

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตอุปกรณ์พาสตีพสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



T107735



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107735
วัน,เดือน,ปี..... 10 พ.ค. 2553

b..... 12810291
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Production of Sulfur Dioxide Passive Sampler



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
นักศึกษา นางสาวนิษฐา สิริจามร
 นางสาวมธุรินทร์ สุทธิเชษฐ์
 นางสาวสุรีย์พร ชื่นจิตต์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน	
กรรมการ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ควงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การผลิตอุปกรณ์พาสตีฟสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
นักศึกษา	นางสาวชนิษฐา สิริจามร นางสาวมธุรินทร์ สุทธิเชษฐ นางสาวสุรีย์พร ชื่นจิตต์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตอุปกรณ์พาสตีฟสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ โดยแบ่งการทดลองเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรก ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์พาสตีฟ ซึ่งประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ชนิดสิ่งกีดขวาง ได้แก่ แผ่นกรองเทฟลอน (T) เซลลูโลส (W) และใยแก้ว (G) และสารเคมีสำหรับเคลือบ ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน (TEA 20% w/w) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 0.1% w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3 20% w/w) ส่วนที่สอง ศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เทียบกับวิธีแอกทีฟซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีพาราโรซานิติน ในการทดลองนี้ทำการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 และ 3 ส่วนในล้านส่วน ภายในห้องทดสอบแบบระบบปิด และใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 480 นาที จากผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า สิ่งกีดขวางทั้ง 3 ชนิด และสารเคมีสำหรับเคลือบทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสตีฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟเทียบกับวิธีแอกทีฟ พบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลส (W) และ ไตรเอทานอลามีน (TEA 20% w/w) มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1.0387x - 0.0098$ เมื่อ x และ y คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีแอกทีฟกับวิธีพาสตีฟ ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้สมการความสัมพันธ์นี้ในการปรับแก้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟในอาคารให้ถูกต้องได้

คำสำคัญ: ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, อุปกรณ์พาสตีฟ, ไอออนโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Production of Sulfur Dioxide Passive Sampler
Name	Miss Khanittha Sirijamorn Miss Maturin Suttichet Miss Sureeporn Chuenjit
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2005
Advisor	Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak

ABSTRACT

The purposes of this special project were to study the suitable compositions of sulfur dioxide (SO₂) passive sampler in the air and to study the relationship of sulfur dioxide collected by passive and active method. The SO₂ was generated in the experimental chamber (40x50x60 cm³) which concentrations 1 and 3 ppm. Exposure time was 480 minute. The experiment was divided into 2 tasks. Firstly, barrier and chemical types that affect the efficiency of SO₂ passive sampler were experimented. The three kinds of barriers were Teflon filter (T), Cellulose filter (W) and Fiber glass filter (G). The impregnated chemicals to adsorb SO₂ gas were Triethanolamine (TEA 20% w/w), Sodium Hydroxide (NaOH 0.1% w/w) and Potassium Carbonate (K₂CO₃20% w/w). Secondary the relation of SO₂ collected by passive and active method were experimented in the same experimental conditions. The SO₂ collected by passive sampler were oxidized to sulfate and analyzed by ion chromatography. The active method was analyzed by pararosaniline method. All passive methods were 5 replications with 2 blanks. While active methods were 3 replications. The statistic hypothesis testing by ANOVA stated that 3 barriers and 3 chemicals were not significant difference (p=0.01). The linear regression correlation between passive and active measurement were compared. The measurement from cellulose filter (W)- Triethanolamine (TEA 20% w/w) passive sampler and active measurement was the best correlation. The linear correlation equation between passive and active method was calculated ($y = 1.0387x - 0.0098$). This equation will able to correct indoor SO₂ by passive sampler.

Keywords : Sulfur Dioxide, Passive Sampler, Ion Chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ อันเนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษา แนะนำ และให้ความรู้ในการทำโครงการพิเศษอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่ให้ความรู้ในวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม 2 ในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นพื้นฐานในการทำโครงการพิเศษนี้ พร้อมทั้งเป็นอาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ คอยตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรัก และความห่วงใยมาตลอดเวลาที่ผู้จัดทำได้ศึกษาและทำโครงการพิเศษนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณปราณี บุญวัฒน์ ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์และเอื้อเพื่อความสะดวกในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยชี้แนะ ให้คำแนะนำช่วยเหลือ เพื่อให้การทำโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและผู้มีพระคุณที่คอยให้กำลังใจ จนโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และบุคคลอื่นใดที่ให้ความช่วยเหลือและความปรารถนาดี แต่มิได้เอ่ยนามไว้ทุกท่าน ขอกล่าวขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวจนิษฐา สิริจามร

นางสาวมธุรินทร์ สุทธิเชษฐ์

นางสาวสุรีย์พร ชื่นจิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ญ
สัญลักษณ์คำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	5
2.2 แหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	6
2.2.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ	6
2.2.2 แหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์	6
2.3 ผลกระทบที่เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสิ่งแวดล้อม	8
2.3.1 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมนุษย์และสัตว์	8
2.3.2 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อพืช	9
2.3.3 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อวัสดุ และสิ่งก่อสร้างต่างๆ	9
2.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 สถานการณ์มลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	10
2.6 คุณภาพอากาศภายในอาคาร	11
2.7 ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์พาสตีฟ	15
2.7.1 ข้อดีและข้อจำกัดของอุปกรณ์พาสตีฟ	19
2.8 หลักการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทีฟ	19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.2 สารเคมี	29
3.3 วิธีการทดลอง	30
3.3.1 การจำลองสถานการณ์การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1.0 และ 3.0 ส่วนในล้านส่วน ในห้องทดสอบ	30
3.3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีพาสตีฟ	31
3.3.2.1 การทำความสะอาดแผ่นกรองและกลาสเล็ท	31
3.3.2.2 วิธีประกอบอุปกรณ์พาสตีฟและวิธีการเก็บรักษา	31
3.3.2.3 ชนิดและจำนวนอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้ในการศึกษา	32
3.3.2.4 การเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) วิธีพาสตีฟ	32
3.3.2.5 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	33
3.3.2.6 การทำกราฟมาตรฐานของวิธีพาสตีฟ	33
3.3.3 การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีแอกทีฟ	34
3.3.3.1 การเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) วิธีแอกทีฟ	34
3.3.3.2 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	35
3.3.3.3 การทำกราฟมาตรฐานของวิธีแอกทีฟ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	37
4.1.1 ชนิดสิ่งกีดขวาง	37
4.1.2 ชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบ	41
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีฟอสฟอรัสเทียบกับวิธีแอกทีฟ	46
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.1.1 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	53
5.1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีฟอสฟอรัสเทียบกับวิธีแอกทีฟ	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของวิธีฟอสฟอรัสและวิธีแอกทีฟ	60
ภาคผนวก ข ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีฟอสฟอรัสกับวิธีแอกทีฟ	95
ภาคผนวก ค การทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่มีต่อมนุษย์	9
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	10
ตารางที่ 2.3 ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บริเวณ โรงเรียนสบป่าด อําเภอแม่เมาะ จังหวัดลําปาง ปีพ.ศ. 2535-2537	11
ตารางที่ 3.1 การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1.0 และ 3.0 ส่วนในล้านส่วน	30
ตารางที่ 3.2 ชนิดและจำนวนอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้ในการศึกษา	32
ตารางที่ 3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต	33
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) โดยชนิดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน	37
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%(w/w) โดยชนิดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน	39
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย โพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% โดยชนิดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน	40
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเทฟลอน โดยชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบแตกต่างกัน	42
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส โดยชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบแตกต่างกัน	44
ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองใยแก้ว โดยชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบแตกต่างกัน	45
ตารางที่ ก-1 พารามิเตอร์ภายในห้องทดสอบสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีแอดทีฟ และวิธีพาสตีฟ	61
ตารางที่ ก-2 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟ	62
ตารางที่ ก-3 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟ	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ ก-4	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	64
ตารางที่ ก-5	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	65
ตารางที่ ก-6	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	66
ตารางที่ ก-7	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	67
ตารางที่ ก-8	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	68
ตารางที่ ก-9	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	69
ตารางที่ ก-10	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	70
ตารางที่ ก-11	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	71
ตารางที่ ก-12	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	72
ตารางที่ ก-13	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	73
ตารางที่ ก-14	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	74
ตารางที่ ก-15	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	75
ตารางที่ ก-16	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	76
ตารางที่ ก-17	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	77
ตารางที่ ก-18	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	78
ตารางที่ ก-19	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	79
ตารางที่ ก-20	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ	80
ตารางที่ ข-1	เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่าง วิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟ	96
ตารางที่ ข-2	เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่าง วิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟ	97
ตารางที่ ข-3	เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่าง วิธีพาสสิฟกับวิธีแอกทีฟ	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข-4	99
เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่าง วิธีพาสซีฟกับวิธีแอกทีฟ	
ตารางที่ ค-1	101
ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสซีฟ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	วิทยจักรซัลเฟอร์	8
รูปที่ 2.2	อุปกรณ์ฟาสตีพีซีหือ SKC 575 Series	17
รูปที่ 2.3	อุปกรณ์ฟาสตีพีซีหือ Ogawa และการติดตั้ง	17
รูปที่ 2.4	ส่วนประกอบของอุปกรณ์ฟาสตีพี	18
รูปที่ 2.5	อุปกรณ์ฟาสตีพี	18
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของพาราโรซานิติน	20
รูปที่ 3.1	ห้องทดสอบ (Experimental Chamber)	30
รูปที่ 3.2	การติดตั้งอุปกรณ์ฟาสตีพีลงบนแผงอคูมิเนียม	32
รูปที่ 3.3	เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล (Personal air sampling)	34
รูปที่ 3.4	การเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบของวิธีแอกทีฟ	35
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีฟาสตีพี โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ	47
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีฟาสตีพี โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ	48
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีฟาสตีพี สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ	49
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีฟาสตีพี โดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และใช้สารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกันเทียบกับวิธีแอกทีฟ	51
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีฟาสตีพี โดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และสารเคมีสำหรับเคลือบคือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เทียบกับวิธีแอกทีฟ	52
รูปที่ ข-1	กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 1	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 ส่วนใน ล้านส่วน ครั้งที่ 2	92
รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 ส่วนใน ล้านส่วน ครั้งที่ 3	92
รูปที่ ข-4 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3 ส่วนใน ล้านส่วน ครั้งที่ 1	93
รูปที่ ข-5 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3 ส่วนใน ล้านส่วน ครั้งที่ 2	93
รูปที่ ข-6 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3 ส่วนใน ล้านส่วน ครั้งที่ 3	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
CFM	Cubic foot per minute
TEA	ไตรเอทานอลามีน
PRA	พาราโรซานิสีน
TCM	โพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต
T	แผ่นกรองเทพลอน
W	แผ่นกรองเซตลูโลส
G	แผ่นกรองใยแก้ว
ชม.	ชั่วโมง
มล.	มิลลิลิตร
μg, มกก.	ไมโครกรัม
มก.	มิลลิกรัม
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
mol/L	โมลต่อลิตร
pbb	ส่วนในพันล้านส่วน
pbb _v	ส่วนในพันล้านส่วนของปริมาตรอากาศ
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ppm _v	ส่วนในล้านส่วนของปริมาตรอากาศ
g	กรัม
N	นอร์มัล
M	โมลาร์
mM	มิลลิโมลาร์
μM	ไมโครโมลาร์
mL	มิลลิลิตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
nmol/m ³	นาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร
m ² /s	ตารางเมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์คำย่อ

ความหมาย

MPa

เมกะปาสคาล

atm

บรรยากาศ (หน่วย)

 $^{\circ}\text{C}$

องศาเซลเซียส

K

เคลวิน

n

จำนวนตัวอย่าง

 B_n

แบลงก์ที่ n

 S_n

ตัวอย่างที่ n

 R^2

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

SD

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

%RSD

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

Avg.

ค่าเฉลี่ย

A.U.

หน่วยการดูดกลืนแสง

 $[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{IC}}$

ความเข้มข้นซัลเฟตที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องไอออน

โครมาโทกราฟี

 $[\text{SO}_2]_{\text{G}}$

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารมลพิษที่มีแหล่งกำเนิดใหญ่ ๆ 2 แหล่งคือ จากการกระทำของมนุษย์ถึงร้อยละ 70 และที่เหลือมาจากธรรมชาติ (พืชม และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2539) แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ที่ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ กระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมกระดาษและการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มาจากน้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้มีสารประกอบของกำมะถันอยู่ ถ่านหินจากบางแหล่งมีปริมาณกำมะถันสูงถึงร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำมันปิโตรเลียมมีประมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้กำมะถันที่ปนอยู่จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (พืชม และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2539) เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำหรือไอน้ำในอากาศจะเกิดเป็นกรดกำมะถัน (กรดซัลฟิวริก, H_2SO_4) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อทางเดินหายใจในร่างกายของมนุษย์ และสัตว์ ผลต่อพืชคือเกิดโรคพืชเรื้อรัง และใบไม้ร่วงมากกว่าปกติ นอกจากนี้ยังทำความเสียหายให้กับสิ่งก่อสร้างหรือวัสดุต่าง ๆ ให้ชำรุดทรุดโทรมแม้แต่โลหะก็จะขึ้นสนิมเร็วกว่าปกติ (วงศ์พันธุ์, นิตยา และธีระ 2540; สิริกัลยา และคณะ 2544)

ดังนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรวจวัดและเฝ้าระวังก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณที่มีความเสี่ยง อันเนื่องมาจากการอยู่ในแหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และบริเวณโดยรอบ ที่อาจได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศทั้งแบบอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ โดยมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ ๑๐ พ.ศ. ๒๕๓๘ ได้กำหนดวิธีการตรวจวัดเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบผลกันได้ โดยการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะใช้ระบบพาราโรซานิลิน (Pararosaniline) และยูวีฟลูออเรสเซนซ์ (UV fluorescence) เป็นวิธีการมาตรฐานและค่าเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 0.12 ส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือไม่เกิน 0.30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุการณ์มลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เห็นได้ชัดเจนในประเทศไทย คือ สถานการณ์คุณภาพอากาศที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ซึ่งกำหนดไว้ในขณะนั้นว่า ต้องมีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยเฉลี่ย 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงได้ไม่เกิน 780, 0.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ช่วงที่เกิดเหตุการณ์ มีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงสุดถึง 2122.36, 357.74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรโดยเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (สมชาย และคณะ 2540; มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2539) ตามลำดับ

ซึ่งเหตุการณ์มลภาวะทางอากาศที่เกิดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในช่วงเดือนตุลาคม 2535 และวันที่ 17-18 สิงหาคม 2541 ที่ผ่านมา ทำให้ประชาชนเจ็บป่วยเป็นจำนวนมากด้วยโรคทางเดินหายใจ ตลอดจนสัตว์และพืชก็ได้รับผลกระทบไปด้วย เกิดความเสียหายทางการเกษตรและเศรษฐกิจ (มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2539) และถึงแม้ว่าเหตุการณ์จะผ่านมาช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้ว แต่มลพิษอากาศที่เกิดขึ้น ยังคงส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว จากการศึกษา พบว่า ประชาชนในอำเภอแม่เมาะ มีอัตราเสี่ยงต่ออาการทางเดินหายใจตลอดจนอาการเรื้อรังสูงกว่ากลุ่มควบคุมถึง 3 เท่า (นันทวรรณ และคณะ, 2543)

ดังที่กล่าวข้างต้น การเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีได้จำกัดอยู่เพียงบริเวณที่มีการเผาไหม้ของถ่านหินเท่านั้น จึงไม่เพียงแต่เฝ้าระวังหรือตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉพาะจุดเพียงอย่างเดียว ควรมีการเฝ้าระวังในทุกพื้นที่ ซึ่งการตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพและเป็นมาตรฐานเดียวกันนั้น ใช้การตรวจวัดด้วยวิธีเอกทิพ จะทำให้ได้ผลการตรวจวัดที่ถูกต้อง แต่เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีนี้ต้องอาศัยแหล่งพลังงานในขณะเก็บตัวอย่างอากาศ มีขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ทำให้เก็บตัวอย่างอากาศได้จำนวนน้อยจุด ต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้างในการติดตั้ง ไม่สะดวกต่อการตรวจวัดภายในอาคาร ซึ่งมักเป็นบริเวณที่มนุษย์ใช้เป็นที่พักอาศัยหรือดำเนินกิจกรรมประจำวัน ดังนั้น การเฝ้าระวังมลพิษภายในอาคารด้วยวิธีพาสซีฟมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับวิธีเอกทิพ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในวิธีนี้มีขนาดเล็ก เบา ผลิตง่าย สะดวกต่อการใช้ในการตรวจวัดมลพิษทางอากาศ เนื่องจากไม่ต้องการแหล่งพลังงานในขณะเก็บตัวอย่างอากาศในภาคสนาม ใช้พื้นที่น้อยในการตั้งจุดเก็บตัวอย่างอากาศ สามารถวางอุปกรณ์ในบริเวณที่มีเนื้อที่จำกัดได้ นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ เก็บตัวอย่างมลพิษได้เป็นบริเวณกว้าง และสามารถทำซ้ำได้หลายค่า เป็นต้น (Carmichael; et al. 2003; Cox, 2003; Cruz; et al. 2005) หากต้องการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังอันตรายจากมลพิษของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้ว วิธีการใช้อุปกรณ์พาสซีฟในการตรวจวัดย่อมเป็นวิธีที่น่าสนใจได้อีกทางเลือกหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเปรียบเทียบผลของชนิดสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยสารเคมีสำหรับเคลือบที่ต่างชนิดกัน
- 3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีพาสตีฟ โดยทำให้เป็นซัลเฟตไอออนแล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี เทียบกับวิธีแอกทีฟซึ่งทำให้เกิดสีกับพาราโรซานิลีนและเทคนิคสเปโทรโฟโตเมทรี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

แบ่งส่วนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 หาชนิดของสิ่งกีดขวางและสารเคมีสำหรับเคลือบบนแผ่นกรองที่เหมาะสมของอุปกรณ์พาสตีฟในการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ประกอบด้วยตัวแปร 2 ตัว ดังนี้

1. สิ่งกีดขวางในอุปกรณ์พาสตีฟ มี 3 ชนิด

- แผ่นกรองใยแก้ว (G)
- แผ่นกรองเซลลูโลส (W)
- แผ่นกรองเทพลอน (T)

2. สารเคมีสำหรับเคลือบบนแผ่นกรอง มี 3 ชนิด

- ไตรเอทานอลามีน 20% (2,2,2-nitrilo-triethanol :TEA 20%)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (NaOH 0.1%)
- โพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (K_2CO_3 20%)

ส่วนที่ 2 หาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาสตีฟ เทียบกับวิธีแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบถึงชนิดสิ่งกีดขวางและสารเคมีสำหรับเคลือบที่นำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์พาสซีฟ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเฟื่อะวังก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีพมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

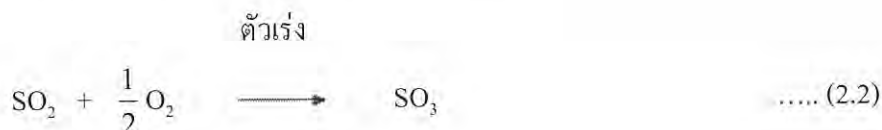
2.1 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide: SO₂) เรียกชื่ออื่นได้ว่า ซัลฟูรัส แอนไฮไดรด์ (Sulfurous anhydride) หรือ ซัลฟูรัส ออกไซด์ (Sulfurous oxide) หรือกำมะถันออกไซด์ มีน้ำหนักโมเลกุล 64.07 กรัมต่อโมล เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีคิไฟ ไม่ระเบิด (มีจุดเดือด -10 องศาเซลเซียส หรือ 263 เคลวิน) หนักกว่าอากาศ 2.2264 เท่า อาจก่อให้เกิดรสได้ถ้ามีในปริมาณที่สูง จะมีกลิ่นกรด ถ้ามีความเข้มข้นในระดับ 0.1 - 0.3 ส่วนในล้านส่วน ถ้ามีถึงระดับ 3 ส่วนในล้านส่วน จะมีกลิ่นฉุนทำให้เส็บจมูก ในธรรมชาติทั่วไปจะมีปริมาณเล็กน้อย ปริมาณที่พบในบรรยากาศคือ 0.02 - 0.1 ส่วนในล้านส่วน แต่ถ้าพบปริมาณสูง ๆ นั้นส่วนมากจะเกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิงหรือวัสดุที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ

ซัลเฟอร์ที่พบในบรรยากาศมีหลายรูปได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂), ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) และซัลเฟต SO₄²⁻ (อยู่ในรูปของแอมโรซอล) ซึ่งใน 4 ชนิด ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) มีความสำคัญที่สุด ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ดังสมการ (2.1)



ถ้าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O₂) ในอากาศ จะได้เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ยิ่งถ้าในบรรยากาศมีตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น แมงกานีส เหล็ก หรือกลุ่ม metallic oxide จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ดังสมการ (2.2)



โดยปกติในบรรยากาศมีส่วนประกอบที่เป็นไอน้ำ หมอก เมฆ และฝน เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นอันตรายมากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เอง โดยเฉพาะสามารถทำให้วัตถุเกิดการ ผุกร่อนได้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มีครึ่งชีวิต (half-life) ประมาณ 3 วัน โดยทั่วไปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จะถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) โดยออกซิเจน (O_2) หรือโอโซน (O_3) และควบแน่นหรือตกสู่บรรยากาศในรูปของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หรือซัลเฟต (SO_4^{2-}) โดยปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) ในอากาศ และมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ฝุ่น ดังสมการ (2.3) และ (2.4)



2.2 แหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2.2.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

กระบวนการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเกิดจากภูเขาไฟ การสลายตัวทางชีวภาพของสารอินทรีย์และปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟต เกิดการออกซิไดซ์โดยออกซิเจน (O_2) หรือ โอโซน (O_3) และมีฝุ่นละอองหรือละอองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อเกิดปรากฏการณ์การณ์ของหมอกควันเคมีแสง (Photochemical smog) เพราะทั้งออกซิเจน (O_2), โอโซน (O_3) และฝุ่นมีความเข้มข้นสูง ดังสมการ (2.5) และ (2.6)

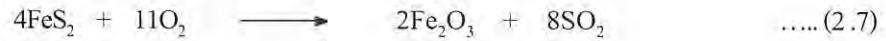


เมื่อ P คืออนุภาค เช่น ฝุ่นละออง

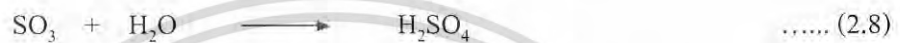
2.2.2 แหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มีแหล่งกำเนิดมาจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ โดยมาจากแหล่งที่สำคัญคือ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านหินและน้ำมัน ซึ่งมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์เจือปนอยู่ ประมาณครึ่งหนึ่งของซัลเฟอร์ (S) ในถ่านหิน จะอยู่ในรูปของไพไรต์ (FeS_2) และอีกครึ่งหนึ่งจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ การเผาไหม้ไพไรต์แล้วเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มีปฏิกิริยาดังสมการ (2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

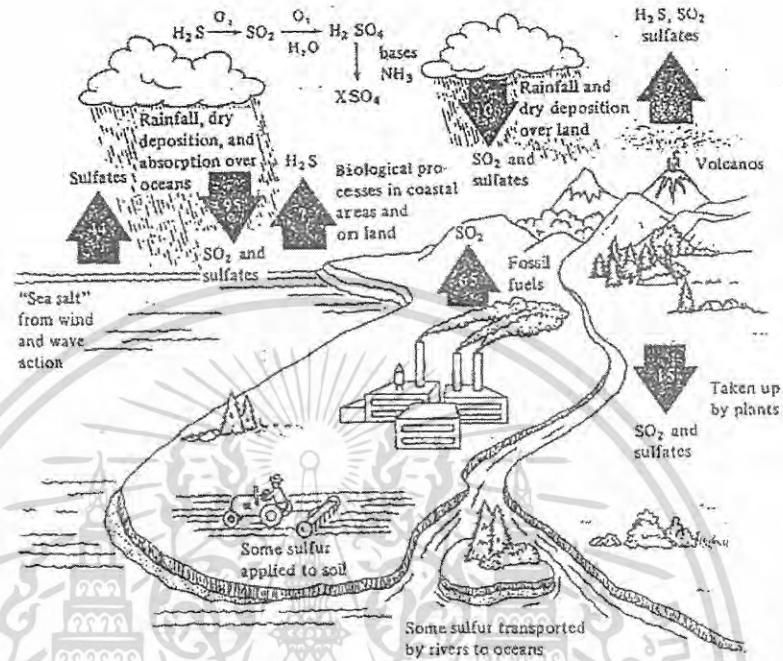


การเผาไหม้ไพไรต์จะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นส่วนใหญ่ อาจเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ขึ้นได้ แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศ แล้วเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ดังสมการ (2.8)



การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกสู่บรรยากาศจากการเผาไหม้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของซัลเฟอร์ (S) ซึ่งปรากฏอยู่ในเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูงได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำมันปิโตรเลียม โรงงานอุตสาหกรรมโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้แหล่งที่สำคัญอื่นๆ ในการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกสู่บรรยากาศ คือ อุตสาหกรรมถลุงโลหะ ซึ่งสินแร่บางชนิด เช่น สินแร่สังกะสีและทองแดงมักอยู่ในรูปของซัลไฟด์ ระหว่างการถลุงจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ระบายออกมาด้วย และโรงงานทำกระดาษ นอกจากนี้แหล่งที่น่าสนใจอีกแหล่งหนึ่งก็คือ จากโรงงานผลิตกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

จะเห็นได้ว่า ในบรรยากาศจะพบกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) มากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนจะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และเป็นกรดซัลฟิวริกในที่สุด โดยปฏิกิริยาที่ใช้แสงและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณการถูกออกซิไดซ์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณความชื้น ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ระยะเวลาที่ได้รับแสง ปริมาณแสงที่ได้รับ และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา แหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรซัลเฟอร์ (ศศิธร, 2543)

2.3 ผลกระทบที่เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.1 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมนุษย์และสัตว์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นทำให้ระบบทางเดินหายใจ เช่น จมูก ลำคอเกิดการอักเสบ ระคายเคือง เกิดโรคปอด เช่น โรคหลอดลมอักเสบ ถุงลมโป่งพอง และผู้ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ เด็ก คนชรา และผู้ป่วยโรคหืด การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง มีผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมาก ก๊าซนี้มีอันตรายต่อร่างกายมากยิ่งขึ้นเมื่อรวมตัวกับฝุ่น และมีความชื้น ซึ่งฝุ่นบางชนิดสามารถดูดซึมและละลายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ในตัว เช่น โซเดียมคลอไรด์ ละอองไอของเหล็กเฟอรัส แมงกานีส วานาเดียม เป็นต้น ผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อมนุษย์เมื่อได้รับที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

ในสัตว์ทำให้เจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจส่วนบนในอัตราสูง ถ้าสูดดมเข้าไปเสมอ ๆ ทำให้เกิดหลอดลมอักเสบเรื้อรัง ถ้ามากทำให้ลิ้นไก่สั้นเกิดการเกร็งหดปิดทางเดินหายใจ ตายทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่มีต่อมนุษย์ (สศิริ, 2543)

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

2.3.2 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อพืช

พบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้ใบพืชเกิดเป็นจุดด่าง พืชบางชนิดเมื่อได้รับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปริมาณหนึ่งใบจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลค่อนข้างแดง ผลกระทบต่อพืชจะมีสาเหตุมาจากฝนกรด (Acid rain) ซึ่งจะส่งผลออกไปเป็นบริเวณกว้าง เมื่อมีฝนกรดเกิดขึ้นอาจทำความเสียหายโดยตรงต่อพืชจากความเป็นกรด แต่ต้นไม้อาจได้รับประโยชน์กรณีที่มีความเป็นกรดไม่มาก โดยจะทำให้ปริมาณกำมะถันในดินเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ดินจะเริ่มสูญเสียความสามารถในการให้ธาตุที่เป็นแคทไอออน รวมทั้งสูญเสียสภาพบัฟเฟอร์ ซึ่งสามารถทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตในไม่ช้า

2.3.3 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อวัสดุ และสิ่งก่อสร้างต่างๆ

วัสดุและสิ่งก่อสร้างที่ได้รับผลกระทบโดยตรงได้แก่ หินปูน และหินอ่อน เมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศถูกดูดซับเข้าไปในหินปูน จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต ซึ่งซัลเฟตจะเข้าไปแทนที่คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ในแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) แต่เนื่องจากแคลเซียมซัลเฟตมีความหนาแน่นน้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จึงเกิดการขยายตัวในโครงร่างแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้เกิดรอยร้าวและสึกกร่อนในที่สุด ปรากฏการณ์นี้เป็นปัญหาสำคัญในการรักษาโบราณวัตถุ อนุสาวรีย์ ประติมากรรม นอกจากนี้ยังทำความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างอื่นๆ เช่น ทำให้สีทาบ้านซีดและลอกออก ทำให้โลหะสึกกร่อน และทำให้สิ่งทอด้วยฝ้าย ไนลอน เรยอน ตลอดจนวัตถุที่ทำด้วยหนังสัตว์และยางเสื่อมคุณภาพ และสีจางเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ข้อมูล
บริการกรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ส่วนในล้านส่วน (0.10 มก./ลบ.ม)
24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.12 ส่วนในล้านส่วน (0.30 มก./ลบ.ม)
1 ชั่วโมง	² ไม่เกิน 0.3 ส่วนในล้านส่วน (780 มก./ลบ.ม)

2.5 สถานการณ์มลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

สถานการณ์มลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เห็นได้ชัดเจนในประเทศไทย คือ สถานการณ์คุณภาพอากาศที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ทำให้มีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งกำหนดไว้ในขณะนั้นว่าต้องมีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยเฉลี่ย 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงได้ไม่เกิน 780, 0.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ช่วงที่เกิดเหตุการณ์ มีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงสุดถึง 2122.36, 357.74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.3

¹ ดัดแปลงจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๒๔ (พ.ศ.๒๕๔๗) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

² ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 21 (พ.ศ.๒๕๔๔) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.๒๕๓๕ เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา ๑ ชั่วโมง เอกสารนี้ยังมีผลใช้บังคับอยู่ แต่มีข้อสงสัยว่าประกาศฉบับนี้ขัดแย้งกับรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย เมื่ออยู่ใต้เห็นชอบของรัฐสภาหรือไม่ กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บริเวณโรงเรียนสพปัด อำเภอแม่เมาะ จังหวัด
ลำปาง ปีพ.ศ. 2535-2537 (สมชาย และคณะ 2540)

เดือน ปี	ผลการวิเคราะห์(ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
	ค่าต่ำสุด (1 ชม.)	ค่าสูงสุด (1 ชม.)	ค่าเฉลี่ย (24 ชม.)
ตุลาคม 2535	0.00-5.00	5.24-2122.36	3.62-357.74
พฤศจิกายน 2535	2.62-5.24	10.48-1489.41	5.71-271.10
ปี 2535	0.00-5.24	5.24-2122.36	3.62-357.74
ตุลาคม 2536	0.00-5.24	2.62-199.0	0.00-34.00
พฤศจิกายน 2536	0.00-5.00	4.00-694.00	0.00-112.00
ธันวาคม 2536	1.00-10.00	5.00-610.00	3.00-54.00
มกราคม 2536	0.00-10.00	8.002-79.00	4.00-21.00
ปี 2536-2537	0.00-10.00	2.62-694.00	0.00-112.00

สถานการณ์มลภาวะทางอากาศที่เกิดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในช่วงเดือนตุลาคม 2535 และวันที่ 17-18 สิงหาคม 2541 ที่ผ่านมา ทำให้ประชาชนเจ็บป่วยเป็นจำนวนมากด้วยโรคทางเดินหายใจ ตลอดจนสัตว์และพืชก็ได้รับผลกระทบไปด้วย เกิดความเสียหายทางการเกษตรและเศรษฐกิจ และถึงแม้ว่าเหตุการณ์จะผ่านมาช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้ว แต่มลพิษอากาศที่เกิดขึ้น ยังคงส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว จากการศึกษา พบว่า ประชาชนในอำเภอแม่เมาะ มีอัตราเสี่ยงต่ออาการทางเดินหายใจตลอดจนอาการเรื้อรังสูงกว่ากลุ่มควบคุมถึง 3 เท่า (นันทวรรณ และคณะ 2543)

2.6 คุณภาพอากาศภายในอาคาร

ช่วงต้นศตวรรษที่ 70 ก่อนเกิดเหตุการณ์วิกฤตการณ์น้ำมันครั้งแรก ลักษณะการออกแบบอาคารตลอดจนระบบต่าง ๆ ภายในอาคารจะเน้นความสบายของผู้อยู่อาศัย โดยไม่คำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงานมากนัก เนื่องจากน้ำมันและพลังงานไฟฟ้ายังมีราคาถูกและยังไม่มีภาระหนักถึงเรื่องพลังงาน ลักษณะอาคารในช่วงนั้นโดยทั่วไปจะมีลักษณะดังนี้

ก. ลักษณะโครงสร้างอาคารไม่แน่นหนา มีรอยรั่วรอบอาคาร ทำให้อากาศภายนอกรั่วเข้าสู่อาคารได้

ข. การส่องสว่างมีความสม่ำเสมอ ใช้ไฟฟ้ามก และเพียงพอแก่ความต้องการทุกส่วนของอาคาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค. ตัวอาคารมีช่องเปิดมาก สภาพอากาศภายนอกค่อนข้างสะอาดอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย
- ง. ระบบปรับอากาศจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารค่อนข้างมาก จึงทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายและไม่พบอาการเจ็บป่วยเนื่องจากสภาพอากาศภายในอาคารแต่ประการใด
- เมื่อวิกฤตการณ์น้ำมันครั้งแรกผ่านไป ลักษณะหรือรูปแบบของการออกแบบอาคารและระบบต่าง ๆ ภายในได้เปลี่ยนแปลง โดยเน้นถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงานเป็นหลัก ส่วนความสะดวกสบายได้ลดลงมาอยู่ในระดับผู้อยู่อาศัยส่วนใหญ่ยอมรับได้ ลักษณะอาคารเป็นดังนี้
- ก. ตัวอาคารก่อสร้างหนาแน่นมากขึ้น เพื่อลดการรั่วของอากาศร้อนขึ้นจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคาร
- ข. ใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคาร แต่ฉนวนเหล่านี้ทำให้เกิดสิ่งระคายเคืองและมีไอสารฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาปนเปื้อนอากาศภายในอาคาร ลดความเข้มในการส่องสว่างลง
- ค. ใช้ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) เพื่อควบคุมความต้องการหรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศ ซึ่งใช้พลังงานมากที่สุดในตัวอาคาร
- ง. ควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมตามฤดูกาลเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ
- จ. นำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าสู่อาคารน้อยลง
- ฉ. ลดปริมาณการหมุนเวียนของอากาศภายในอาคาร เพื่อประหยัดพลังงานที่ใช้กับมอเตอร์พัดลม

ผลจากการออกแบบในลักษณะดังกล่าว ทำให้มีสิ่งสกปรกสะสมปนกับอากาศภายในอาคาร จนบางครั้งอากาศภายในอาคารบางแห่งสกปรกมากกว่าอากาศภายนอกอาคาร โดยเฉพาะสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร ประสิทธิภาพการทำงานลดต่ำลง การขาดงานมีมากขึ้น ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการใช้พลังงานที่ลดน้อยลงอาจให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว (กฤษญา, 2545)

ตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 80 เป็นต้นมา การออกแบบอาคารและระบบต่าง ๆ จึงมุ่งเน้นสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม อากาศภายในอาคารมีความสะอาดปราศจากสิ่งระคายเคืองหรือเป็นพิษต่อร่างกาย ในขณะที่เดียวกันก็ให้ความสนใจเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air - Conditioning) จึงได้ออกมาตรฐานฉบับใหม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ Standard 62 – 1989 “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality” ซึ่งกำหนดให้ใช้อัตราการระบายอากาศที่มากขึ้นจากเดิม คือ 20 CFM (Cubic foot per minute)/คน สำหรับอาคารสำนักงาน โดยไม่คำนึงว่าจะมีการสูบบุหรี่หรือไม่

จากการสำรวจผลกระทบของคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้อาคาร องค์การอนามัยโลก (WHO: World Health Organization) ใช้หลักการพิจารณาจากข้อร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหาสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการเข้าใช้อาคาร ถ้ามีการร้องเรียนมากกว่า 20 % ของผู้ใช้อาคารนั้นหรือห้องนั้น ก็ให้ถือว่าเกิดปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารขึ้น สำหรับประเทศไทย การร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารยังมีอยู่น้อยมาก อาจเนื่องมาจากปัจจัยสองประการ คือ

- ขาดความรู้เกี่ยวกับคุณภาพอากาศในอาคาร
- ไม่สามารถแยกแยะสาเหตุของอาการได้ว่าเป็นผลมาจากมลพิษภายนอกอาคาร ซึ่งสาเหตุหลัก คือ ปัญหาจากการจราจร ที่มีทั้งฝุ่นละออง ก๊าซ ไอพิษ หรือแหล่งมลพิษภายในอาคาร

ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น ในช่วง 3 – 5 ปีที่ผ่านมา ผู้ที่ร้องเรียนส่วนใหญ่ ทำงานอยู่ในภาครัฐบาลและรัฐวิสาหกิจซึ่งเป็นผู้มีความรู้และตระหนักถึงปัญหา โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานในสำนักงานที่มีพื้นที่จำกัด พื้นที่ส่วนหนึ่งถูกจัดให้เป็นที่เก็บกองเอกสารสำคัญที่ต้องรักษาไว้อย่างน้อย 5 – 10 ปี จึงจะทำลาย ส่วนหนึ่งถูกแบ่งไว้ตั้งเครื่องถ่ายเอกสารเพื่อความสะดวกแก่การทำงาน ผู้แจ้งปัญหาอีกส่วนหนึ่งจะเป็นผู้ที่มีความรู้สึกไวต่อมลพิษในสิ่งแวดล้อมหรือเป็นภูมิแพ้ ซึ่งจะมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นจนสังเกตเห็นได้ ทั้งนี้อาการดังกล่าวมักเป็นอาการที่ไม่เจาะจงเด่นชัด แต่เป็นอาการทั่วไปที่ไม่แตกต่างจากอาการของโรคภูมิแพ้หรือเป็นไข้หวัด

สภาวะความสบายของมนุษย์เป็นการผสมผสานขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อม (กฤษญา, 2545) ได้แก่

- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร
- อุณหภูมิเฉลี่ย
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)
- การเคลื่อนไหวของอากาศ
- การส่องสว่าง
- เสียง
- คุณภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปผู้ทำงานใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในอาคาร มีโอกาสสัมผัสกับสิ่งเจือปนในอากาศสูงมาก ผลการวิจัยพบว่ามลภาวะของอากาศภายในอาคารอาจก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วย 3 ประเภทที่แตกต่างกันดังนี้

- Sick Building Syndrome (SBS) ผู้ป่วยจะรู้สึกปวดศีรษะหรือดวงตา แสบจมูกหรือหลอดลม ไอแห้ง ๆ คันที่ผิวหนังหรือหน้ามืด ตาลาย กลิ่นได้และเหนียวล้าโดยไม่ทราบสาเหตุ อาการเหล่านี้จะเบาบางลงหรือหายไปเมื่อออกจากอาคารนั้น ๆ
- Building Related illness (BRI) อาการเจ็บป่วยเกิดจากการทำงานหรือพักอาศัยอยู่ในอาคารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ซึ่งอาการของโรคนี้นี้แตกต่างจากโรค SBS อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากจะไม่หายหรือบรรเทาได้ง่าย ๆ ด้วยการออกจากอาคารเหมือน SBS แต่จะต้องใช้ระยะเวลาในการรักษาพอสมควร นอกจากนี้ แพทย์สามารถตรวจรักษาและวินิจฉัยอาการ BRI ได้ โดยอาการเจ็บป่วยที่ร่างกายแสดงออก คือ การไอ แน่นทรวงอก เป็นไข้ หนาวสั่นและปวดกล้ามเนื้อ
- Multiple Chemical Sensitivity (MCS) อาการไวต่อสารเคมี เป็นอาการที่ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายตอบสนองต่อสารเคมีต่าง ๆ อย่างรวดเร็วและรุนแรงผิดปกติ เช่น รู้สึกคลื่นไส้ วิงเวียนศีรษะ หน้ามืดหรืออาเจียน ที่ร้ายแรงคือ เนื้อเยื่อบนใบหน้า ปอด หรือเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ของร่างกายอาจถูกทำลายจากการสัมผัสสารเคมีต่าง ๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อย

การเกิดสภาวะคุณภาพอากาศในอาคารที่ไม่เหมาะสม สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ข้อใหญ่ ๆ ดังนี้

1. สภาวะการปรับอากาศภายในอาคารไม่เหมาะสม

ปริมาณอากาศภายนอก (Fresh Air) ไม่เพียงพอในการช่วงของการใช้อาคาร ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดใน ASHRAE 62 – 1989 อากาศภายนอกช่วยลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนและเพิ่มปริมาณออกซิเจน ดังนั้น ระบบหมุนเวียนอากาศที่ดีต้องนำอากาศสำหรับหายใจเข้ามาและนำอากาศเสียออกจากอาคาร เพื่อให้อากาศในระบบหมุนเวียนและมีคุณภาพที่ยอมรับได้ สอดคล้องกับการใช้พื้นที่นั้น ๆ ปัญหาที่เกิดจากสภาวะการปรับอากาศภายในอาคารไม่เหมาะสมก็เป็นผลจากการปรับตั้งกำหนดระดับของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ที่ไม่เหมาะสมหรือไม่สัมพันธ์กัน รวมทั้งผลจากการแผ่รังสีความร้อนของอาคารด้วย

2. สภาวะสิ่งปนเปื้อนในอากาศ สามารถจำแนกได้ 4 ประเภทใหญ่ ดังนี้

- องค์ประกอบของสารอินทรีย์ เป็นสารประกอบทางเคมี ซึ่งมีพันธะของคาร์บอนและไฮโดรเจนในโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุล แหล่งที่มาอาจมาจากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ โดยเฉพาะจากน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- องค์ประกอบของสารอินทรีย์ เป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งไม่มีพันธะคาร์บอนไฮโดรเจนในโครงสร้างโมเลกุล เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน ตะกั่ว เป็นต้น
- ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter) เป็นส่วนผสมระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่มีความหลากหลายทั้งทางด้านกายภาพและสมบัติทางเคมี มีขนาดตั้งแต่ 0.005 ถึง 100 ไมครอน อันตรายของฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้คือ ความสามารถที่จะกลายเป็นมลพิษจากแหล่งอื่น ๆ โดยรอบ เป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ที่จะหายใจเอาอนุภาคเหล่านี้เข้าไป โดยเฉพาะอนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมครอนนั้นสามารถผ่านเข้าสู่ระบบหายใจได้
- สิ่งเจือปนทางชีวภาพ ได้แก่ พวกจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก มีช่วงอายุที่สั้น มีแหล่งที่มาหลากหลาย ทั้งในสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกอาคาร แต่โดยส่วนใหญ่จะมาจากภายนอกอาคาร ดังนั้น การเปิดรับสิ่งเหล่านี้เข้ามา อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ สิ่งเจือปนเหล่านี้จะมาในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง คือ ไวรัส แบคทีเรีย หรือเชื้อรา

2.7 ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์ฟาสตีฟ

อุปกรณ์ฟาสตีฟอาศัยหลักการแพร่ของมลพิษที่สนใจผ่านสิ่งกีดขวาง และถูกจับอยู่บนเมมเบรน โดยบนเมมเบรนจะมีสารเคมีที่จำเพาะกับมลพิษนั้นๆ เคลือบอยู่ เพื่อเป็นตัวดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยากับมลพิษนั้นๆ การซึมผ่านของมลพิษที่ศึกษาเป็นการแพร่ของโมเลกุลอย่างอิสระ (Free molecular diffusion) เกิดจากความเข้มข้นที่ต่างกันของมลพิษในอากาศกับมลพิษบนเมมเบรน ฟลักซ์ของมวลสาร (The mass flux, $g/cm^2 \cdot s$) สามารถใช้ Fick's First Law of Diffusion อธิบายได้ว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความเข้มข้นของมลพิษ ดังสมการ (2.9)

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

F = ฟลักซ์ของมวลสาร ($g/cm^2 \cdot s$)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (Diffusion coefficient) (cm^2/s)

dC = ความเข้มข้นของมลพิษที่ต่างกันระหว่างในอากาศกับบนเมมเบรน (g/cm^3)

dL = ระยะความยาวของการแพร่ (Effective path length) (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมลพิษที่ดูดซับอยู่บนเมมเบรนสามารถหาได้จากสมการ (2.10)

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

M = มวลของสารบนเมมเบรน (กรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน

T = ระยะเวลาที่รับสัมผัส (Exposure time, S)

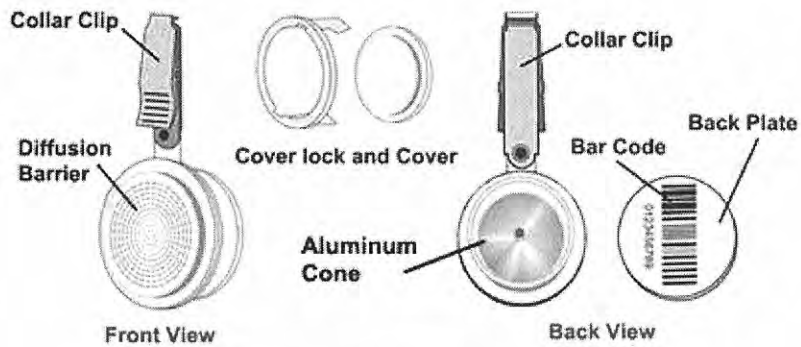
ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สามารถหาค่าได้จากการทดลองใน Experimental Chamber โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเป็นรูปทรงเลขาคณิตของอุปกรณ์พลาสติก คุณลักษณะทางกายภาพของแก๊ส (เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น) โดยควบคุมไม่ให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศ (Turbulence flow) และระยะเวลาที่สัมผัสมลพิษ จากนั้นนำมาหาความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศได้ดังสมการที่ 2.11 ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยที่แปรผันขณะที่ทำการเก็บในภาคสนามซึ่งจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ (Validation) ความสัมพันธ์ด้วย นอกจากนี้ การใช้อุปกรณ์พลาสติกมีขีดจำกัดคือ ความเข้มข้นที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยตามเวลาที่รับสัมผัส ไม่สามารถรายงานผลได้ทันทีและไม่สามารถรายงานค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาสั้นได้ ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมลพิษ ระยะเวลาที่รับสัมผัส และขีดจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

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

รูปทรงอุปกรณ์แบบพลาสติกมีทั้งแบบแผ่น (Badge, Cassette type) และแบบหลอด (Tube type) ปัจจุบันมีการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ เช่น อุปกรณ์พลาสติกสำหรับไอระเหยง่ายของยี่ห้อ SKC มีลักษณะเป็นแผ่นประกอบด้วยเมมเบรนเคลือบด้วยสารดูดซับสำหรับดักจับไอสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และแบบหลอดบรรจุสารดูดซับไอสารอินทรีย์ของยี่ห้อ Perkin Elmer แบบ Cassette สำหรับเก็บไอโซน ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของยี่ห้อ Ogawa และที่ผลิตโดย CSIRO ประเทศออสเตรเลีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์พาสซีฟที่ห่อ SKC 575 Series (SKC, 2005)



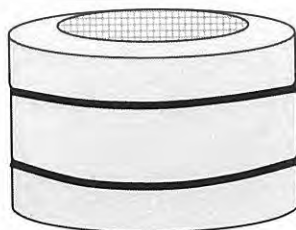
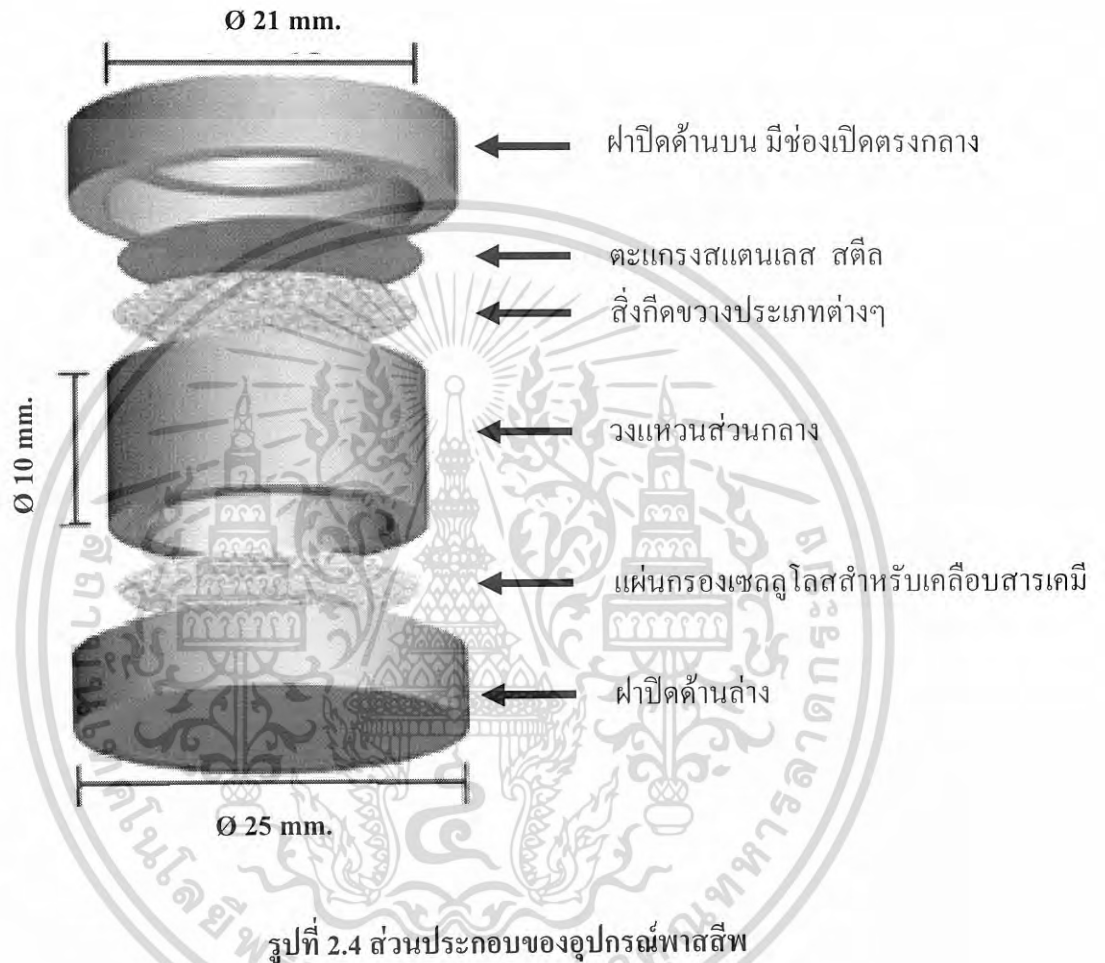
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์พาสซีฟที่ห่อ Ogawa และการติดตั้ง

(Ogawa & Company Passive Sampler, 1999)

สำหรับโครงการพิเศษนี้ใช้อุปกรณ์พาสซีฟตามที่มีการวิจัยและพัฒนา โดย Ayers, et al.(1998) และปรับปรุงโดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia สำหรับรูปทรงอุปกรณ์พาสซีฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.4-2.5 (เป็นแบบ Cassette) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง 107735 หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอัตราการเก็บตัวอย่างที่สัมพันธ์กับรูปทรง เท่ากับ 41.2 ต่อเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ เท่ากับ $1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์พาสตีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว การวิเคราะห์ระดับมลพิษในอากาศมีความจำเป็นต้องตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวังปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนั้น อุปกรณ์พาสตีฟจึงเป็นแนวทางที่ดีและสามารถพัฒนาต่อไป ให้เหมาะสมกับงาน เช่น การจัดทำฐานข้อมูลมลพิษในพื้นที่เขตเมือง ซึ่งไม่สามารถตั้งสถานีตรวจวัดถาวรได้

2.7.1 ข้อดีและข้อจำกัดของอุปกรณ์พาสตีฟ

จากการที่ได้มีผู้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ ทำให้ทราบว่า การตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์พาสตีฟมีข้อดีและมีข้อจำกัดดังนี้ คือ (Carmichael; et al. 2003; Cox, 2003; Cruz; et al. 2005)

ข้อดี

มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถผลิตได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้ง เหมาะสมกับการใช้ตรวจวัดแบบบุคคล ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง สามารถใช้ตรวจวัดมลสารได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ใช้ตรวจวัดมลสารในสภาวะย่อยได้ เก็บตัวอย่างมลพิษได้เป็นบริเวณกว้าง สามารถทำซ้ำได้หลายค่า และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และบำรุงรักษาต่ำ

ข้อจำกัด

ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสูงสุดของมลสารได้ และผลการตรวจวัดอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น นอกจากนี้ ความว่องไวในการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์พาสตีฟต่ำกว่าการตรวจวัดด้วยวิธีแอดทีฟ

อย่างไรก็ตาม หากได้มีการวัดเทียบระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอดทีฟและนำค่าปรับแก้ (Correction factor) มาช่วยในการตรวจวัด จะเป็นการเพิ่มค่าประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์พาสตีฟ ที่นำมาใช้ในการตรวจวัดได้

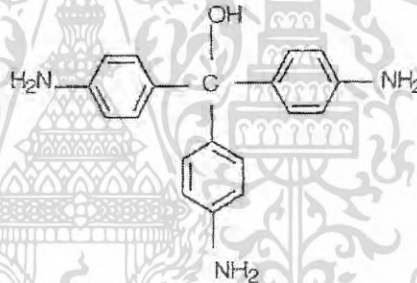
2.8 หลักการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอดทีฟ

สำหรับงานวิจัยนี้ ทำการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาราโรซานิติน (เป็นวิธีที่มีความจำเพาะต่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ จะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่านั้น) ซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐานที่สามารถยอมรับได้ และสามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีปริมาณต่างๆได้ โครงสร้างพาราโรซานิตินแสดงดังรูปที่ 2.6 วิธีการ มีดังนี้คือ ทำการชักตัวอย่างอากาศผ่านสารละลายโพแทสเซียม เตตระ คลอโรเมอควิเรต

(Potassium tetrachloromercurate ; TCM) เกิดเป็น dichloro sulfite mercurate (II) ion ซึ่งทนต่อการเกิด

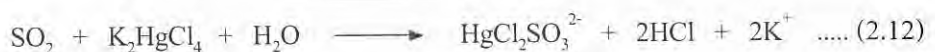
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชัน โดยออกซิเจนในอากาศ และการเติมเอทิลีนไดเอมีน เตะระอะซิดิก แอซิดไดโซเดียม ซอลท์ (Ethylene diamine-tetraacetic acid disodium salt, EDTA) ลงในสารละลายจะช่วยเร่งการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนแล้ว ยังเสถียรต่อสารออกซิเดนต์ อื่นๆ ที่มีฤทธิ์รุนแรง เช่น O_3 , NO_x และ H_2O_2 หลังจากทำการซักตัวอย่างอากาศเสร็จเรียบร้อยแล้ว โอโซนเกิดสารสลายตัวแล้ว จึงเติมกรดซัลฟามิกเพื่อทำลายไนโตรต์ที่อาจเกิดขึ้นจากการดูดซึม ของไนโตรเจนออกไซด์ที่มีในบรรยากาศ แล้วจึงทำการเติมสารละลายของฟอร์มัลดีไฮด์ และพาราโร ซานิลีน ที่ควบคุมค่าพีเอชโดยกรดฟอสฟอริก และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารพาราโรซานิลีน และฟอร์มัล ดีไฮด์ (Pararosaniline and Formaldehyde) จะเกิดเป็นสีของกรดพาราโรซานิลีน เมทิล ซัลโฟนิค (Pararosaniline Methyl sulfonic Acid) ซึ่งสามารถนำมาตรวจวัดได้โดยวิธีเทียบสี (Colorimetric Method) โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ ๑๐ พ.ศ. ๒๕๓๘)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพาราโรซานิลีน (อ้อยใจ, 2543)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ (2.12) - (2.15)



Potassium tetrachloromercurate

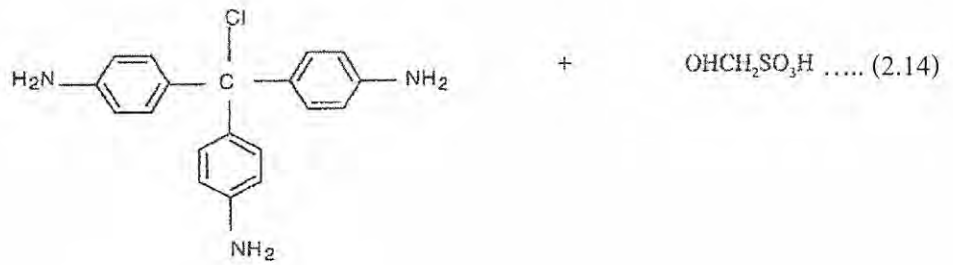
Dichloro sulfitomercurate (II) ion



Formaldehyde

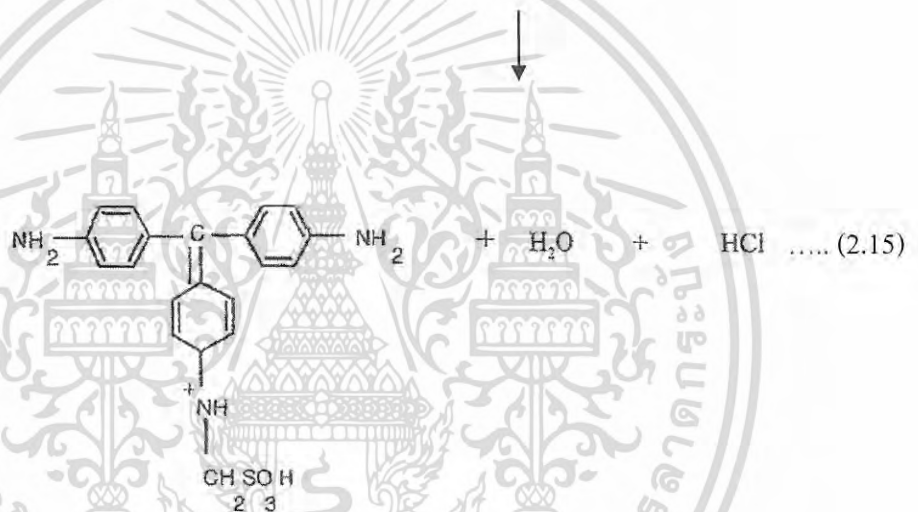
Hydroxy methylsulfonic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pararosaniline hydrochloride

Yellow - green



Pararosaniline methyl sulfonic acid

Violet - red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Krochmal and Kalina (1997 a)

ได้ทดลองเก็บตัวอย่างมลสารคือไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยอุปกรณ์ฟาสตีฟพร้อมกันทั้ง 2 มลสารโดยใช้ ไตรเอธาโนลามีน 20 % เป็นสารเคลือบ และนำสารละลายที่สกัดจากอุปกรณ์ฟาสตีฟ มาออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้เป็นซัลเฟตไอออนและไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นไนไตรต์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีได้ ในการวิเคราะห์สามารถหาปริมาณมลสารทั้ง 2 ชนิดในเวลาเดียวกันโดยอาศัยเทคนิคการแยกไอออนไนไตรต์และซัลเฟตของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี วิธีนี้สามารถช่วยพัฒนาให้ขีดต่ำสุดสำหรับการวัดปริมาณมลสารที่ใช้อุปกรณ์ฟาสตีฟรับสัมผัสนานเป็นเวลา 1 เดือนต่ำถึง 0.5 และ 0.7 ไมโครกรัมต่อ ล.บ.ม.อากาศ สำหรับแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การรับสัมผัสในช่วงเวลาที่สั้นลงจะทำให้ขีดต่ำสุดสำหรับการวัดปริมาณมลสารสูงขึ้นได้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ฟาสตีฟมีประสิทธิภาพดีมีค่าการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ของการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็น 6 % และ 14 % ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีการนำมาใช้ในโครงการเฝ้าระวังพื้นที่ขนาดใหญ่หลายโครงการแล้วทั้งในพื้นที่เขตเมืองและเขตชนบท ปัจจัยของปรากฏการณ์ในบรรยากาศที่มีอิทธิพลต่อการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิและปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่จะต้องควบคุมขณะทำการเก็บตัวอย่างให้ลดลงมากที่สุดด้วยการออกแบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างให้เหมาะสมและปรับระดับมาตรฐานของวิธีการภายใต้การแปรผันของสภาวะแวดล้อม

Krochmal and Kalina (1997 b)

ทำการศึกษาปริมาณมลสารไนโปแลนด์ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าในพื้นที่บริเวณกว้างมีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะช่วงเดือน พฤศจิกายน ค.ศ. 1993 - เมษายน ค.ศ. 1994

Ferm and Svanberg (1998)

ทำการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ในเขตเมืองและแบคกราวด์ในสวีเดนเมื่อ 30 ปีที่ผ่านมาโดยใช้เทคนิคการวัดอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำในการวัดความเข้มข้นของสารตลอดทั้งเดือน โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหลอดเก็บตัวอย่างการแพร่ของอากาศที่มีรูปร่างแตกต่างกันสองแบบ มีหลอดเก็บตัวอย่างการแพร่แบบยาว และหลอดเก็บตัวอย่างการแพร่แบบที่สั้นกว่าและกว้างกว่า เพื่อให้เก็บตัวอย่างอากาศในเขตเมือง พบว่า การใช้งานหลอดการแพร่เพื่อตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณนอกอาคาร ซึ่งมีกระแสลมเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอัตราการเก็บตัวอย่างจะทำให้ไม่สามารถทำนายได้นั้น แทนจะไม่มีผลต่ออัตราการเก็บตัวอย่างอากาศโดยสร้างการแพร่ที่มีการปั่นกววนภายในหลอดการแพร่ ค่าเฉลี่ยเป็นรายเดือนได้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.1 - 200 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.1 - 400 ไมโครกรัมต่อลบ.ม. หลอดการแพร่มีความไวอย่างเพียงพอในการตรวจวัดแบคกราวด์ แต่ก็สามารถตรวจวัดปริมาณในเขตเมืองได้เป็นที่น่าพอใจ อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศสามารถเก็บรักษาหลังการเก็บตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยสามารถตรวจวัดได้จากเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ (อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ) ซึ่งวิธีการทั้งสองแบบใช้การตรวจวัดภาคสนามที่สภาวะเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและมีความแตกต่างกันร้อยละ ± 15 ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศเป็นสำคัญ

Garret; Hooper M.A. and Hooper B.M. (1999)

นำเอาอุปกรณ์ฟาสตีพมาตรวจวัดการได้รับแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารบ้านเรือน เพื่อดูความสัมพันธ์กับอาการของระบบทางเดินหายใจของเด็กๆ ในประเทศออสเตรเลียจำนวน 80 ครอบครัว โดยทำการเก็บ 5 ครั้งๆ ละ 4 วัน ในช่วงเวลา 1 ปี โดยใช้อุปกรณ์ฟาสตีพแบบแผ่น (Badge type) โดยใช้ ไตรเอธาโนลามีน 20 % จำนวน 0.25 มิลลิลิตรเป็นสารเคลือบและวิเคราะห์ด้วยการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร หลังสกัดด้วยสารทำให้เกิดสี พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับไนโตรเจนไดออกไซด์ในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร และขึ้นกับฤดูกาล ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 11.6 ไมโครกรัมต่อ ลบ.ม. (6.0 ส่วนในพันล้านส่วน) อยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.7 - 246 ไมโครกรัมต่อ ลบ.ม. ซึ่งเชื่อว่าแหล่งกำเนิดมลสารที่สำคัญคือเตาแก๊ส แก๊สที่มาจากเครื่องทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อน และการสูบบุหรี่ตามลำดับ การประกอบอาหารด้วยเตาแก๊สพบว่ามีฟีดของไนโตรเจนไดออกไซด์สูง และเชื่อว่ามีอิทธิพลต่อสุขภาพอนามัยมากกว่าการรับสัมผัสเป็นเวลานาน ๆ

Gillett, Kreibich and Ayers (2000)

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบเฟอร์มี (Ferm type passive sampler) โดยใช้ 2,4 - dinitrophenylhydrazine (2,4 - DNPH) เป็นสารเคลือบ เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วทำการสกัดสารอนุพันธ์ของ 2,4 - DNPH จากแผ่นกรองด้วยอะซิโตนไทรอิล และใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการสกัดนาน 30 นาที นำสารที่สกัดได้มาหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) สัมประสิทธิ์การแพร่ของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศเท่ากับ $1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ที่ 25°C สามารถนำมาใช้ในการหาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอาคารต่างๆ ได้ ตั้งแต่ช่วง 9 - 1250 ppb_v ในช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 7 - 61 ชั่วโมง

Air Quality Management (2001)

ศึกษาการใช้อุปกรณ์พาสซีฟโดย NILU ที่บริเวณนอกอาคารและภายในอาคารของประเทศนอร์เวย์, อียิปต์, รัสเซีย และเวเนซุเอลา ช่วงการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นระยะเวลา 1 วัน หรือ 1 เดือน ขึ้นอยู่กับระดับสถานะมลพิษโดยทั่วไป

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างพัฒนาโดยนักสิ่งแวดล้อมชาวสวีเดน (IVL) โดยผู้ใช้คือ NILU อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยตัวกรองที่อิมมัลชันอยู่ในและเป็นหลอดขนาดเล็ก มีการป้องกันการปนเปื้อนภายในหลอดเก็บตัวอย่าง ฝาครอบชั้นในปิดด้วยตัวกรองเมมเบรนที่มีรูพรุนบาง ๆ ก๊าซจะสามารถผ่านเข้าไปได้และเกิดการคัดแยกโดยการแพร่ระดับ โมเลกุล อัตราการเข้าไปของอากาศ (uptake rate) จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ (diffusion rate) ของก๊าซ อัตราการคัดแยกเป็น $31 \frac{1}{24}$ ชั่วโมง สำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ $36 \frac{1}{24}$ ชั่วโมงสำหรับไนโตรเจนไดออกไซด์ แต่แอมโมเนียสามารถคัดแยกได้ที่อัตรา $59 \frac{1}{24}$ ชั่วโมง พบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าประมาณ 0, 1-80 ส่วนในพันล้านส่วน ค่าของไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0, 0.2-40 ส่วนในพันล้านส่วน สำหรับการเก็บตัวอย่าง 1 เดือน

วิธีพาสซีฟเทียบกับวิธีแอคทีฟในการเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ ทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันดี ทั้งซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ การเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เขตเมืองในอาคาร จะมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่านอกอาคาร คือ ถ้าบรรยากาศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนไดออกไซด์เป็น 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภายในอาคารจะวัด ไนโตรเจนไดออกไซด์ ได้เฉลี่ย 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Stevenson; Bush and Mooney (2001)

ได้ทำการศึกษาและเฝ้าระวังไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำเป็นเครือข่ายตรวจวัดมากกว่า 1,000 แห่ง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 – 1997 โดยใช้อุปกรณ์พาสสิฟแบบหลอดที่ประยุกต์ตามวิธีของ Palmes et al. (1976) ทั้งนี้เพื่อการประเมินเครือข่ายการเฝ้าระวังพื้นที่กว้าง ทั่วสหราชอาณาจักรอังกฤษ และเกาะจงบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นสูงด้วย พบว่าระดับของไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ กรุงลอนดอน และเขตเมือง มีความคล้ายคลึงกันในช่วงเวลา 5 ปี ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนไดออกไซด์ ช่วง ค.ศ. 1997 บริเวณริมถนน 23 ส่วนในพื้นที่ส่วน และในเขตเมือง 17 ส่วนในพื้นที่ส่วน ซึ่งตามเป้าหมายของมาตรการจัดการคุณภาพอากาศของสหภาพยุโรป และสหราชอาณาจักร (The EC Directive on “Ambient Air Quality Assessment and Management 1996” EU, 1996) ที่เน้นสำหรับบรรยากาศทั่วไปว่า ไนโตรเจนไดออกไซด์จะต้องมีค่าเฉลี่ยรายปี 21 ส่วนในพื้นที่ส่วน หรือน้อยกว่านั้นก่อนปี ค.ศ. 2005. ในการตรวจวัดนี้การควบคุมและประกันคุณภาพการวิเคราะห์ มีการพัฒนาและปรับปรุง โดยใช้สารละลายไนไตรต์ เป็นสารมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ (Quality control solution) เพื่อตรวจสอบการควบคุม และใส่สารที่ทราบปริมาณลงในหลอดพาสสิฟ (Doped tube) และผลการวิเคราะห์มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าจริงไม่เกิน $\pm 25\%$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป 1999 สำหรับไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดโดยใช้อุปกรณ์พาสสิฟเทียบกับการวัดด้วยเทคนิคเคมีลูมิเนสเซนซ์

Cruz; et al. (2004)

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศวิธีพาสสิฟ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีแอกทีฟ สำหรับเก็บซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน ย่านอุตสาหกรรมและเขตเมืองของประเทศบราซิล ซึ่งมีช่วงระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ คือ 7, 14, 21 และ 28 วัน ในการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีพาสสิฟนั้น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกจับให้อยู่บนเมมเบรนที่เคลือบด้วย Na_2CO_3 จากนั้น ทำการสกัดด้วย H_2O_2 เข้มข้น 1.0×10^{-2} mol/L ในเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic) เป็นเวลา 15 นาที และวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออนด้วยเครื่องไอออน โครมาโทกราฟี (Ion - chromatograp) สำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีแอกทีฟ ย่านอุตสาหกรรมจะตรวจวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเครื่องยูวี ฟลูออเรสเซนส์ (UV-fluorescence) และในเขตเมืองจะใช้วิธีพาราโรซานิลิน พบว่า ความเที่ยงตรง ซึ่งแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่เก็บ 3 ซ้ำ มีค่าไม่เกิน 10 % และค่าความเบี่ยงเบนของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟเทียบกับวิธีแอกทีฟมีค่า 15 % ดังนั้นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศวิธีพาสตีฟ สามารถเป็นตัวแทนในการเฝ้าระวังซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน ได้อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำอีกด้วย

กรองแก้ว และวงษ์พันธ์ (2545)

ได้นำอุปกรณ์พาสตีฟไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ โดยหาความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คำนวณได้จากวิธีพาสตีฟ และความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คำนวณได้จากวิธีมาตรฐาน โดยทำการเลือกวิธีเคมีลูมินเนสเซนซ์เป็นวิธีมาตรฐาน 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) ทั้งวิธีพาสตีฟ และวิธีมาตรฐานมีความสัมพันธ์ปานกลาง คือ $y = 1.2035x - 0.3291$ $R^2 = 0.6477$ ความสัมพันธ์ ณ สถานีตรวจวัดอีกแห่ง พบว่ามีค่าดีกว่า คือ $y = 0.59x - 0.8699$ $R^2 = 0.6016$ ระดับต่ำที่สุดที่ตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ (Limit of Detection, LOD) ของอุปกรณ์พาสตีฟ เท่ากับ 5 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb)

กลิ่นประทุม (2546)

ได้ทำการวิจัย การใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศอย่างง่ายที่ทำจากวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว เช่น กล้องฟิล์มถ่ายรูป สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นอุปกรณ์พาสตีฟ ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาถูก เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ทั้งในพื้นที่กลางแจ้งและติดตามตัวผู้ศึกษา อุปกรณ์ดังกล่าวใช้หลักการตรวจหาปริมาณ NO_x ตามวิธีการของโอกาวา (Ogawa) ประเทศญี่ปุ่น โดยทำให้เกิดสีของก๊าซที่ถูกดูดซับในรูปของ NO_2 บนกระดาษกรองในกล้องฟิล์มโดยใช้สารไตรเอธาโนลามีน (TEA) และทำการตรวจวัดสีที่เกิดขึ้นโดยเครื่องวัดดูดกลืนสี (Visible spectrophotometer) ทราบปริมาณการปนเปื้อนของก๊าซ อุปกรณ์ดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ตรวจหาปริมาณ NO_x ในเขตเมืองเชียงใหม่ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2539 – 2543 ในช่วงฤดูหนาว พบว่าระดับการรับสัมผัส NO_x ในกลุ่มคนขับรถมีค่าสูงสุดถึง $6.6 \mu\text{g}$ รองลงมา คือกลุ่มตำรวจจราจรที่ปฏิบัติงานบนท้องถนน มีค่าสูงสุดถึง $4.84 \mu\text{g}$ และน้อยที่สุด คือ กลุ่มนักศึกษาและเจ้าหน้าที่สำนักงาน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในที่ร่ม มีค่าสูงสุดเพียง $0.77 \mu\text{g}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิวพร และปารีชาต (2547)

ทำการทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการตรวจวัดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ ทดสอบการใช้งานได้ (Validation) ของอุปกรณ์เก็บอากาศ โดยเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างวิธีแอกทีฟ ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยนำไปตรวจวัดโอโซนที่สำนักงานไปรษณีย์ เขตราชบุรีบูรณะ เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษที่ตรวจวัดโดยเครื่องมืออัตโนมัติโดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศคาบละ 48 ชั่วโมง รวม 7 ครั้ง และได้ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างในการศึกษาปริมาณโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยฯ คาบละ 48 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศที่พัฒนาขึ้นในการเก็บตัวอย่างก๊าซโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าความแม่นยำ 16.9% เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9858 และ 0.9895 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าในช่วงเดือนตุลาคม 2547 ถึงมกราคม 2548 ค่าสูงสุดโอโซนในบรรยากาศเป็น 60.90 ส่วนในพันล้านส่วน และมีค่าต่ำสุดเป็น 7.54 ส่วนในพันล้านส่วน โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.74 ส่วนในพันล้านส่วน และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าสูงสุดเป็น 11.73 ส่วนในพันล้านส่วน และมีค่าต่ำสุดเป็น 2.27 ส่วนในพันล้านส่วน โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.83 ส่วนในพันล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือปรับเทียบอัตราการไหลอิเล็กทรอนิกส์ (Ultra Flo™ Calibrator) ยี่ห้อ SKC
2. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล (Personal Air Sampling) รุ่น 224-PCXR4 ยี่ห้อ SKC พร้อมอุปกรณ์อิมพินเจอร์และแท่งเปเปอร์
3. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี คอลัมน์ METRO SEPA SUPP5-150 (6.1006.520) ขนาด 4.0 x 550 mm. ยี่ห้อ Metrohm
4. เครื่องอัลตราโซนิก รุ่น KLSC09 ยี่ห้อ Labquip
5. ห้องทดสอบ ขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร
6. เครื่องยูวี-วิชันเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway
7. ไมโครปิเปตขนาด 100 ไมโครลิตร รุ่น WITOPET digital ยี่ห้อ WITEG
8. ไมโครปิเปตขนาด 1,000 ไมโครลิตร รุ่น WITOPET digital ยี่ห้อ WITEG
9. ไมโครปิเปตขนาด 5,000 ไมโครลิตร รุ่น WITOPET digital ยี่ห้อ WITEG
10. แผ่นกรองเทพลอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ALLTECH
11. แผ่นกรองเซลลูโลส Whatman 42 ยี่ห้อ ADVANTEC
12. แผ่นกรองใยแก้วขนาด 203 x 254 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ADVANTEC
13. เครื่องแก้ว
14. แพงอคูมิเนียม
15. กระดาษฟอยล์
16. เทอร์โมมิเตอร์
17. นาฬิกาจับเวลา
18. ถุงพลาสติกซิปล็อค เทปใสและกล่องมีฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมี

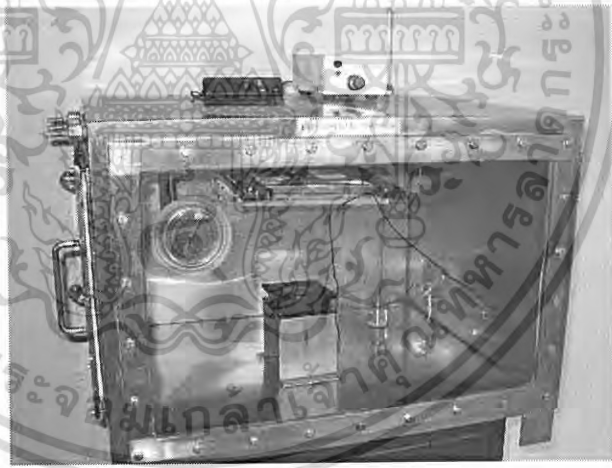
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
2. โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
3. เมทานอล (CH_3OH) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
4. สารดูดซึ่มโพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต (TCM, K_2HgCl_4) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
5. สารละลายมาตรฐานซัลเฟต (SO_4^{2-}) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ MERK
6. สารละลายไตรเอทาโนลามีน (TEA) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
7. สารละลายไอโอดีน (I_2) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ (AR grade) CARLO ERBA
8. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
9. พาราโรซานิทีนรีเจนต์ (PRA) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
10. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
11. โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
12. กรดซัลฟามิก (H_2NSO_3H) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
13. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
14. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
15. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ยี่ห้อ CARLO ERBA
16. น้ำแข็ง
17. น้ำกลั่น
18. น้ำความบริสุทธิ์สูง (Ultra pure water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การจำลองสถานการณ์การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1.0 และ 3.0 ส่วนในล้านส่วน ในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) ขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร (รูปที่ 3.1)

- ตรวจสอบห้องให้เรียบร้อย จากนั้นทำความสะอาดห้องทดสอบ และเปิดฝาไว้ก่อนทำการทดลองอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หลงเหลืออยู่ในห้องทดสอบ
- เปิดสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.001 นอร์มัล จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางในห้องทดสอบ
- เปิดสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล จำนวน 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ที่ใส่สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.001 นอร์มัล แล้วคนสารละลายให้เข้ากัน จะได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1.02 ส่วนในล้านส่วน



รูปที่ 3.1 ห้องทดสอบ (Experimental Chamber)

ตารางที่ 3.1 การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1.0 และ 3.0 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.001 นอร์มัล (มิลลิลิตร)	ปริมาตร HCl 0.01 นอร์มัล (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)
5.00	1.00	1.02
15.00	4.00	3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ทำโดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดค์ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 100-150 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1-2 หยด เติมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตกับของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จนได้สีเหลืองน้ำตาลอ่อนๆ จากนั้นเติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร จะได้สีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
- กำหนดหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จากสูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

3.3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีพาสตีฟ

3.3.2.1 การทำความสะอาดแผ่นกรองและคลาสเสีฟ

- ล้างแผ่นกรองและตลับคลาสเสีฟด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเมทานอลอีก 1 ครั้ง
- ทำความสะอาดกระดาษฟอยล์โดยเช็ดด้วยเมทานอล แล้วนำแผ่นกรองและคลาสเสีฟที่ทำความสะอาดแล้ววางบนกระดาษฟอยล์ จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟอยล์ เพื่อป้องกันฝุ่น ทิ้งไว้ให้แห้ง สำหรับแผ่นกรองอบที่ 105 °C ประมาณ 10 นาที

3.3.2.2 วิธีประกอบอุปกรณ์พาสตีฟและวิธีการเก็บรักษา

- นำตะแกรงสเตนเลส ใส่ง่าด้านบน
- ใส่แผ่นกรองที่ใช้เป็นตัวกีดขวางแต่ละชนิดตามตะแกรงสเตนเลส และประกอบเข้ากับวงแหวน
- วางแผ่นกรองเซลลูโลสบนกระดาษฟอยล์ ที่ทำความสะอาดด้วยเมทานอลแล้ว
- เคลือบแผ่นกรองเซลลูโลสด้วยสารละลายสำหรับเคลือบแต่ละชนิด ปริมาตร 50 ไมโครลิตร โดยใช้ไมโครปิเปต แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
- ใส่แผ่นกรองที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายสำหรับเคลือบลงในฝาด้านล่าง และประกอบเข้ากับวงแหวน
- เก็บรักษาโดยใส่ในถุงพลาสติกซิปล็อค 2 ชั้น ติดฉลากที่ระบุวันที่เตรียม และเก็บในกล่องที่มีฝาปิดใช้เทปใสพันปิดรอบฝาดีกครั้ง เพื่อให้อุปกรณ์พาสตีฟสัมผัสกับอากาศน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

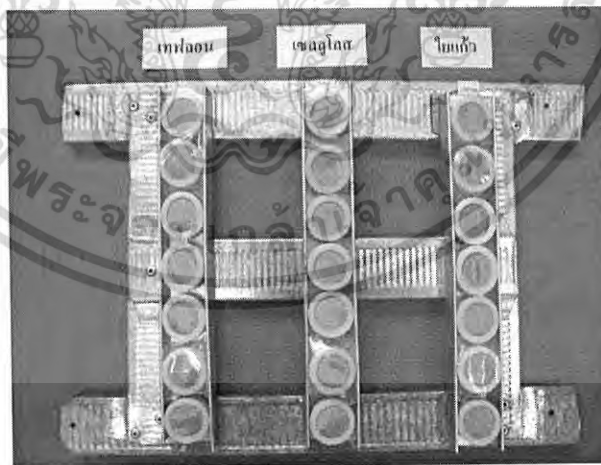
3.3.2.3 ชนิดและจำนวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศของวิธีพาสตีฟที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3.2 ชนิดและจำนวนอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้ในการศึกษา

สารเคลือบ	TEA 20% (w/w)		NaOH 0.1% (w/w)		K ₂ CO ₃ 20% (w/w)	
	ตัวอย่าง	แบลจค์	ตัวอย่าง	แบลจค์	ตัวอย่าง	แบลจค์
แผ่นกรองเพฟลอน	5	2	5	2	5	2
แผ่นกรองเซลลูโลส	5	2	5	2	5	2
แผ่นกรองใยแก้ว	5	2	5	2	5	2
รวม	15	6	15	6	15	6

3.3.2.4 การเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) วิธีพาสตีฟ

- เตรียมอุปกรณ์พาสตีฟตามวิธีในข้อ 3.3.2.1-3.3.2.3
- ติดตั้งอุปกรณ์พาสตีฟลงในแผงอลูมิเนียม และนำไปวางบนถาดในห้องทดสอบ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์พาสตีฟบนแผงอลูมิเนียม

- นำเทอร์โมมิเตอร์วางในห้องทดสอบ จากนั้นปิดฝาห้องทดสอบ บันทึกอุณหภูมิ ทั้งก่อนและหลังทำการทดลองทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน ตามวิธีในข้อ 3.3.1 จากนั้นเปิดพัดลมของห้องทดสอบนาน 5 นาที และเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (480 นาที)
 - เมื่อครบกำหนดเวลา เปิดฝาห้องทดสอบ นำอุปกรณ์ฟาสตีพอกมาเก็บรักษา สภาพตามข้อ 3.3.2.2
 - ทำความสะอาดห้องทดสอบให้เรียบร้อย จากนั้นเปิดฝาห้องทดสอบและเปิดพัดลมระบายอากาศ 5 นาที แล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนทำการทดลองครั้งต่อไป
 - ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เพิ่มความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็น 3 ส่วนในล้านส่วน
- 3.3.2.5 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์
- นำแผ่นกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างอากาศแล้วมาสกัด แสงลงในน้ำความบริสุทธิ์สูง จำนวน 3 มิลลิลิตร เขย่าเป็นครั้งคราวประมาณ 2-3 ครั้ง
 - ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 0.15% ลงในขวดปากกว้างที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร
 - ปิเปตสารที่สกัดได้จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 0.15% อยู่แล้ว
 - ผสมสารให้เข้ากันจากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี
- 3.3.2.6 การทำกราฟมาตรฐานของวิธีฟาสตีพ
- เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ส่วนในล้านส่วน แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ปริมาตรสารละลายซัลเฟตที่ใช้ (มิลลิลิตร)	
	10 ส่วนในล้านส่วน	1 ส่วนในล้านส่วน
0.2	-	5.00
0.4	1.00	-
0.6	1.50	-
0.8	2.00	-
1.0	2.50	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตดังตารางที่ 3.3 ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร 5 ขวด
- ปรับปริมาตรด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูงจนถึงขีดวัดปริมาตรทุกขวด
- ฉีดสารละลายมาตรฐานเข้าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

3.3.3 การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีแอคทีฟ (กรองแก้ว และกลั่นสุคนธ์, 2547)

3.3.3.1 การเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบ(Experimental Chamber) ด้วยวิธีแอคทีฟ

- ผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน ในห้องทดสอบ (ตามวิธีในข้อ 3.3.1) จากนั้นเปิดพัดลมของห้องทดสอบนาน 5 นาที แล้วทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง
- เติมน้ำกรดซัลฟิวริกโพแทสเซียมเตรคลอโรโรเมอร์คิวเรต (TCM) 0.04 โมลาร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในอิมพินเจอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วต่อเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล ดังรูปที่ 3.3

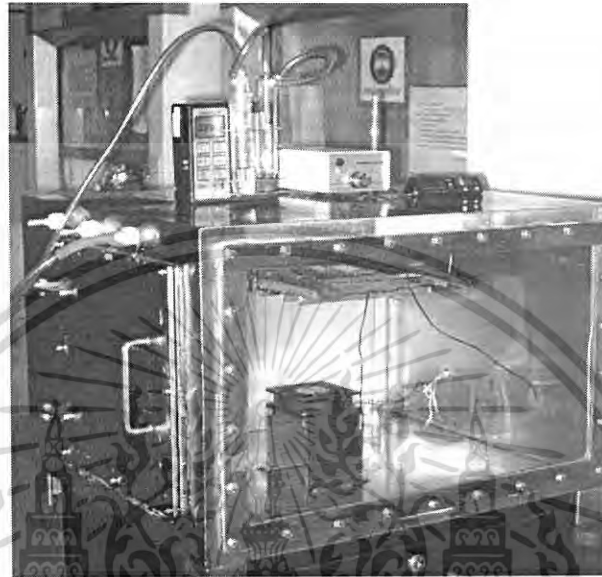


รูปที่ 3.3 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล (Personal air sampling)

- นำเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคลส่วนของสายยางสำหรับเก็บอากาศต่อเข้ากับรูดูดอากาศของห้องทดสอบ ดังรูปที่ 3.4 โดยตั้งอัตราการไหลไว้ที่ 1,000 มิลลิลิตร/นาที และทำการบันทึกค่าอัตราการไหลก่อนเก็บตัวอย่างซ้ำ 10 ครั้ง
- ตั้งเวลาในการเก็บอากาศ 120 นาที และเวลาสูบอากาศ 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการเก็บตัวอย่างอากาศต่อเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง (120 นาที) เมื่อครบเวลาของการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปแล้ว 6 ชั่วโมง (360 นาที)



รูปที่ 3.4 การเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบของวิธีแอกทีฟ

- เมื่อครบกำหนดเวลา ควรเว้นช่วงไว้อย่างน้อย 20 นาที ก่อนนำสารดูดซึมที่ผ่านการเก็บตัวอย่างแล้วมาวิเคราะห์ เพื่อให้ไอโซนสลายตัวก่อน
- บันทึกอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังทำการทดลองทุกครั้ง
- วัดอัตราการไหลหลังเก็บตัวอย่าง โดยวัดซ้ำ 10 ครั้ง นำอัตราการไหลก่อนและหลัง การเก็บตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างตลอด 2 ชั่วโมง (120 นาที)
- ทำความสะอาดอุปกรณ์และห้องทดสอบ เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีพาสซีฟ
- ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เพิ่มความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็น 3 ส่วนในล้านส่วน

3.3.3.2 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

- ปรับปริมาตรสารดูดซึมที่ได้หลังจากการเก็บตัวอย่างอากาศแล้ว ด้วย TCM 0.04 โมลาร์ จนครบ 10 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทำกราฟมาตรฐาน โดยไม่ต้องใส่สารละลายซัลไฟด์เจือจาง

3.3.3.3 การทำกราฟมาตรฐานของวิธีแอกทีฟ

- เติมน้ำสารดูดซึมโพแทสเซียมเตตระคลอโรเมอร์คิวเรต (TCM) 0.04 โมลาร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
- เปิดสารละลายซัลไฟด์เจือจางเป็นอนุกรม คือ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร
- เติมนครดซัลฟามิก 0.6% 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที เพื่อทำลายไนไตรต์
- เติมนอร์มัลดีไฮด์ 0.2% 2 มิลลิลิตร และสารละลายพาราโรซานีลีนรีเจนต์ 5 มิลลิลิตร

- ปรับปริมาตรสารจนถึงขีดวัดปริมาตรด้วยน้ำต้มเดือด

**ใช้น้ำกลั่นต้มเป็นเบลงค์ ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1 ต้องเจือจางในอัตราส่วน 1:1 กับรีเอเจนต์เบลงค์ และต้องอ่านค่าการดูดกลืนแสงทันที ถ้าสารละลายมีค่าการดูดกลืนแสงสูงมากอาจเจือจางได้ถึง 6 เท่า

- เตรียมรีเอเจนต์เบลงค์ โดยใส่สารดูดซึม 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมนครดซัลฟามิก 0.6% และสารอื่นๆ ทำเช่นเดียวกับการทำกราฟมาตรฐาน
- นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร
- พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมด จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีจุดตัดแกน Y อยู่ในช่วง 0.02 A.U. ทำการหาค่าความชัน เพื่อใช้เป็นค่า Calibration factor, B ($\mu\text{g}/\text{A.U.}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4.1.1 ชนิดสิ่งกีดขวาง

ตอนที่ 1

เก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาสตีฟ เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง (480 นาที) ด้วยความเข้มข้น 1 และ 3 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้อุปกรณ์พาสตีฟที่มีสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) 3 ชุดการทดลอง ตามจำนวนชนิดของสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเพปลอน เซลลูโลส และใยแก้ว ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) โดยชนิดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน

ความเข้มข้น SO _{2(g)} ทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง อากาศ (นาที)	ครั้ง ที่	ค่าสถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟ (ppm, n = 5) ที่เคลือบด้วย TEA 20% (w/w)		
				เพปลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	480	1	\bar{x}	0.004	0.005	0.005
			SD	0.001	0.001	0.001
		2	\bar{x}	0.003	0.003	0.001
			SD	0.001	0.001	0.000
		3	\bar{x}	0.003	0.005	0.004
			SD	0.001	0.001	0.003
3	480	1	\bar{x}	0.004	0.029	0.005
			SD	0.001	0.012	0.006
		2	\bar{x}	0.005	0.038	0.006
			SD	0.001	0.000	0.000
		3	\bar{x}	0.005	0.042	0.023
			SD	0.003	0.005	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟ โดยใช้อุปกรณ์พาสตีฟที่มีสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้น ได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

จากผลของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟนั้น มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎีมาก เนื่องจากภายในห้องทดสอบที่ใช้ทำการทดลองนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูง (จากตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก) ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (ดังสมการที่ 2.3 ในบทที่ 2) และเนื่องจากห้องทดสอบทำมาจากเสตนเลส สตีล ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับภาชนะดังกล่าว ซึ่งสังเกตเห็นได้จากคราบสนิมที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนยังถูกดูดซับบริเวณมุมเหลี่ยมของห้องทดสอบ

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way) ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรสามกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) และมีสิ่งกีดขวางต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ค

ตอนที่ 2

เก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาสตีฟ เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง (480 นาที) ด้วยความเข้มข้น 1 และ 3 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้อุปกรณ์พาสตีฟที่มีสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) 3 ชุดการทดลอง ตามจำนวนชนิดของสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่เคลือบด้วย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) โดยชนิดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน

ความเข้มข้น SO _{2(g)} ทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง อากาศ (นาที)	ครั้งที่	ค่าทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟ (ppm, n = 5) ที่เคลือบด้วย NaOH 0.1% (w/w)		
				เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	480	1	\bar{x}	0.003	0.007	0.004
			SD	0.001	0.001	0.002
		2	\bar{x}	0.001	0.006	0.002
			SD	0.000	0.002	0.001
		3	\bar{x}	0.003	0.007	0.003
			SD	0.001	0.002	0.000
3	480	1	\bar{x}	0.004	0.011	0.003
			SD	0.003	0.007	0.000
		2	\bar{x}	0.010	0.013	0.005
			SD	0.003	0.011	0.001
		3	\bar{x}	0.028	0.013	0.006
			SD	0.012	0.002	0.003

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟ โดยให้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทฟลอน เซลลูโลส และใยแก้ว โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way) ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรสามกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้มาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสิ่งกีดขวางต่างชนิดกันแผ่น 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ค

ตอนที่ 3

เก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาสสิฟ เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง (480 นาที) ด้วยความเข้มข้น 1 และ 3 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้อุปกรณ์พาสสิฟที่มีสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โปแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) 3 ชุดการทดลอง ตามจำนวนชนิดของสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสสิฟที่เคลือบด้วย โปแทสเซียมคาร์บอเนต 20% โดยชนิดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน

ความเข้มข้น SO _{2(g)} ทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง อากาศ (นาที)	ครั้ง ที่	ค่าทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์จากวิธีพาสสิฟ (ppm, n = 5) ที่เคลือบด้วย K ₂ CO ₃ 20% (w/w)		
				เทพลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	480	1	\bar{x}	0.007	0.004	0.006
			SD	0.001	0.000	0.002
		2	\bar{x}	0.001	0.003	0.003
			SD	0.000	0.002	0.001
		3	\bar{x}	0.004	0.004	0.005
			SD	0.006	0.003	0.001
3	480	1	\bar{x}	0.016	0.008	0.012
			SD	0.012	0.005	0.000
		2	\bar{x}	0.016	0.011	0.019
			SD	0.004	0.000	0.002
		3	\bar{x}	0.022	0.012	0.025
			SD	0.005	0.010	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟ โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต 20% (w/w) เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

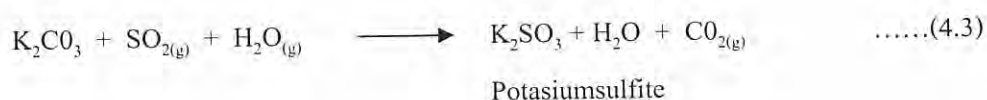
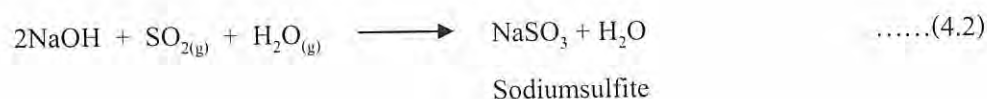
จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way) ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรสามกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟที่ใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต 20% (w/w) และสิ่งกีดขวางต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ค

4.1.2 ชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบ

ตอนที่ 1

นำข้อมูลในตารางที่ 4.1 – 4.3 เรียบเรียงใหม่โดยให้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเทพลอนเป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพลีเอทิลีนคาร์บอเนต 20% (w/w) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดต่างๆ กับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นดังสมการที่ 4.1 - 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 4.1 - 4.3 สารประกอบซัลไฟด์จะถูกลอกออกไซด์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2 0.15%) กลายเป็นสารประกอบซัลเฟต ซึ่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเทฟลอน โดยชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบแตกต่างกัน

ความเข้มข้น $SO_{2(g)}$ ทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง อากาศ (นาที)	ครั้ง ที่	ค่า ทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวางเทฟลอน (ppm, n = 5)		
				TEA 20%	NaOH 0.1%	K_2CO_3 20%
1	480	1	\bar{x}	0.004	0.003	0.007
			SD	0.001	0.001	0.001
		2	\bar{x}	0.003	0.001	0.001
			SD	0.001	0.000	0.000
		3	\bar{x}	0.003	0.003	0.004
			SD	0.001	0.001	0.006
3	480	1	\bar{x}	0.004	0.004	0.016
			SD	0.001	0.003	0.012
		2	\bar{x}	0.005	0.010	0.016
			SD	0.001	0.003	0.004
		3	\bar{x}	0.005	0.028	0.022
			SD	0.003	0.012	0.005

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟ โดยให้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเทฟลอน เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) , โซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้น ได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way) ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรสามกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเทพลอน และสารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) , โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ค

ตอนที่ 2

นำข้อมูลในตารางที่ 4.1 – 4.3 เรียบเรียงใหม่โดยให้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลสเป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสสีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส โดยชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบแตกต่างกัน

ความเข้มข้น SO _{2(g)} ทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง อากาศ (นาที)	ครั้ง ที่	ค่า ทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากวิธีพาสสีฟที่ใช้สิ่งกีดขวางเซลลูโลส (ppm, n = 5)		
				TEA 20%	NaOH 0.1%	K ₂ CO ₃ 20%
1	480	1	\bar{x}	0.005	0.007	0.004
			SD	0.001	0.001	0.000
		2	\bar{x}	0.003	0.006	0.003
			SD	0.001	0.002	0.002
		3	\bar{x}	0.005	0.007	0.004
			SD	0.001	0.002	0.003
3	480	1	\bar{x}	0.029	0.011	0.008
			SD	0.012	0.007	0.005
		2	\bar{x}	0.038	0.013	0.011
			SD	0.000	0.011	0.000
		3	\bar{x}	0.042	0.013	0.012
			SD	0.005	0.002	0.010

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสีฟ โดยให้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) , โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way) ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรสามกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และสารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) , โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ค

ตอนที่ 3

นำข้อมูลในตารางที่ 4.1 – 4.3 เรียบเรียงใหม่โดยให้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองใยแก้วเป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองใยแก้ว โดยชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบแตกต่างกัน

ความเข้มข้น SO _{2(g)} ทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลา เก็บตัวอย่าง อากาศ (นาที)	ครั้ง ที่	ค่า ทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวางใยแก้ว (ppm, n = 5)		
				TEA 20%	NaOH 0.1%	K ₂ CO ₃ 20%
1	480	1	\bar{x}	0.005	0.004	ใยแก้ว
			SD	0.001	0.002	0.006
		2	\bar{x}	0.001	0.002	0.002
			SD	0.000	0.001	0.003
		3	\bar{x}	0.004	0.003	0.001
			SD	0.003	0.000	0.005
3	480	1	\bar{x}	0.005	0.003	0.001
			SD	0.006	0.000	0.012
		2	\bar{x}	0.006	0.005	0.000
			SD	0.000	0.001	0.019
		3	\bar{x}	0.023	0.010	0.002
			SD	0.000	0.003	0.025

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ โดยให้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองใยแก้ว เป็นตัวแปรควบคุม และแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) , โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) โดยข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test แล้ว

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way) ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากรสามกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองใยแก้ว และสารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) , โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ก

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสิฟเทียบกับวิธีแอกทีฟ

ตอนที่ 1

เก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาสสิฟและวิธีแอกทีฟ ที่ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เริ่มต้นทางทฤษฎีเท่ากับ 1 และ 3 ส่วนในล้านส่วน เป็นเวลา 8 ชม. (480 นาที) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ข-1 ถึง 3 (ในภาคผนวก ข)

จากผลของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสสิฟและแอกทีฟนั้นมีย่านน้อยกว่าความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎีมาก เนื่องจากภายในห้องทดสอบที่ใช้ทำการทดลองนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูง (จากตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก) ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำในบรรยากาศกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (ดังสมการที่ 2.3 ในบทที่ 2) และเนื่องจากห้องทดสอบทำมาจากแสตนเลส สตีล ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับภาชนะดังกล่าว ซึ่งสังเกตเห็นได้จากคราบสนิมที่เกิดขึ้น และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์บางส่วนยังถูกดูดซับบริเวณมุมเหลี่ยมของห้องทดสอบ นอกจากนี้สำหรับวิธีแอกทีฟยังมีสาเหตุมาจากการเปิดรูในขณะที่เก็บตัวอย่างอากาศทำให้มีอากาศภายนอกเข้ามาเจือจางบางส่วนด้วย

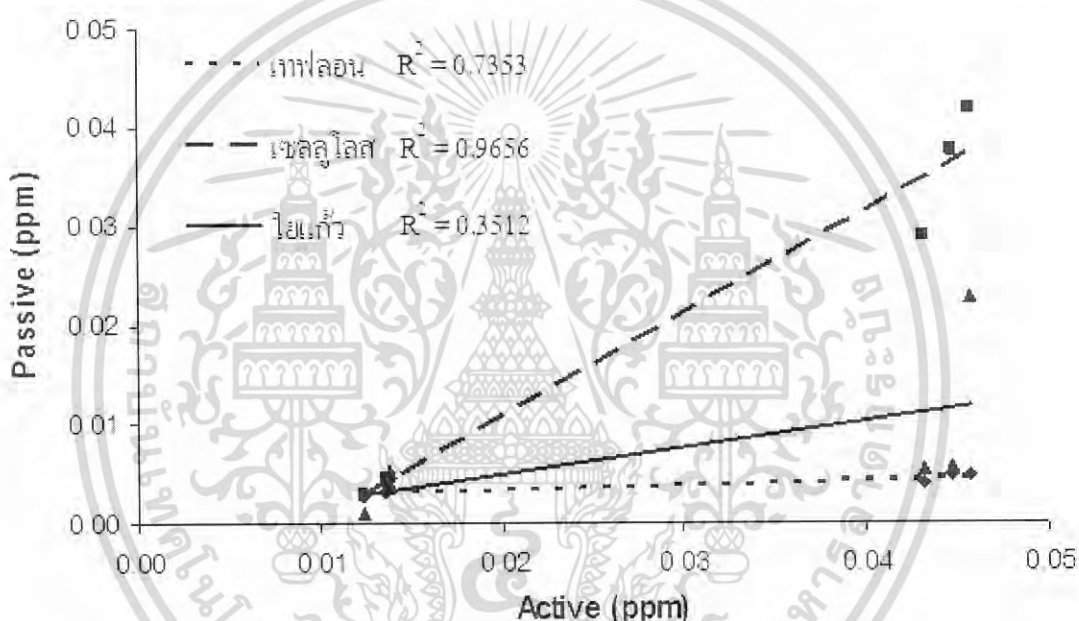
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

นำผลการทดลองจากตารางที่ ข-1 ถึง ข-3 (ในภาคผนวก ข) พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีพาสซีฟกับวิธีแอกทีฟ ดังรูปที่ 4.1 - 4.3 จากนั้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์โดยใช้การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

โดยให้ แกน x คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีแอกทีฟ

แกน y คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสซีฟ

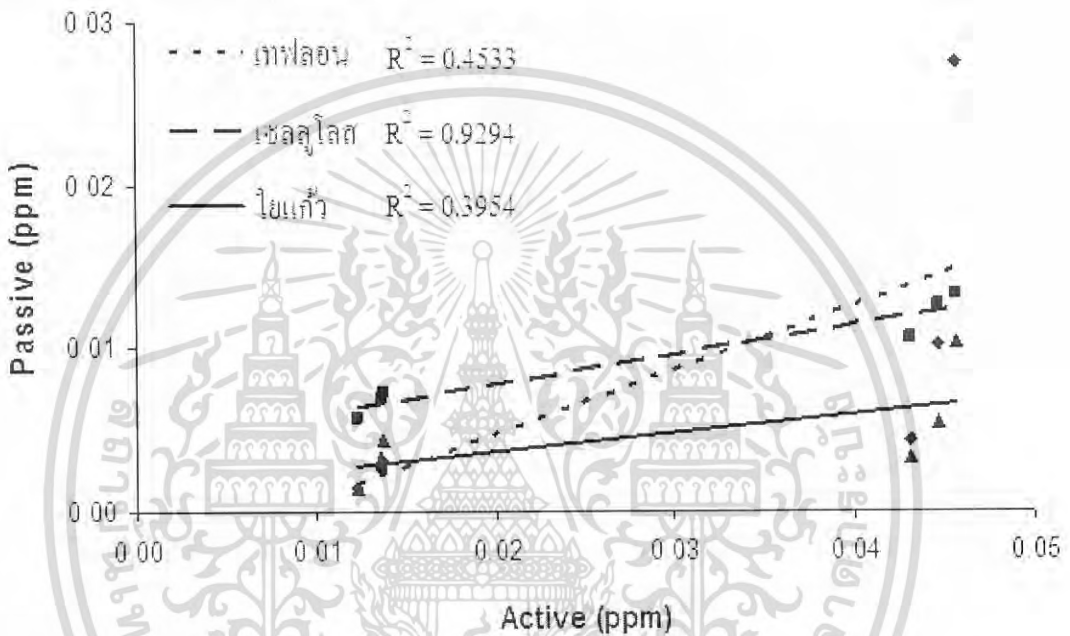


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟโดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ

จากรูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟกับวิธีแอกทีฟ โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟที่มีไตรเอทานอลามีน 20% เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบ และมีสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทพลอน เซลลูโลส และใยแก้ว จากกราฟพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์พาสซีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลส มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9656 สำหรับอุปกรณ์พาสซีฟที่ใช้แผ่นกรองเทพลอนจะมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟรองลงมา คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.7353 และอุปกรณ์พาสซีฟที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นกรองใยแก้วมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟน้อยที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.3512

ดังนั้นจากกราฟสรุปได้ว่า อุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้ไตรเอทานอลามีน 20% เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบนั้น สิ่งกีดขวางที่มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด คือ แผ่นกรองเซลลูโลส รองลงมาคือ แผ่นกรองเพปลอน และแผ่นกรองใยแก้ว ตามลำดับ

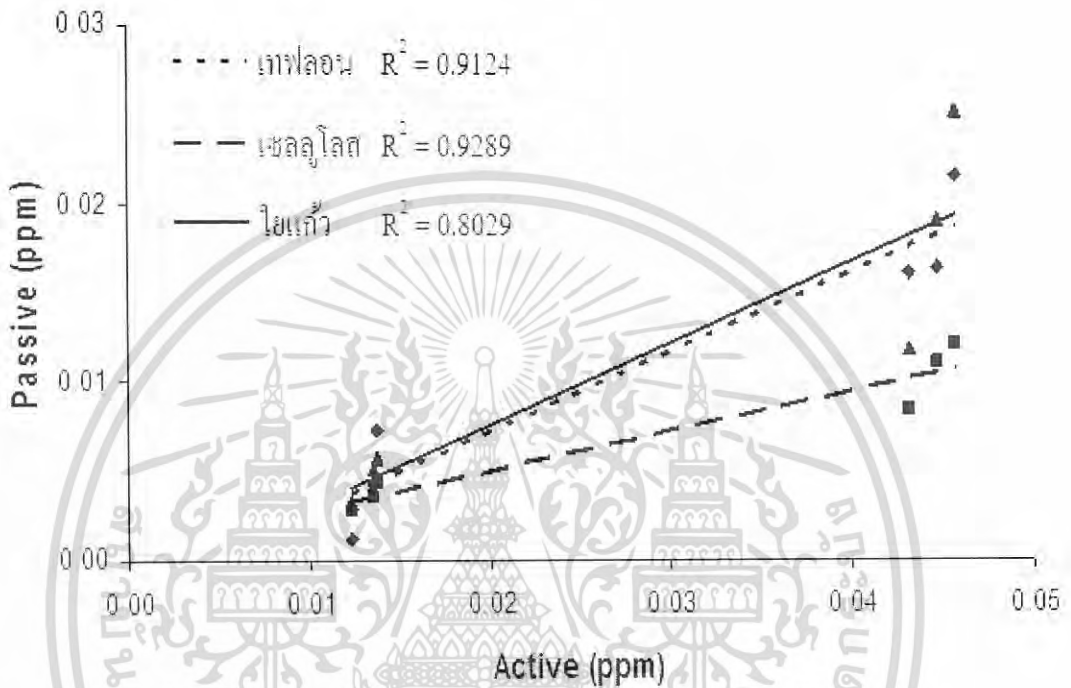


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟ โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ

จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทีฟ โดยใช้อุปกรณ์พาสตีฟที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบ และมีสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเพปลอน เซลลูโลส และใยแก้ว จากกราฟพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลส มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด โดยทราบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.9294 สำหรับอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเพปลอนและแผ่นกรองใยแก้วมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟลดลงตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลงตามชนิดของแผ่นกรองเท่ากับ 0.4533 และ 0.3954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากกราฟสรุปได้ว่า อุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบนั้น สิ่งกีดขวางที่มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด คือ แผ่นกรองเซลลูโลส เมื่อเทียบกับแผ่นกรองเพฟลอนและใยแก้ว



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟ โดยใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟ

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟ กับวิธีแอกทีฟ โดยใช้อุปกรณ์พาสตีฟที่มีโพลีเอทิลีนคาร์บอเนต 20% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบและมีสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเพฟลอน เซลลูโลส และใยแก้ว จากกราฟพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลส มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด โดยทราบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.9289 รองลงมาคืออุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเพฟลอน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9124 และอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองใยแก้วมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟน้อยที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.8029

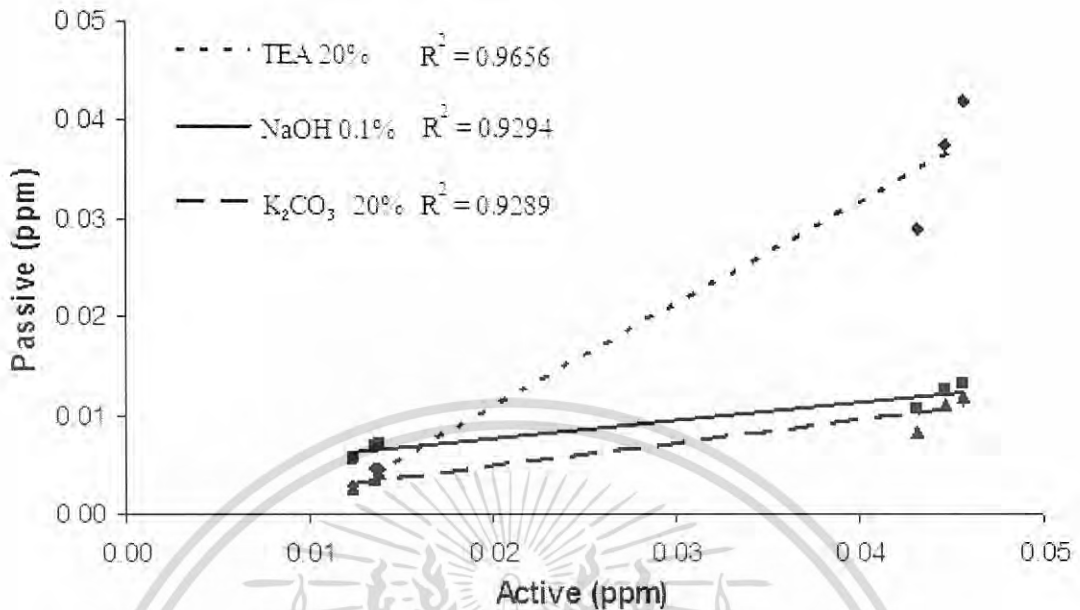
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากกราฟสรุปได้ว่า อูปรกรณ์พาสตีฟที่ใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบนั้น สิ่งกีดขวางที่มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด คือ แผ่นกรองเซลลูโลส เมื่อเทียบกับแผ่นกรองเทฟลอนและใยแก้ว ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 - 4.3 สามารถเรียงลำดับความสัมพันธ์ความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวางแตกต่างกันกับวิธีแอกทีฟได้ดังนี้ คือ อูปรกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลสเป็นสิ่งกีดขวางมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด ลำดับต่อมา คือ อูปรกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเทฟลอน และอูปรกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองใยแก้วเป็นสิ่งกีดขวางมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟน้อยที่สุดซึ่งผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันไม่ว่าอูปรกรณ์พาสตีฟนั้นจะเคลือบด้วยสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดใดก็ตาม สามารถอธิบายได้ว่า แผ่นกรองเซลลูโลสนั้นมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 2.5 ไมครอน (Whatman plc., 2006a) ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นกรองอีก 2 ชนิด คือแผ่นกรองเทฟลอนมีขนาดรูพรุน 1.0 ไมครอน (Delta Technical Products, 1996) และแผ่นกรองใยแก้วมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 1.2 ไมครอน (Whatman plc., 2006b) ดังนั้นทำให้โมเลกุลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถแพร่ผ่านแผ่นกรองเซลลูโลสได้ดีที่สุด

เมื่อทราบว่าอูปรกรณ์พาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวางชนิดเซลลูโลสมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุดแล้ว จึงเปรียบเทียบข้อมูลใหม่โดยให้แผ่นกรองเซลลูโลสเป็นตัวแปรควบคุมและแปรผันชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w), โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) เพื่อหาชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบที่มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ ข-4 (ในภาคผนวก ข)

นำข้อมูลจากตารางที่ ข-4 (ในภาคผนวก ข) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทีฟ เพื่อต้องการทราบว่าสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดใดมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด โดยใช้การทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟโดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และใช้สารเคมีสำหรับเคลือบต่างชนิดกันเทียบกับวิธีแอคทีฟ

จากรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอคทีฟ โดยใช้อุปกรณ์พาสตีฟที่มีสิ่งกีดขวางเพียงชนิดเดียว คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และมีสารเคมีสำหรับเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w), โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w)

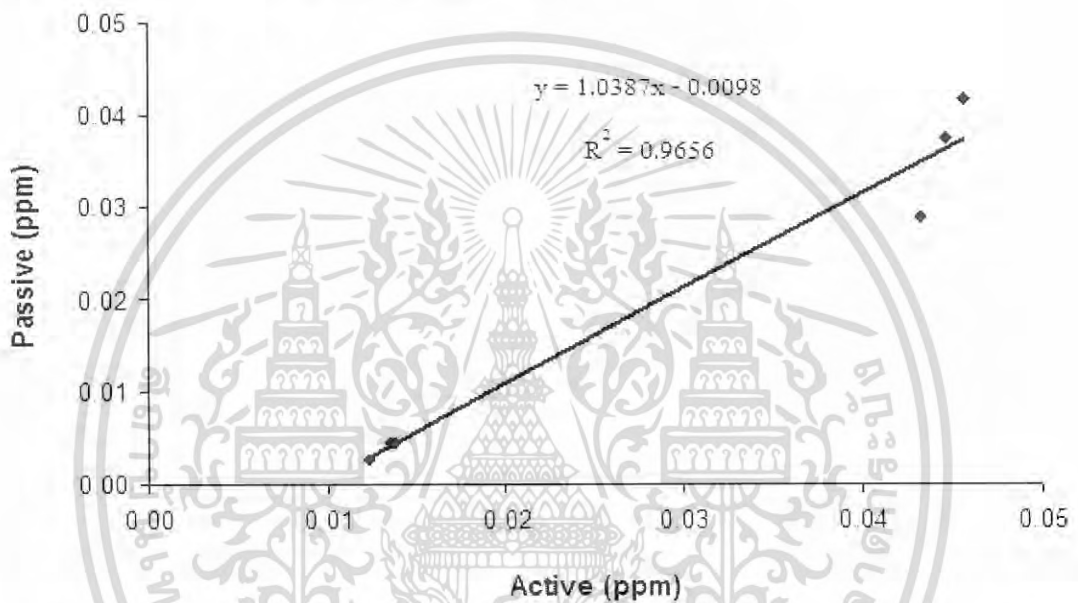
จากกราฟพบว่าอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบมีความสัมพันธ์กับวิธีแอคทีฟมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟโดยใช้สิ่งกีดขวางชนิดแผ่นกรองเซลลูโลสกับวิธีแอคทีฟเท่ากับ 0.9656 ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารเคมีสำหรับเคลือบอีก 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ 0.9294 และ 0.9289 ตามลำดับ

จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถเรียงลำดับความสัมพันธ์ของอุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้สารเคมีสำหรับเคลือบชนิดต่างๆ กับวิธีแอคทีฟ ได้ดังนี้ อุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) มีความสัมพันธ์มากที่สุด ลำดับต่อมาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ก็ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า อุปกรณ์พาสซีฟที่มีชนิดสิ่งกีดขวางและชนิดสารเคมีสำหรับเคลือบที่มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด ในการผลิตอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) จึงพลอตกราฟเพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟโดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เทียบกับวิธีแอกทีฟ

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟกับวิธีแอกทีฟ โดยมีสิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w)

สามารถหาสมการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสซีฟ โดยใช้สิ่งกีดขวางชนิดแผ่นกรองเซลลูโลสและสารเคมีสำหรับเคลือบชนิด ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) กับวิธีแอกทีฟได้ คือ $y = 1.0387x - 0.0098$ เมื่อ x คือ ความเข้มข้นแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทีฟ และ y คือความเข้มข้นแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพาสซีฟ โดยความเข้มข้นแก๊ซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีพาสซีฟอยู่ในช่วง 0.003 – 0.050 ส่วนในล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตอุปกรณ์พาสตีฟสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แบ่งการทดลอง ออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษา 2 ตัวแปร ได้แก่ ชนิดสิ่งกีดขวาง และสารเคมี สำหรับเคลือบ และส่วนที่สองทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทีฟ เพื่อต้องการทราบว่าตัวแปรใดส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

5.1.1 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองเทฟลอน เซลลูโลสและใยแก้ว ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์พาสตีฟไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01
- สารเคมีสำหรับเคลือบที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w), โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1% (w/w) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต 20% (w/w) ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอุปกรณ์พาสตีฟไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

5.1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟเทียบกับวิธีแอกทีฟ

- อุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้แผ่นกรองเซลลูโลสเป็นสิ่งกีดขวางมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทีฟสูงที่สุด เมื่อเทียบกับสิ่งกีดขวางชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะอุปกรณ์พาสตีฟนั้นจะเคลือบด้วยสารเคมีสำหรับเคลือบชนิดใดก็ตาม
- อุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) เป็นสารเคมีสำหรับเคลือบมีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทีฟมากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทิฟมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นๆ โดยใช้สิ่งกีดขวางชนิดเซลลูโลส

- จากผลการทดลองที่ได้สรุปว่า อุปกรณ์พาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวาง คือ แผ่นกรองเซลลูโลส และสารเคมีสำหรับเคลือบ คือ ไตรเอทานอลามีน 20% (w/w) มีความสัมพันธ์กับวิธีแอกทิฟมากที่สุด ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ คือ $y = 1.0387x - 0.0098$ เมื่อ x และ y คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทิฟและวิธีพาสตีฟตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้สมการความสัมพันธ์นี้ ในการปรับแก้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยวิธีพาสตีฟในอาคารให้ถูกต้องได้ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีพาสตีฟอยู่ในช่วง 0.003 – 0.050 ส่วนในล้านส่วน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. โครงการพิเศษนี้เป็นการทดลองภายในห้องทดสอบ (Experimental Chamber) ซึ่งเป็นระบบปิด ดังนั้นจึงไม่มีการศึกษาถึงปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น ความเร็วลม ความชื้น อุณหภูมิ หากต้องการนำไปใช้ในภาคสนาม ควรทำการศึกษาปัจจัยดังกล่าวเพิ่มเติมด้วย
2. ในการหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟเทียบกับวิธีแอกทิฟนั้น ควรศึกษาที่ระดับความเข้มข้น อย่างน้อย 3 ความเข้มข้นขึ้นไป เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้ดียิ่งขึ้น
3. ควรศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอุปกรณ์พาสตีฟ
4. ควรศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาอุปกรณ์พาสตีฟก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ย
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของวิธีพาสตีฟและวิธีแอกทิฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 พารามิเตอร์ภายในห้องทดสอบสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีแอกทีฟและวิธีพาสซีฟ

	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎี (ppm)	ครั้งที่	เวลาเก็บ ตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้น เฉลี่ย (%)
พาสซีฟเคลื่อน TEA 20%	1	1	480	30.60	65
		2	480	31.60	63
		3	480	28.70	78
	3	1	480	31.30	63
		2	480	29.75	68
		3	480	30.15	65
พาสซีฟเคลื่อน NaOH 0.1%	1	1	480	29.75	68
		2	480	30.60	68
		3	480	29.78	68
	3	1	480	29.75	75
		2	480	30.60	80
		3	480	28.50	68
พาสซีฟเคลื่อน K ₂ CO ₃ 20%	1	1	480	29.75	80
		2	480	27.85	83
		3	480	28.40	80
	3	1	480	27.75	85
		2	480	30.10	68
		3	480	29.75	75
แอกทีฟ	1	1	480	31.30	63
		2	480	29.75	68
		3	480	27.60	68
	3	1	480	25.50	65
		2	480	28.55	75
		3	480	30.60	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพีเอสดีพี

วันที่ทำการทดลอง

11/1/2548

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

TEA 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 1

	แผ่นกรองเทพลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄]I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄]I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄]I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.153	ตัดทิ้ง	0.266	0.000	0.158	0.000
B ₂	0.123	0.000	0.297	0.000	-	-
S ₁	0.160	0.005	0.328	0.006	-	-
S ₂	0.063	ตัดทิ้ง	0.310	0.004	0.205	0.006
S ₃	0.148	0.003	0.318	0.005	0.199	0.005
S ₄	0.152	0.004	0.082	ตัดทิ้ง	0.195	0.005
S ₅	0.156	0.004	0.320	0.005	0.201	0.005
Avg.		0.004		0.005		0.005

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-3 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอรัส

วันที่ทำการทดลอง 11/2/2548

สารเคมีสำหรับเคิลือบ คือ TEA 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 2

	แผ่นกรองฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] _{Ic} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] _{Ic} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] _{Ic} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.751	0.000	0.130	0.000	0.129	0.000
B ₂	57.962	ตัดทิ้ง	0.131	0.000	0.130	0.000
S ₁	0.775	0.003	0.154	0.003	0.139	0.001
S ₂	0.783	0.004	0.148	0.002	0.141	0.001
S ₃	0.462	ตัดทิ้ง	0.160	0.004	0.589	ตัดทิ้ง
S ₄	0.762	0.001	0.152	0.003	0.135	0.001
S ₅	0.770	0.002	0.156	0.003	0.137	0.001
AVG.		0.003		0.003		0.001

ตารางที่ ก-4 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสเฟต

วันที่ทำการทดลอง

11/10/2548

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

TEA 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 3

	แผ่นกรองซาฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.482	ตัดทิ้ง	0.353	ตัดทิ้ง	-	-
B ₂	0.240	0.000	0.265	0.000	0.286	0.000
S ₁	0.271	0.004	0.057	ตัดทิ้ง	0.294	0.001
S ₂	0.498	ตัดทิ้ง	0.305	0.005	0.325	0.005
S ₃	0.258	0.002	0.294	0.004	0.163	ตัดทิ้ง
S ₄	0.265	0.003	0.299	0.004	0.309	0.003
S ₅	0.266	0.003	0.310	0.006	0.340	0.007
Avg.		0.003		0.005		0.004

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-5 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีปาดสีฟ

วันที่ทำการทดลอง

25/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

NaOH 0.1%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 1

	แผ่นกรองฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] ²⁻ I _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm) ตัดทิ้ง	[SO ₄] ²⁻ I _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.629	ตัดทิ้ง	0.041	0.000	0.158	0.000
B ₂	0.192	0.000	0.088	0.000	0.010	0.000
S ₁	0.555	ตัดทิ้ง	0.151	0.008	0.063	0.007
S ₂	0.220	0.004	0.152	0.008	0.023	0.002
S ₃	0.221	0.004	0.142	0.007	0.042	0.004
S ₄	0.214	0.003	0.152	0.008	0.039	0.004
S ₅	0.212	0.003	0.131	0.005	0.057	0.006
Avg.		0.003		0.007		0.004

ตารางที่ ก-6 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสมา

วันที่ทำการทดลอง 26/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ NaOH 0.1%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 2

	แผ่นกรองทฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄ ²⁻] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄ ²⁻] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄ ²⁻] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.167	ตัดทิ้ง	0.579	ตัดทิ้ง	0.238	0.000
B ₂	0.141	0.000	0.247	0.000	0.274	ตัดทิ้ง
S ₁	0.151	0.001	0.293	0.006	0.255	0.002
S ₂	0.131	ตัดทิ้ง	0.310	0.008	0.258	0.003
S ₃	0.153	0.002	0.649	ตัดทิ้ง	0.245	0.001
S ₄	0.042	ตัดทิ้ง	0.274	0.003	0.242	0.001
S ₅	0.154	0.002	0.291	0.006	0.036	ตัดทิ้ง
Avg.		0.001		0.006		0.002

ตารางที่ ก-7 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทาสีฟ

วันที่ทำการทดลอง 27/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ NaOH 0.1%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 3

	แผ่นกรองเทพลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	1.152	ตัดทิ้ง	0.381	ตัดทิ้ง	0.250	ตัดทิ้ง
B ₂	0.261	0.000	0.214	0.000	0.130	0.000
S ₁	0.821	ตัดทิ้ง	0.245	0.004	0.036	ตัดทิ้ง
S ₂	0.289	0.004	0.016	ตัดทิ้ง	0.156	0.003
S ₃	0.284	0.003	0.272	0.007	0.158	0.004
S ₄	0.281	0.003	0.292	0.010	0.154	0.003
S ₅	0.277	0.002	0.266	0.007	0.097	ตัดทิ้ง
Avg.		0.003		0.007		0.003

ตารางที่ ก-8 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพาสสิฟ

วันที่ทำการทดลอง

30/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

K_2CO_3 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 1

	แผ่นกรองฟลอรอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$SO_4^{2-}I_{IC}$ (mg/L)	$SO_2(g)$ (ppm)	$SO_4^{2-}I_{IC}$ (mg/L)	$SO_2(g)$ (ppm)	$SO_4^{2-}I_{IC}$ (mg/L)	$SO_2(g)$ (ppm)
B ₁	0.091	0.000	0.082	0.000	0.784	ตัดทิ้ง
B ₂	0.089	0.000	0.068	0.000	0.214	0.000
S ₁	0.151	0.008	0.000	ตัดทิ้ง	0.719	ตัดทิ้ง
S ₂	0.085	ตัดทิ้ง	0.111	0.005	0.241	0.003
S ₃	0.081	ตัดทิ้ง	0.107	0.004	0.278	0.008
S ₄	0.143	0.007	0.156	ตัดทิ้ง	0.265	0.006
S ₅	0.151	0.008	0.108	0.004	0.255	0.005
Avg.		0.007		0.004		0.006

ตารางที่ ก-9 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพีเอสดีพี

วันที่ทำการทดลอง 31/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ K_2CO_3 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 2

	แผ่นกรองเทาฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$SO_4^{2-} I_{IC}$ (mg/L)	$SO_2 I_{(g)}$ (ppm)	$SO_4^{2-} I_{IC}$ (mg/L)	$SO_2 I_{(g)}$ (ppm)	$SO_4^{2-} I_{IC}$ (mg/L)	$SO_2 I_{(g)}$ (ppm)
B ₁	0.128	0.000	0.159	0.000	0.175	0.000
B ₂	-	-	0.210	ตัดทิ้ง	-	-
S ₁	0.138	0.001	0.190	0.004	0.196	0.003
S ₂	0.139	0.001	0.165	0.001	0.206	0.004
S ₃	0.135	0.001	0.166	0.001	0.197	0.003
S ₄	-	-	0.202	0.005	0.192	0.002
S ₅	-	-	0.131	ตัดทิ้ง	0.210	0.004
Avg.		0.001		0.003		0.003

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-10 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอรัส

วันที่ทำการทดลอง

2/1/2549

สารเคมีสำหรับเคือบ คือ K_2CO_3 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 1 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 3

	แผ่นกรองเทาฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$ISO_4 I_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$ISO_4 I_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$ISO_4 I_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)
B ₁	0.069	0.000	0.165	0.000	0.175	0.000
B ₂	0.083	0.000	0.278	ตัดทิ้ง	-	-
S ₁	0.08	0.001	0.184	0.002	0.209	0.004
S ₂	0.093	0.002	0.204	0.005	0.225	0.006
S ₃	0.099	0.003	0.182	0.002	0.208	0.004
S ₄	0.087	0.001	0.169	0.001	0.213	0.005
S ₅	0.192	0.015	0.225	0.008	0.222	0.006
Avg.		0.004		0.004		0.005

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-11 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาตีฟ

วันที่ทำการทดลอง 17/01/2548

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ TEA 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 1

	แผ่นกรองทฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.185	ตัดทิ้ง	0.600	ตัดทิ้ง	0.572	0.000
B ₂	0.123	0.000	0.282	0.000	0.657	ตัดทิ้ง
S ₁	0.156	0.004	0.522	0.030	0.605	0.004
S ₂	0.160	0.005	0.478	0.025	0.498	ตัดทิ้ง
S ₃	0.150	0.003	0.386	0.013	0.573	0.000
S ₄	0.154	0.004	0.637	0.045	0.667	0.012
S ₅	0.501	ตัดทิ้ง	0.539	0.032	0.547	ตัดทิ้ง
Avg.		0.004		0.029		0.005

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์หาค่าได้

ตารางที่ ก-12 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพีเอสดีพี

วันที่ทำการทดลอง 22/11/2548

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ TEA 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 2

	แผ่นกรองเพปตอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] _{IC} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.234	0.000	0.160	0.000	0.349	0.000
B ₂	0.282	ตัดทิ้ง	0.191	ตัดทิ้ง	0.480	ตัดทิ้ง
S ₁	0.512	ตัดทิ้ง	0.191	ตัดทิ้ง	0.391	0.005
S ₂	0.834	ตัดทิ้ง	0.462	0.038	0.395	0.006
S ₃	0.272	0.005	-	-	0.398	0.006
S ₄	0.280	0.006	-	-	0.399	0.006
S ₅	0.264	0.004	0.459	0.038	0.392	0.005
Avg.		0.005		0.038		0.006

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก -13 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอรัส

วันที่ทำการทดลอง

24/11/2548

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

TEA 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 3

	แผ่นกรองซาฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$[\text{SO}_4]_{\text{IC}}$ (mg/L)	$[\text{SO}_2]_{\text{g}}$ (ppm)	$[\text{SO}_4]_{\text{IC}}$ (mg/L)	$[\text{SO}_2]_{\text{g}}$ (ppm)	$[\text{SO}_4]_{\text{IC}}$ (mg/L)	$[\text{SO}_2]_{\text{g}}$ (ppm)
B ₁	0.327	0.000	0.882	ตัดทิ้ง	0.980	0.000
B ₂	0.379	0.000	0.527	0.000	1.708	ตัดทิ้ง
S ₁	0.395	0.005	0.815	0.036	1.166	0.024
S ₂	0.388	0.004	0.905	0.048	1.158	0.023
S ₃	-	-	0.862	0.042	1.16	0.023
S ₄	0.419	0.008	0.858	0.042	0.233	ตัดทิ้ง
S ₅	0.364	0.001	-	-	1.164	0.023
Avg.		0.005		0.042		0.023

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-14 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสเฟต

วันที่ทำการทดลอง

1/9/2549

สารเคมีสำหรับเคือบ คือ NaOH 0.1%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 1

	แผ่นกรองทฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.276	ตัดทิ้ง	0.190	0.000	0.250	ตัดทิ้ง
B ₂	0.270	0.000	0.227	0.000	0.130	0.000
S ₁	0.218	ตัดทิ้ง	0.278	0.009	0.152	0.003
S ₂	0.277	0.001	0.355	0.019	0.160	0.004
S ₃	0.302	0.004	0.160	ตัดทิ้ง	0.158	0.004
S ₄	0.308	0.005	0.153	ตัดทิ้ง	0.154	0.003
S ₅	0.333	0.008	0.246	0.005	0.297	ตัดทิ้ง
Avg.		0.004		0.011		0.003

ตารางที่ ก-15 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพีเอสพี

วันที่ทำการทดลอง

1/10/2549

สารเคมีสำหรับเคิลือบ คือ

NaOH 0.1%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 2

	แผ่นกรองซาฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] ²⁻ I _{1c} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _{1c} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _{1c} (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.490	0.000	0.436	0.000	0.207	0.000
B ₂	0.304	0.000	0.662	ตัดทิ้ง	0.442	ตัดทิ้ง
S ₁	0.475	0.010	0.443	0.001	0.244	0.005
S ₂	0.510	0.014	0.119	ตัดทิ้ง	0.256	0.006
S ₃	0.481	0.011	0.658	0.028	0.255	0.006
S ₄	0.446	0.006	0.509	0.009	0.245	0.005
S ₅	0.134	ตัดทิ้ง	0.537	0.013	0.658	ตัดทิ้ง
Avg.		0.010		0.013		0.005

ตารางที่ ก-16 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกรณีวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอรัส

วันที่ทำการทดลอง 1/12/2549

สารเคมีสำหรับเคือบ คือ NaOH 0.1%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 3

	แผ่นกรองทฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)	[SO ₄] ²⁻ I _C (mg/L)	[SO ₂] _(g) (ppm)
B ₁	0.524	0.000	0.703	ตัดทิ้ง	0.189	0.000
B ₂	1.627	ตัดทิ้ง	0.451	0.000	0.453	ตัดทิ้ง
S ₁	0.862	0.043	0.551	0.013	0.224	0.004
S ₂	1.598	ตัดทิ้ง	0.562	0.014	0.244	0.007
S ₃	0.625	0.013	0.543	0.012	0.276	0.011
S ₄	0.745	0.028	0.570	0.015	0.224	0.004
S ₅	0.742	0.028	0.088	ตัดทิ้ง	0.221	0.004
Avg.		0.028		0.013		0.006

ตารางที่ ก-17 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอรัส

วันที่ทำการทดลอง 1/12/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ K_2CO_3 , 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 1

	แผ่นกรองฟอสเฟต		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$[SO_4]_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$[SO_4]_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$[SO_4]_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)
B ₁	0.086	0.000	0.022	0.000	0.224	0.000
B ₂	0.102	0.000	-	-	0.104	0.000
S ₁	0.112	0.002	0.129	0.01356	0.084	ตัดทิ้ง
S ₂	3.370	ตัดทิ้ง	0.084	0.00785	0.256	0.012
S ₃	0.167	0.009	0.053	0.00393	0.260	0.012
S ₄	0.303	0.026	-	-	0.258	0.012
S ₅	0.308	0.027	-	-	0.089	ตัดทิ้ง
Avg.		0.016		0.008		0.012

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-18 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากภาควิเคราะห์ด้วยวิธีพีเอสดีพี

วันที่ทำการทดลอง

13/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

K_2CO_3 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 2

	แผ่นกรองเทพลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$[SO_4]_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$[SO_4]_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$[SO_4]_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)
B ₁	0.065	0.000	0.074	0.000	0.232	0.000
B ₂	0.177	ตัดทิ้ง	-	-	0.731	ตัดทิ้ง
S ₁	0.177	0.014	0.189	0.01460	0.385	0.019
S ₂	0.202	0.017	0.145	0.00902	0.386	0.019
S ₃	0.168	0.013	0.157	0.01054	0.381	0.019
S ₄	0.235	0.021	0.155	0.01029	0.011	ตัดทิ้ง
S ₅	0.037	ตัดทิ้ง	0.091	ตัดทิ้ง	0.382	0.019
Avg.		0.016		0.011		0.019

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-19 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกรณีวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอรัส

วันที่ทำการทดลอง

14/01/2549

สารเคมีสำหรับเคลือบ คือ

K_2CO_3 20%

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี เท่ากับ 3 ppm

ครั้งที่ทำการทดลอง 3

	แผ่นกรองเซฟลอน		แผ่นกรองเซลลูโลส		แผ่นกรองใยแก้ว	
	$ISO_4 I_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$ISO_4 I_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)	$ISO_4 I_{IC}$ (mg/L)	$[SO_2]_{(g)}$ (ppm)
B ₁	0.583	0.000	0.019	0.000	0.135	0.000
B ₂	0.313	0.000	-	-	0.286	ตัดทิ้ง
S ₁	0.479	0.021	0.198	0.02268	0.335	0.025
S ₂	0.432	0.015	-	-	0.088	ตัดทิ้ง
S ₃	0.490	0.022	0.107	0.01115	0.335	0.025
S ₄	0.537	0.028	0.039	0.00253	0.297	0.020
S ₅	0.070	ตัดทิ้ง	-	-	0.373	0.030
Avg.		0.022		0.012		0.025

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ ก-20 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทีฟ

[SO ₂] _(g) ทาง ทฤษฎี (ppm)	วันที่ทำการ ทดลอง	ครั้งที่		ค่าการ ดูดกลืนแสง	[SO ₂] _(g) (ppm)
1	1/11/2548	1	blank	0.159	0.000
			sample	0.381	0.014
	2/11/2548	2	blank	0.171	0.000
			sample	0.446	0.012
	11/11/2548	3	blank	0.217	0.000
			sample	0.555	0.014
3	18/11/2548	1	blank	0.223	0.000
			sample	0.995	0.042
	21/11/2548	2	blank	0.228	0.000
			sample	1.202	0.045
	25/11/2548	3	blank	0.130	0.000
			sample	0.781	0.046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของวิธีพาสีฟ
ที่ความเข้มข้นเมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎี 1 ส่วนในล้านส่วน แผ่นกรองเคลือบด้วย
NaOH 0.1% ครั้งที่ 1 (n=5)

1. ข้อมูลทั่วไปในการเก็บตัวอย่างอากาศ

1.1 น้ำหนักสาร

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 12.4003 g ละลายในน้ำกลั่น 500 mL

1.2 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผลิต

ผลิตก๊าซ	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	

1.3 อุณหภูมิ

ก่อนเก็บตัวอย่าง 30.5 °C = 303.65 K

หลังเก็บตัวอย่าง 29.00 °C = 302.15 K

เฉลี่ย 29.75 °C = 302.90 K

1.4 ความชื้น

ก่อนเก็บตัวอย่าง 70%

หลังเก็บตัวอย่าง 65%

เฉลี่ย 68%

1.5 เวลาเก็บตัวอย่าง

เวลาเก็บตัวอย่าง 8 ชม. = 480 นาที

2. ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

2.1 ชนิดคอลัมน์ คือ METROSEP A SUPP 5-150 (6.1.006.520)

ขนาด 4.0 x 150 mm

2.2 สารละลายสำหรับชะ

3.2 mM Na_2CO_3

1.0 mM NaHCO_3

2.3 อัตราการไหลผ่านคอลัมน์ = 0.7 mL/min

2.4 อุณหภูมิภายในคอลัมน์ = 35.0 °C

2.5 ความดันภายในคอลัมน์ = 8.6 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ยของซัลเฟตด้วยเครื่องไอออน โครมาโทกราฟ
(Ion Chromatograph, IC)

ชนิด	$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{IC}}$ (mg/L)	$[\text{SO}_4^{2-}]$ (μM)	$[\text{SO}_4^{2-}]$ (μM) ลบเบตงค์	$[\text{SO}_2]_{(\text{g})}$ (nmol/m ³)	$[\text{SO}_2]_{(\text{g})}$ (ppm)
blank ₁ W	-	-	-	-	-
blank ₂ W	0.088	1.375	-	-	-
เฉลี่ย	0.088	1.375	0.000	-	-
S ₁ W	0.151	2.359	0.984	320.046	0.008
S ₂ W	0.152	2.375	1.000	325.126	0.009
S ₃ W	0.142	2.219	0.844	274.325	0.007
S ₄ W	0.152	2.375	1.000	325.126	0.008
S ₅ W	0.131	2.047	0.672	218.444	0.005
เฉลี่ย			0.900	292.614	0.007
SD					0.001

4. การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วย nmoles/m³

$$\text{จาก } [\text{SO}_2]_{(\text{g})} = \frac{L V [\text{SO}_4^{2-}]}{\text{TD}}$$

$$\text{เมื่อ } L = 41.2 \text{ m}^{-1}$$

$$V = 3 \text{ mL}$$

$$D = 1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{ดังนั้น } [\text{SO}_2]_{(\text{g})} = \frac{41.2 \times 3 \times 0.900 \text{ (mL} \cdot \mu\text{mol} \cdot \text{s)}}{480 \times 60 \times 1.32 \times 10^{-5} \text{ (m} \cdot \text{L} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2)}$$

$$= 292.61 \text{ nmol/m}^3$$

หมายเหตุ :

L คือ ค่าที่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของอุปกรณ์ฟาสตีฟ (m^{-1})

V คือ ปริมาตรที่ใช้ในการสกัด (mL)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (m^2/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหน่วย ppb_v และหน่วย ppm_v

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad [\text{ppb}_v] &= [\text{SO}_2]_{(g)} \times R \times T \times 10^{-3} \\
 \text{เมื่อ} \quad R &= 0.0821 \quad \text{L.atm/mol.K} \\
 T &= 302.90 \quad \text{K} \\
 \text{ดังนั้น} \quad [\text{ppb}_v] &= \frac{292.61 \times 0.0821 \times 302.90 \times 10^{-3} \quad (\text{nmol})(\text{L.atm})(\text{K})}{(\text{m}^3)(\text{mol.K})} \\
 &= 7.28 \quad \text{ppb}_v \\
 &= 0.007 \quad \text{ppm}_v
 \end{aligned}$$

6. กราฟมาตรฐานซัลเฟตของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

หมายเหตุ : ทำการตรวจสอบค่าเวลาการคงไว้ (Retention time) ทุกครั้งเมื่อมีการวิเคราะห์หาความเข้มข้นซัลเฟตของตัวอย่าง ด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน เพื่อให้แน่ใจว่าพีคของซัลเฟตยังขึ้นที่เวลาเท่าเดิม

Method: Anion ASUPP5_150_2anion 21_Nov_05.mtw
 Equation: $Q = 0.259507 \cdot A$
 RSD: 4.564 %
 Correlation coefficient: 0.999905



K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.259507 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch3
 ISTD:
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	0.7686	12.79	0.2	20	10.28	Yes	pb141320.chw
2	1.674	29.8	0.4	20	10.28	Yes	pb141336.chw
3	2.517	45.26	0.6	20	10.28	Yes	pb141215.chw
4	3.434	63.82	0.8	20	10.28	No	pb141231.chw
5	4.237	78.45	1	20	10.28	Yes	pb141247.chw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การประกันและควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

7.1 ทำการตรวจสอบโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนคือ 1 ส่วนในล้านส่วน จำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตที่เตรียม ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ได้ผลการทดลองดังตาราง

ตารางค่าการคงไว้ พื้นที่พีคและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

ครั้งที่	สารละลายมาตรฐานซัลเฟต		
	ค่าเวลาการคงไว้ (นาที)	พื้นที่พีค	ความเข้มข้น (mg/L)
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) ของการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) ได้จาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของค่าเวลาการคงไว้ (ซึ่งถือเป็นค่าเฉพาะตัว ควรมีค่าเท่าเดิมหรือใกล้เคียงกับค่าเดิมตลอดการทดลอง) พื้นที่พีคและความเข้มข้นของซัลเฟต พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ที่คำนวณได้จากตารางมีค่าไม่เกิน 10% แสดงว่าเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีมีค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง

นอกจากนี้ยังสามารถบ่งชี้ถึงความถูกต้อง (Accuracy) จากการทดลอง ซึ่งหมายถึงการที่ผลการทดลอง (ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่วิเคราะห์ได้) มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่ทราบแน่นอน 1 ppm) โดยนิยมใช้ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error, RE) เป็นตัวบ่งชี้ความถูกต้องของข้อมูล

$$\begin{aligned}
 RE &= \frac{\text{ค่าทางทฤษฎี} - \text{ค่าจากการทดลอง}}{\text{ค่าทางทฤษฎี}} \times 100 \\
 &= \frac{1 - 0.996}{1} \times 100 = 0.4 \%
 \end{aligned}$$

1

ดังนั้นแสดงว่า ผลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้อง 99.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 4/7/2006 2:03:30 PM
Printed by: IC

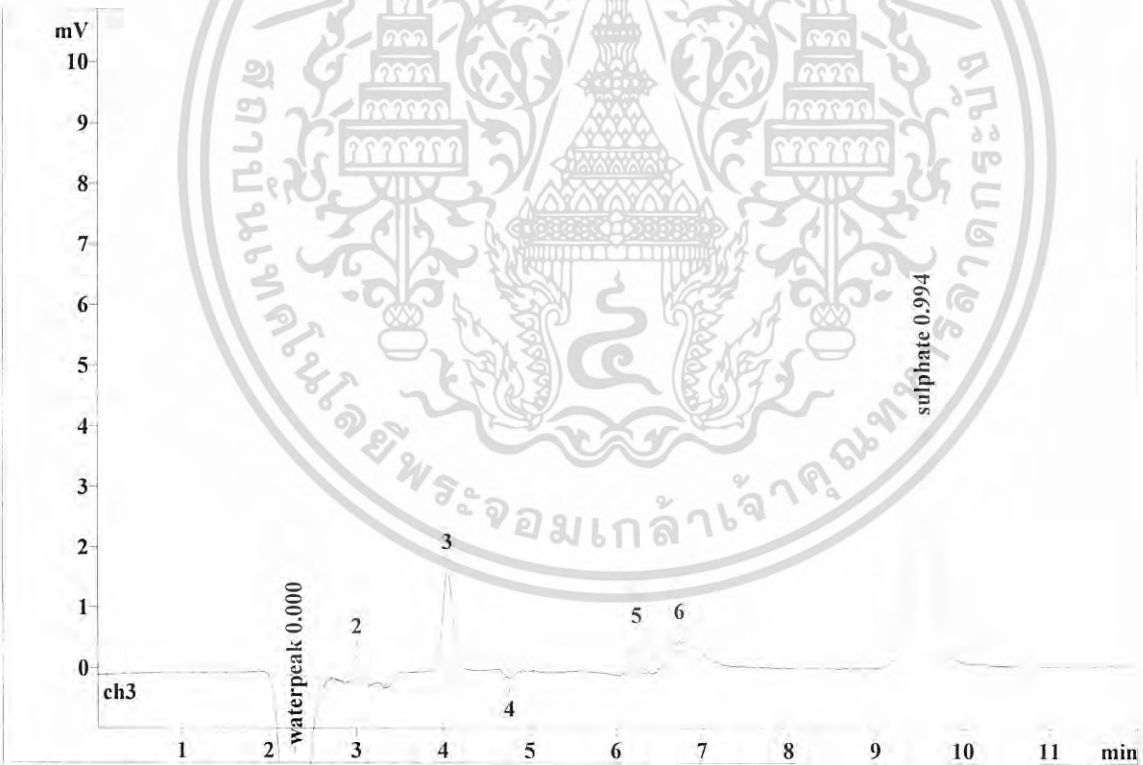
Ident: check stdSO42-2-1ppm
Analysis from: 2/10/2006 11:36:03 AM
File: q2101136.chw
Modified! Last save: 2/10/2006 11:48:04 AM
Method: Anion ASUPP5_150_2anion
Run operator: IC Last save: 2/10/2006
Analysis number: 3953

SAMPLE: 09/02/06
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 8.8 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.29	-5.42	-89.287	0.000	waterpeak
2	3.00	0.44	3.732	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	4.05	1.65	14.340	0.000	
4	4.76	-0.13	-1.061	0.000	
5	6.24	0.46	4.435	0.000	
6	6.74	0.48	12.536	0.000	
7	9.54	3.93	76.596	0.994	sulphate
7	12.00	12.51	201.986	0.994	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของวิธีแอกทีฟที่ความเข้มข้น
เมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎี 1 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 3

ข้อมูลทั่วไป

1. อุณหภูมิ

$$\text{ก่อนเก็บตัวอย่าง} = 26.90 \text{ }^{\circ}\text{C} = 300.05 \text{ K}$$

$$\text{หลังเก็บตัวอย่าง} = 28.30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 301.45 \text{ K}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 27.60 \text{ }^{\circ}\text{C} = 300.75 \text{ K}$$

2. ความชื้น

$$\text{ก่อนเก็บตัวอย่าง} = 65\%$$

$$\text{หลังเก็บตัวอย่าง} = 70\%$$

$$\text{เฉลี่ย} = 68\%$$

3. เวลาเก็บตัวอย่าง

$$\text{เวลาเก็บตัวอย่าง} = 2 \text{ ชม.} = 120 \text{ นาที}$$

4. อัตราการไหล

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเฉลี่ย} &= (1018 + 1005) / 2 \\ &= 1012 \text{ mL/min} \end{aligned}$$

5. ปริมาตรอากาศที่สภาวะการทดลอง

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad Q &= V/T \\ V &= \frac{1012 \text{ mL} \times 120 \text{ min} \times 1 \text{ L}}{\text{min} \times 1000 \text{ mL}} \\ &= 121.392 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรอากาศที่เก็บได้ เท่ากับ 121.392 L

6. ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (Vstd)

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ V_{\text{std}} &= \frac{1 \text{ atm} \times 121.392 \text{ L} \times 298.15 \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 300.75 \text{ K}} \\ &= 120.343 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 120.343 L

7. ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

$$\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} = 0.555$$

การคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂)

$$\text{จากกราฟมาตรฐาน } y = 0.0791x$$

$$\text{slope} = 0.0791$$

$$[\text{SO}]_{2(\text{g})} = \frac{(\text{Absorbance ตัวอย่าง} - \text{แบลคค์}) \times 0.382}{V_{\text{std}} \times \text{slope}}$$

$$= \frac{(0.555 - 0.217) \times 0.382}{120.343 \times 0.0791}$$

$$= 0.014 \text{ ppm}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เท่ากับ 0.014 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลการทดสอบอัตราการไหลทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างอากาศ
ของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล รุ่น 224-PCXR4 บริษัท SKC

ตารางการทดสอบอัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ ใช้ในการทดลองครั้งที่ 3
(ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทางทฤษฎี 1 ส่วนในล้านส่วน)

ครั้งที่	ก่อนเก็บตัวอย่าง (mL/min)	หลังเก็บตัวอย่าง (mL/min)
1	1017	1007
2	1017	1008
3	1016	1004
4	1019	1004
5	1018	1005
6	1017	1003
7	1017	1004
8	1022	1005
9	1019	1006
10	1016	1008
เฉลี่ย	1018	1005
SD	1.7205	1.6852
% RSD	0.1690	0.1676

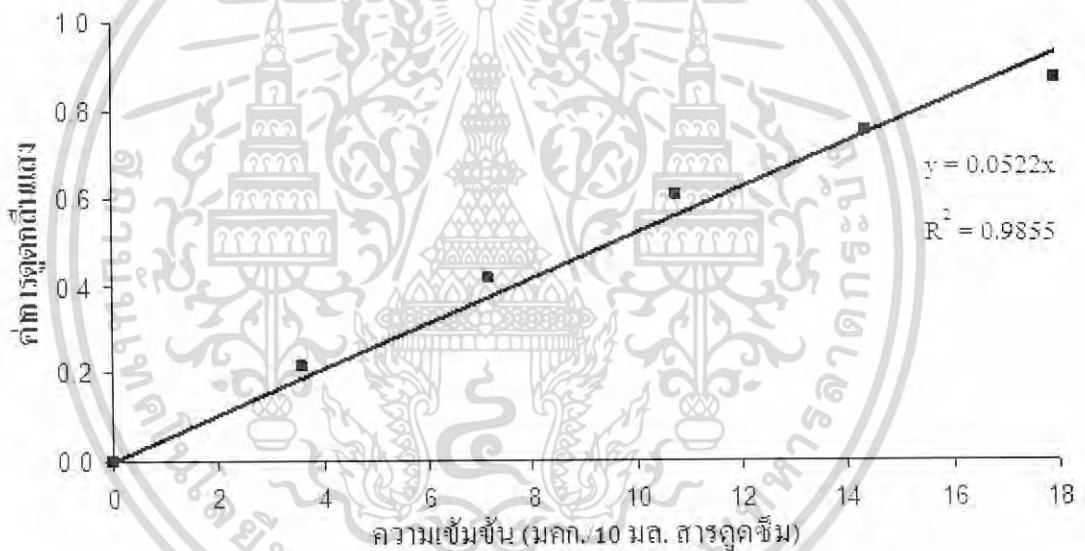
$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเฉลี่ยตลอดการทดลอง} &= (1018 + 1005) / 2 \\ &= 1012 \text{ mL/min} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกันและควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ของเครื่องเก็บอากาศแบบบุคคล (Personal Air Sampling)

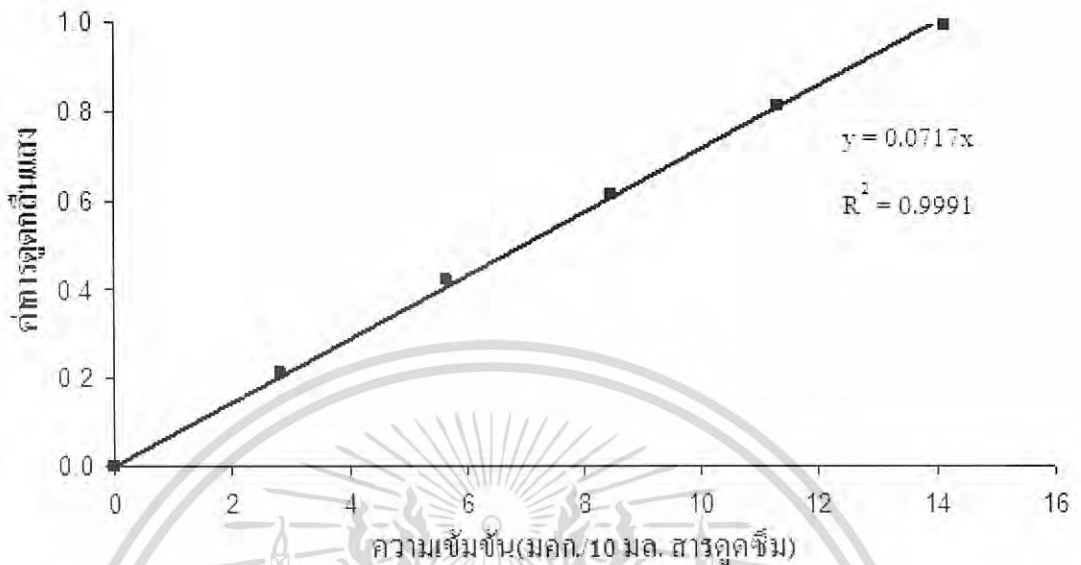
ผลการทดลองที่ได้จากตารางทดสอบอัตราการใช้เครื่องเก็บอากาศแบบบุคคล พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ที่คำนวณได้ ดังตาราง 1-6 มีค่าไม่เกิน 10% แสดงว่า เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคลมีอัตราการใช้ที่มีความแม่นยำสูง กล่าวคืออัตราการใช้ตัวอย่างอากาศของเครื่องทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างอากาศมีความสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง

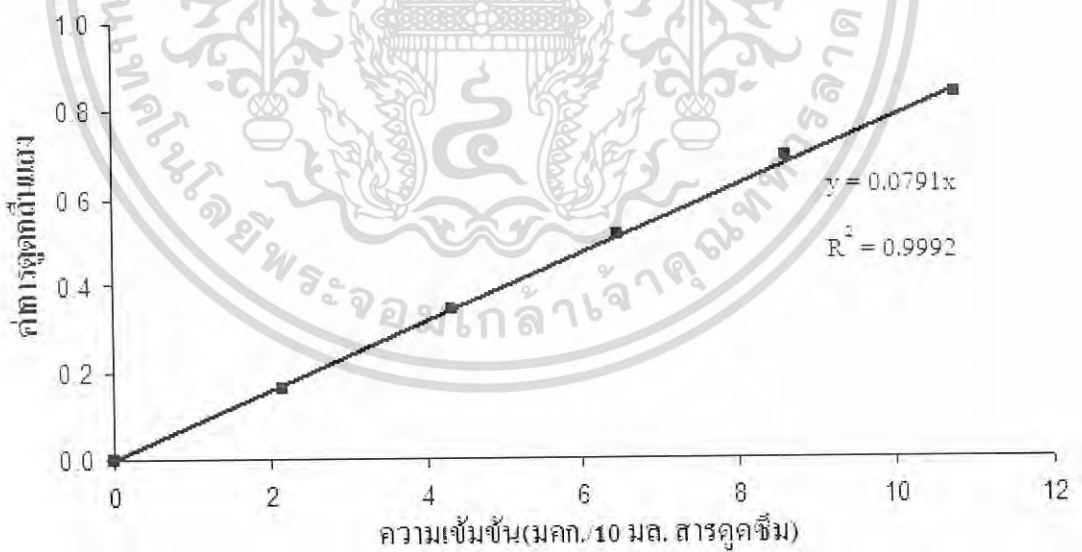


รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
1 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

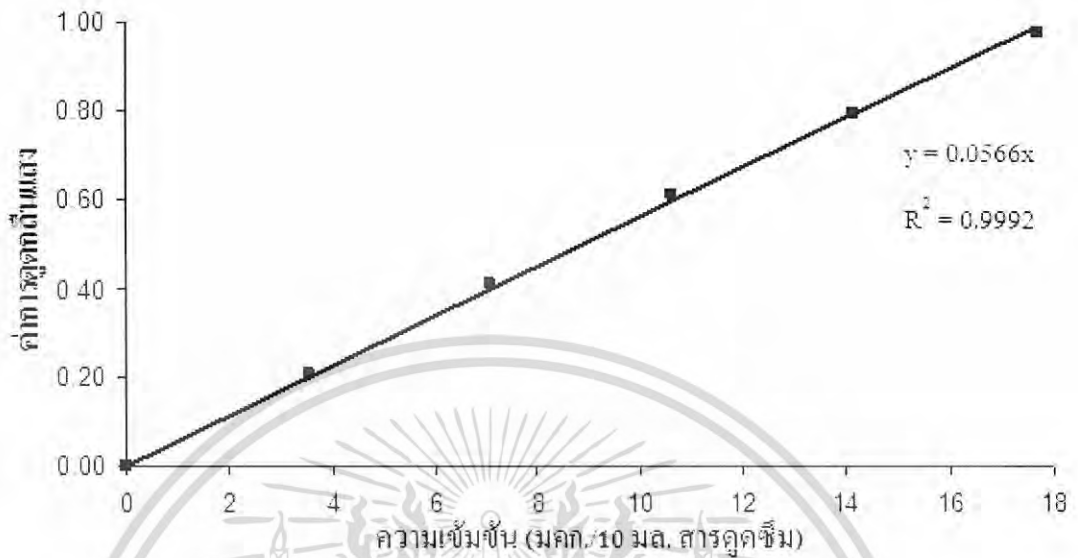


รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
1 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 2

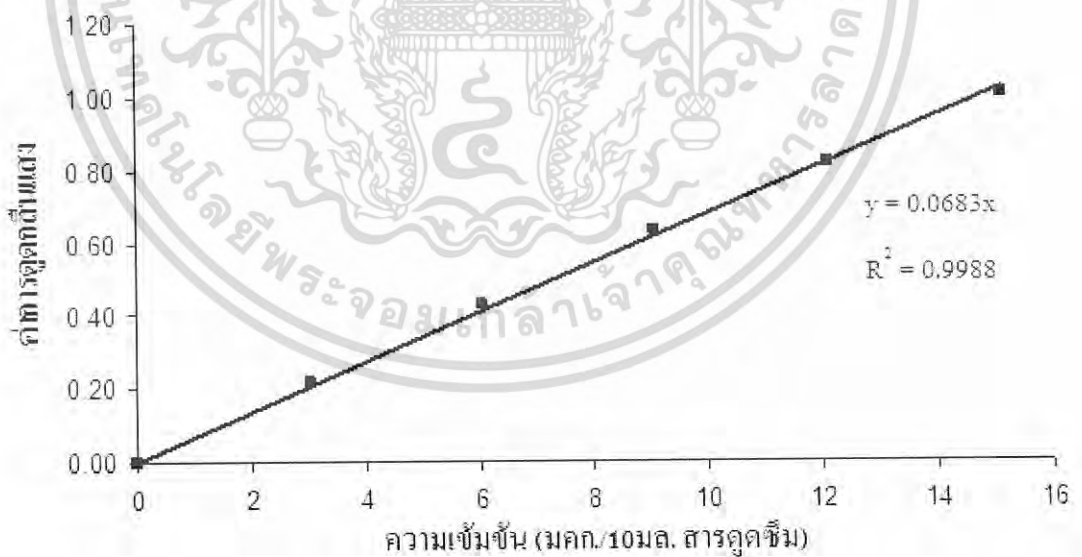


รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
1 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

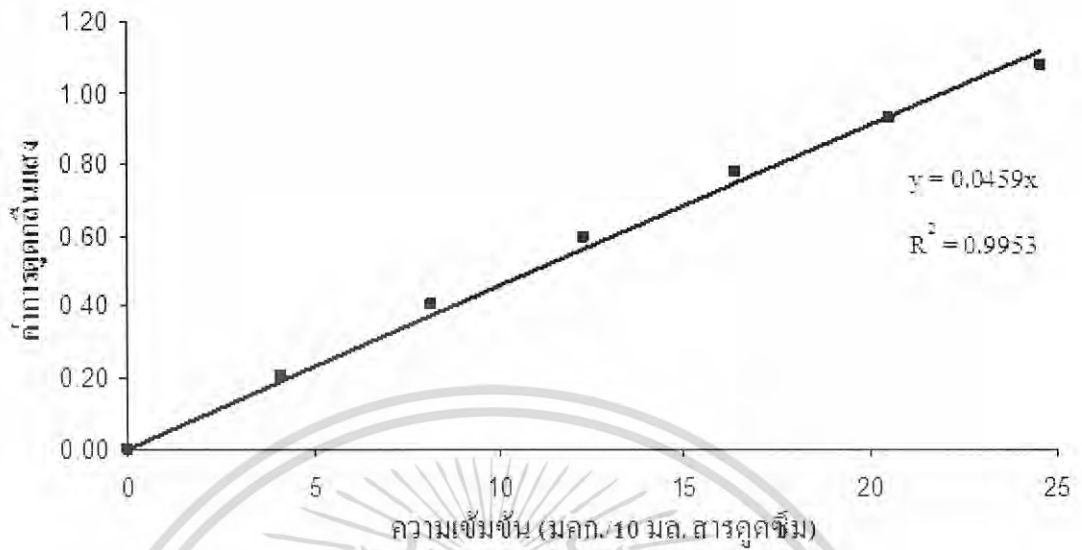


รูปที่ ข- 4 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 1



รูปที่ ข- 5 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข- 6 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
3 ส่วนในล้านส่วน ครั้งที่ 3

หมายเหตุ เนื่องจากการเกิดสีของสารประกอบพาราโรซานิลีนเมทิลซัลโฟนิคแอซิดนั้น ขึ้นอยู่กับ
หลายปัจจัยจึงไม่สามารถนำกราฟมาตรฐานมาหาค่าผลได้



ภาคผนวก ข
ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ระหว่างวิธีพาสติฟกับวิธีแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 เปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทีฟ

ความเข้มข้นเมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ (นาที)	ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีแอกทีฟ (ppm)	ค่าทางสถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟ (ppm, n = 5)		
					เพฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	480	1	0.014	\bar{x}	0.004	0.005	0.005
				SD	0.001	0.001	0.001
		2	0.012	\bar{x}	0.003	0.003	0.001
				SD	0.001	0.001	0.000
	480	3	0.014	\bar{x}	0.003	0.005	0.004
				SD	0.001	0.001	0.003
		1	0.043	\bar{x}	0.004	0.029	0.005
				SD	0.001	0.012	0.006
3	480	2	0.045	\bar{x}	0.005	0.038	0.006
				SD	0.001	0.048	0.000
		3	0.046	\bar{x}	0.005	0.042	0.023
				SD	0.003	0.005	0.000

ตารางที่ ข-2 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอดทีฟ

ความเข้มข้น เมื่อเริ่มต้นทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลาเก็บ ตัวอย่างอากาศ (นาที)	ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก วิธีแอดทีฟ (ppm)	ค่าทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟ (ppm, n = 5) ที่เคลือบด้วย NaOH 0.1% (w/w)		
					เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว
1	480	1	0.014	\bar{x}	0.003	0.007	0.004
				SD	0.001	0.001	0.002
		2	0.012	\bar{x}	0.001	0.006	0.002
	480	3	0.014	\bar{x}	0.000	0.002	0.001
				SD	0.003	0.007	0.003
		1	0.043	\bar{x}	0.001	0.002	0.000
3	480	2	0.045	\bar{x}	0.004	0.011	0.003
				SD	0.003	0.007	0.000
		3	0.046	\bar{x}	0.010	0.013	0.005
				SD	0.003	0.011	0.001
				\bar{x}	0.028	0.013	0.006
				SD	0.012	0.002	0.003

ตารางที่ ข-3 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพลาสมาวิธีสกัดกับวิธีแอดทีฟ

ความเข้มข้น เมื่อเริ่มต้นทาง ทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลาเก็บ ตัวอย่างอากาศ (นาที)	ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก วิธีแอดทีฟ (ppm)	ค่าทาง สถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพลาสมา (ppm, n = 5) ที่เคลือบด้วย K ₂ CO ₃ 20% (w/w)		
					เทฟลอน	เซตูลอส	ใยแก้ว
1	480	1	0.014	\bar{x}	0.007	0.004	0.006
				SD	0.001	0.000	0.002
		2	0.012	\bar{x}	0.001	0.003	0.003
				SD	0.000	0.002	0.001
		3	0.014	\bar{x}	0.004	0.004	0.005
				SD	0.006	0.003	0.001
3	480	1	0.043	\bar{x}	0.016	0.008	0.012
				SD	0.012	0.005	0.000
		2	0.045	\bar{x}	0.016	0.011	0.019
				SD	0.004	0.000	0.002
		3	0.046	\bar{x}	0.022	0.012	0.025
				SD	0.005	0.010	0.004

ตารางที่ ข-4 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอดทีฟ

ความเข้มข้นเมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎี (ppm)	ระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ (นาที)	ครั้งที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีแอดทีฟ	ค่าทางสถิติ	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสตีฟที่ใช้สิ่งกีดขวางเซลลูโลส (ppm, n = 5)		
					TEA 20%	NaOH 0.1%	K ₂ CO ₃ 20%
1	480	1	0.014	\bar{x}	0.005	0.007	0.004
				SD	0.001	0.001	0.000
		2	0.012	\bar{x}	0.003	0.006	0.003
		3		SD	0.001	0.002	0.002
		1	0.014	\bar{x}	0.005	0.007	0.004
				SD	0.001	0.002	0.003
		2	0.043	\bar{x}	0.029	0.011	0.008
		3		SD	0.012	0.007	0.005
3	480	1	0.045	\bar{x}	0.038	0.013	0.011
				SD	0.048	0.011	0.000
		2	0.046	\bar{x}	0.042	0.013	0.012
		3		SD	0.005	0.002	0.010



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-way)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากวิธีพาสซีฟ

สารเคมีสำหรับ เคลือบ (A)	สิ่งกีดขวาง (B)			รวม
	เทฟลอน	เซลลูโลส	ใยแก้ว	
TEA 20%	0.004	0.005	0.005	
	0.003	0.003	0.001	
	0.003	0.005	0.004	
	0.004	0.029	0.005	
	0.005	0.038	0.006	
	0.005	0.042	0.023	
รวม	0.024	0.121	0.045	0.189
NaOH 0.1%	0.003	0.007	0.004	
	0.001	0.006	0.002	
	0.003	0.007	0.003	
	0.004	0.011	0.003	
	0.010	0.013	0.005	
	0.028	0.013	0.010	
รวม	0.050	0.057	0.028	0.135
K ₂ CO ₃ 20%	0.007	0.004	0.006	
	0.001	0.003	0.003	
	0.004	0.004	0.005	
	0.016	0.008	0.012	
	0.016	0.011	0.019	
	0.022	0.012	0.025	
รวม	0.067	0.042	0.070	0.180
รวมทั้งหมด	0.140	0.220	0.143	0.504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบสองทาง (Two-Way)

ขั้นตอนที่ 1 การตั้งสมมติฐาน

1.1 H_0 : ค่าเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวแปร A ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวแปร A แตกต่างกัน

หรือ

H_0 : $\mu_{TEA\ 20\%} = \mu_{NaOH\ 0.1\%} = \mu_{K_2CO_3\ 20\%}$

H_1 : $\mu_{TEA\ 20\%} \neq \mu_{NaOH\ 0.1\%} \neq \mu_{K_2CO_3\ 20\%}$

1.2 H_0 : ค่าเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวแปร B ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวแปร B แตกต่างกัน

หรือ

H_0 : $\mu_T = \mu_W = \mu_G$

H_1 : $\mu_T \neq \mu_W \neq \mu_G$

1.3 H_0 : ไม่มีปฏิกริยาร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง

H_1 : มีปฏิกริยาร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสอง

หรือ

H_0 : $I_{AB} = 0$

H_1 : $I_{AB} \neq 0$

ขั้นตอนที่ 2 สถิติที่ใช้ทดสอบ

2.1 $F = MS_A / MS_W$

2.2 $F = MS_B / MS_W$

2.3 $F = MS_{AB} / MS_W$

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)

จากสูตร
$$SS_T = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{nrc}$$

$$\frac{T^2}{nrc} = \frac{(0.50376)^2}{3 \times 3 \times 6} = 0.00470$$

ดังนั้น
$$SS_T = (0.00393)^2 + (0.00272)^2 + (0.00310)^2 + \dots + (0.01914)^2 + (0.02527)^2 - 0.00470$$

$$= 0.00449$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^r \frac{T_{i..}^2}{nc} - \frac{T^2}{nrc}$$

$$= \frac{(0.18939)^2}{3 \times 6} + \frac{(0.13475)^2}{3 \times 6} + \frac{(0.17962)^2}{3 \times 6} - 0.00470$$

$$= 0.00009$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^c \frac{T_{.j.}^2}{nr} - \frac{T^2}{nrc}$$

$$= \frac{(0.14024)^2}{6 \times 3} + \frac{(0.22091)^2}{6 \times 3} + \frac{(0.14333)^2}{6 \times 3} - 0.00470$$

$$= 0.00023$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{T_{ij.}^2}{n} - \frac{T^2}{nrc} - SS_A - SS_B$$

$$= \frac{(0.02347)^2}{6} + \frac{(0.12133)^2}{6} + \frac{(0.04459)^2}{6} + \dots + \frac{(0.07304)^2}{6}$$

$$- 0.00470 - 0.00009 - 0.00023$$

$$= 0.00081$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 SS_W &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \\
 &= 0.00449 - 0.00009 - 0.00023 - 0.00081 \\
 &= 0.00336 \\
 MS_A &= \frac{SS_A}{r-1} = \frac{0.00009}{2} \\
 &= 0.00005 \\
 MS_B &= \frac{SS_B}{c-1} = \frac{0.00023}{2} \\
 &= 0.00011 \\
 MS_{AB} &= \frac{SS_{AB}}{(r-1)(c-1)} = \frac{0.00081}{4} \\
 &= 0.00020 \\
 MS_W &= \frac{SS_W}{rc(n-1)} = \frac{0.00449}{45} \\
 &= 0.00010
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าเอฟสำหรับสมมติฐาน 1.1 เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{MS_A}{MS_W} = \frac{0.00005}{0.00010} \\
 &= 0.47355
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าเอฟสำหรับสมมติฐาน 1.2 เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{MS_B}{MS_W} = \frac{0.00023}{0.00010} \\
 &= 1.1411
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าเอฟสำหรับสมมติฐาน 1.3 เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{MS_{AB}}{MS_W} = \frac{0.00081}{0.00010} \\
 &= 2.02864
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
สารเคมีสำหรับเคลือบ	0.00009	2	0.00005	0.47
สิ่งกีดขวาง	0.00023	2	0.00011	1.14
ปฏิกริยาระหว่างสาร- เคมีกับสิ่งกีดขวาง	0.00081	4	0.00020	2.03
ภายในสารเคมีและ- สิ่งกีดขวาง	0.00336	45	0.00010	
รวม	0.00449	53		

จากการเปิดตารางการแจกแจงแบบเอฟที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.01 ได้

$$F_{0.01(2,45)} = 5.13$$

$$F_{0.01(3,45)} = 4.27$$

ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลในกรณีต่างๆ ดังนี้

1 การทดสอบความแตกต่างระหว่างสารเคมีสำหรับเคลือบ

ค่าสถิติ F ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.47 น้อยกว่า 5.13 จึงยอมรับ H_0

นั่นคือ สารเคมีสำหรับเคลือบแต่ละชนิดทำให้ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟไม่แตกต่างกัน

2 การทดสอบความแตกต่างระหว่างสิ่งกีดขวาง

ค่าสถิติ F ที่คำนวณได้เท่ากับ 1.14 น้อยกว่า 5.13 จึงยอมรับ H_0

นั่นคือ สิ่งกีดขวางแต่ละชนิดทำให้ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้

ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟไม่แตกต่างกัน

3 การทดสอบปฏิกริยาร่วมระหว่างสารเคมีสำหรับเคลือบและสิ่งกีดขวาง

ค่าสถิติ F ที่คำนวณได้เท่ากับ 2.03 น้อยกว่า 4.27 จึงยอมรับ H_0

นั่นคือ ไม่มีปฏิกริยาร่วมระหว่างสารเคมีสำหรับเคลือบและสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และกลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์. 2547. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และวงศ์พันธุ์ ลิ้มปเสนีย์. 2545. **อุปกรณ์พาสซีฟกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในเขตเมือง Passive sampler and air quality monitoring in urban area**. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปีครั้งที่ 15 จัดขึ้นที่กรุงเทพฯ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กลิ่นประทุม ปัญญาปิง. 2546. **การใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศอย่างง่ายในการตรวจสอบคุณภาพอากาศที่ปนเปื้อนด้วยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) (Application of Simple Passive Sampler for Determination of NO_x)**. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 16 จัดขึ้นที่จังหวัดภูเก็ต. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กฤษฎา อินทรสถิตย์. 2545. **คุณภาพอากาศภายในอาคาร**. หนังสืออ่านประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีสภาพแวดล้อม แขนงวิชาวิจัยสภาพแวดล้อมภายใน ภาคสถาปัตยกรรมภายใน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ข้อมูลบริการ กรมควบคุมมลพิษ. [ม.ป.ป.], **มาตรฐานคุณภาพอากาศ**. [Online]. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html#s1 [20 ต.ค. 2548]
- นันทวรรณ วิจิตรวาทการ และคณะ. 2543. **การศึกษาผลกระทบจากมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพประชาชน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พ.ศ.2537-2543**. [Online]. The College of Public Health, Chulalongkorn University. แหล่งที่มา: http://www.cph.chula.ac.th/content/abstract%5CNuntavarn_Project%5Cmaemoh_thai-eng.doc [20ก.ย.2548]
- พิมล เรือนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2539. **เคมีสภาวะแวดล้อม Environmental Chemistry**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มูลนิธิสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2536, **อากาศเป็นพิษที่เหมะมา: ทางเลือกในการผลิตไฟฟ้า** [Online]. แหล่งที่มา: <http://www.info.tdri.or.th/library/quarterly/white-pp/wb1.htm>, สมุดปกขาวที่ตีอาร์ไอ ฉบับที่ 1 เดือนสิงหาคม 2536 เนื้อหาจากการการสัมมนาโต๊ะกลม เรื่อง “ปัญหาเหมะมาและการแก้ไข” ซึ่งจัดโดยคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ร่วมกับสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทยวันที่ ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๓๕ [15ส.ค.2548]
- วงศ์พันธุ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2540. **มลภาวะอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิธร ตันดี. 2543, **การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปไบซัลไฟต์ด้วยซัลไฟต์ไอออน**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการสอนเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ และคณะ. 2544. **มลภาวะอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิวพร ตอพล และปาริชาติ สุดสุริยะ. 2547, **การตรวจวัดก๊าซโอโซนโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศชนิดพาสซีฟที่พัฒนาขึ้น**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมชาย สกุลอิศริยาภรณ์ และคณะ. 2540, **การจัดการคุณภาพอากาศ อำเภอเหมะมา จังหวัดลำปาง** **The air quality management in Mae Moh District, Lampang Province**. [Online]. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แหล่งที่มา: <http://advisor.anamai.moph.go.th/204/20402.htm> [15ส.ค.2548]
- อ้อยใจ คำกวน. 2543, **ความไวในการวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยพาราโรซานิลีน**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการสอนเคมี. คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Air Quality Management (AQM). 2001, **Passive Sampler for SO₂ and NO₂**. [Online]. Norwegian Institute for Air Research (NILU). Available from: <http://www.nilu.no/AQM/Default.htm> Choose: Content tree - 2. Perform Screening Studies - Passive sampler for SO₂ and NO₂ [2005, Jan 08]
- Ayers, G.P.; et al. 1998. Validation of Passive Diffusion Samplers for SO₂ and NO₂. **Atmospheric Environment**. Vol. 32 (Issue 20): 3587–3592.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Carmichael, G.R.; et al. **2003**. Measurements of Sulfur Dioxide, Ozone and Ammonia Concentrations in Asia, Africa, and South America Using Passive Samplers. **Atmospheric Environment**. Vol. 37 (Issues 9-10): 1293–1308.
- Cox, R.M. **2003**. The use of Passive Sampling to Monitor Forest Exposure to O₃, NO₂ and SO₂: A Review and Some Case Study. **Environmental Pollution**. Vol. 126: 301-311.
- Cruz, L.P.S.; et al. **2004**. A Field Evaluation of a SO₂ Passive Sampler in Tropical Industrial and Urban Air. **Atmospheric Environment**. Vol. 38 (Issue 37): 6425-6429.
- Cruz, L.P.S.; et al. **2005**. Laboratory Validation of a Passive Sampler for SO₂ Atmospheric Monitoring. **Journal of the Brazilian Chemical Society, Brazil**. Vol.16 (Issue1): 50-57.
- Delta Technical Products. 1996, **Filter Membranes**. [Online]. Delta Technical Products Company. Available from: <http://www.deltatechprod.com/vpasp/PAGe231-234.pdf> [2005, April 4]
- Ferm, M. and Svanberg, P. **1998**. Cost-efficient techniques for urban and background measurements of SO₂ and NO₂. **Atmospheric Environment**. Vol. 32 (Issue 8): 1377-1381.
- Garrett, M.H.; Hooper, M.A. and Hooper, B.M. **1999**. Nitrogen Dioxide in Australian homes; Levels and Sources. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Vol. 49: 76-81
- Gillett, M.H.; Kreibich, H. and Ayers, G.P. **2000**. Measurement of Indoor Formaldehyde Concentrations with a Passive Sampler. **Env.Sci Technol**. Vol. 34(Issue 10): 2051-2056.
- Krochmal, D. and Kalina, A. **1997a**. A Method of Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide Determination in Ambient Air by use of Passive Samplers and Ion Chromatography. **Atmospheric Environment**. Vol.31. 3473 – 3479.
- Krochmal, D. and Kalina, A. **1997b**. Measurements of Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide Concentrations in Urban and Rural Areas of Poland using a Passive Sampling Method. **Environmental pollution**. Vol.96 (Issue 3): 401 – 407.
- Ogawa & Company Passive sampler. 1999, **Ambient Air Passive Sampler for NO_x, SO₂, NH₃, O₃** [Online]. USA, Ogawa & Company., Available from: <http://ogawausa.com/passive.html> [2005, June 18]
- Palmes, E.D.; et al. **1976**. Personal sampler for Nitrogen Dioxide, Am.**Ind.Hyg.Assoc. J.**, Vol 37, 571
- SKC Passive Samplers. 2005, **Passive Samplers for Organic Vapors**.USA, SKC Inc. Available from: <http://www.skcinco.com/prod/575-001.asp> [2005, Oct 20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Stevenson, K.; Bush, T.; and Mooney, D. **2001**. Five Years of Nitrogen Dioxide Measurement with Diffusion Tube Samplers at Over 1000 Sites in the UK. **Atmospheric Environment**. Vol. 35 (Issue 2): 281 –287.
- Whatman plc. 2006a, **Cellulose filters**. [Online]. Whatman international Ltd. Available from: <http://www.whatman.com/products/?pageID=7.25.5.11> [2006, April 4]
- Whatman plc. 2006b, **Glass Microfibre filters**. [Online]. Whatman international Ltd. Available from: <http://www.whatman.com/products/?pageID=7.25.6.13> [2006, April 4]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้