนั้น} \quad [\text{SO}_2]_{(g)} &= \frac{(41.2 \text{ m}^{-1})(0.0003 \text{ L})(2.698 \text{ } \mu\text{mol/L})}{(100 \times 60 \times 60 \text{ s})(1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})} \\ &= 7.017 \times 10^{-3} \quad \mu\text{mol/m}^3 \\ &= 70.17 \quad \text{nmol/m}^3 \end{aligned}$$

#### หมายเหตุ :

- L คือ ค่าคงที่ขึ้นกับขนาดและรูปทรงของอุปกรณ์พาสซีฟ ( $\text{m}^{-1}$ ) =  $41.2 \text{ m}^{-1}$   
 V คือ ปริมาตรที่ใช้ในการสกัด (L)  
 $[\text{SO}_4^{2-}]$  คือ ความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ และวิเคราะห์ ( $\mu\text{mol/L}$ ) =  $0.259 \text{ ppm} = 2.698 \text{ } \mu\text{mol/L}$   
 D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ( $\text{m}^2/\text{s}$ )  $\text{SO}_2 = 1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$   
 T คือ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ (วินาที, s) =  $100 \times 60 \times 60 \text{ s}$

#### การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วย ppb<sub>v</sub> และหน่วย ppm<sub>v</sub>

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad [\text{ppb}_v] &= [\text{SO}_2]_{(g)} \times R \times T \times 10^{-3} \\ \text{เมื่อ} \quad R &= \text{ค่าคงที่ของก๊าซ} \\ &= 0.0821 \quad \text{L.atm/mol.K} \\ \quad T &= 301.15 \quad \text{K} \\ \text{ดังนั้น} \quad [\text{ppb}_v] &= (70.17 \text{ nmol/m}^3)(0.0821 \text{ L.atm/mol.K})(301.15 \text{ K}) \times 10^{-3} \\ &= 1.73 \quad \text{ppb}_v \\ &= 1.73 \times 10^{-3} \quad \text{ppm}_v \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในหน่วย nmoles/m<sup>3</sup>**

จาก	$[NO_2]_{(g)}$	=	$\frac{L V [NO_2]}{TD}$
เมื่อ	L	=	41.2 m <sup>-1</sup>
	V	=	3.00 mL
	D ของ NO <sub>2</sub>	=	1.54*10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s 1.32*10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
ดังนั้น	$[NO_2]_{(g)}$	=	$\frac{(41.2 \text{ m}^{-1})(0.0003 \text{ L}) (5.87 \text{ } \mu\text{mol/L})}{(100 \times 60 \times 60 \text{ s})(1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})}$
		=	13.086*10 <sup>-3</sup> μmol/m <sup>3</sup>
		=	13.086 nmol/m <sup>3</sup>

**หมายเหตุ :**

- L คือ ค่าคงที่ขึ้นกับขนาดและรูปทรงของอุปกรณ์ฟาสตีฟ (m<sup>-1</sup>) = 41.2 m<sup>-1</sup>  
 V คือ ปริมาตรที่ใช้ในการสกัด (L)  
 [NO<sub>2</sub>] คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศแบบฟาสตีฟ และวิเคราะห์ (μmol/L) = 5.87 μmol/L  
 D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (m<sup>2</sup>/s)  
 NO<sub>2</sub> = 1.54\*10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s และ SO<sub>2</sub> = 1.32 \*10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s  
 T คือ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศแบบฟาสตีฟ (วินาที, s) = 100x60x60 s

**การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในหน่วย ppb<sub>v</sub> และหน่วย ppm<sub>v</sub>**

จาก	[ppb <sub>v</sub> ]	=	$[NO_2]_{(g)} \times R \times T \times 10^{-3}$
เมื่อ	R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ
			0.0821 L.atm/mol.K
	T	=	301.15 K
ดังนั้น	[ppb <sub>v</sub> ]	=	$(13.086 \text{ nmol/m}^3)(0.0821 \text{ L.atm/mol.K})(301.15 \text{ K}) \times 10^{-3}$
		=	0.32 ppb <sub>v</sub>
		=	3.2*10 <sup>-3</sup> ppm <sub>v</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### ตัวอย่างการทดสอบสมมติฐาน

**การตรวจสอบสมบัติของสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด เมื่อเก็บในระยะเวลาต่าง ๆ**

ทำการเคลือบสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด คือ TEA 20%, NaOH 0.1% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 20 % ลง

บนแผ่นกรองเซลลูโลส จำนวนชนิดละ 10 ซ้ำ ทั้งไว้เป็นเวลา 0 ,15 และ30 วัน ในถุงซิปล็อคปิดสนิท

จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

**ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในแผ่นกรองเซลลูโลส**

ครั้งที่	ความเข้มข้นซัลเฟตโดยใช้สารเคลือบ NaOH 0.1%		
	0 วัน	15 วัน	30 วัน
1	0.142	0.188	0.147
2	0.140	0.197	0.144
3	0.137	0.179	0.158
4	0.137	0.200	0.146
5	0.135	0.202	0.16
6	0.147	0.165	0.213
7	0.141	0.176	0.197
8	0.146	0.174	0.152
9	0.138	0.139	0.127
10	0.146	0.163	0.152
X	0.1409	0.1783	0.1596
SD	0.0043	0.0196	0.0259

**ขั้นตอนที่ 1 ตั้งสมมติฐานทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล**

H<sub>0</sub> : ความแปรปรวนของความเข้มข้นซัลเฟตบนแผ่นกรอง ณ วันที่ 0 ,15 และ 30 ไม่แตกต่างกัน

H<sub>1</sub> : ความแปรปรวนของความเข้มข้นซัลเฟตบนแผ่นกรอง ณ วันที่ 0 ,15 และ 30 แตกต่างกัน หรือ

H<sub>0</sub> : s<sub>0 วัน</sub> = s<sub>15 วัน</sub> = s<sub>30 วัน</sub>

H<sub>1</sub> : s<sub>0 วัน</sub> ≠ s<sub>15 วัน</sub> ≠ s<sub>30 วัน</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.01

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบความแปรปรวน

วันที่	$\bar{x}$	$S_i^2$	$\log S_i^2$	$(n-1)\log S_i^2$
0	0.141	0.0004	-3.416	-30.741
15	0.178	0.0004	-3.416	-30.741
30	0.160	0.0007	-3.175	-28.573
$\sum (n-1) \log S_i^2 =$				-90.055

$$\begin{aligned}
 S_p^2 &= \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2}{N - k} \\
 &= \frac{(10-1) \times 0.0004 + (10-1) \times 0.0004 + (10-1) \times 0.0007}{30 - 3} \\
 &= 0.0005 \\
 q &= (N - k) \log S_p^2 - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \log S_i^2 \\
 &= (30 - 3) \log 0.0005 - (-90.055) \\
 &= 0.422
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= 1 + \frac{1}{3(k-1)} \times \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N - k} \right] \\
 &= 1 + \frac{1}{3(3-1)} \times \left[ \frac{1}{10-1} + \frac{1}{10-1} + \frac{1}{10-1} - \frac{1}{30-3} \right] \\
 &= 0.346
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } c^2 &= \frac{2.3026q}{c} \\
 &= \frac{2.3026 \times 0.422}{0.346} \\
 &= 2.808
 \end{aligned}$$

จากการเปิดตารางการแจกแจงไคสแควร์ได้

$$c^2_{0.01(2)} = 9.21$$

ดังนั้น  $c^2$  ที่คำนวณได้น้อยกว่า 9.21 จึงยอมรับ  $H_0$  หรือปฏิเสธ  $H_1$

นั่นคือ ความแปรปรวนของความเข้มข้นซัลเฟตบนแผ่นกรองที่เคลือบด้วยสาร

NaOH 0.1% ณ วันที่ 0, 15 และ 30 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง



### การตรวจสอบคุณสมบัติของสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ทำการเคลือบสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด คือ TEA 20%, NaOH 0.1% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 20 % ลงบนแผ่นกรองเซลลูโลส จำนวนชนิดละ 10 ซ้ำ ทิ้งไว้เป็นเวลา 0 ,15 และ30 วัน ในถุงซิปปิดสนิท จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

### ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตบนแผ่นกรอง

ครั้งที่	ความเข้มข้นซัลเฟตโดยใช้สารเคลือบ NaOH 0.1%		
	0 วัน	15 วัน	30 วัน
1	0.142	0.188	0.147
2	0.140	0.197	0.144
3	0.137	0.179	0.158
4	0.137	0.200	0.146
5	0.135	0.202	0.16
6	0.147	0.165	0.213
7	0.141	0.176	0.197
8	0.146	0.174	0.152
9	0.138	0.139	0.127
10	0.146	0.163	0.152

### การทดสอบสมมติฐานด้วย ANOVA

#### ขั้นตอนที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

$H_0$  : ความเข้มข้นซัลเฟตบนแผ่นกรอง ณ วันที่ 0 ,15 และ 30 ไม่แตกต่างกัน

$H_1$  : ความเข้มข้นซัลเฟตบนแผ่นกรอง ณ วันที่ 0 ,15 และ 30 แตกต่างกัน

หรือ

$H_0$  :  $\mu_0 \text{ วัน} = \mu_{15 \text{ วัน}} = \mu_{30 \text{ วัน}}$

$H_1$  :  $\mu_0 \text{ วัน} \neq \mu_{15 \text{ วัน}} \neq \mu_{30 \text{ วัน}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.01

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ ANOVA

	ความเข้มข้นซัลเฟต			
	0 วัน	15 วัน	30 วัน	
	0.142	0.188	0.147	
	0.140	0.197	0.144	
	0.137	0.179	0.158	
	0.137	0.200	0.146	
	0.135	0.202	0.16	
	0.147	0.165	0.213	
	0.141	0.176	0.197	
	0.146	0.174	0.152	
	0.138	0.139	0.127	
	0.146	0.163	0.152	
$T_j$	1.409	1.783	1.596	$T = 4.79$
$n_j$	10	10	10	$N = 30$
$\bar{x}_j$	0.141	0.178	0.160	$\frac{T^2}{N} = 0.764$
$\sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2$	0.199	0.321	0.261	$\sum_{j=1}^k \sum_{li=1}^{n_j} x_{ij}^2 = 0.781$
$\frac{T_j^2}{n_j}$	0.199	0.318	0.255	$\sum_{j=1}^k \left( \frac{T_j^2}{n_j} \right) = 0.771$

จากสูตร 
$$SS_b = \sum_{j=1}^k \left( \frac{T_j^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N}$$

$$= 0.771 - 0.764$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ = 0.007 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 SS_w &= \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} \\
 &= 0.781 - 0.771 \\
 &= 0.010
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_b &= \frac{SS_b}{k-1} = \frac{0.007}{2} \\
 &= 0.003
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_w &= \frac{SS_w}{n-k} = \frac{0.010}{27} \\
 &= 0.00037 \\
 F &= \frac{MS_b}{MS_w} = \frac{0.003}{0.00037} \\
 &= 7.76
 \end{aligned}$$

**ตารางการวิเคราะห์ ANOVA**

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม	0.007	2	0.003	0.73
ภายในกลุ่ม	0.010	27	0.00037	
ทั้งหมด	0.017	29	0.00059	

จากการเปิดตารางการแจกแจงเอฟ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.01 ได้

$$F_{0.01(2,27)} = 5.49$$

ดังนั้น F จำนวนได้น้อยกว่า 5.49 จึงยอมรับ  $H_0$  หรือปฏิเสธ  $H_1$

นั่นคือ ระยะเวลา 0, 15 และ 30 วัน ไม่ส่งผลทำให้ความเข้มข้นซัลเฟต

บนแผ่นกรองที่เคลือบด้วยสารละลาย NaOH 0.1% เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้