

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การศึกษาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ**



T107879



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 107879  
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ค. 2553

b. 1221355X  
i.....

**โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต**

**สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม**

**ภาควิชาเคมี**

**คณะวิทยาศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **Study on Formaldehyde Concentration in Atmosphere**



**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 2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** การศึกษาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ  
**นักศึกษา** นางสาวปรารค์ทิพย์ แก้วเพ็ญกรอ  
 นางสาววัลลวี นัฐสถาพร  
**ภาควิชา** เคมี  
**สาขาวิชา** เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
**ปีการศึกษา** 2550  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์  
**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิษฐกุล

**ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติ**  
**ให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต**

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

  
 (ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชา

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ	
นักศึกษา	นางสาวปรารถทิพย์	แก้วเพ็ญกร
	นางสาววัชรวี	นัฐสถาพร
ภาควิชา	เคมี	
สาขา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว	ทิพย์ศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	สุจินต์	ตันติพิสิษฐกุล

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์(HCHO)ในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นต่ำในอากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟตามวิธีของ NIOSH 3500 โดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เป็นสารดูดซับ และทำให้เกิดสีกับกรดโครโมโทปิกและวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ซึ่งจำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบที่ทำจากสแตนเลสมีปริมาตรอากาศ 120 ลิตร โดยใช้สารละลาย HCHO เข้มข้น 37% w/w เป็นแหล่งกำเนิด 2 ระดับความเข้มข้นคือ 1.) สารละลาย HCHO เข้มข้น 37% จำนวน 0.5 มล. 2.) สารละลาย HCHO เข้มข้น 1มก./มล. จำนวน 0.5 มล. เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซ HCHO ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 120 , 180 และ 360 นาที พบว่าสารละลาย HCHO 37% w/w ไม่เหมาะสมกับการก่อกำเนิดก๊าซ HCHO เนื่องจากปริมาณของก๊าซ HCHO ที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงเกินขีดจำกัดสูงสุดของวิธีตรวจวัด (40 ไมโครกรัม) แต่ปริมาณก๊าซ HCHO จากการใส่สารละลาย HCHO 1 มก./มล. มีค่าอยู่ในช่วงของการวิเคราะห์ได้ เมื่อได้วิธีการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม นำวิธีการเก็บตัวอย่างไปประยุกต์ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศได้โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือจุดที่การจราจรเบาบางและจุดที่มีการจราจรหนาแน่นพอสมควรได้แก่ บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง( $4.24 \pm 1.10$  ppb<sub>v</sub>) และสี่แยกชอยจินดา (ชอยลาดกระบัง15) ถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง ( $7.27 \pm 1.30$  ppb<sub>v</sub>) จากการตรวจวัดพบว่าบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นพอสมควรมีความเข้มข้นของก๊าซ HCHO สูงกว่าในบริเวณที่การจราจรเบาบาง ทั้งในวันจันทร์-ศุกร์และวันหยุด แสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นอาจก่อให้เกิด HCHO มากกว่าจึงสามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซ HCHO ได้มากกว่า

**คำสำคัญ :** ฟอร์มัลดีไฮด์, วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Study on Formaldehyde Concentration in Atmosphere  
**Name** Miss Prangtip Kaewpengkrow  
Miss Wanrawee Natastarporn  
**Department** Chemistry  
**Program** Environmental Resource Chemistry  
**Academic Year** 2007  
**Advisor** Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak  
**Co-advisor** Mrs. Sujin Tuntipisitkul

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the low concentration level of formaldehyde (HCHO) in the experimental chamber 120 L, made from stainless steel and in the ambient air. The sampling method was followed the NIOSH 3500 method. Air was sampled by the active method and absorbed by sodium bisulfite in the impinger, then developed color with chromotropic acid and measured the absorbance at 580 nm. HCHO gas was generated from 1.) 37 % w/w, 0.5 mL of formaldehyde solution and 2.) 1 mg/mL, 0.5 mL of HCHO solution. The results showed that 37% w/w of HCHO solution concentration was not suitable for generate HCHO gas because the monitored concentration was over the detection limit (40 microgram) for the measurement but the HCHO gas concentration from the 1 mg/mL HCHO solution had the value in analysis range during sampling time 120, 180 and 360 min and pump period 60, 90 and 180 min. HCHO sampling and analysis method were applied to find the monitored concentration level. In the ambient air, Faculty of Science (KMITL, light traffic) and Soi Jinda junction (Soi Lankrabang15 Aonnuch-Ladkrabang, dense traffic) were selected as sample sites. The result that in weekday and weekend (Feb 20-25, 2008) the air samplers were drawn at 9-12 a.m. with flow rate 1 L/min the at soi Jinda junction ( $7.27 \pm 1.30$  ppb) were higher than KMITL ( $4.24 \pm 1.10$  ppb). It means that the measurement in dense traffic may cause HCHO in the ambient air.

**Keywords** : Formaldehyde Gas, Active Sampling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษา การแนะนำ การช่วยเหลือ และการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงการพิเศษ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และ อาจารย์ สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ ในโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัยและดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์คณะกรรมกรตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้คำแนะนำและความรู้ที่จะเป็นแนวทางในการทำโครงการพิเศษนี้ อีกทั้งความอนุเคราะห์ตรวจทานและแก้ไข โครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเป็นอย่างดี ตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี การขอใช้สถานที่และการดำเนินการต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ตำรวจ สน. จรเข้้น้อยและเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่เป็นอย่างดี

ในท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด โครงการพิเศษนี้ และสำหรับความงามอันดีที่เกิดจากโครงการพิเศษนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นางสาวปรารถน์ทิพย์ แก้วเพ็ญกรอ

นางสาววัลลวี นัฐสถาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สัญลักษณ์คำย่อ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	
2.1.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	3
2.1.2 การใช้ประโยชน์	4
2.1.3 วิธีทางเข้าสู่สิ่งแวดล้อม	5
2.1.4 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	5
2.1.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศ	6
2.1.6 การกำจัดกรณีฟอร์มัลดีไฮด์รั่วไหล	6
2.1.7 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	7
2.1.8 กลุ่มอาการที่เกิดจากการทำงานอาคารที่ปิด	8
2.1.9 การดำเนินงานด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารในประเทศไทย	8
2.2 การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศ	
2.2.1. ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์แอคทีฟ	11
2.2.2. ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์พาสซีฟ	13
2.3 วิธีการวิเคราะห์	
2.3.1 Colorimetric methods	15
2.3.2 Chromatographic methods	16
2.3.3 สารบวทวน	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.2 สารเคมี	32
3.3 วิธีการทดลอง	
3.3.1 การศึกษาสภาวะสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 37% ในห้องทดสอบ	33
3.3.2 การศึกษาสภาวะสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มก./มล. ในห้องทดสอบ	34
3.3.3 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ	35
3.3.4 การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศภายนอกอาคารด้วยวิธีการเก็บตัวอย่าง แบบแอคทีฟ	36
3.3.5 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไป	37
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 การศึกษาสภาวะสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 37% ในห้องทดสอบในเบื้องต้น	38
4.2 การเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	39
4.3 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ	41
4.4 การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไปด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	43
4.5 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไป	47
4.6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้กับมาตรฐานคุณภาพอากาศ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.1.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ	49
5.1.2 การศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มิลดีไฮด์ในห้องทดสอบ	49
5.1.3 การเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มิลดีไฮด์ในบรรยากาศทั่วไป	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก ก	54
ภาคผนวก ข	61
ภาคผนวก ค	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	3
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์	6
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่าง Method 3500 Method 2016 และ Method 2541	17
ตารางที่ 2.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่าง Method 3500 Method 2016 และ Method 2541	18
ตารางที่ 2.4 การดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้สูงสุดของสารอนุพันธ์ DNPH	19
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทีฟที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 37% (w/w) เป็นระยะเวลาานาน 120 และ 360 นาที	38
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทีฟที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก./มล. เป็นระยะเวลาานาน 120 , 180 และ 360 นาที	40
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทีฟ หลัง การทำความสะอาดห้องทดสอบ ที่มีระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 , 180 และ 360 นาที	42
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากการเก็บในบรรยากาศทั่วไป เป็นระยะเวลาานาน 3 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น.	46
ตารางที่ 4.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานที่ทำงาน	47
ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	59
ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก	59
ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์	60
ตารางที่ ข-1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	65
ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอกทีฟที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 37% (w/w)	69
ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอกทีฟที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก./มล.	70
ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทีฟหลัง การทำความสะอาดห้องทดสอบ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค-4 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากการเก็บในบรรยากาศทั่วไป เป็นระยะ เวลานาน 3 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น. ทำการเก็บตัวอย่างที่สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	72
ตารางที่ ค-5 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากการเก็บในบรรยากาศทั่วไป เป็นระยะ เวลานาน 3 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น. ทำการเก็บตัวอย่างที่ซอย ลาดกระบัง 15 ถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง	73
ตารางที่ ค-6 การทดสอบอัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ ใช้ในการทดลอง ครั้งที่ 3 (ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ทางทฤษฎี 1 มก./มล.)	76
ตารางที่ ค-7 แสดงลักษณะอากาศรายวันที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ	77
ตารางที่ ค-8 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ฟอร์มาลดีไฮด์	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิบัติการเติมหมู่โบซัลไฟด์	12
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบแอททิฟ	12
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	14
รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์และกรดโครโมโทรพิค	16
รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์และDNPH	18
รูปที่ 3.1 ห้องทดสอบ	33
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างส่วนบุคคล	34
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศแบบแอททิฟ	36
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศ	37
รูปที่ 4.1 แผนภาพสถานที่เก็บตัวอย่างและภาพสถานที่เก็บตัวอย่าง	43
รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างภายนอกอาคาร	44
รูปที่ ข-1 ส่วนประกอบของเครื่องปั๊มอากาศ	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญลักษณ์คำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
มก.	มิลลิกรัม
มล.	มิลลิลิตร
มม.	มิลลิเมตร
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ซม.	ลูกบาศก์เซนติเมตร
°ซ	องศาเซลเซียส
พีพีเอ็ม	หนึ่งในล้านส่วน
พีพีบี	หนึ่งในพันล้านส่วน
ppb <sub>v</sub>	ส่วนในพันล้านส่วนของปริมาตร
ppb <sub>w</sub>	ส่วนในพันล้านส่วนของน้ำหนัก
กรัม/กก.	กรัมต่อกิโลกรัม
µg/m <sup>3</sup>	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มล./ลบ.ม.	มิลลิลิตรต่อลูกบาศก์เมตร
มก./ลบ.ม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มก./มล.	มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
มก./กก.	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mmHg	มิลลิเมตรปรอท
N	นอร์มัล
M	โมลาร์
K	เคลวิน
L	ลิตร
atm	บรรยากาศ (หน่วย)
$\bar{X}$	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
RSD	เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารมลพิษทางอากาศชนิดหนึ่งที่มีมากในเขตเมืองใหญ่ ทั้งนี้เนื่องมาจากฟอร์มาลดีไฮด์ในสิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่งคือ โรงงานอุตสาหกรรมเช่น อุตสาหกรรมทำแผ่นไม้อัด อุตสาหกรรมผลิตกาวเรซิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมาจากไอเสียรถยนต์ เบาะรถยนต์ พรหมปูพื้นในอาคารสำนักงานต่างๆ ฯลฯ การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของฟอร์มาลดีไฮด์จะเป็นลักษณะ secondary product จากไอเสียรถยนต์และจากปฏิกิริยาเคมีด้วยแสง (Photo-chemical Reaction) การตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในเมือง Rio de Janeiro ตั้งแต่วันที่ 4 ธ.ค.1998 ถึง 17 ม.ค.2001 พบว่ามีความเข้มข้น 1.52 และ 54.31 พีพีบี(หนึ่งในพันล้านส่วน) (Correa S.M. et al., 2003) การศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในเขตเมือง Rio de Janeiro ในบริเวณที่มีการใช้แก๊สธรรมชาติ (compressed natural gas ; CNG) ตั้งแต่ปี2001-2005 พบว่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์เฉลี่ย 151 พีพีบี (Martins E.M. et al., 2007) มีการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในอากาศสามารถก่อให้เกิดกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) , Peroxyacetyl nitrate (PAN) และสารประกอบพวกสม็อกอื่นๆ นอกจากนี้ในปัจจุบันปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ยังเพิ่มจำนวนมากเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเชื้อเพลิงโดยใช้เอทานอล แก๊สโซฮอล์และแก๊สธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนรถยนต์มากขึ้น มีการศึกษาจำนวนรถยนต์ที่มีการใช้แก๊สธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงพบว่าเพิ่มขึ้นจาก 23,000 คัน ในเดือนมกราคม 2001 ไปเป็น 161,000 คัน ในเดือนมกราคม 2005 ในเมือง Rio de Janeiro มีผลทำให้สัดส่วนของฟอร์มาลดีไฮด์ต่ออะซีทัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น (Martins E.M. et al., 2007) เมื่อปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ได้รับสัมผัสซึ่งอาจทำให้ระบบทางเดินหายใจติดขัด เกิดผื่นคัน หรืออาการแพ้ นอกจากนี้สารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ยังต้องสงสัยว่ามีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง จากข้อมูลทางพิษวิทยาที่ให้พิษเฉียบพลันซึ่งทดลองกับสัตว์ทดลอง (หนู) โดยให้สัตว์ทดลองได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ทางระบบทางเดินหายใจทันทีแล้วทำให้สัตว์ทดลองตายไปครึ่งหนึ่ง ( $\text{LC}_{50}$ ) 165 พีพีเอ็ม จะเห็นว่าความเข้มข้นที่สามารถทำให้สัตว์ทดลองตายได้มีปริมาณไม่สูงนัก ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ แต่ในปัจจุบันการตรวจวัดหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ยังมีไม่มากและกระทำได้ยากเนื่องจากปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศที่น้อย แต่ในบางประเทศได้มีความตระหนักถึงอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ที่แอบแฝงอยู่ในบรรยากาศ เนื่องจากการเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น จึงควรมีการศึกษาวิธีการตรวจวัดปริมาณฟอร์มลดีไฮด์ ค่ามาตรฐานในบรรยากาศ และวิธีการป้องกัน ฟอร์มลดีไฮด์จากการรับสัมผัสทางการหายใจ

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาฟอร์มลดีไฮด์ในห้องทดสอบ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ
2. ศึกษาฟอร์มลดีไฮด์ในบรรยากาศ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาความเข้มข้นฟอร์มลดีไฮด์ในอากาศในห้องทดสอบ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ ทำการศึกษาตัวแปร 2 ชนิดคือ ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มลดีไฮด์และเวลาในการเก็บตัวอย่าง
2. ศึกษาความเข้มข้นฟอร์มลดีไฮด์ในบรรยากาศ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ บริเวณพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) และ ลีแยกชอยจินดา (ชอยลาดกระบัง 15 ) ถนนลาดกระบัง

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟเทียบกับการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศ เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมและวิธีการเก็บตัวอย่างที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศจริงที่มีปริมาณฟอร์มลดีไฮด์น้อย หรือทำขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือที่จะสามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 สารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

สารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเช่น อุตสาหกรรมทำแผ่นไม้อัด อุตสาหกรรมผลิตกาวเรซิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมาจากไอเสียรถยนต์ เบาะรถยนต์ พรหมปูพื้นในอาคารสำนักงานต่างๆ ฯลฯ การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของฟอร์มัลดีไฮด์จะเป็นลักษณะผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ (สารผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ) จากไอเสียรถยนต์และจากปฏิกิริยาเคมีด้วยแสง(Photo-chemical reaction) และฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในอากาศยังเป็นสารตั้งต้น สามารถก่อให้เกิดกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) Peroxyacetyl nitrate (PAN) และสารประกอบพวกสม็อกอื่นๆ (Sergio M. et al., 2003)

##### 2.1.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์

พารามิเตอร์	สมบัติ
สถานะ	ก๊าซ
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)	30.03 กรัม/โมล
จุดหลอมเหลว (Melting point)	-92 °ซ
จุดเดือด (Boiling point)	-21 °ซ
ความหนาแน่น (ที่ 20 °ซ)	0.815 กรัม/มิลลิลิตร
Partition coefficients	Log Kow 0.350 , Log Koc 1.567
ความดันไอ (Vapor pressure) ที่ 25 °ซ	3,883 mmHg
ค่าคงที่ของเฮนรี (Henry's constant)	$3.27 \times 10^{-7} \text{ atm.m}^3/\text{mol}$
จุดวาบไฟ (Flash point)	60 °ซ
ขีดจำกัดการระเบิดที่ 25 °ซ <sup>o</sup> (Explosive limits)	7-73.0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์

พารามิเตอร์	สมบัติ
ความสามารถการละลาย (Solubility)	- สามารถละลายน้ำได้ดีมากกว่า 55% ที่ 20° ซ - ละลายได้ในตัวทำละลาย (Ether, alcohol, acetone, benzene)
ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ได้กลิ่น	- ในน้ำ 50 พีพีเอ็ม - ในอากาศ 0.5-1.0 พีพีเอ็ม
สารที่เข้ากันไม่ได้ (Incompatibilities)	ทำปฏิกิริยากับ โลหะ กรด และสารออกซิไดซ์
พอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization)	เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วในน้ำ
ปฏิกิริยาโฟโตไลซิส (Photolysis)	มีค่าครึ่งชีวิตในแสงสว่าง 1.9-16 ชม. ได้ผลิตภัณฑ์คือ H <sub>2</sub> และ CO หรือ H <sup>+</sup> และ HCO <sup>-</sup>

หมายเหตุ : ที่มา <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111-c3.pdf>

## 2.1.2 การใช้ประโยชน์

### 1. ด้านอุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการนำฟอร์มัลดีไฮด์มาใช้แพร่หลายในการผลิตเรซินและพลาสติกได้หลายประเภท เช่น urea-formaldehyde, melamine-formaldehyde, phenol-formaldehyde ซึ่งใช้สำหรับการขึ้นรูปไม้อัด (Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Material Substitute., 2007) ที่ทำเครื่องเรือนต่างๆ ได้แก่ โต๊ะ ตู้เสื้อผ้า และเตียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เพื่อผลิตผงที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์ และยังใช้ในการย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีและสีย้อมติดแน่นขึ้น ในอุตสาหกรรมกระดาษใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้ นอกจากนี้ ฟอร์มัลดีไฮด์ยังใช้ในการฟอกสี การพิมพ์ การผสมโลหะเพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และวัตถุระเบิด สีต่างๆ เช่น สีคราม สีแดง สีอะคริลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ด้านการเกษตร

ใช้สำหรับการทำลายจุลินทรีย์ ป้องกันต้นไม้ที่เป็นโรค และป้องกันผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนี้ยังใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในการเก็บรักษา ทำความสะอาดสถานที่เก็บอุปกรณ์ เช่น ลังไม้ และใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรคในดิน

## 3. ด้านการแพทย์

ทางด้านทางการแพทย์พบว่ามีการใช้อย่างแพร่หลายได้แก่ ใช้ในการเก็บรักษา Anatomical specimens คองศพเพื่อรักษาสภาพ ใช้ในการเตรียม สังกะระห์ผลิตภัณฑ์ยา และใช้ทำความสะอาดห้องผู้ป่วย

## 4. เครื่องสำอาง

การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในเครื่องสำอางพบว่ามีให้นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ใช้ในเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เหงื่อออกมาก ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก สบู่ ครีม โกนหนวด เพื่อฆ่าเชื้อ และน้ำยาดับกลิ่นตัว

### 2.1.3 วิธีทางเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

ฟอร์มาลดีไฮด์จัดเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหย (Volatile Organic Compounds ,VOCs) และเป็นสารที่ไม่คงตัวในบรรยากาศจึงสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางจาก

1. อุตสาหกรรมการผลิตหรือใช้ฟอร์มาลีน
2. ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยที่ฟอร์มาลดีไฮด์จะเข้าสู่บรรยากาศในลักษณะของสารผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ (secondary product) จากไอเสียรถยนต์และจากปฏิกิริยาเคมีด้วยแสง (photo chemical reaction) ที่มีความสลับซับซ้อนซึ่งถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้นโดย ultraviolet solar radiation

### 2.1.4 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น การหายใจ การกิน และการสัมผัส การหายใจเข้าไปสารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เกิดอาการไอ เจ็บคอ และหายใจติดขัดในระยะยาวอาจทำให้ปอดอักเสบ หากสัมผัสถูกผิวหนัง สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เป็นผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน และ ผิวหนังไหม้ การสัมผัสสารเป็นเวลานาน ทำให้ผิวหนังผิดปกติ ก่อให้เกิดเนื้องอก มีผลทำลายตับ ไต หัวใจ อาจเป็นสารเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม การสัมผัสถูกตาจะทำให้ตาแดง เจ็บตาและทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจน หากกลืนหรือกินเข้าไปทำให้เจ็บคอ ปวดท้อง ท้องร่วง ทาหลายดับและได นอกจากนี้ฟอร์มาลดีไฮด์ยังเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (<http://msds.pcd.go.th>)

### 2.1.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศ

ในปัจจุบันมีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของฟอร์มัลดีไฮด์ในสถานที่ทำงานหลายสถาบันรวมทั้งของประเทศไทยเอง เนื่องจากมีการนำฟอร์มัลดีไฮด์ไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในโรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม และอาคารสำนักงานต่างๆที่ใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้อัดซึ่งมีองค์ประกอบของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ จึงได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฟอร์มัลดีไฮด์ นอกจากนี้ เรายังพบว่ามีสารฟอร์มัลดีไฮด์จากไอเสียรถยนต์และจากปฏิกิริยาเคมีด้วยแสง (photo chemical reaction) ซึ่งยังไม่มีสถาบันใดกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของฟอร์มัลดีไฮด์ แต่สถาบัน Environment Protection and Heritage Council (EPHC) ของประเทศออสเตรเลียคาดว่าอีก 8 ปีจะสามารถรวบรวมข้อมูลมากพอที่จะพัฒนาเป็นค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศได้ (National Environmental Protection Council, 2004)

### ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

มาตรฐาน	มาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานที่ทำงานของ ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์		ที่มา
	ค่าเฉลี่ยความ เข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน	
ไทย	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 3 ส่วนในล้านส่วน	กระทรวงแรงงานและ สวัสดิการสังคม
	30 นาที	ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน	
OSHA	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.75 ส่วนในล้านส่วน	Occupational Safety and Health Administration
	15 นาที	ไม่เกิน 2 ส่วนในล้านส่วน	
ACGIH	Ceiling <sup>a</sup>	ไม่เกิน 0.3 ส่วนในล้านส่วน	The American Conference of Government Industrial Hygienists

หมายเหตุ : a หมายถึง ค่ามาตรฐานระดับเพดานของสารเคมี

### 2.1.6 การกำจัดกรณีฟอร์มัลดีไฮด์รั่วไหล

เมื่อมีการหกหรือไหลของสารเคมีให้หยุดการรั่วไหล และเก็บส่วนที่หกหรือไหลลงในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดเพื่อนำไปกำจัด ในขณะที่ปฏิบัติงานควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม ล้างบริเวณสารหกแล้วไหลและป้องกันไม่ให้สารเคมีที่หกแล้วไหลลงสู่ท่อระบายน้ำ แม่น้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ หลังจากสารเคมีถูกเก็บกวาดเรียบร้อยแล้วให้นำสารเคมีที่เก็บไว้ไปทำการกำจัด โดยพิจารณาตามกฎระเบียบที่ทางราชการกำหนด

### 2.1.7 ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ฟอร์มาลดีไฮด์จัดเป็นสารพิษปานกลางมีค่าความเป็นพิษ (Lethal Dose, LD<sub>50</sub>) ต่อหนูขาว (rat) ทางกระเพาะอาหารเท่ากับ 28.72 มก./กก. สำหรับปริมาณที่ทำให้คนตาย(Lethal dose)อยู่ระหว่าง 0.5-5.25 กรัม/กก. อาการที่เกิดจากความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีต่อสัตว์ทดลองโดยการฉีดเข้าในกระเพาะอาหาร(Intragastric administration) พบว่าหลังจากที่สัตว์ทดลองได้รับสารเข้าไปจะแสดงอาการตื่นตระหนก ตามด้วยอาการง่วงซึม อ่อนเพลีย หายใจขัดและจะตายภายใน 2-3 ชั่วโมงแรกที่ได้รับสาร ส่วนสัตว์ทดลองที่รอดชีวิตพบว่ามีอาการเฉื่อยชา ง่วงเหงา และเบื่ออาหาร ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มนุษย์ได้กลิ่น (Olfactory threshold ) เท่ากับ 0.05 มก./ลบ.ม. ส่วนปริมาณในน้ำที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้เท่ากับ 20 มก./ ลิตร จากการศึกษาผู้ดื่มฟอร์มาลีนที่มีความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 100 มล. พบว่าหลังจากดื่มฟอร์มาลีนเข้าไปจะเกิดอาเจียน จากนั้นเกิดการระคายเคืองกระเพาะอาหารตอนบนและเกิดอาการคลื่นเหียนผู้ป่วยจะเสียชีวิตภายใน 40 วัน ด้วยอาการเลือดออกในกระเพาะอาหารและลำไส้ (กรมควบคุมมลพิษ, ตุลาคม 2541)

ค่าความเป็นพิษอื่นๆ

- LD<sub>50</sub> (ทางปาก, หนู) : 100 มก./กก.
- LD<sub>50</sub> (ทางผิวหนัง, กระจ่าย) : 270 มก./กก.
- LC<sub>50</sub> (ทางการหายใจ, หนู) : 203 มก./ลบ.ม.

ผลการตรวจสุขภาพคนงานจำนวน 278 คน ซึ่งทำงานในโรงงานไม้ตัดกาวไม้อัดที่ใช้เรซินหรือกาวชนิด Carbamide formaldehyde พบว่าคนงาน 129 คน เป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเกิดจากการหายใจเอาไอของฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นประมาณ 5 มก./ลบ.ม. เข้าไป การตรวจสุขภาพของคนงานหญิงอายุ 25-40 ปีที่ทำงานประมาณ 5-20 ปี ในโรงงานย้อมที่ใช้ฟอร์มาลีน ซึ่งมีฟอร์มาลีนในบรรยากาศ ประมาณ 5-78 มล./ลบ.ม.พบว่ามีอาการปวดหัว ทรงตัวลำบาก ระคายเคืองง่าย และน้ำตาไหลเป็นประจำ ข้อมูลบ่งชี้การเป็นสารก่อมะเร็งมีไม่เพียงพอ ไม่ส่งผลกระทบต่อเป็นพิษต่อทารกในครรภ์ ภายใต้ปริมาณความเข้มข้นที่ยอมให้มีได้

### 2.1.8 กลุ่มอาการที่เกิดจากการทำงานในอาคารปิด

ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากคนส่วนใหญ่ ใช้เวลาอยู่ในอาคารเกือบร้อยละ 90 ของเวลาในแต่ละวัน ไม่ว่าจะเป็นบ้าน โรงเรียน สถานที่ทำงาน โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า และในอาคารอื่นๆ ทั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) คาดว่า ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality) ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาหากลุ่มอาการที่เกิดจากการทำงานในอาคารปิดได้

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency ,US EPA) ได้อธิบายความหมายของ "Sick Building Syndrome, SBS" หรือกลุ่มอาการป่วยว่าเป็น "สถานการณ์ที่คนทำงานในอาคาร เกิดอาการผิดปกติทางสุขภาพ หรือเกิดผลกระทบต่อความสบาย ในการทำงาน เนื่องจากสาเหตุหลากหลาย ที่ดูเหมือนจะมีความสัมพันธ์ กับช่วงเวลาที่อยู่ในอาคาร แต่ไม่สามารถระบุสาเหตุที่แน่นอนได้ ปัญหาอาจเกิดขึ้น เฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร หรือทุกส่วนของอาคารก็ได้ อาการที่พบ ได้แก่ คัดจมูก น้ำมูกไหล เคืองตา ไอ แน่นหน้าอก อ่อนล้า ปวดศีรษะ อาการป่วยดังกล่าว เป็นอาการที่ไม่มีลักษณะเฉพาะ โรค และมักจะหายเมื่อออกจากอาคาร"

องค์การอนามัยโลกได้ให้คำนิยามของคำ Sick building syndrome ว่าเป็นอาการระคายเคืองของผิวหนัง และเยื่อที่เกี่ยวเนื่องกับการทำงาน รวมถึงอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย และไม่มีสมาธิ ซึ่งรายงานจากผู้ที่ทำงานในอาคารสำนักงานใหม่ และอาคารที่ผู้อยู่อาศัยอย่างน้อยร้อยละ 10-30 มีอาการระคายเคือง เจ็บป่วย และอาการข้างเคียงอื่น ที่อาจมีสาเหตุจากอาคารที่อยู่ แต่ไม่สามารถตรวจพบอาการทางคลินิกได้

### 2.1.9 การดำเนินงานด้านคุณภาพอากาศ ภายในอาคารในประเทศไทย

การดำเนินการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร เท่าที่มีการสืบค้นได้นั้น ได้มีการเริ่มต้นอย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ.2536 ถึงปี พ.ศ.2544 กองอาชีวอนามัย กรมอนามัย (เปลี่ยนเป็นสำนักโรคจากการประกอบอาชีพ และสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค ตั้งแต่ปี 2546) ได้เริ่มดำเนินการตรวจวัดปริมาณก๊าซ และไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้ในโรงพยาบาล ได้แก่ ก๊าซที่ใช้ในการดมยาสลบ โรงพยาบาลส่วนใหญ่ใช้ Nitrous oxide ( $N_2O$ ) และ Halothane และเมื่อรั่วไหลออกจากระบบ และปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศ ภายในโรงพยาบาลจะเรียกรวมๆ เป็น (Waste Anesthetic Gas, WAGs) รวมถึงสารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาด และฆ่าเชื้อโรค อุปกรณ์ เครื่องมือแพทย์ เช่น Formaldehyde และ Glutaraldehyde เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัย และความปลอดภัยในการทำงาน ในโรงพยาบาล พบว่า เฉพาะห้องผ่าตัดที่มีระบบกำจัดก๊าซทิ้ง มีระดับค่า WAGs อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ทั้งนี้สถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (The National Institute for Occupational Safety and Health , NIOSH) กำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง การทำงานของก๊าซ Nitrous oxide ไม่ควรเกิน 25 พีพีเอ็ม และ Halothane ไม่ควรเกิน 2 พีพีเอ็ม จนถึงปัจจุบัน ได้ดำเนินการตรวจประเมินในโรงพยาบาลไปแล้ว 9 แห่ง ซึ่งมี 4 แห่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำเนินการปรับสภาพการทำงาน โดยการติดตั้งระบบกำจัดแก๊สทิ้งไปเรียบร้อยแล้ว (สลิธร เทพตระการพร และคณะ , 2545)

สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น สถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ (National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH) ได้ทำการศึกษาข้อร้องเรียน อันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ ในอาคารในช่วงทศวรรษที่ 1970 และสามารถแยกสาเหตุของการเกิดปัญหาได้ดังนี้

- ร้อยละ 52 เกิดจากการระบายอากาศในอาคารที่ไม่เพียงพอ เช่น การออกแบบที่ไม่ถูกต้อง การกระจายอากาศในอาคารไม่ดีพอ อุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม มีแหล่งมลพิษภายในระบบระบายอากาศ
- ร้อยละ 16 เกิดจากการมีสารปนเปื้อนอยู่ในอาคาร เช่น ไรระเหยของน้ำยาทำความสะอาด สะอาด จำพวกสารตัวทำลาย หรือน้ำยาฆ่าเชื้อ โรค เชื้อรา
- ร้อยละ 10 เกิดจากมลพิษภายนอกอาคาร เช่น มลพิษการจราจร ควัน ฝุ่น ละอองเกสร
- ร้อยละ 5 เกิดจากการปนเปื้อนด้านชีวภาพ
- ร้อยละ 4 เกิดจากการปนเปื้อนของวัสดุตกแต่งอาคาร
- ร้อยละ 13 ไม่ทราบสาเหตุ

นอกจากนี้ องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม หรือ EPA และหน่วยงานอื่นๆ ได้ดำเนินการสำรวจ และพบว่า สิ่งแวดล้อมภายในอาคารมีมลพิษ มากกว่าภายนอกอาคารสูงเป็นอัตรา 2-10 เท่าและได้มีการจัดอันดับปัญหามลพิษในอาคารเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, ตุลาคม 2541)

## 2.2 การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศ

อากาศเป็นสิ่งแวดล้อมพื้นฐานทางกายภาพที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต อากาศในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air) ถือว่ามีสารมลพิษน้อยเมื่อเทียบกับสถานที่ทำงานประเภทโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากการหมุนเวียนของอากาศดีกว่า ในการเก็บตัวอย่างอากาศจึงสามารถแบ่งย่อยตามวัตถุประสงค์ของการติดตามเฝ้าระวังออกเป็น

1. การเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air sampling) ตัวอย่างอากาศอยู่ภายนอกอาคาร ในการเก็บต้องการให้มีปริมาตรมากเพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างอากาศบริเวณที่ต้องการศึกษาได้ดี เนื่องจากอากาศเป็นของไหลมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบได้ การไหลแทนที่

จากมวลอากาศบริเวณอื่นเนื่องมาจากลม ความกดอากาศ ตลอดจนระดับความสูงจากพื้นดินก็มีผลต่อชนิดและองค์ประกอบของอากาศได้

2. การเก็บอากาศจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Emission source sampling) ตัวอย่างอากาศจากแหล่งกำเนิดเช่น จากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม จากเตาเผาขยะ จากท่อไอเสียรถยนต์ตลอดจนจากการเผาขยะเป็นบริเวณกว้าง

3. เก็บตัวอย่างจากสถานที่ทำงานหรือภายในอาคาร (Working place or indoor air sampling) สภาพแวดล้อมในการทำงานหรือที่อยู่อาศัยอาจเป็นแหล่งที่มีปัญหามลภาวะทางอากาศ จึงมีการศึกษาและทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารด้วย

การเก็บตัวอย่างอากาศจำเป็นต้องพิจารณาถึงสารที่ต้องวิเคราะห์ด้วยว่าอยู่ในรูปแบบของอนุภาคหรือในรูปแบบของก๊าซ ซึ่งวิธีการเก็บสารจะแตกต่างกันดังนี้

- การกรอง (Filter method) ใช้กับอนุภาคของแข็ง โดยชักตัวอย่างอากาศผ่านตัวกรอง (Filter) แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อ เช่นทำการชั่งน้ำหนัก ย่อยสลายเพื่อหาชนิดและปริมาณองค์ประกอบที่มีในอนุภาคนั้นๆ
- การดูดซับ (Sorption) นิยมใช้กับสารประเภทก๊าซ แอโรซอล ที่สามารถดูดซับได้ โดยทำการชักตัวอย่างอากาศผ่านสารดูดซับ (Absorber) ซึ่งอาจเป็นทั้งในรูปเป็ยกใช้สารละลายในการดูดซับ โดยเก็บในอิมฟินเจอร์ หรือในรูปแห้งโดยใช้ของแข็งในการดูดซับซึ่งอยู่ในรูป Sorbent tube
- การเก็บตัวอย่างอากาศแบบจับ (Grab sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆเพื่อเป็นตัวแทนอากาศที่สนใจศึกษา อาจเก็บเป็นวิธีการกรองหรือการดูดซับหรือกับอากาศใส่ภาชนะที่ป้องกันการรั่วไหลได้และนำมาวิเคราะห์ต่อไป
- การเก็บอากาศและวิธีวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง (Continuous air analysis) เป็นการใช้อุปกรณ์และอุปกรณ์ขั้นสูงเพื่อทราบค่าอย่างต่อเนื่อง

การเก็บตัวอย่างอากาศและการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศนั้นเป็นงานที่ต้องการความประณีตและความถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นดังกล่าวอยู่ในระดับส่วนในพันล้านส่วน (ppb) หรือส่วนในล้านล้านส่วน (ppt) วิธีการที่นิยมใช้กันในประเทศไทยนำมาจากวิธีการที่ได้รับการยอมรับโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA) การตรวจวัดโดยทั่วไป สามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะของวัตถุประสงค์และลักษณะเฉพาะของระดับความเข้มข้นสารมลพิษ และสถานะที่ปรากฏ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นในบรรยากาศ องค์ประกอบอื่นๆในอากาศ หรือในจุดที่ทำการเลือกเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีผลทำให้เทคนิคในการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศแตกต่างกันออกไป (นันทนา ชูฉัตร, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

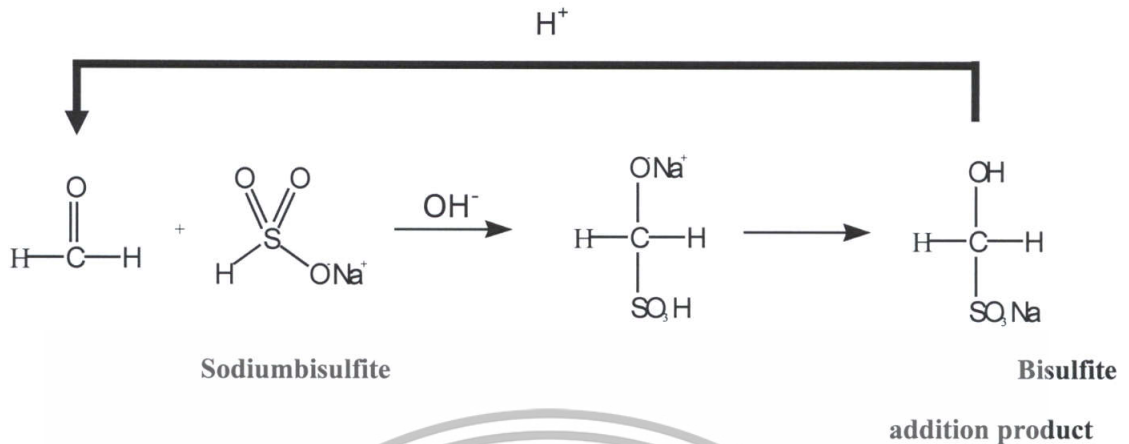
วิธีเก็บตัวอย่างอากาศ (Air Sampling Methods) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. Active Sampling เป็นการเก็บตัวอย่างอนุภาคหรือก๊าซ มีการชักตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มดูดตัวอย่างอากาศผ่านเข้าไปใน sampling media ที่เหมาะสม นิยมใช้วัดคุณภาพอากาศของโรงงานอุตสาหกรรม

2. Passive Sampling เป็นการเก็บตัวอย่างก๊าซละอองไอที่อาศัยหลักการ Diffusion โดยอัตราการเก็บตัวอย่างถูกควบคุมโดยกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การแพร่ (diffusion) ผ่านเมมเบรนที่เป็นวัสดุดูดซับ โดยไม่มีการใช้ปั๊ม (active force)

### 2.2.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์แอคทีฟ

การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้อากาศจะถูกสุบมาเก็บไว้ที่ตัวจับสารตัวอย่าง ได้แก่ สารกรอง สารดูดซับหรือสารเคมีที่ใช้เป็นสารละลาย โดยมีปริมาตรอากาศและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่แน่นอน วิธีนี้สามารถเก็บตัวอย่างได้ทุกวัน ทำให้วิเคราะห์ผลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปสามารถเก็บได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นก๊าซและอนุภาค การเลือกชนิดของสารตัวจับสารตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารวิเคราะห์หลักในอากาศเป็นสำคัญ ตัวอย่างเช่น การตรวจวัดสารวิเคราะห์บนอนุภาค จะเก็บตัวอย่างโดยสารกรอง (Filter) และตัวอย่างที่เป็นก๊าซ สามารถเก็บได้โดยใช้สารดูดซับ (Sorbent) หรือใช้การจับแบบทำคามเย็น (Cold Trap) เป็นต้น จากคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของก๊าซนั้นจะนำมาใช้พิจารณาเลือกสารดูดซับชนิดต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้เก็บตัวอย่างได้ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตโดยอาศัยหลักการคือ เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านสารละลายที่บรรจุในหลอดเก็บตัวอย่าง ก๊าซสารละลายจะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ตรวจวัดแล้วจะเกิดการเปลี่ยนสี นำสารละลายไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้น ซึ่งสารละลายที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ก๊าซมลพิษที่สามารถวัดได้คือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซชนิดอื่นๆ สำหรับสารละลายดูดซับที่ใช้สำหรับจับฟอร์มัลดีไฮด์ คือ โซเดียมไบซัลไฟต์ ซึ่งสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมกับฟอร์มัลดีไฮด์ได้เป็นผลิตภัณฑ์การเติมหมู่ไบซัลไฟต์ และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะสามารถแตกตัวได้เป็นฟอร์มัลดีไฮด์ ดังสมการ



### รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเติมหมู่ไบซัลไฟต์

การเก็บอากาศด้วยอิมพินเจอร์ ( Impinger ) เป็นการเก็บตัวอย่างก๊าซและไอโดยวิธีการดูดซับด้วยของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในกระบอกแก้วซึ่งมีปลายเปิดด้านบนเป็นรูขนาดเล็ก เมื่ออากาศถูกสูบลผ่านเข้ามายังอิมพินเจอร์ อากาศจะถูกฉีด พุ่งออกมาด้วยความเร็วสูงสู่ด้านล่างของกระบอกแก้ว โดยเป็นละอองฝอย ทำให้ของเหลวที่อยู่ภายในเกิดเป็นฟองเล็กๆ สารอินทรีย์ในอากาศจะถูกจับไว้ โดยการดูดซับด้วยของเหลวที่แตกเป็นฟองขนาดเล็ก ได้ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเป็นได้ทั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรืออาศัยสมบัติทางกายภาพ เช่น การละลายเป็นต้น และของเหลวที่เกิดปฏิกิริยาจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ตามวิธีที่ศึกษาต่อไป (นันทนา ชูฉัตร, 2543)

อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

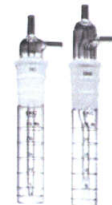
1. ปัมลมดูดอากาศดังรูป ก.
2. เครื่องวัดอัตราการไหลดังรูป ข.
3. ขวดบรรจุสารละลายดูดกลืน ( Impinger ) ดังรูป ค.
4. สารละลายดูดซับขึ้นกับชนิดของก๊าซมลพิษที่ต้องการเก็บตัวอย่าง



รูป ก.



รูป ข.



รูป ค.

### รูปที่ 2.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบเอกทิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ทฤษฎีและหลักการการทำงานของอุปกรณ์ฟาสซีฟ

อุปกรณ์ฟาสซีฟอาศัยหลักการแพร่ของมลพิษที่สนใจผ่านสิ่งกีดขวาง (Carrier) และถูกจับอยู่บนเมมเบรน โดยบนเมมเบรนจะมีสารเคมีที่จำเพาะกับมลพิษนั้นๆ เคลือบอยู่เพื่อเป็นตัวดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยากับมลพิษนั้นๆ การซึมผ่านของมลพิษที่ศึกษาเป็นการแพร่ของโมเลกุลอย่างอิสระ (Free molecular diffusion) เกิดจากความเข้มข้นที่ต่างกันของมลพิษในอากาศกับมลพิษบนเมมเบรน ฟลักซ์ของมวลสาร (The mass flux,  $g/cm^2 \cdot s$ ) สามารถใช้ Fick's First Law of Diffusion อธิบายได้ว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความเข้มข้นของสารมลพิษดังสมการที่ 2.1

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

- 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)

สำหรับมลพิษที่ดูดซับอยู่บนเมมเบรนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

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

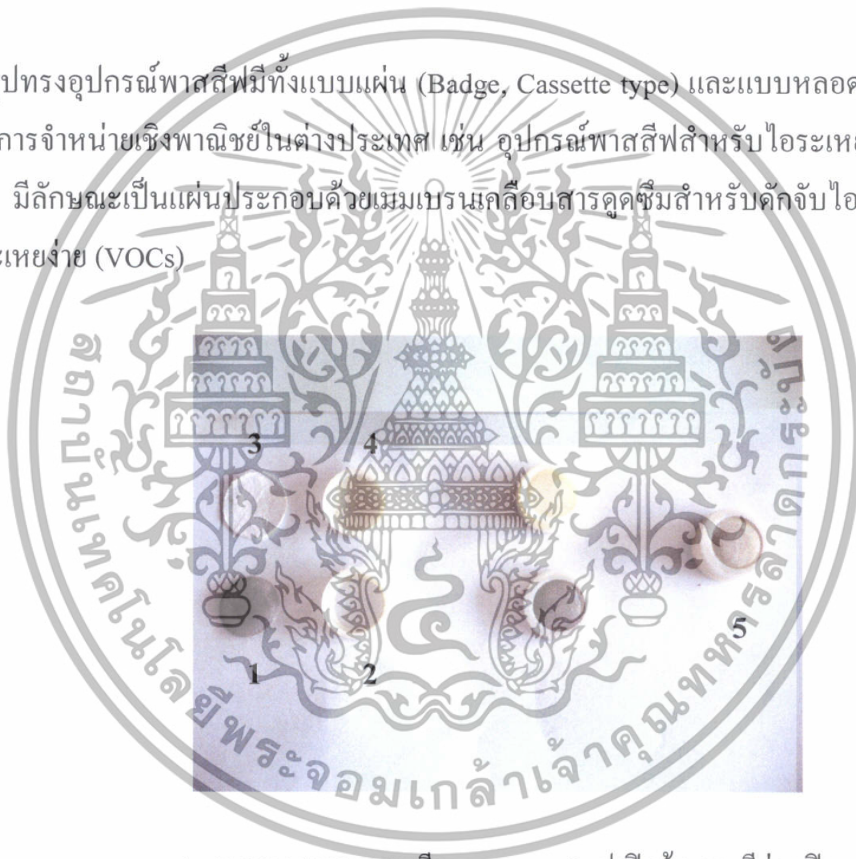
- M = มวลของสารบนเมมเบรน (กรัม)  
 A = พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน  
 T = ระยะเวลาที่รับสัมผัส (Exposure time, S)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สามารถหาค่าได้จากการทดลองใน Experimental chamber โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเป็นรูปทรงเรขาคณิตของอุปกรณ์ฟาสซีฟ คุณลักษณะทางกายภาพของแก๊สเช่น อุณหภูมิ ความดัน และความชื้น โดยควบคุมไม่ให้มีการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศ (Turbulence flow) และระยะเวลาที่สัมผัสมลพิษ จากนั้นนำมาหาความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศได้ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยที่แปรผันขณะที่ทำการเก็บในภาคสนามซึ่งจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ (Validation) ความสัมพันธ์ด้วย นอกจากนี้การใช้อุปกรณ์ฟาสซีฟมี

ขีดจำกัดคือ ความเข้มข้นที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยตามเวลาที่รับสัมผัส ไม่สามารถรายงานผลได้ทันทีและไม่สามารถรายงานค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาอันสั้นได้ ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมลพิษ ระยะเวลาที่รับสัมผัส และขีดจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

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

รูปทรงอุปกรณ์ฟาสตีฟมีทั้งแบบแผ่น (Badge, Cassette type) และแบบหลอด (Tube type) ปัจจุบันมีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ เช่น อุปกรณ์ฟาสตีฟสำหรับไอระเหยง่ายของยี่ห้อ SKC มีลักษณะเป็นแผ่นประกอบด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนสารดูดซึมสำหรับดักจับไอสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)



1. ตะแกรงสแตนเลส สตีล
2. ฝาปิดด้านบน มีช่องเปิดตรงกลาง
3. กระดาษกรองใยแก้ว
4. ฝาปิดด้านล่าง
5. อุปกรณ์ฟาสตีฟ

### รูปที่ 2. 3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบฟาสตีฟ

ข้อดีของอุปกรณ์ฟาสตีฟคือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถผลิตได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้ง เหมาะสมกับการใช้ตรวจวัดแบบบุคคล ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง สามารถใช้ตรวจวัดมลสารได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ใช้ตรวจวัดมลสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

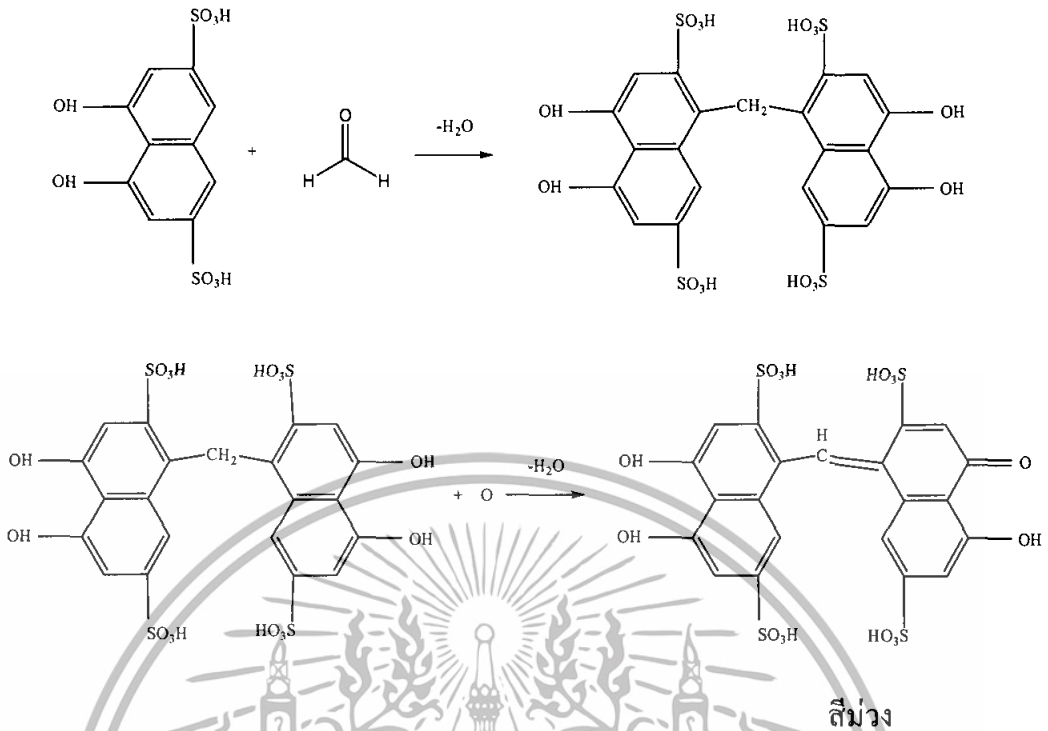
ในสภาวะย่อยได้ เก็บตัวอย่างมลพิษได้เป็นบริเวณกว้าง สามารถทำซ้ำได้หลายค่า มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาต่ำ สำหรับข้อจำกัดของอุปกรณ์พาสตีฟคือ ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นสูงสุดของมลสารได้ และผลการตรวจวัดอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิและความชื้น นอกจากนี้ความว่องไวในการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์พาสตีฟต่ำกว่าการตรวจวัดด้วยวิธีแอกทีฟ อย่างไรก็ตามหากได้มีการวัดเทียบระหว่างวิธีพาสตีฟกับวิธีแอกทีฟและนำค่าปรับแก้ (Correction factor) มาช่วยในการตรวจวัดจะเป็นการเพิ่มค่าประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์พาสตีฟที่นำมาใช้ตรวจวัดได้ (ขนิษฐา สิริจามร และคณะ, 2548)

## 2.3 วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศมีอยู่หลายวิธี

### 2.3.1 Colorimetric methods

เป็นการวิเคราะห์การเกิดสีของสารที่ต้องการวิเคราะห์โดยการเติมสารทำให้เกิดสี แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์จะใช้สารที่ทำให้เกิดสีคือ กรดโครโมโทรปิก (Chromotropic acid) แล้วนำสารละลายไปวัดสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ซึ่งในการวิเคราะห์จะยึดวิธีวิเคราะห์ตาม Method 3500 ของ NIOSH (The National Institute for occupational safety and Health) วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ง่าย อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างสามารถใช้ได้เป็นเวลานาน เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน ใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ไม่มาก แต่มีข้อเสียคือผลที่วิเคราะห์ได้มีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีอื่นๆ และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ไม่สามารถตรวจวัดตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ได้ (James P.L., 1989)



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโครโมโทรพิก (Chromotropic Acid)

### 2.3.2 Chromatographic methods

1. เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatographic methods) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณสารบางประเภททั้งที่มีสถานะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากเครื่องมือที่ทันสมัยให้ความสะดวกในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแม่นยำและความถูกต้องสูง สามารถตรวจวัดที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้ แต่มีข้อเสียอยู่หลายอย่างเช่น ความดันของแก๊สพา (carrier gas) ไม่สม่ำเสมอ อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างใช้ได้ครั้งเดียวและมีราคาแพง สารตัวอย่างอาจถูกดูดซับหรือสลายตัวในคอลัมน์หรือดีเทคเตอร์ จำนวนพีกเซลล์ที่ถูกแสดงในพื้นที่หนึ่งหน่วย (resolution) ของพีก ถ้าโครมาโทแกรมมี resolution ไม่ดีพอหรือพีกเกิดซ้อนกันเหลื่อมกันก็ยากที่จะหาพื้นที่พีกให้ถูกต้องได้ เป็นต้น

ในการตรวจวัดหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph) ซึ่งจะใช้ ฟลูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Flurrier Transform Infrared, FTIR) เป็นดีเทคเตอร์ ในการวิเคราะห์จะยึดวิธีวิเคราะห์ตาม Method 2541 ของ NIOSH

2. เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูงโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High-performance liquid chromatographic methods) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการแยกส่วนประกอบต่างๆออกจากของผสม โดยใช้เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) พาของผสมให้เคลื่อนไปบนเฟสนิ่ง (stationary phase) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถทำได้เร็วเนื่องจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ใช้ปัมสำหรับปัมเฟสเคลื่อนที่ให้ไหลผ่านคอลัมน์ที่มีขนาดเล็กที่บรรจุด้วยเฟสหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับคอลัมน์โครมาโทกราฟีธรรมดา มีความถูกต้องแม่นยำสูง และสามารถตรวจวัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ได้ ดังนั้นจึงทำให้เทคนิค HPLC มีประสิทธิภาพสูงในการแยกของผสมในคอลัมน์ แต่ก็มีข้อเสียคืออุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างใช้ได้ครั้งเดียวและมีราคาค่อนข้างแพง และวิธีที่ทำการสกัดสารตัวอย่างออกเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC มีวิธีที่ยุ่งยาก สำหรับการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเทคนิคนี้ จะใช้คาร์ทริดจ์ที่มีการบรรจุหรือเคลือบด้วย 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) เก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ เมื่อฟอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับ DNPH จะเกิดสารประกอบของ DNPH ของฟอร์มาลดีไฮด์ จากนั้นจะนำสารประกอบนั้นไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ในการวิเคราะห์จะยึดวิธีวิเคราะห์ตาม Method 2016 ของ NIOSH หรือ Method TO-5 ของ U.S. EPA

### ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่าง Method 3500 Method 2016 และ Method 2541

Method	ข้อดี	ข้อเสีย
Method 3500 ของ NIOSH	1. วิธีวิเคราะห์ไม่ยุ่งยาก 2. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างสามารถใช้ได้เป็นเวลานาน	1. มีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีอื่นๆ 2. ไม่สามารถตรวจวัดสารที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ได้ช่วงที่ตรวจวิเคราะห์ได้คือ 2-4 ไมโครกรัม
Method 2016 ของ NIOSH	1. มีความถูกต้องแม่นยำสูง 2. สามารถตรวจวัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำได้ในช่วง 0.23-37 ไมโครกรัม	1. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างใช้ได้ครั้งเดียวและมีราคาค่อนข้างแพง 2. วิธีที่ทำการสกัดสารตัวอย่างออกเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC มีวิธีที่ยุ่งยาก
Method 2541 ของ NIOSH	1. มีความถูกต้องแม่นยำสูง 2. ช่วงที่สามารถตรวจวิเคราะห์สารได้ค่อนข้างกว้าง คือ 3-200 ไมโครกรัม	1. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างใช้ได้ครั้งเดียวและมีราคาค่อนข้างแพง 2. ไม่สามารถตรวจวัดสารที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ได้
Method TO-5 ของ U.S. EPA	1. มีความถูกต้องแม่นยำสูง 2. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างสามารถใช้ได้เป็นเวลานาน	1. วิธีที่ทำการสกัดสารตัวอย่างออกเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC มีวิธีที่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

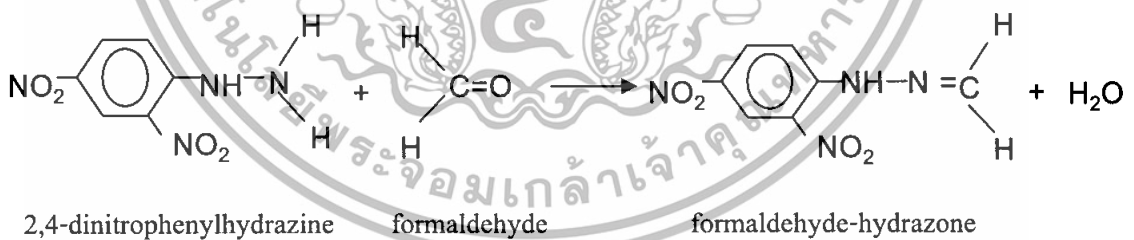
107879

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียระหว่าง Method 3500 Method 2016 และ Method 2541

Method	ข้อดี	ข้อเสีย
Method TO-5 ของ U.S. EPA	3. สามารถตรวจวัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำได้ถึง 0.3 ไมโครกรัม	2. วิธีเตรียมสารที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างมีวิธีที่ยุงยาก

### สารดักจับฟอร์มาลดีไฮด์ใน Chromatographic methods

การเข้าใจถึงปัญหามลพิษเนื่องมาจากสารประกอบคาร์บอนิลจำเป็นต้องมีการตรวจและวิเคราะห์ปริมาณของสารในบรรยากาศที่ถูกดองและเที่ยงตรง แต่การวัดสารประกอบ คาร์บอนิลในบรรยากาศยังเป็นสิ่งที่ท้าทายความสามารถเนื่องจากปริมาณที่มีน้อยๆ ในระดับส่วนในพันล้านส่วน และนอกจากนี้ยังมีสารที่รบกวนการวิเคราะห์ที่อยู่ร่วมด้วยเช่น โอโซน ในปี ค.ศ. 1970 มีการศึกษาวิจัยนำสารประกอบ DNPH มาใช้ควบคู่กับเทคนิคโครมาโทกราฟี ในการศึกษาสารประกอบคาร์บอนิลในอากาศ และเป็นที่ยอมรับความจำเพาะเจาะจงในการเกิดปฏิกิริยาของ DNPH และสารประกอบคาร์บอนิลกันอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมา ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ดีในสภาวะกรด ผ่านการเติมนิวคลีโอไฟล์ให้กับกลุ่มคาร์บอนิล (Nucleophilic addition) และตามด้วยการกำจัดน้ำออก (Water elimination) ได้อนุพันธ์ของ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราโซน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์และ 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) (Irene D. DeGraff, 2005)

วิธีการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลมี 3 รูปแบบ คือ

1. การเก็บตัวอย่างด้วยอิมพิงเจอร์ (Impinger Sampling) ด้วยสารละลาย DNPH
2. การเก็บด้วยสารดูดซับของแข็งที่เคลือบด้วย DNPH (Sampling with DNPH coated solid sorbents) โดยใช้สารดูดซับหลายแบบ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Glass beads and Glass fiber filters
- Silica gel cartridge (เป็นสารดูดซับประเภทมีขี้้ว)
- Florisil cartridge (เป็นสารดูดซับประเภทมีขี้้ว)
- C<sub>18</sub> cartridge (เป็นสารดูดซับประเภทไม่มีขี้้ว)

3. การเก็บด้วยเทคนิคพิเศษ เช่น ใช้ความเย็นจัด (Cryogenic collection) , การเก็บแบบ ปริมาตรมาก และใช้ฟลาสต์ที่หมุน (High volume, rotating cylinder sampling) หรือวิธีบูบิไลเซอร์ และการรีฟลักซ์ให้เข้มข้น (Nebulization and reflux concentration) การเก็บตัวอย่างอากาศที่มี สารประกอบคาร์บอนิลหลายชนิดจำเป็นต้องผ่านการแยกอนุพันธ์ ไฮโดรราโซนที่เกิดขึ้นโดยเทคนิค โครมาโทกราฟีและใช้การตรวจวัดแบบการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ต (UV absorption detection) ซึ่งมีการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 360-375 นาโนเมตร ยกเว้นฟอร์มัลดีไฮด์ (ดูตารางที่ 2.4 )

ตารางที่ 2.4 การดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้สูงสุดของสารอนุพันธ์ของ DNPH

สารประกอบ	ความยาวคลื่น (nm)
สาร DNPH	357 <sup>a</sup>
ฟอร์มัลดีไฮด์	353 <sup>a</sup> , 350 <sup>b</sup> , 345 <sup>c</sup>
อะซีทัลดีไฮด์	363 <sup>a</sup> , 360 <sup>b</sup>
โพรพานาล	365 <sup>a</sup>
บิวทานาล	363 <sup>a</sup>
เบนซิลดีไฮด์	393 <sup>b</sup>
อะโครลีน	373 <sup>a</sup> , 367 <sup>b</sup>
อะซีโตอะซิเตต	375 <sup>b</sup>
อะซีโตน	367 <sup>a</sup>

หมายเหตุ a : ละลายในอะซิโตนโทล CH<sub>3</sub>CN และน้ำอัตราส่วน 55 : 45

b : ละลายในอะซิโตนโทล CH<sub>3</sub>CN และน้ำอัตราส่วน 60 : 40 pH 2.6

c : ละลายในอะซิโตนโทล CH<sub>3</sub>CN และน้ำอัตราส่วน 75 : 25

สำหรับการเก็บฟอร์มัลดีไฮด์โดยวิธีอิมพินเจอร์ ค่าพีเอชของสารดูดซับเท่ากับ 4 ช่วยใน การเก็บตัวอย่างได้สูงสุด แต่ช่วง 3.5 ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าเป็นอะซีทัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพีเอช 1.7 จะเก็บตัวอย่างได้ดี ในการเก็บที่อุณหภูมิ 25 °ซ การเกิดปฏิกิริยาเกือบสมบูรณ์ได้ภายใน 20 นาที

สำหรับการเก็บด้วยสารดูดซับแบบของแข็ง ยังไม่ทราบกลไกแน่ชัด การเกิดอนุพันธ์สามารถเกิดบนฟิล์มของเหลวหรือปฏิกิริยาก๊าซ-ของแข็งได้

### 2.3.3 สารรบกวน

ในการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์อาจเกิดการรบกวนจากสารอื่นซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ เช่น สารประกอบอัลดีไฮด์ชนิดอื่นๆ ไอโซน ไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น

1. การวิเคราะห์ด้วยวิธี Colorimetric methods จะเกิดการรบกวนจากสารดังต่อไปนี้ (James P.L.,1989)

1) ในส่วนของสารกรดโครโมโทรฟิคจะเกิดสารรบกวนเพียงเล็กน้อยจากสารประกอบอัลดีไฮด์ชนิดอื่นๆ สารประกอบอัลดีไฮด์ที่อิ่มตัวจะให้ผลเชิงบวกน้อยกว่า 0.01 % และสารประกอบอัลดีไฮด์ที่ไม่อิ่มตัวพวก Acrolein จะให้ผลเชิงบวกเป็นเปอร์เซ็นต์น้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย ส่วนเอทานอลและสารประกอบพวกแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ผสมกับฟอร์มาลดีไฮด์จะให้ผลเชิงลบ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบแอลกอฮอล์ในอากาศมีน้อยกว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นการรบกวนจากแอลกอฮอล์จึงไม่ค่อยเกิดเท่าไรนัก

2) ผลจากสารประกอบฟินอลที่เกิดจากปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มากเกินไปในอัตราส่วน 8:1 จะให้ผลเชิงลบ 10-20 % แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารประกอบฟินอลในอากาศมีน้อยกว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นการรบกวนจากฟินอลจึงไม่ค่อยมีผล

3) เอทิลีนและโพรพิลีนในอัตราส่วนที่มากกว่าฟอร์มาลดีไฮด์ 10:1 ให้ผลที่เป็นลบ 5-10 % และ 2-methyl-1,3-butadiene ในอัตราส่วนที่มากกว่าฟอร์มาลดีไฮด์ 15:1 แสดงผลที่เป็นลบ 15 %

2. สารรบกวนในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Chromatographic methods

ในการเก็บตัวอย่างอากาศ สารรบกวนในการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิล ได้แก่ ไอโซน, ไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยทั่วไปในการวิเคราะห์หากกลุ่ม คาร์บอนิล ไนโตรเจนไดออกไซด์ จะไม่มีผลรบกวนการวิเคราะห์ ถ้าความเข้มข้นต่ำกว่า 550 พีพีบี (part per billion ,ppb) หรืออัตราส่วนไนโตรเจน ไดออกไซด์ต่อฟอร์มาลดีไฮด์ ต่ำกว่า 7:1

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่อาจรบกวนการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลได้ เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาการเติมคาร์บอนิลไบซัลไฟต์ (Carbonyl-bisulfite addition) ได้เป็น ไฮดรอกซีอัลเคน ซัลโฟนิก แอซิด (Hydroxyalkane sulfonic acid) ทำให้สารประกอบ DNPH ทำ

ปฏิกิริยากับคาร์บอนิลได้ลดลง เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (% Recovery) ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะกรดจัด ( $\text{pH} < 3$ ) การเกิดอนุพันธ์ของฟอร์มัลดีไฮด์กับ DNPH จะเกิดได้สมบูรณ์ เชื่อว่าเงื่อนไขนี้ช่วยให้ DNPH ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ดีกว่าการเกิดไฮดรอกซิมิเทนซัลโฟเนต (Hydroxymethane sulfonate)

โอโซนจัดได้ว่าเป็นสารที่ว่องไวมากและรบกวนการหาปริมาณคาร์บอนิลในอากาศได้ 3 รูปแบบ คือ

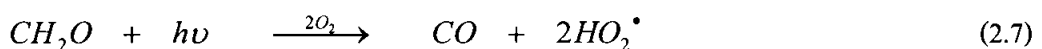
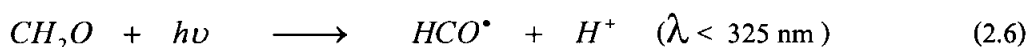
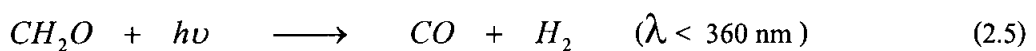
- 1) เกิดปฏิกิริยากับสารในอากาศ สารประกอบคาร์บอนิลเพิ่ม (Artifact from the sampling substrate reaction)
- 2) ทำให้เกิดการสลายของ DNPH- ไฮดรากลิก
- 3) ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ และได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการรบกวนได้ ตัวอย่างเช่น การสลายของ DNPH จากโอโซน (G.Botani. and et.al., 2005)



จะเห็นได้ว่า โอโซนเป็นสารที่รบกวนการหาปริมาณของสารประกอบคาร์บอนิลอย่างมาก ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างจึงต้องมีการกำจัดโอโซนก่อนทำการดูดซับหรือจับสารประกอบคาร์บอนิล เช่น ใช้ท่อทางเข้าของตัวอย่างอากาศที่เป็นทองแดงเคลือบด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์เพื่อกำจัดโอโซนก่อน

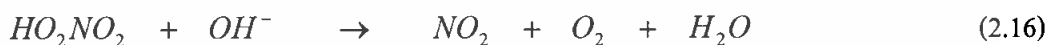
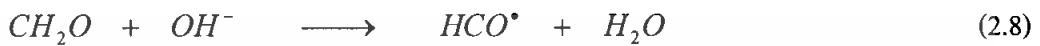
#### 2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เมื่อฟอร์มัลดีไฮด์เข้าสู่สิ่งแวดล้อมจะเป็น Secondary Pollutant ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อแล้วทำให้เกิดมลพิษทางอากาศชนิดอื่นอีก และฟอร์มัลดีไฮด์สามารถเกิดปฏิกิริยา Photolysis ได้ดังสมการ (Novelli, P.C. and et al, 1999)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.5 และ 2.7 จะเกิดผลิตภัณฑ์คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียรสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ดี จึงเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นอันตรายต่อมนุษย์อย่างมาก เนื่องจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถจับกับออกซิเจนในเฮโมโกลบินในเลือดได้ ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน ไปแลกเปลี่ยนในร่างกาย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์จากสมการที่ 2.5-2.7 ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ดังสมการที่ 2.8 – 2.16 (Sjaak Slanina, 2006)



จากปฏิกิริยาลูกโซ่จะเห็นว่า มีการเกิดกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ขึ้น ซึ่งกรดไนตริกจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เช่น แสบจมูก ทำลายเนื้อเยื่อ แล้วยังส่งผลกระทบต่อน้ำและดินเนื่องจากเมื่อมีฝนตกก็จะเกิดการชะละลายของกรดไนตริกในอากาศลงสู่ดินและน้ำ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดินและในน้ำ เมื่อนุ้มนุ้มน้ำนำมาใช้อุปโภคบริโภคก็จะได้รับกรดไนตริกไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณรงค์ คชภักดี, สมพร จันทระ และเพริศพิชญ์ คณาธารณา(2548)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอ็กซ์โพเซอร์ แชมเบอร์ และทำการศึกษาพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในอาคาร ซึ่งจะใช้อุปกรณ์คล้ายหลอดชนิดยาวมีความยาว 50 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ซึ่งทำด้วยโพลีโพรพิลีน แล้วบรรจุกระดาษกรองที่เคลือบด้วย 1 % ของสารละลายไบซัลไฟต์ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดเก็บตัวอย่างและปิดทับด้วยกระดาษกรองเทฟลอน เพื่อลดผลกระทบที่มาจากอนุภาคในอากาศ ก่อนใช้และหลังใช้ต้องเก็บอุปกรณ์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ การสกัดจะใช้น้ำปราศจากไอออนชะสารที่ต้องการสกัดออกมา

การเก็บตัวอย่างจะเก็บในเอ็กซ์โพเซอร์ แชมเบอร์ซึ่งควบคุมความเร็วลมให้เท่ากับ 1.8 เมตร/วินาที ความชื้นสัมพัทธ์ 50-75 % และอุณหภูมิเท่ากับ 25-30 °ซ ซึ่งใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้คือ 0.03 พีพีเอ็ม ให้ค่าความแม่นยำของความเข้มข้นที่ตรวจวัดที่ดีโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ร้อยละ 1.5 และพบว่าข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างคือเวลาที่รับสัมผัส โดยวิธีพาสซีฟจะใช้เวลาานกว่าการเก็บตัวอย่างแบบแอทีฟ และการรบกวนจากสารอื่นในสภาพอากาศที่มีความชื้นเหมือนกับสภาพอากาศจริง สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด, สาวิตรี กวีเวทย์, พจนีย์ ขุนมงคล (2005)

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่มีความสำคัญที่สุดในบรรยากาศซึ่งได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ ณ บริเวณย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดตั้งแต่เดือนตุลาคม 2004 ถึงเดือนมีนาคม 2005 บริเวณพื้นที่ตรวจวัดมีปริมาณการจราจรหนาแน่นประมาณ 10,000 คันต่อวัน ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฟอร์มาลดีไฮด์จะสูงกว่าอะซีตัลดีไฮด์ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23 และ 20 ppbv ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้แสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารทั้งสองชนิดนี้ โดยในเดือนมีนาคมซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนมกราคมประมาณ 6 0C จะให้ปริมาณของสารทั้งสองชนิดสูงกว่าประมาณ 10 ppb, นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าในวันทำการจะมีความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่าในวันหยุด ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดหลักของสารทั้งสองชนิดมาจากการปล่อยไอเสียของรถยนต์ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์พบว่าไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดในบรรยากาศ

N. Binding and U. Witting (1991)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการพัฒนาเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นพิษในอากาศ เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารเคมีพื้นฐานที่สำคัญในอุตสาหกรรมและใช้ประโยชน์อย่างมากในกระบวนการผลิตเรซิน และพลาสติก จึงมีการศึกษาจนพบและวัดค่าต่างๆภายในสถานที่ทำงานที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบ มลพิษของอากาศนอกอาคารและฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปล่อยจากอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งจะเก็บตัวอย่างอากาศด้วยอุปกรณ์พาสตีฟที่บรรจุสาร 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮโดรราซีน(DNPH)บนกระดาษกรองเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์จะเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรราโซนทันทีหลังจากดูดซับกับอะซิโตนไทล หากปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์ได้โดยเทคนิค HPLC ซึ่งใช้แสงยูวีในการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 345 นาโนเมตร ทำการเทียบมาตรฐาน ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟ การวิเคราะห์โดยอุปกรณ์พาสตีฟ สามารถแสดงเวลาและความเข้มข้นของการแพร่ของสารตัวอย่างได้ดี ค่าต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 0.05 มก./ลบ.ม./ชม. ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10% ซึ่งถือว่าเชื่อถือได้ ในการทดสอบอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านตัวหน้าของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างความหนืดต่ำสุดที่จำเป็นสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศ คือ 10 เมตร / วินาที

Buldt, A. and et al. (1998)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีใหม่ที่ใช้สำหรับการพัฒนาการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศแบบการแพร่ (Diffusive sampling) ซึ่งฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกเก็บตัวอย่างด้วยแผ่นกรองใยแก้ว ที่เคลือบด้วย N-methy-4-hydrazino-7-nitrobenzofurazan (MNBDH) และกรดฟอสฟอริก จะเกิดสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ ไฮโดรราโซน ซึ่งจะถูกระบายออกจากแผ่นกรองด้วย อะซิโตนไทล และนำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ด้วย ดีเทคเตอร์ ยูวี-วิซิเบิล ที่ความยาวคลื่น 474 นาโนเมตร อัตราการเก็บตัวอย่างคือ 24.7 มิลลิกรัมต่ออนาที ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7% จาก 48 ตัวอย่าง จากการทดลองพบว่า อัตราการเก็บตัวอย่างไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง 15-482 นาที ขีดจำกัดการวิเคราะห์ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 15 นาที คือ 70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ 2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง

Uchiyama, S. and Hasegawa, S. (1999)

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบการแพร่ (DSD-carbonyl) สำหรับการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิล (อัลดีไฮด์และคีโตน) ให้เหมาะกับการคัดเลือกและการวิเคราะห์ความเข้มข้นในระดับต่ำๆได้ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนการรับสัมผัส (exposure) ซึ่งทำมาจากหลอดพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PPTFE), ส่วนวิเคราะห์ทำมาจากพอลิพอฟีน (PP) และส่วนที่ดูดซึมคือ 2,4-DNPH ที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล อัลดีไฮด์และคีโตนจะแพร่ไปยังอุปกรณ์ DSD-carbonyl ผ่านหลอด PPTFE โดยกระบวนการแพร่ของโมเลกุลและทำปฏิกิริยาเฉพาะกับ DNPH เกิดเป็นอนุพันธ์ของDNPHที่เสถียร (DNPH-derivatives) การคัดเลือกถูกควบคุมโดยการเคลื่อนที่ของสารดูดซึมจากส่วนรับสัมผัสไปยังส่วนวิเคราะห์โดยการเปลี่ยนสภาพของ DSD-carbonyl อนุพันธ์ของ DNPH จะถูกชะจากส่วนวิเคราะห์ของ DSD-carbonyl ด้วยอะซิโตนในไทล โดยตรง และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ข้อดีของ DSD-carbonyl คือ 1) DSD-carbonyl ใช้กับสารประกอบอัลดีไฮด์และคีโตนในอากาศที่มีความเข้มข้นในช่วงกว้างได้ เนื่องจากส่วนที่รับสัมผัสของ DSD-carbonyl มีพื้นที่ในการแพร่ที่สามารถเปลี่ยนรูปได้ 2) อนุพันธ์ของ DNPH ถูกชะจาก DNPH ที่เคลือบด้วยซิลิกาโดยปราศจากสารรบกวนในอากาศ 3) ตัวอย่างถูกประยุกต์ใช้กับการเก็บตัวอย่างแบบเอกทีฟ โดยเชื่อมอุปกรณ์กับปั๊ม ชีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) ของอัลดีไฮด์และคีโตนอยู่ในช่วง 0.072-0.13 พีพีบี และชีดจำกัดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) คือ 0.24-0.42 พีพีบี ค่าความเบี่ยงเบนสำหรับความเข้มข้นของอัลดีไฮด์และคีโตน คือ 2.5-3.0 % ในอากาศในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทฤษฎี DSD-carbonyl และทฤษฎีการเก็บตัวอย่างแบบเอกทีฟ (USEPA method IP-6A) มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก (ฟอร์มัลดีไฮด์,  $r^2 = 0.995$ ) อัตราที่ดูดสารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์อัลดีไฮด์และคีโตน มีค่าประมาณ 0.078, 0.062 และ 0.079 มิลลิโมลต่อพีพีบีต่อชั่วโมง ตามลำดับความเข้มข้นของอัลดีไฮด์และคีโตนในบรรยากาศประมาณค่าเป็น พีพีบี ได้ด้วยการใช้ DSD-carbonyl ซึ่งมีความว่องไวและแม่นยำสูง

Jo, W-K. and Lee, J-W .(2001)

การศึกษานี้เป็นการประเมินค่าฟอร์มัลดีไฮด์และอะซิทัลดีไฮด์ที่ปล่อยจากยานพาหนะในเส้นทางการเดินทางตามความจริงที่เมืองแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย ได้แก่ วิธีการขนส่ง , ชนิดของรถโดยสารและการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล โดยมีรถยนต์โดยสาร 40 คันและรถโดยสารสาธารณะ 20 คันซึ่งเป็นรถใหม่ ทำการศึกษาเส้นทางการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางของรถทั้งสองชนิดเหมือนกัน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวพบว่าวิธีการขนส่งและชนิดของรถโดยสารมีผลต่อระดับของอัลดีไฮด์ที่ปล่อยจากยานพาหนะเล็กน้อย ในทางกลับกันฤดูกาลในการเดินทางมีผลต่อระดับของอัลดีไฮด์ที่ปล่อยจากยานพาหนะ ในขณะที่สัดส่วนความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์, อะซีทัลดีไฮด์ ของรถยนต์โดยสารและรถโดยสารสาธารณะคล้ายกัน ซึ่งความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์, อะซีทัลดีไฮด์ของรถทั้งสองชนิดที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กัน การศึกษานี้ได้มีการยืนยันภายใต้เงื่อนไขเส้นทางการเดินทางของประเทศเกาหลีใต้ ยานพาหนะของตอนกลางของประเทศเป็นส่วนสำคัญที่ปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์ โดยรถยนต์มีความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ 20 พีพีบีและความเข้มข้นของ อะซีทัลดีไฮด์ 8.9 พีพีบี ซึ่งใกล้เคียงกับรถโดยสารสาธารณะคือมีความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ 21.2 พีพีบีและความเข้มข้นของอะซีทัลดีไฮด์ 9.1 พีพีบี นอกจากนี้ระดับของฟอร์มัลดีไฮด์จากยานพาหนะยังสูงกว่าการศึกษาในแคลิฟอร์เนียก่อนหน้านี้อีกด้วย

Correa S.M., Martins E.M. and Arbilla G. (2003)

ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาข้อมูลของระดับฟอร์มัลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์ในบรรยากาศของเมือง Rio de Janeiro ซึ่งจัดทำขึ้นตั้งแต่วันที่ 4 ธันวาคม 1998 ถึงวันที่ 17 มกราคม 2001 ตัวอย่างทั้งหมด 28 ตัวอย่างจะถูกเก็บที่บริเวณเขตเมือง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแหล่งการปล่อยส่วนมากมาจากรถยนต์ พบว่ามีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 1.52 และ 54.31 พีพีบีและปริมาณของอะซีทัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 2.36 ถึง 45.60 พีพีบี สัดส่วนของอะซีทัลดีไฮด์ต่อฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีค่าสูง (0.76 ถึง 1.61) เป็นผลมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน ในเมืองบราซิลจะมีลักษณะพิเศษคือ ยานพาหนะจะใช้เอทานอล แก๊สโซฮอล์ (ผสมระหว่าง แก๊สโซลีนและเอทานอล 24 % โดยปริมาตร) และเชื้อเพลิงดีเซล การวิเคราะห์ปริมาณไอเสียของยานพาหนะและการเลียนแบบจำลองการตรวจวัดของคุณภาพอากาศในเดือนสิงหาคมและธันวาคมในปี 1999 สนับสนุนว่าระดับอะซีทัลดีไฮด์ที่สูงส่วนใหญ่มาจากการปล่อยโดยตรงจากรถยนต์และเกิดจากปฏิกิริยาเคมีออกซิเดชันด้วยแสงของสารประกอบอินทรีย์

Uchiyama, S., Aoyagi, S. and Ando M. 2004

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบอาศัยการแพร่ (Diffusive Sampling Device, DSD-DNPH) ได้รับการพัฒนาสำหรับเก็บตัวอย่างที่เป็นสารประกอบคาร์บอนิลในอากาศภายในอาคาร ทั้งหมด 21 ชนิด ในระดับความเข้มข้นส่วนในพันล้านส่วน (part per billion, ppb) ซึ่งอุปกรณ์ประกอบด้วยซิลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาเจลที่เคลือบด้วย DNPH ซึ่งเป็นสารดูดซับ มีหลอดโพลีเอทิลีนที่มีรูซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นเยื่อเลือกผ่าน (PSP- diffusive filter) และมีหลอดชนิดขนาดเล็กที่ทำมาจากโพลีพรอพิลีน (PP-reservoir) ซึ่งใช้สำหรับใส่สารที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากตัวดูดซับ เยื่อเลือกผ่านมีส่วนประกอบที่เป็นพื้นที่ผิวของหลอดในลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกจึงมีการรับสัมผัสในแนวรัศมี การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้จะนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับกรเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอกทีฟ จากผลการทดลองวิธีทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน (ฟอร์มลดีไฮด์  $R^2=0.992$ ) อัตราการเก็บฟอร์มลดีไฮด์ (71.9 มล./นาที่) พิจารณาจากการเปรียบเทียบกับทฤษฎีการเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟและอัตราการเก็บตัวอย่างของสารประกอบ คาร์บอนิลอื่นๆ ซึ่งคำนวณจากประสิทธิภาพการแพร่ของสารเหล่านั้น อัตราการเก็บตัวอย่างที่คำนวณได้มีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง การเก็บตัวอย่างมีการตรวจวัดผลของความเร็วลมที่มีต่อการเก็บตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนของมาตรฐานที่สัมพันธ์กันของความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์และความเข้มข้นของอะซีทัลดีไฮด์คือ 5.5% และ 8.6% ตามลำดับ ความเร็วที่ผิวหน้าจาก 0-5.0 เมตร/วินาที DSD-DNPH สามารถใช้ประมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลเฉลี่ยในช่วงเวลาได้ ความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์ประมาณจากทฤษฎีการเก็บตัวอย่างที่ใช้เวลาการเก็บ 7 วัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากทฤษฎีการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง ที่มีการตรวจวัดเกิน 7 วัน ซึ่งผลดังกล่าวยืนยันได้ว่าความเข้มข้นฟอร์มลดีไฮด์สามารถตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำภายใน 7 วันได้

Bertoni, G. and et.al. (2005)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารมลพิษในอากาศที่ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดฟอร์มลดีไฮด์และสารออกซิเจนไอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นหนึ่งในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (Part per billion by volume, ppb,) ในบรรยากาศทั่วไป ซึ่งตรวจจับโดยซิลิกาเจลที่เคลือบด้วย 1-methyl-1-(2,4-dinitrophenyl) hydrazine (MDNPH) เนื่องจากการใช้ MDNPH จะสามารถลดสารรบกวนการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยากับสารรบกวน 2 ตัวคือ ไอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งถ้าหากใช้ DNPH จะทำให้เกิดสารรบกวนมากกว่า 2 ชนิด จึงทำให้การวิเคราะห์หาสารประกอบฟอร์มลดีไฮด์ ไฮดราโซน ทำได้ยาก แต่ถ้าหากใช้ MDNPH จะเกิดสารประกอบแค่ตัวเดียวคือ N-methyl-2,4-dinitroaniline ส่วนสารที่จะทำการตรวจวิเคราะห์หาฟอร์มลดีไฮด์คือ HCHO-MDNPH (formaldehyde hydrazone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jiao, Z. and et.al.(2005)

เนื่องจากฟอร์มลดีไฮด์เป็นมลพิษภายในอาคารส่วนมากและมีการปล่อยสูงมากกว่ามาตรฐานระดับชาติในประเทศที่กำลังพัฒนาเช่น ประเทศจีน ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน ในงานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบฟอร์มลดีไฮด์จากมลพิษทางอากาศที่ถูกดูดซับโดยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ 25 °ซ ในการทดลองจะควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 0.01-0.3 กิโลโมลต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มลดีไฮด์ออกจากมลพิษทางอากาศ ในการทดลองนี้แสดงให้เห็นอิทธิพลของอัตราการดูดซับโดยอัตราการไหลของแก๊สและความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์ ความเข้มข้นของโซเดียมไบซัลไฟต์มีผลต่ออัตราการดูดซับน้อย และภาวะของฟอร์มลดีไฮด์จะลดลงถ้าความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์ใกล้เคียงหรือมากกว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ทฤษฎีแบบจำลองถูกพัฒนาและใช้ในการคำนวณอัตราการดูดซับซึ่งข้อมูลความล้มพันธ์ทั้งหมดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 15 % กระบวนการที่เป็นไปได้ของวิธีการดูดซับได้เสนอในงานวิจัยนี้ กระบวนการวิเคราะห์ที่แสดงเป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการนำ ฟอร์มลดีไฮด์ออกจากอากาศภายในอาคาร

Marchand, C., and et.al.(2006)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ภายในอาคารของสถานที่สาธารณะต่างๆ ได้แก่ สถานีรถไฟ ท่าอากาศยาน ศูนย์การค้า ห้องสมุด ที่จอดรถใต้ดิน ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศฝรั่งเศส ในการเพิ่มความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์ อะซีตัลดีไฮด์ โพรไพโอนัลดีไฮด์ ได้ถูกตรวจวัดในบ้านที่มีพื้นที่เหมือนกัน สถานที่เก็บตัวอย่างทั้งภายในและภายนอกอาคารตรวจพบความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์สูงที่สุด ซึ่งหาปริมาณของระดับก๊าซอัลดีไฮด์ได้จากการวิเคราะห์อนุพันธ์ของ DNPH โดยเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟีโดยใช้ยูวีเทคเตอร์ ความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ภายนอกอาคาร อยู่ในช่วง 1-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณสูงที่สุดถูกตรวจวัดคือที่ทำอากาศยานและสถานีรถไฟ ความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์ภายในอาคารขึ้นอยู่กับสถานที่ที่เก็บตัวอย่าง ในบ้านมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอร์มลดีไฮด์ที่ห้องนั่งเล่นเท่ากับ 37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ห้องนอน ความเข้มข้นเฉลี่ยของอะซีตัลดีไฮด์ที่ห้องนั่งเล่นเท่ากับ 15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ห้องนั่งเล่นและ 18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ห้องนอน ความเข้มข้นเฉลี่ยของโพรไพโอนัลดีไฮด์ที่ห้องนั่งเล่นเท่ากับ 1.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ห้องนั่งเล่นและ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ห้องนอน ห้องนอน ความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกซานอลที่ห้องนั่งเล่น เท่ากับ 9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ห้องนั่งเล่นและ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ห้องนอน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นสูงที่ตรวจวัดได้คือ 123, 80 และ 47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งตรวจพบในฟอร์มาลดีไฮด์ อะซีตัลดีไฮด์ และเฮกซานอล ตามลำดับ ในสถานที่สาธารณะพบความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดถึง 62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในห้องสมุด และความเข้มข้นของอะซีตัลดีไฮด์สูงสุดเท่ากับ 26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ศูนย์การค้า ฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดภายในรถยนต์ทั้งที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่หรือมีการจราจรหนาแน่นมีปริมาณพอกันกับในห้องที่มีควันจากบุหรี่ ซึ่งข้อมูลได้อภิปรายและเปรียบเทียบในการศึกษาก่อนหน้านี้

Arbilla, E.M., Bauerfeldt, G., and Paula, M. (2007)

งานวิจัยนี้เป็นการตรวจวัดความเข้มข้นของสารประกอบอัลดีไฮด์และBTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene) ที่ถูกปล่อยออกจากยานพาหนะที่มีการใช้เชื้อเพลิงจาก ethanol (14.6%), gasohol (78%) และแก๊สธรรมชาติ (Compressed natural gas, CNG) (7.4%) ในเมือง Tijuca บริเวณ Saens Pena Square เป็นเวลาหนึ่งปี ตั้งแต่ปี 2002-2003 ในการวิเคราะห์สารประกอบอัลดีไฮด์ ใช้หลักการวิเคราะห์ของ US EPA คือวิธีวิเคราะห์ TO-11A โดยใช้ คอลัมน์ C-18 ซึ่งเคลือบด้วย DNPH เป็นตัวจับสารประกอบอัลดีไฮด์ นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์การดักไอโซน ซึ่งเป็นสารรบกวนการวิเคราะห์สารประกอบอัลดีไฮด์ จากนั้นจะสกัดอนุพันธ์ของ DNPH ด้วยอะซิโตนโทล แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC และทำการพามาตรฐานตั้งแต่ความเข้มข้น 2-10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการตรวจวัด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 86 ตัวอย่างตั้งแต่เดือนเมษายนปี 2002 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ปี 2003 พบว่าปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์เฉลี่ยเท่ากับ 151 พีพีบี ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 64 พีพีบีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเท่ากับ 270 และ 95 พีพีบี ตามลำดับ ซึ่งค่ามากที่สุดพบในเดือนสิงหาคม ส่วนในเดือนพฤศจิกายนไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากมีฝนตก นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในเมืองอื่นๆ ตั้งแต่ปี 1978-2003 พบว่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในเมืองอื่นๆที่ได้มีการตรวจวัดมาก่อนหน้าเมือง Tijuca มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่าปี 2003 ที่เมือง Tijuca และสัดส่วนของฟอร์มาลดีไฮด์ต่ออัลดีไฮด์มีค่าน้อยกว่าปี 2003 ที่เมือง Tijuca เช่นกัน เนื่องมาจากในสมัยก่อนมีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่ต่อมาได้มีการเปลี่ยนมาใช้ CNG และ ethanol เป็นเชื้อเพลิงทำให้มีอัตราการปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น และในปัจจุบันได้มีการใช้ gasohol เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้จะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น ทำให้เกิดฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นพบว่ามาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile organic compound, VOC) และสารประกอบ อะซีทัลดีไฮด์ ซึ่งจะเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ และจากการศึกษานี้ ระดับฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นสูงจะพบได้ในตอนเช้าจากแหล่งกำเนิดปฐมภูมิ

Shinohara, N., and et.al. (2007)

Passive Flux Sampler (PFS) เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดภายในอาคาร อุปกรณ์เก็บตัวอย่างประกอบด้วยจานเพาะเชื้อที่เคลือบด้วยสารDNPH เริ่มต้นจากการเปิดงานแก้วของ PFS เพื่อเก็บตัวอย่างในสถานที่ที่ต้องการศึกษา เช่น พื้น, กำแพง, ประตู, ตู้, โต๊ะ, เติง เป็นต้น ฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกปล่อยจากวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดแพร่ผ่านเข้าไปข้างใน PFS และถูกดูดซับด้วยกระดาษที่เคลือบสาร DNPH อัตราการปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จะวัดได้จากปริมาณที่ถูกดูดซับค่าต่ำสุดที่วัดได้เมื่อระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง 2 ชั่วโมงคือ 9.2 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงและเมื่อระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมงคือ 2.3 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ความแม่นยำของอัตราการดูดซับของ PFS คือ 82.9% และ 8.26% ตามลำดับ ปริมาณอัตราการปล่อยของสารจะถูกวัดในแฮมเบอร์ ( $R^2 = 0.936$ ). แสดงให้เห็นว่าอัตราการปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดในห้องสามารถทำการวัดได้ และเปรียบเทียบได้กับการทดลองในแฮมเบอร์ โดยทำการวัดตัวอย่างที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดบนส่วนหน้าที่แตกต่างกันข้างใน PFS และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน อัตราการแพร่บนส่วนหน้าของชั้นอากาศใน PFS ชี้ให้เห็นมวลที่ผ่านเข้ามาจากแหล่งกำเนิดหรือการแพร่ของชั้นแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปล่อยจากแหล่งกำเนิด ในการศึกษาครั้งนี้วัดอัตราการปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์และแหล่งกำเนิดของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใหญ่ที่สุดสามารถพิสูจน์ได้จากเครื่องเรือนที่อยู่ในบ้าน โดยใช้ PFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. อุปกรณ์ปรับเทียบอัตราการไหลอิเล็กทรอนิกส์ (Ultra Flo™ Calibrator) ยี่ห้อ SKC
2. เครื่องเก็บตัวอย่างแบบส่วนบุคคล (Personal Air Sampling) รุ่น 224-PCXR4 ยี่ห้อ SKC พร้อมอุปกรณ์อิมพินเจอร์และแทรปเปอร์
3. เครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway
4. เครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) พร้อม Syringe ขนาด 50 ไมโครลิตร
5. เครื่อง Ultrasonic bath
6. อุปกรณ์สำหรับกรองสารละลาย 1 ชุด
7. ห้องทดสอบ (chamber) ขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร ปริมาตรอากาศ 120 ลบ.ซม. ทำจากสแตนเลส
8. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบอาศัยการแพร่
9. แผ่นกรองใยแก้วขนาด 203 x 254 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ADVANTEC
10. pH meter รุ่น Model 225 บริษัท Denver
11. ถ้วยกระเบื้อง
12. เทอร์โมมิเตอร์
13. นาฬิกาจับเวลา
14. ถุงพลาสติกซิปล็อค เทปใสและกล่องมีฝาปิด
15. ชุดเครื่องแก้วสำหรับไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 สารเคมี

1. ฟอर्मัลดีไฮด์ ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) 37% เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Mallinckrodt Baker , USA)
2. โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Fisher Scientific, UK)
3. โซเดียมไบซัลไฟต์ 1 % ( $\text{NaHSO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Mallinckrodt Baker, USA)
4. โซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Mallinckrodt Baker, USA)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท LAB-SCAN, Ireland)
6. โซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba, Italy)
7. กรดอะซิติก ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba, Italy)
8. สารละลายเมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) เกรด HPLC (บริษัท Carlo Erba, Italy)
9. สารละลายเอทานอล ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba, Italy)
10. สารละลายอะซิโตไนไตรล์ ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) เกรด HPLC (บริษัท Carlo Erba, Italy)
11. กรดซัลฟูริก 95% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Mallinckrodt Baker, USA)
12. กรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba, Italy)
13. สารละลาย 2,4-Dinitrophenylhydrazine ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_2$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท MAY&BAKER, UK)
14. กรดโครโมโทปิก ( $(\text{HO})_2\text{C}_{10}\text{H}_4(\text{SO}_3\text{Na})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba, Italy)
15. โพแทสเซียมไอโอไดด์ ( $\text{KI}$ ) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba, Italy)
16. น้ำปราศจากไอออน
17. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

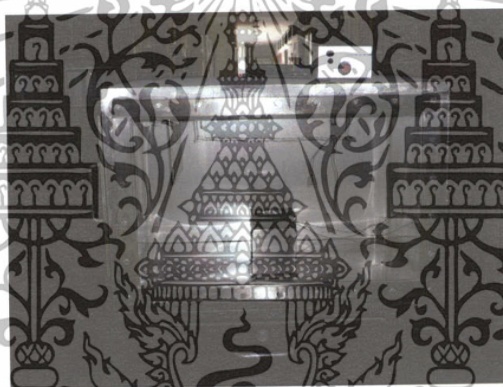
#### 3.3.1 การศึกษาสภาวะสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้น 37% ในห้องทดสอบ

##### 3.3.1.1 การทำความสะอาดและตรวจสอบการรั่วไหลของห้องทดสอบ

- เช็ดทำความสะอาดห้องทดสอบ
- ใช้ฟองสบู่ตรวจสอบการรั่วไหลของห้องทดสอบ หากพบการรั่วไหลใช้ซิลิโคนปิดรูรั่วให้ครบทุกจุด ทิ้งให้แห้ง และทำความสะอาดอีกครั้ง

##### 3.3.1.2 ทำการจำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบโดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้น 37 %

- เปิดสารละลายสต็อกฟอร์มัลดีไฮด์ 37 % จำนวน 0.5 มล. ใส่ถ้วยกระเบื้องตั้งทิ้งไว้ในห้องทดสอบ 5 นาที พร้อมทั้งเปิดพัดลมให้มีการระเหยและกระจายของไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบอย่างทั่วถึง



รูปที่ 3.1 ห้องทดสอบ

##### 3.3.1.3. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบ

- ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบนาน 120 นาที โดยให้อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 1 ลิตร/นาที เพื่อการวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธีตามมาตรฐานของ NIOSH 3500 (1994) โดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์จำนวน 20 มล. เพื่อเป็นสารดูดซับ ใส่ในขวดอิมพินเจอร์ 2 ชุด ชุดแรก (Front) และชุดที่สอง (Back) ในช่วงของการวิเคราะห์ได้ (Quantitative range) โดยตั้งเวลาการทำงานของปั๊มอย่างต่อเนื่องสำหรับเก็บตัวอย่างคือ 120 นาที และ 180 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

#### 3.3.1.4. นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์

- เมื่อทำการเก็บตัวอย่างครบ 120 นาที นำสารละลายตัวอย่างไปวัดปริมาตรด้วยกระบอกตวง บันทึกปริมาตร
- ปิเปิดสารละลายตัวอย่างมา 4 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง
- ปิเปิดสารละลายกรดโครโมโทรปิกเข้มข้น 1 % จำนวน 0.1 มล.
- เติมน้ำสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 95 % จำนวน 6 มล. ชั่วๆ ได้สารละลายสีม่วงใส
- นำสารละลายที่ผลิตไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
- ทิ้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เป็นรีเอเจนต์แบลนด์

#### 3.3.1.5. ทำการทดลองที่เวลาต่างๆ

- เพิ่มเวลาการเก็บตัวอย่างเป็น 360 นาที โดยตั้งเวลาการทำงานของปั๊มเป็นช่วงๆ คือ 180 นาที (ทำซ้ำตัวแปรละ 3 ซ้ำ)

### 3.3.2 การศึกษาสภาวะสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มก./มล. ในห้องทดสอบ

#### 3.3.2.1. ทำการจำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบโดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มก./มล.

ปิเปิดสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล. จำนวน 0.5 มล. ใส่ด้วยกระเบื้องตั่งทิ้งไว้ในห้องทดสอบ 5 นาที พร้อมทั้งเปิดพัดลม

#### 3.3.2.2. ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบนาน 2 ชั่วโมง โดยให้อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 1 ลิตร/นาที เหมือนกับการเก็บตัวอย่างในข้อ 3.3.1.2. โดยตั้งเวลาของปั๊มสำหรับเก็บตัวอย่างเป็น 60 และ 120 ลิตร/นาที

#### 3.3.2.3. นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์

ทำเหมือนการวิเคราะห์ในข้อ 3.3.1.3

#### 3.3.2.4. ทำการทดลองที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำเหมือนการวิเคราะห์ในข้อ 3.3.1.3

#### 3.3.2.4. ทำการทดลองที่เวลาต่างๆ

เพิ่มเวลาการเก็บตัวอย่างเป็น 180 และ 360 นาที โดยตั้งเวลาการทำงานของปั๊มเป็นช่วงๆ คือ 90 และ 180 นาที (ทำซ้ำตัวแปรละ 3 ซ้ำ)

### 3.3.3 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ

#### 3.3.3.1 การประกันคุณภาพของวิธีการเก็บตัวอย่าง

- ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างกันคือ 120, 180 และ 360 นาที โดยเก็บตัวอย่างตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 3.3.3.2 การประกันคุณภาพของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

- ปรับอัตราการไหลของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง ครั้งละ 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 3.3.3.3 การประกันคุณภาพของเครื่องมือวิเคราะห์

- ใช้สารละลายซูดซิมเป็นเบสองค์ในการเทียบสีของตัวอย่างของเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

#### 3.3.3.4 การลดการปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่าง

- ก่อนทำการเก็บตัวอย่างทุกครั้งต้องทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ที่ใช้กรองอากาศก่อนเข้าห้องทดสอบ เพื่อลดการปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนชนิดอื่นๆ ซึ่งจะถือว่าอากาศที่เข้ามาในห้องทดสอบเป็นอากาศที่สะอาด ไม่มีการปนเปื้อนแล้ว และหลังทำการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งต้องนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสทุกครั้งเพื่อให้สารประกอบคาร์บอนอื่นที่ถูกถ่านกัมมันต์จับไว้ระเหยออก จะได้เป็นถ่านกัมมันต์ที่สะอาดนำมาใช้ใหม่ในครั้งต่อไป

#### 3.3.3.5 การทำความสะอาดห้องทดสอบ

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบแล้ว ต้องทำความสะอาดทุกครั้ง เพื่อให้อากาศภายในห้องทดสอบสะอาดก่อนที่จะเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป ป้องกันการปนเปื้อนของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ภายในห้อง

- ทำการเป่าพัดลมในตู้ดูดควันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เช็ดทำความสะอาด
- ไล่อากาศในห้องทดสอบโดยการฉีดแก๊สใน โดรนเป็นเวลา 3 นาที
- ทำการสูมตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแยกทีฟและปรับอัตราการไหลเป็น 2 ลิตร/นาที ใช้เวลาการเก็บตัวอย่างและใช้เวลาที่ปั๊มทำงานเป็น 60 นาทีเท่าๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4.1 การเตรียมอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเอกทึฟ

- ทำการเก็บตัวอย่าง 2 บริเวณพร้อมกันคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 หน้าคณะวิทยาศาสตร์ และจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 บริเวณสี่แยกซอยจินดาโดยปรับเทียบอัตราการไหลให้มีค่าใกล้เคียง กันคือ 1 ลิตร/นาที
- เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 % 20 มล. จำนวน 2 ชุด ใช้ฟอยล์หุ้มขวด ให้มิดชิด
- เตรียมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1 % 20 มล. ใส่ในขวดอิมพินเจอร์ทั้ง 2 ขวด

### 3.3.4.2 การตั้งเก็บตัวอย่าง

- ต่ออุปกรณ์เก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทึฟดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฟอรั่มลดีไอต์ในบรรยากาศแบบเอกทึฟ

- ตั้งเวลาเก็บตัวอย่างและเวลาที่ปั่นทำงานเป็น 180 นาที โดยตั้งเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 9.00-12.00 น. และตั้งอุปกรณ์ให้สูงจากพื้น 1.2 เมตร
- วัดอุณหภูมิและ%ความชื้นก่อนเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่าง
- เมื่อทำการเก็บตัวอย่างครบ 3 ชั่วโมงให้ทำการวัดอุณหภูมิและ%ความชื้นหลังเก็บตัวอย่าง
- ปรับเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศหลังการเก็บตัวอย่าง
- ถ้าหากไม่ได้วิเคราะห์ตัวอย่างทันทีให้เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสโดยบรรจุตัวอย่างลงในขวดเก็บตัวอย่างที่มีฝาเทพลอนปิดสนิท

### 3.3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3

### 3.3.5 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไป

#### 3.3.5.1 การประกันคุณภาพของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

- ปรับอัตราการไหลของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง ครั้งละ 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 3.3.5.2 การประกันคุณภาพของเครื่องมือวิเคราะห์

- ใช้สารละลายดูดซึมเป็นแบลนด์ในการเทียบสีของตัวอย่างของเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

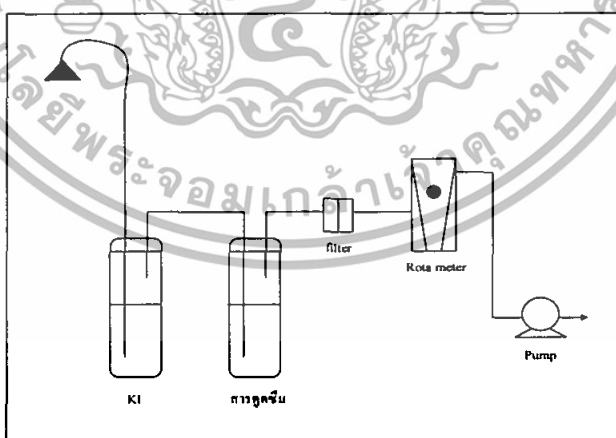
#### 3.3.5.3 การปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนอื่น

- ใช้สารละลายโซเดียมโบรไมด์ใส่หลอดทดลองจำนวน 20 มล. เป็นทริปแบลนด์ตลอดการเก็บตัวอย่างโดยปิดภาชนะให้สนิทไม่ให้สัมผัสอากาศและนำไปวิเคราะห์ดูปริมาณของสารประกอบคาร์บอนอื่น

#### 3.3.5.4 การป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับสารรบกวน

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างภายนอกอาคารหรือในบรรยากาศทั่วไปจะมีโอกาสเกิดสารรบกวนได้มาก ซึ่งในการเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์จะมีสารรบกวนคือ

- ไอโซน จะใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 % จำนวน 20 มล. ใส่ขวดอิมพินเจอร์และต่อกับทางอากาศเข้าดังภาพ



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศ

- แสงแดด ใช้ฟอยล์หุ้มขวดอิมพินเจอร์ทุกขวด เพื่อป้องกันแสงแดดที่จะทำให้ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์สลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปราย

#### 4.1 การศึกษาสถานะสำหรับเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบเบื้องต้น

ในการศึกษาทำการจำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบโดยใช้สารละลายสต็อกฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้น 37% (w/w) โดยปิเปตสารละลายจำนวน 0.5 มล. ใส่ถ้วยกระเบื้องตั้งทิ้งไว้ในห้องทดสอบ 5 นาที พร้อมทั้งเปิดพัดลม ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบนาน 120 และ 360 นาที โดยให้อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 1 ลิตร/นาที เพื่อการวิเคราะห์ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธีตามมาตรฐานของ NIOSH 3500 (1994) ในช่วงของการวิเคราะห์ได้ (Quantitative range) โดยตั้งเวลาการทำงานของปั๊มให้ทำงานอย่างต่อเนื่องและเป็นช่วงๆ คือ 120 และ 180 นาที ตามลำดับ ใช้สารละลายโซเดียมโบรไมด์ไฟต์เป็นสารดูดซับซึ่งจะสามารถจับฟอร์มัลดีไฮด์ไว้ได้ และนำไปทำให้เกิดสีกับกรดโครโม โทปิกเข้มข้น 1 % และนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร เทียบกับการเกิดสีของกราฟมาตรฐานจากสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ทำการหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว ตั้งตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทิฟที่มี ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น 37% (w/w) เป็นระยะเวลา 120 และ 360 นาที

เวลาเก็บตัวอย่าง (นาที)	เวลาที่ปั๊มทำงาน (นาที)	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	[HCHO] <sub>(g)</sub>		
			front	Back			ไมโครกรัม	มก./ลบ.ม.	$\bar{x} \pm SD$
120	120	1	1.389	0.046	60.5	28.6	151.54	12.96	14.29±3.01
		2	1.465	0.326	70.0	25.3	189.19	17.73	
		3	1.340	0.018	70.0	24.5	143.40	12.17	
360	180	1	1.128	1.392	57.5	26.4	266.29	16.08	16.26±0.72
		2	0.932	1.563	57.5	28.0	263.65	15.64	
		3	1.472	1.321	60.5	28.6	295.17	17.05	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแอททิฟที่ใช้สารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์เป็นสารดูดซึม ซึ่งจะทำการควบคุมความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 37% (w/w) ใช้ปริมาตร 0.5 มล.และแปรผันเวลาในการเก็บตัวอย่างจากการศึกษาพบว่าการใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37% (w/w) ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่วิเคราะห์ได้ยังมีค่าเกินขีดจำกัดของการวิเคราะห์ของเครื่องมือ คือ 143.4-295.2 ไมโครกรัม เนื่องจากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอททิฟตามมาตรฐานของ NIOSH 3500 (1994) สามารถเก็บตัวอย่างได้ในช่วง 2 ถึง 40 ไมโครกรัม ดังนั้นจากผลการทดลองความเข้มข้นที่ต่ำสุดที่ตรวจวัดได้คือ 12.17 มก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินช่วงที่เครื่องมือสามารถเก็บได้ จากการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่ำสุดพบว่าใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างเพียง 4 นาที จะมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์เกินขีดจำกัดหรือมีค่าเกิน 40 ไมโครกรัม นอกจากนี้เมื่อนำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ใส่ในห้องทดสอบและเปิดพัดลมนาน 5 นาทีก่อนเก็บตัวอย่าง เพื่อให้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยอยู่ในรูปของก๊าซปริมาณหนึ่ง จากสมบัติของฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าคงที่ของเฮนรีเท่ากับ  $3.27 \times 10^{-7}$  บรรยากาศ. ลบ.ม./โมล แสดงถึงการระเหยจากสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เกิดเป็นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศได้ค่อนข้างต่ำ ควรต้องใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นสูงเพื่อให้เกิดการระเหยเข้าสู่บรรยากาศให้ได้มาก แต่ในการศึกษานี้ไม่สามารถใช้สารละลายเริ่มต้นที่มีความเข้มข้นมากถึง 1,000,000 โมล/ลบ.ม.ได้ และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 37 % w/w ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์มากเกินขีดจำกัดสูงสุดของการวิเคราะห์ ดังนั้นจากการศึกษาเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ควรใช้ความเข้มข้นน้อยกว่า 37% นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เกินขีดความสามารถที่สารดูดซึมจะสามารถจับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้ เพราะค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในสารดูดซึมชุดที่ 2 (back) มีค่าสูงมาก (ภาคผนวก ค.) แสดงว่าสารดูดซึมไม่สามารถจับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้ทั้งหมด

#### 4.2 การเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอททิฟ

จากผลการทดสอบเบื้องต้น จึงลดความเข้มข้นของ สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 1 มก./มล. ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้อัตราการไหล 1 ลิตร/นาที ตั้งสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มก./มล. ในห้องทดสอบ เปิดพัดลมนาน 5 นาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 , 180 และ 360 นาที โดยให้ปัมทำงานเป็นช่วงๆ คือ 60 , 90 และ 180 นาที ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 1 มก./มล. ทำการเก็บตัวอย่างโดยให้การทำงานของปัมเป็นช่วงๆ เนื่องจากขีดจำกัดของแบตเตอรี่ของปัมที่มีอายุการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

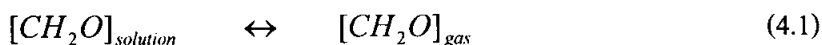
ใช้งานมานาน (แบตเตอรี่ไม่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าให้ประสิทธิภาพได้ 100 %) และเพื่อป้องกันความเข้มข้นของตัวอย่างมากเกินไปจนขีดความสามารถในการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทีพีทีมี  
ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น 1 มก./มล. เป็นระยะเวลา 120, 180 และ 360 นาที

เวลาที่เก็บตัวอย่าง (นาที)	เวลาที่ปั๊มทำงาน (นาที)	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	[HCHO] <sub>(g)</sub>		
			front	Back			ไมโครกรัม	มก./ลบ.ม.	$\bar{x} \pm SD$
120	60	1	0.027	0.002	50	29.0	2.10	0.49	0.80±0.27
		2	0.043	0.005	58	29.1	4.11	0.86	
		3	0.042	0.015	53	28.1	5.07	1.04	
180	90	1	0.056	ND	42	27.0	4.87	0.67	0.70±0.14
		2	0.048	ND	53	30	4.02	0.58	
		3	0.07	ND	42	27.4	6.35	0.86	
360	180	1	0.172	0.015	63	26.5	17.77	1.16	1.38±0.24
		2	0.196	0.017	45	26.8	20.52	1.36	
		3	0.250	0.019	53	27.4	26.44	1.63	

จากผลการทดลองพบว่าที่เวลาการเก็บตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นด้วยคือ 0.8 เป็น 1.38 มก./ลบ.ม. เวลาเก็บตัวอย่างที่ 120 นาทีที่มีความเข้มข้นมากกว่าที่เวลา 180 นาที เนื่องจากในห้องทดสอบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีผลต่อการเกิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ อีกทั้งในการทดลองในห้องทดสอบไม่สามารถควบคุมอัตราการปล่อยก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากสารละลายเริ่มต้นได้ จึงเป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นในแต่ละครั้งแตกต่างกัน และที่เวลาเก็บตัวอย่างที่ 360 นาทีที่มีความเข้มข้นมากเนื่องมาจากการเก็บก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์ทำให้สมดุลภายในห้องทดสอบเปลี่ยนไป กล่าวคือการเก็บตัวอย่างภายในห้องทดสอบทำให้ปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ปั๊มทำงาน เนื่องจากการเก็บตัวอย่างจะทำให้สมดุลในการเปลี่ยนสถานะของฟอร์มาลดีไฮด์จากสารละลายไปเป็นก๊าซมีสมดุลไปข้างหน้า แสดงดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อทำเก็บตัวอย่าง ปริมาณก๊าซที่มีอยู่ในตอนแรกจะถูกดึงไปทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมดุล (shift) ระหว่างสถานะของเหลวและก๊าซ ดังนั้นเพื่อเข้าสู่สมดุล สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์จะระเหยกลายเป็นก๊าซเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นยิ่งเวลาในการเก็บตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการระเหยก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สู่บรรยากาศในห้องทดสอบเพิ่มมากขึ้น และเกิดขึ้นได้ต่อเนื่อง จึงเป็นผลให้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้เพิ่มมากขึ้นไปได้ด้วย

### 4.3 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ

#### 4.3.1 การทำความสะอาดห้องทดสอบ

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบแล้วเพื่อป้องกันการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ ต้องทำความสะอาดทุกครั้ง เพื่อให้อากาศภายในห้องทดสอบสะอาด ปราศจากการปนเปื้อนของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนที่จะเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป ในช่วงแรกทำความสะอาดห้องทดสอบหลังการเก็บตัวอย่างโดยใช้สารละลายเริ่มต้น 37 % w/w โดยทำการเป่าพัดลมในห้องทดสอบให้อากาศออกมายังตู้ดูดควัน นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบหลังทำความสะอาดโดยใช้อัตราการไหล 1 ลิตร/นาทิตเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งวิธีนี้ไม่มีการไล่อากาศด้วยไนโตรเจน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างหลังการทำความสะอาด พบว่าการทำความสะอาดด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะสมเนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ยังคงมีมากขึ้นไป ยังมีการปนเปื้อนของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ 70.74 ไมโครกรัม ดังตารางที่ 4.3 นาที่ และเนื่องจากวันที่ทำการทดลองมีความชื้นสูงถึง 70.5 % จึงทำให้ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อาจมีการดูดซับเกาะตามผนังในห้องทดสอบและระเหยมาในอากาศ เมื่อทำการดูดอากาศภายในห้องทดสอบ จึงไม่สามารถไล่ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ออกไปได้หมด ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนวิธีการทำความสะอาดห้องทดสอบ โดยทำการเป่าพัดลมในตู้ดูดควันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เช็ดทำความสะอาดด้วยฟองน้ำชุบน้ำ และไล่อากาศในห้องทดสอบโดยการใช้แก๊สไนโตรเจนไล่อากาศภายในห้องทดสอบออกเป็นเวลา 3 นาที่และทำการสุ่มตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบหลังทำความสะอาดแล้ว โดยทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีเอกทิฟและใช้อัตราการไหลเป็น 2 ลิตร/นาที่ ใช้เวลาการเก็บตัวอย่างและเวลาที่ปั๊มทำงานเป็น 60 นาที่เท่าๆกัน โดยให้ปั๊มทำงานต่อเนื่อง ให้ตัวอย่างอากาศในการเก็บหลังทำความสะอาดเป็นตัวอย่างแบลงค์

ผลการสุ่มเก็บตัวอย่างแบลงค์โดยสุ่มเก็บในแต่ละตัวแปรคือเวลาของการเก็บตัวอย่างทุกๆ เวลา เวลาละ 1 ครั้ง เพื่อเทียบเป็นแบลงค์ของแต่ละเวลา จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าความเข้มข้นของ

ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์มีความเข้มข้นน้อยมาก มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ของเครื่องมือ ดังนั้นเทียบเท่ากับห้องทดสอบมีความสะอาดจากวิธีการทำความสะอาดแบบเดียวกันทุกครั้งก่อนทำการเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป และมีการนำค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลังทำความสะอาดแล้วไปลบกับความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้เพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจริงได้

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแยกที่หลัง ทำความสะอาดห้องทดสอบ ที่มีระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 , 180 และ 360 นาที

แบบจำลองสำหรับการเก็บ ตัวอย่างที่เวลา(นาที)	ค่าการดูด กลืนแสง		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	[HCHO] <sub>(g)</sub>	
	front	Back			ไมโครกรัม	มก./ลบ.ม.
120 ใช้ HCHO 37 %	0.564	0.107	70.5	24.5	70.74	0.60
120 ใช้ HCHO 1 มก./มล.	0.008	ND	40.5	29.2	0.73	0.01
180 ใช้ HCHO 1 มก./มล.	0.01	ND	60.5	28.4	0.94	0.01
360 ใช้ HCHO 1 มก./มล.	0.018	0.001	60.5	28.45	1.78	0.02

หมายเหตุ : \* ความเข้มข้นที่ได้มาจากวิธีการทำความสะอาดที่ไม่มีการใช้แก๊สไนโตรเจนไล่อากาศภายในห้อง ทดสอบ

#### 4.3.2 การลดการปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่าง

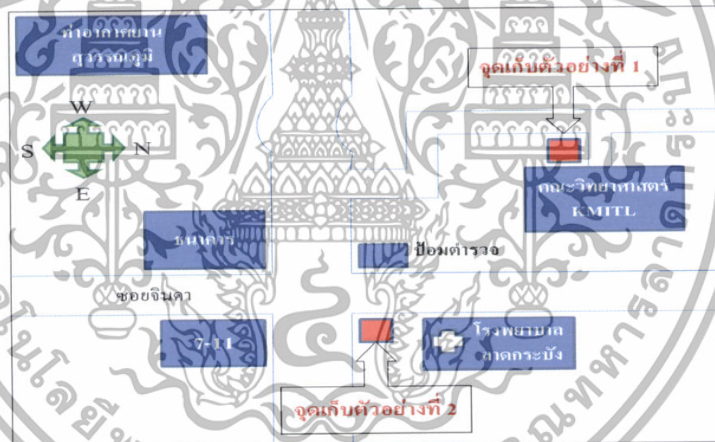
ขณะทำการเก็บตัวอย่างจะใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสารอินทรีย์ หรือกรองอากาศก่อนเข้าห้องทดสอบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนชนิดอื่นในอากาศ ดังนั้นอากาศที่เข้ามาในห้องทดสอบจึงเป็นอากาศที่สะอาดไม่มีการปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนอื่นๆที่สามารถจับกับสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์ได้ และการเก็บตัวอย่างทุกครั้งจะทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ทุกครั้ง เมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จจะนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารประกอบคาร์บอนที่ถูกดูดซับเอาไว้ระเหยออกจะได้ถ่านกัมมันต์ที่สะอาดกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การเก็บตัวอย่างในบรรยากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

ในการศึกษาใช้สถานที่เก็บตัวอย่าง 2 แห่งเปรียบเทียบกัน ใช้จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 คือ หน้าคณะวิทยาศาสตร์บริเวณป้อมยาม โดยใช้เป็นจุดที่ถือว่าบริเวณนี้มีการจราจรน้อย และจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 คือ สีแยกซอยจินดาบริเวณป้อมตำรวจเก่าริมถนนหน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง(ซอยลาดกระบัง 15) โดยถือว่าจุดเก็บตัวอย่างนี้ถือเป็นบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นพอสมควร

หลักเกณฑ์ในการเลือกสถานที่เก็บตัวอย่าง สำหรับจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 เนื่องจากทั้ง 2 จุดมีความสะดวกในเรื่องของสถานที่เก็บตัวอย่างและการขนย้ายของอุปกรณ์ นอกจากนี้บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์มีการจราจรไม่หนาแน่นมาก ส่วนบริเวณสีแยกซอยจินดา (ป้อมตำรวจเก่า) เป็นทางสี่แยกที่มีการจราจรหนาแน่นที่สุดในบริเวณเขตลาดกระบังและยังมีความเหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างเนื่องจากสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นไม่มีตึกสูงขวางทางลม สถานที่เก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.1



(ก.)



(ข.)



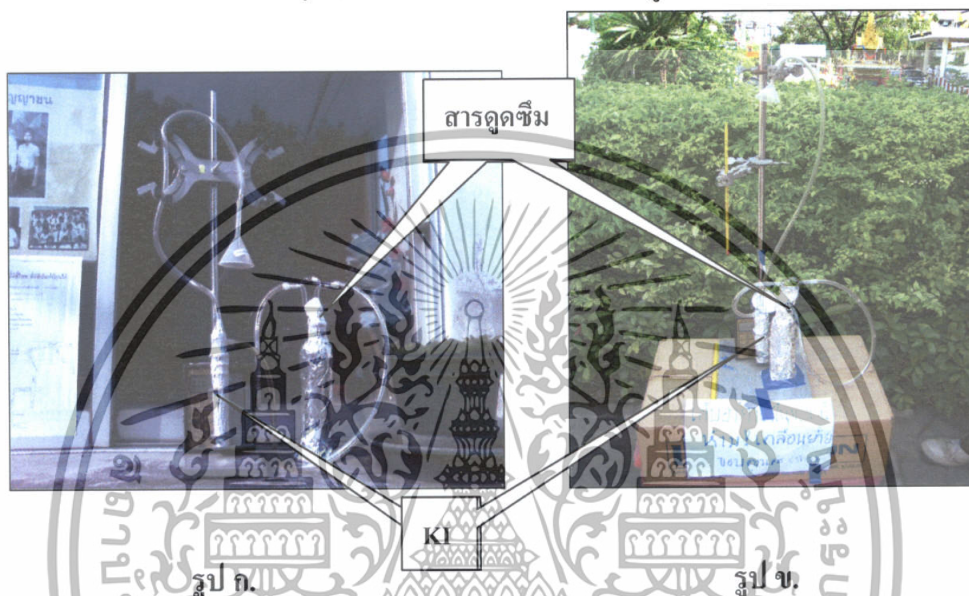
(ค.)

รูปที่ 4.1 แผนภาพสถานที่เก็บตัวอย่าง (ก.) และภาพสถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณหน้า

คณะวิทยาศาสตร์ (ข.) และที่แยกซอยจินดา (ค.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

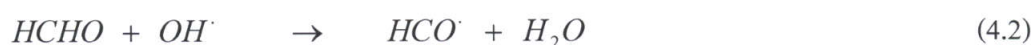
การเตรียมอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแอกทิฟทำการเก็บตัวอย่าง 2 บริเวณพร้อมกัน โดยปรับเทียบอัตราการไหลให้มีค่าใกล้เคียง กันคือ 1 ลิตร/นาที ใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 % จำนวน 2 ชุด ก่อนทำการเก็บตัวอย่างใช้ฟอยล์หุ้มขวดอิมพินเจอร์ให้มีทิศทางสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์และสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เพื่อป้องกันการรบกวนของไอโซนและสารประกอบ คาร์บอนิลอื่นๆที่อาจมีในบรรยากาศทั่วไปดังรูปที่ 4.2



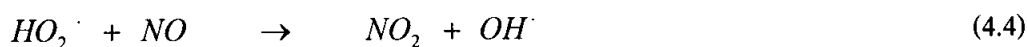
รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างภายนอกอาคาร

รูป ก. ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1  
รูป ข. ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2

การเก็บตัวอย่างจะเริ่มเก็บตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่จากรจรรหนาแน่นและเกิดสารมลพิษทุติยภูมิมากที่สุด เนื่องจากจะสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยแสงได้มากและสารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์ยังคงมีมากเพราะยังไม่สลายตัวหรือเป็นสารตั้งต้นในการเกิดเป็นโอโซน ถ้าหากช่วงกลางวันที่มีแดดจัดจะทำให้เกิดโอโซนมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของฟอร์มัลดีไฮด์ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าฟอร์มัลดีไฮด์สามารถสลายตัวด้วยแสง เกิดเป็นเรดิคัลซึ่งทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจนได้เป็นก๊าซโอโซน อีกทั้งก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าครึ่งชีวิต(ในแสงแดด) เพียงแค่ 1.6-19 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จึงสามารถสลายตัวได้ง่ายในบริเวณที่มีแสงแดด นอกจากนี้สาเหตุที่กล่าวมาแล้ว การใช้เครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลมีขีดจำกัดในเรื่องของแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานมานานไม่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าให้ประสิทธิภาพได้ 100 % ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีแอกทีฟในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นน้อยซึ่งต้องใช้เวลาทำงานของปั๊มอย่างต่อเนื่อง ในการศึกษาจึงใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 3 ชั่วโมงและให้ปั๊มทำงานอย่างต่อเนื่อง

สภาพอากาศในวันที่ 20 และ 21 กุมภาพันธ์ มีลักษณะท้องฟ้าเปิด มีลมพัดและอากาศเย็น ในวันที่ 22 และ 23 ท้องฟ้าเปิดแต่อากาศเริ่มอบอ้าว และในวันที่ 24 และ 25 อากาศร้อนอบอ้าว อุณหภูมิสูงแต่สำหรับวันที่ 25 ท้องฟ้าปิด มีเมฆมากและลมสงบ ส่วนสภาพการจราจรพบว่า ในวันที่ 20 และวันที่ 25 มีการจราจรติดขัดบริเวณสี่แยกบ่อยครั้ง และมีรถยนต์หนาแน่นมากที่สุด แต่ในวันที่ 21, 23 และ 24 การจราจรเบาบางเนื่องจากเป็นวันหยุดจึงมีปริมาณรถยนต์น้อย

จากผลการทดลองเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไปพบว่าในวันจันทร์-ศุกร์ซึ่งเป็นวันทำงาน มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 3.73-9.19 พีพีบี ซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่าวันหยุดคือ 2.47-5.24 พีพีบี ทั้งในย่านที่มีการจราจรหนาแน่นและการจราจรปกติ เนื่องมาจากในวันทำงานจะมีปริมาณการใช้ยานพาหนะอย่างหนาแน่นกว่าในวันหยุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากย่านที่มีการจราจรหนาแน่นต่างกันคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (หน้าคณะวิทยาศาสตร์) และจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 (บริเวณสี่แยกชอยจินดา) ทั้งในวันทำงานและในวันหยุดพบว่าบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นกว่าคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่าบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นน้อยโดยมีความเข้มข้นสูงสุดคือ 9.19 พีพีบีแต่ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีความเข้มข้นสูงสุดเพียง 5.54 พีพีบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังกล่าวจะพบว่าในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นกว่าจะสามารถตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากกว่า ซึ่งปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ยังมีค่าไม่ต่ำกว่าขีดจำกัดค่าสุดของวิธีเก็บตัวอย่างตามมาตรฐาน NIOSH 3500 คือ 0.5 ไมโครกรัม

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น.

วัน	ครั้งที่	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°ซ)	HCHO ที่วัดได้ (ไมโครกรัม)	[HCHO] ที่วัดได้ (พีพีบี)	$\bar{X} \pm SD$ พีพีบี
คณะ วิทยาศาสตร์	พ. 20 ก.พ.50 <sup>ก</sup>	38	26.5	1.15	5.54	4.24±1.10
	พฤ. 21 ก.พ.50 <sup>ข</sup>	41	25.5	0.52	2.47	
	ศ. 22 ก.พ.50 <sup>ก</sup>	45	27.0	0.94	4.19	
	ส.23 ก.พ.50 <sup>ข</sup>	41	27.3	0.94	4.25	
	อา.24 ก.พ.50 <sup>ข</sup>	41	32.0	1.15	5.24	
	จ. 25 ก.พ.50 <sup>ก</sup>	53	33.0	0.84	3.73	
สี่แยกชอย จินดา	พ. 20 ก.พ.50 <sup>ก</sup>	34	27.2	1.89	9.19	7.27±1.30
	พฤ. 21 ก.พ.50 <sup>ข</sup>	29	26.0	1.25	5.93	
	ศ. 22 ก.พ.50 <sup>ก</sup>	39	30.0	1.58	7.16	
	ส. 23 ก.พ.50 <sup>ข</sup>	42	31.0	1.47	6.59	
	อา.24 ก.พ.50 <sup>ข</sup>	43	35.0	1.36	6.26	
	จ. 25 ก.พ.50 <sup>ก</sup>	54	31.5	1.89	8.49	

หมายเหตุ : ก วันที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยตัวอย่างที่เก็บได้เป็นตัวแทนของตัวอย่างในวันที่มีการทำงานปกติหรือเทียบเป็นวันจันทร์-ศุกร์และมีการสัญจรมาก  
ข ทำการเก็บตัวอย่างอากาศซึ่งเทียบเป็นตัวแทนของตัวอย่างในวันหยุดหรือวันเสาร์-อาทิตย์ วันหยุดนักขัตฤกษ์และมีการสัญจรน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การประกันคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไป

##### การทำทริปแบลนค์ (Trip Blank)

ทำการสุ่มเก็บทริปแบลนค์ขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไปเพื่อตรวจสอบว่ามี การปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนิลขณะเคลื่อนย้ายหรือขณะเก็บตัวอย่างอากาศ โดยนำ สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ใส่ภาชนะบรรจุปิดสนิทไปยังสถานที่เก็บตัวอย่างพร้อมกับอุปกรณ์ ที่จะนำไปตั้งเก็บตัวอย่างด้วย และตั้งสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์นั้น ไว้ใกล้กับที่เก็บตัวอย่าง ปิด มิตรชิดป้องกันแสงแดด ซึ่งจากการสุ่มตรวจวัดแบลนค์พบว่าปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ ตรวจวัดมีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดที่ต่ำสุดได้ ของเครื่องมือและวิธีการเก็บตัวอย่างที่จะสามารถ วิเคราะห์ได้ แสดงว่ามีโอกาสปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนิลในทริปแบลนค์ได้น้อยมาก

#### 4.6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้กับมาตรฐานคุณภาพอากาศ

มาตรฐานคุณภาพอากาศในประเทศไทยและต่างประเทศที่มีการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานที่ทำงาน

มาตรฐาน	มาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานที่ทำงานของ ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์		ที่มา
	ค่าเฉลี่ยความ เข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน	
ไทย	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 3 ส่วนในล้านส่วน	กระทรวงแรงงานและ สวัสดิการสังคม
	30 นาที	ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน	
OSHA	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.75 ส่วนในล้านส่วน	Occupational Safety and Health Administration  (OSHA)
	15 นาที	ไม่เกิน 2 ส่วนในล้านส่วน	
ACGIH	Ceiling <sup>a</sup>	ไม่เกิน 0.3 ส่วนในล้านส่วน	The American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศพบว่าเป็นค่ามาตรฐานที่มีอยู่ทั้งในและต่างประเทศ เป็นค่าที่ตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศในสถานที่ทำงานเท่านั้น ไม่มีมาตรฐานคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศ แต่ในขณะนี้ประเทศออสเตรเลียกำลังศึกษาและตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ใช้เวลาการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง โดยค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้คือ 0.04 พีพีเอ็ม ซึ่งจะใช้เวลาในการศึกษา 8 ปี เพื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มากำหนดเป็นเกณฑ์มาตรฐานสากลในอนาคต (<http://www.ephc.gov.au/index.html>)

ในประเทศไทยมีงานวิจัยของสิริวรรณ เอี่ยมสะอาด , สาวิตรี การ์เวทย์ และ พงนิษฐ์ ขุมมงคล ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ในบริเวณชานชาลารถไฟฟ้าสถานีศาลาแดง ถนนสีลม ซึ่งมีการจราจรหนาแน่นประมาณ 10,000 คัน/วันจะทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2547 ถึงเดือนมีนาคม 2548 เป็นระยะเวลา 6 เดือน ในแต่ละเดือนทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 7 วันติดต่อกัน ตั้งแต่เวลา 8.00-20.00 น. วิธีการเก็บตัวอย่างอ้างอิงและคัดแปลงจาก US.EPA Method TO-5 เก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 0.4-0.6 ลิตร/นาที ระยะเวลาประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จากการศึกษาพบว่าฟอร์มาลดีไฮด์มีความเข้มข้นสูงกว่าอะซีตัลดีไฮด์ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 41 และ 29 ppbv ตามลำดับ. ฟอร์มาลดีไฮด์มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 7 - 74 ppbv และอะซีตัลดีไฮด์มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 6 - 61 ppbv ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมและต่ำสุดในเดือนมกราคม ความเข้มข้นของสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ในบรรยากาศขึ้นอยู่กับสภาพทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเร็วลม ความเสถียรภาพของอากาศ รังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศแบ่งเป็นการทดลอง 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบโดยศึกษาตัวแปรคือ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ คือ 37% w/w ส่วนที่ 2 การศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นคือ 1 มก./มล. ซึ่งศึกษาตัวแปรคือ เวลาที่เก็บตัวอย่างและเวลาการชักตัวอย่าง (เวลาที่ปั๊มทำงาน) และส่วนที่ 3 หาแนวโน้มของความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่จะสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในบรรยากาศ โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุดเปรียบเทียบกัน และเปรียบเทียบความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในวันจันทร์-ศุกร์ ซึ่งเป็นวันทำงานกับวันเสาร์-อาทิตย์

##### 5.1.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ

- ในการจำลองสถานการณ์การเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37% อัตราการไหล 1 ลิตร/นาที ใช้ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 และ 360 นาทีโดยให้ปั๊มทำงาน 120 และ 180 นาทีตามลำดับ ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้นเกินขีดจำกัดสูงสุดของวิธีตรวจวัด

##### 5.1.2 การศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

- ในการจำลองสถานการณ์การเก็บตัวอย่างในห้องทดสอบ โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล. อัตราการไหล 1 ลิตร/นาที ใช้ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 , 180 และ 360 นาทีโดยให้ปั๊มทำงาน 60 , 90 และ 180 นาทีตามลำดับ ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้นไม่เกินขีดจำกัดสูงสุดของวิธีตรวจวัด

##### 5.1.3 การเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศ

- ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่าบริเวณที่มีการจราจรเบาบาง
- ในวันจันทร์-ศุกร์จะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่าวันเสาร์-อาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการทดลองภายในห้องทดสอบไม่สามารถศึกษาปัจจัยภายนอกทั้งความเร็วลม ความชื้นและอุณหภูมิที่มีผลต่อก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างในภาคสนามควรระวัง และทำการศึกษาปัจจัยดังกล่าวเพิ่ม
2. อัตราการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละชุดการทดลองไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน จึงมีผลต่อการเก็บตัวอย่างในแต่ละชั่วโมงแตกต่างกัน
3. สารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์คาดว่าจะจะเป็นสารก่อมะเร็งและมีแนวโน้มในการฟุ้งกระจายในบรรยากาศทั่วไปมากขึ้น จึงควรมีการเฝ้าระวังในย่านการจราจรแออัด
4. วิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ตามมาตรฐาน NIOSH 3500 สามารถเก็บปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ได้ในช่วง 2-40 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง แต่ขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้คือ 0.5 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง กรณีที่ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศมีค่าต่ำกว่า 0.5 ไมโครกรัมต่อตัวอย่าง ควรใช้วิธีตามมาตรฐาน NIOSH 2016 โดยใช้ เป็นวิธีในการตรวจวัด ซึ่งจะสามารถตรวจวัดได้ในช่วง 0.23-37 ไมโครกรัม
5. ในการศึกษาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบควรใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 1 มก./มล. เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศ
6. วิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบโดยใช้สารละลายเข้มข้นเริ่มต้น 1 มก./มล. เหมาะกับใช้เปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ใน โรงงานที่มีความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ปริมาณสูงกว่าในบรรยากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.2541. **ฟอร์มัลดีไฮด์**.พิมพ์ครั้งที่ 2. [Online].แหล่งที่มา: <http://www.udru.ac.th/~pasak/formaldehyde.html>
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และกลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์.2547.การเก็บตัวอย่างอากาศ. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2**.พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ:โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ขนิษฐา สิริจามร , มธุรินทร์ สุทธิเชษฐ์ และสุรีย์พร ชื่นจิตต์ .2548. การผลิตอุปกรณ์พาสซีฟสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.โครงการพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต.สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม.คณะวิทยาศาสตร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณรงค์ คชภักดี , สมพร จันทระ และ เพรศพิชญ์ คณาธารณา.2005. การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟและเอกซ์ทอร์เนชันเนอร์สำหรับการหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในอาคาร. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน. วิธีเก็บตัวอย่างอากาศ. **เคมีสิ่งแวดล้อม2**. 103-105.
- นันทนา ชูฉัตร.2543.การเก็บอากาศและการตรวจวิเคราะห์.วารสารสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.19:15-24.
- สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด,สาวิตรี การ์ิเวทย์ และพจนีย์ ขุมมงคล .2005. อิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศที่มีต่อความเข้มข้นของสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ในเขตชุมชนเมือง. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Bertoni,G. Ciuchini,C.V.Di. Palo, M. Possanzini.2005. **Development of a passive sampler for long-term measurements of formaldehyde and total oxidants in air.** Chormatographic.61: 385-389.
- Budavari et al. 1989.**CHEMICAL AND PHYSICAL INFORMATION**. [Online]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111-c3.pdf>[2008, Feb10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Buldt,A., et al. 1999. **A diffusive sampling device for the determination of formaldehyde in air using N-methyl-4-hydrazino-7-nitrobenzofurazan (MNBDH) as reagent.** J. Environ. Monit.1:39-43.
- Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations.2007. **FORMALDEHYDE.** [Online].,Availablefrom:<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm#SectionNumber:1.1>[2008,Jan16]
- Correa,S.M.,et al. 2003. **Formaldehyde and acetaldehyde in a high traffic street of Rio de Janeiro,Brazil .**Atmospheric Environment.37 : 23-29.
- Daniel, J. Jacob.2000. **Heterogeneous Chemistry and Tropospheric Ozone.**Atmospheric Environment. 34:2131-2159.
- Dionex.1997. **Determination of Carbonyl Compounds by Reverse-phase High-Performance Liquid Chromatography.**Application Note 97.
- Hak1,C.,et al. 2005. **Intercomparison of four different in-situ techniques for ambient formaldehyde measurements in urban air.**Atmos. Chem. Phys.
- Jiao, Z.,et al. 2006. **Absorption of lean formaldehyde from air with Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> solution.**Journal of Hazardous Materials.134:176-182.
- Jo,W-K. and Lee, J-W.2001. **In-Vehicle Exposure to Aldehydes While Commuting on RealCommuter Routes in a Korean Urban Area.** Environmental Research .88:44-51.
- Keikaventures.2007. **Method 3500 Formaldehyde by Visible Absorption Spectrophotometry.** [Online]. Available from: <http://test.keikaventures.com/analyticalmethod.php?m=722>[2007,Sep20]
- Marchand,C.,et al.2006. **Aldehyde measurements in indoor environment inStrasbourg (France).** Atmospheric Environment.40:1336-1345
- Martins,E.M.,et al.2007. **Atmospheric levels of aldehydes and BTEX and their relationship with vehicular fleet changes in Rio de Janeiro urban area.**Chemosphere.67 : 2096-2103.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**METHOD TO5**[Online].,Availablefrom:<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-5.pdf>[2007,Nov5]

N. Binding and U. Witting.1991. **Evaluation of a passive sampler for airborne formaldehyde.**

National Environment Protection Council(NEPC) .2007.**Ambient Air quality standards.**

[Online]., Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.

Available from:

<http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/standards.html>[2008,Feb 20]

NIOSH Manual of Analytical Method.1994. **Method No 3500.** Fourth Editor. [Online].,

Available from: <http://www.cdc.gov/Niosh/nmam/pdfs/3500.pdf>

NIOSH Manual of Analytical Method.1994. **Method No2541.** Fourth Editor. [Online].,Available

from: <http://www.cdc.gov/Niosh/nmam/pdfs/2541.pdf>

NIOSH Manual of Analytical Method.2003. **Method No 2016.**Fourth Editor. [Online].,Available

from: <http://www.cdc.gov/Niosh/nmam/pdfs/2016.pdf>

Novelli, P.C., et al.1999. **Molecular hydrogen in the troposphere: Global distribution and budget.** *Journal of Geophysical Research.*

Ottenstein, P.2002. **Formaldehyde from Natural Gas Fired Reciprocating Engines and Turbines.***Air Pollution Testing.*

Shinohara,N.,et al.2007. **Passive flux sampler for measurement of formaldehyde emission rates .***Atmospheric Environment*,41: 4018-4028.

SKC Air Sampling Pumps.2008. **Personal Sampling Pumps.**USA,SKC Inc.

[Online].,Available from: <http://www.skcinc.com/index.asp>[2007,Oct 10]

U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration.2007.

**FORMALDEHYDE.**[Online].Occupational Safety & Health Administration. Available from: <http://www.osha.gov/SLTC/formaldehyde/index.html>[2007,Dec12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล.

เจือจางสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 37 % โดยปิเปตสารละลายมา 2.7 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร (สารละลายนี้เก็บได้ 3 เดือน) และต้องทำ Standardization

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล.

เจือจาง 1 มล. ของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล. ไปเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น ( ทำใหม่ทุกครั้งที่ทดลอง )

3. การเตรียมสารละลาย Sodium carbonate buffer

ละลาย แอนไฮดรัส โซเดียมคาร์บอเนต 80 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. และเติมกรดแกแลซีลอะซิดิก 20 มล. อย่างช้าๆ แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. การเตรียมสารละลาย Chromotropic acid

ละลาย 4,5-dihydroxy-2,7-naphthalenedisulfonic acid disodium salt 0.10 กรัม ในน้ำแล้วเจือจางเป็น 10 มล. กรองถ้าจำเป็น และควรเก็บในขวดแก้วสีชา ( ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์ )

5. การเตรียมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์

ละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1 กรัม ในน้ำ 100 มล. ( ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์ )

6. การเตรียม Mobile phase

ผสมน้ำปราศจากไอออนกับสารละลาย Acetonitrile ในอัตราส่วน 50 ต่อ 50

7. การเตรียมสารละลาย DNPH

ละลาย DNPH 0.2144 กรัม ในสารละลาย Acetonitrile 50 มล.

8. การเตรียมสารละลายที่ใช้ดูดกลืน 1% ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) จำนวน 13.6 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) 14.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 10 กรัม เมื่อละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงเทใส่ขวดวัดปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วันก่อนใช้ วัดค่าพีเอชและปรับให้เป็น  $6.8 \pm 0.2$  ด้วย NaOH 1 M หรือ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้หลายเดือนโดยใช้ขวดแก้วสีน้ำตาลที่มีฝาปิดและไม่ให้ถูกแดดส่องโดยตรง

## 2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ( เข้มข้น 1 มก./มล. )

### 2.1.) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ( potassium hydrogen phthalate,  $\text{KHC}_2\text{H}_4\text{O}_4$  ) ( $M_w = 204.23$ ) เข้มข้น 0.01 N นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลตชนิดรีเอเจนต์เกรด ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเคชิกเคเตอร์ แล้วชั่งมา 0.2042 กรัม นำมาละลายน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายนี้

ข. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)(Mw =40 กรัม/โมล) เข้มข้น 0.01 N

โดยทำการเตรียมสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10% ก่อน จาก ซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นของแข็งมา 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องใส่ลงบีกเกอร์จำนวน 100 มล. เวลาละลายจะเกิดความร้อนเกิดขึ้น ให้แช่บีกเกอร์ลงในน้ำเพื่อถ่ายเทความร้อน บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ลงในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีน

จากนั้นทำการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 N ที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยทำการต้มน้ำกลั่น 1000 มล. (ใส่ให้เกิน 1000 มล. เล็กน้อย) ในบีกเกอร์ขนาด 1ลิตร ให้เดือดประมาณ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ใช้กระจกนาฬิกาปิดปากบีกเกอร์ไว้ นำสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10% มา 4 มล. เติมนลงในบีกเกอร์แล้วใช้แท่งแก้วค่อยๆคน ไม่ให้เกิดฟอง ถ่ายสารละลายลงในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีจุกเกลียวปิด

\* สารละลายนี้ควรทำ standardization ทุกครั้งที่จะใช้ทดลอง

ค. เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ( Phenolphthalein )

ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.10 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 96% ปริมาตร 100 มล.

ง. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N

ปีเปตสารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลตมา 10 มล. ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มล. แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนนาน 20 วินาที บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ทำซ้ำ 3 ซ้ำ ( ปริมาตรที่ใช้แตกต่างกันไม่เกิน 0.10 มล. ) คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วติดฉลากความเข้มข้นที่แน่นอนไว้

## 2.2.) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก

ก. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 N

ปีเปตสารละลายกรดซัลฟิวริก 98 % มา 0.5435 มล. ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มล. จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N

ข. การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก 0.02 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เตรียมไว้มา 10 มล. ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มล. แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนนาน 20 วินาที บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ทำซ้ำ 3 ซ้ำ ปริมาตรที่ใช้แตกต่างกันไม่เกิน 0.10 มล. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก แล้วติดฉลากความเข้มข้นที่แน่นอนไว้

### 2.3) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล. ( ใช้ Standard Method NIOSH 2016 )

ก. การเตรียมสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล.

เจือจางสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37 % w/w โดยปิเปตมา 2.7 มล. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร ( สารละลายนี้อยู่ได้นาน 3 เดือน )

ข. เตรียมสารละลาย Sodium sulfite 1.13 M ( เตรียมสารละลายใหม่ๆ )

ชั่ง  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  มา 3.5606 กรัม ละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มล. ด้วยน้ำกลั่น

ค. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มก./มล.

ปิเปตสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  1.13 M มา 5.0 มล. ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มล. และกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก แล้วปรับ pH ของสารละลายเป็น 8.5-10 ด้วยสารละลายกรดหรือเบส บันทึก pH จากนั้นเติมสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 10 มล. จะได้ pH ประมาณ 11 จากนั้นไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริกที่หาความเข้มข้นที่แน่นอนประมาณ 0.02 N แล้ว ให้ pH กลับมาเท่าเดิมเหมือนตอนแรก บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต(1 มล. acid = 0.600 มก.  $\text{HCHO}$ ; ต้องการกรดประมาณ 17 มล. )

\* ถ้าหาก pH เกินจุดยุติ ให้ทำ back titration กลับไปจุดยุติด้วย  $\text{NaOH}$  0.01 N

#### การคำนวณ

1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยสารละลายโพแทสเซียม

##### ไฮโดรเจนพทาเลต

ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ (KHP)	0.2045 กรัม
ละลายในน้ำกลั่น 100 มล. ได้ความเข้มข้น	0.0100 นอร์มัล
ปริมาตรสารปฐมภูมิที่ใช้แต่ละครั้ง	10.00 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้ (มล.)
1	30.00	40.40	10.40
2	30.00	40.50	10.50
3	38.00	48.60	10.60
เฉลี่ย			10.50

คำนวณหา [NaOH]

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 0.0100 \text{ N} \times 10.00 \text{ มล.} &= N_2 \times 10.50 \text{ มล.} \\
 N_2 &= 0.0095 \text{ N} \\
 \text{ดังนั้น } [\text{NaOH}] &= 0.0095 \text{ N}
 \end{aligned}$$

## 2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารกรดซัลฟิวริก

$$\begin{aligned}
 \text{สารละลายมาตรฐานหุติยภูมิ } [\text{NaOH}] &= 0.0095 \text{ N} \\
 \text{ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้แต่ละครั้ง} &= 10.00 \text{ มล.}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้(มล.)
1	13.10	32.60	19.70
2	3.00	22.80	19.80
3	23.00	42.70	19.70
เฉลี่ย			19.73

คำนวณหา  $[\text{H}_2\text{SO}_4]$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 0.095 \text{ N} \times 19.73 \text{ มล.} &= N_2 \times 10.00 \text{ มล.} \\
 N_2 &= 0.0188 \text{ N}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้น } [\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.0188 \text{ N}$$

### 3. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

ซังโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )	3.5607 กรัม
ละลายในน้ำกลั่น 100 มล. ได้ความเข้มข้น	1.13 M
ปริมาตรสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้แต่ละครั้ง	5.00 มล.

#### ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	pH เริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	pH สิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้ (มล.)
1	0.00	9.94	17.00	9.97	17.00
2	17.00	9.95	34.20	9.95	17.20
3	30.00	9.91	47.15	9.94	17.15
		เฉลี่ย			17.12

คำนวณหา [HCHO]

$$\text{จาก } Cs = \frac{30.0(Na \times Va - Nb \cdot Vb)}{Vs}$$

เมื่อ น้ำหนักสมมูลของฟอร์มาลดีไฮด์ = 30.0 กรัม / กรัมสมมูลของฟอร์มาลดีไฮด์

$$Na = [\text{H}_2\text{SO}_4] 0.02 \text{ N} \quad Nb = [\text{NaOH}] 0.01 \text{ N}$$

$$Va = V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{ ที่ใช้ไทเทรต (มล.)} \quad Vb = V_{\text{NaOH}} \text{ ที่ใช้ back titration (มล.)}$$

$$Vs = V_{\text{stock}} \text{ FM (10 มล.)}$$

$$Cs = \frac{30.0(0.0188 \times 17.12)}{10}$$

$$Cs = 0.97 \text{ มก./มล.}$$

$$\text{ดังนั้น } [\text{HCHO}] = 0.97 \text{ มก./มล.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. วิธีเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างส่วนบุคคล

### 1.1 การปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (Flow Calibrations by Electronic Calibrators)

1. เปิดให้เครื่องปั๊มอากาศทำงานประมาณ 5 นาที เพื่อให้อัตราการไหลคงที่อ่านค่าโดยประมาณจากโรตاميเตอร์ (ลิตร/ชั่วโมง)

2. ตรวจสอบสภาพเครื่อง Ultra Flo™ ก่อนเปิดควรตรวจสอบว่าพร้อมใช้งานหรือไม่ เช่นมีแบตเตอรี่เพียงพอหรือไม่ น้ำสบู่สามารถเกิดฟองได้คือน้อย 3 ฟิล์ม เมื่อกดสปริง

3. ต่อมาตรวัดแบบฟองอากาศเคลื่อนที่กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลมาต่อให้สาย บนต่อกับอิมพินเจอร์ แทรปเปอร์ และเครื่องปั๊มตามลำดับ สำหรับสารละลายในอิมพินเจอร์ให้ใช้น้ำกลั่นแทน เปิดปั๊มให้มีอัตราการไหลของอากาศ 1000-2000 มล./วินาที สายล่างต้องต่อกับอากาศบรรยากาศเสมอ

4. กดสปริงเพื่อสร้างฟิล์มฟองสบู่ขึ้นลงอย่างรวดเร็ว กรณีที่ฟองสบู่แตกหรือมากน้อยจนประมวลผลไม่ได้ จะแสดงผลหน้าจอ EEEE

5. ทำการกดสปริงและปล่อยอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราการไหลต่างกันต้องสังเกตการณ์เกิดฟองให้เหมาะสมด้วย จะมีฟองสบู่เพียง 1 ฟองเท่านั้นที่เคลื่อนผ่านเซนเซอร์จึงให้ผลแม่นยำสูง ถ้ามีฟองเกิดมากให้กดและปล่อยสปริงใหม่จนกว่าจะได้ฟองที่เหมาะสมอ่านค่าที่แสดงผล ถ้าอัตราการไหลตรงตามความต้องการให้ถืออัตราการไหลของเครื่องปั๊ม แต่ถ้าไม่ได้ให้ปรับจนได้ตามต้องการ ทั้งช่วงอย่างน้อย 3 วินาที ก่อนตรวจสอบใหม่

### 6. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

6.1 ตั้งอัตราการไหลสูง (มากกว่า 750 มล./นาที) นำมาหาอัตราการไหลเฉลี่ย โดยทำการอ่านค่าอัตราการไหล 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (RSD) ประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่างอากาศตามปริมาตรที่ต้องการ ใช้การพิจารณาจากค่า %RSD ของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศโดยค่าที่ได้ควรน้อยกว่า 10 % และอัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างไม่ควรต่างกันเกิน 10% เช่นกัน ถ้าค่าที่ได้มากกว่าค่าที่กำหนดต้องตรวจสอบอุปกรณ์เช่นพลังงานของแบตเตอรี่ แผ่นกรองก่อนเข้าปั๊มมีการอุดตันของอนุภาคหรือไม่ ค่าต่างๆสามารถหาได้ดังสมการ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (2)$$

$$\%RSD = \frac{SD \times 100}{\bar{X}} \quad (3)$$

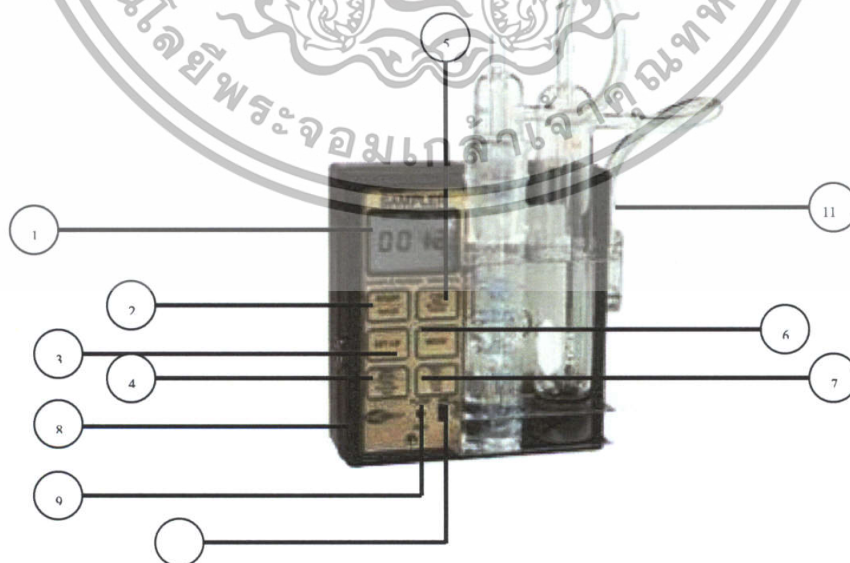
6.2 ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 6.1 แต่ให้ตั้งอัตราการไหลต่ำ (น้อยกว่า 750 มล./นาท) โดยปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องมือ และมีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลต่ำ (Low Flow Controller) และหาค่าทางสถิติเช่นกัน

6.3 การทดสอบอัตราการไหลที่คงที่ (Constant Flow) ให้ตั้งโปรแกรมให้เครื่องเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา (Sample Period) 2 ชั่วโมงแต่ทำการซัดตัวอย่างเพียง 1 ชั่วโมง (Pump period) ทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง อ่านปริมาณน้ำกลั่นในอิมพินเจอร์ที่เหลือ โดยทดลองกระบอกตวงหาปริมาณน้ำที่หายไปและบันทึกผลการทดลอง

## 1.2 การใช้งานเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล

### 1. การ Set up เครื่อง SKC Cat. no. 224-PCXR8

- ตรวจสอบแบตเตอรี่ก่อนใช้งาน (ต้องชาร์จแบตเตอรี่ก่อนใช้งานอย่างน้อย 1 ชม. โดยต่อสายกับกระแสไฟ AC ที่ช่องตำแหน่งที่ 8



รูปที่ ข-1 ส่วนประกอบของเครื่องปั๊มอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การตั้งอัตราการไหลสูง (750-5000 มล./min)

- ทดสอบแบตเตอรี่โดยเปิด ON/OFF (ตำแหน่งที่ 10) ปุ่มทำงาน
- กดปุ่ม START/HOLD (ตำแหน่งที่ 2) ปุ่มหยุดทำงานหน้าจอแสดง Hold
- กดปุ่ม FLOW AND BATTERY CHECK (ตำแหน่งที่ 5) หน้าจอแสดง BATT OK
- ทำการปรับเทียบอัตราการไหลกับ Ultraflo Electronic Calibrator ตามที่ต้องการ
- ใช้ไขควงปรับตรง Flow Adj. (ตำแหน่งที่ 9) ให้อัตราการไหลตรงโดยดูจากโรตاميเตอร์ (สเกลหยาบ)
- กดปุ่ม FLOW AND BATTERY CHECK อีกครั้ง หน้าจอแสดงว่า Hold

## 3. การตั้งโปรแกรมเก็บตัวอย่าง

- กดปุ่ม Set up (ตำแหน่งที่ 3) หน้าจอจะแสดง Delayed Start
- กดปุ่ม Digit Select (ตำแหน่งที่ 4) เพื่อเลือกตำแหน่งว่าจะให้เริ่มเก็บตัวอย่างในหลัก หน่วย , สิบ , ร้อย หรือพัน
- กดปุ่ม Digit Set (ตำแหน่งที่ 7) เช่น 5 นาที กดให้ขึ้น 0005 ตัวเลข 5 จะขึ้นแบบกระพริบ
- กดปุ่ม MODE (ตำแหน่งที่ 6) หน้าจอจะแสดง Pump period เช่นต้องการ 60 นาที ให้กดปุ่ม Digit Select ให้เลข 6 ขึ้นหน้าจอ 0060
- กดปุ่ม MODE หน้าจอจะแสดง Pump period ถ้าต้องการเก็บตลอดเวลา 60 นาที ให้กดปุ่ม Digit Select และ Digit Set เหมือนเดิม แต่ถ้าต้องการเก็บเป็นช่วงเวลา เช่นต้องการให้มีการชักตัวอย่างด้วยปั๊ม 60 นาที ในช่วงเวลาตลอด 8 ชั่วโมงเครื่องจะประมวลผลและควบคุมให้เป็นวงจรงเองโดยอัตโนมัติ
- ตรวจสอบว่าติดตั้งปั๊ม, สาย , การเก็บตัวอย่าง (แบบ Filter, Impinger หรือ Sorbent tube) เรียบร้อย
- กดปุ่ม MODE เครื่องพร้อมจะทำงานตามลำดับขั้นตอน

## 4. การเก็บตัวอย่าง

- ขณะนี้หน้าจอจะแสดง HOLD อยู่
- กดปุ่ม START/HOLD หน้าจอจะแสดง Delayed Start (กระพริบ) ตามเวลาที่ตั้งไว้ เมื่อครบเวลาจะแสดง Sample running โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

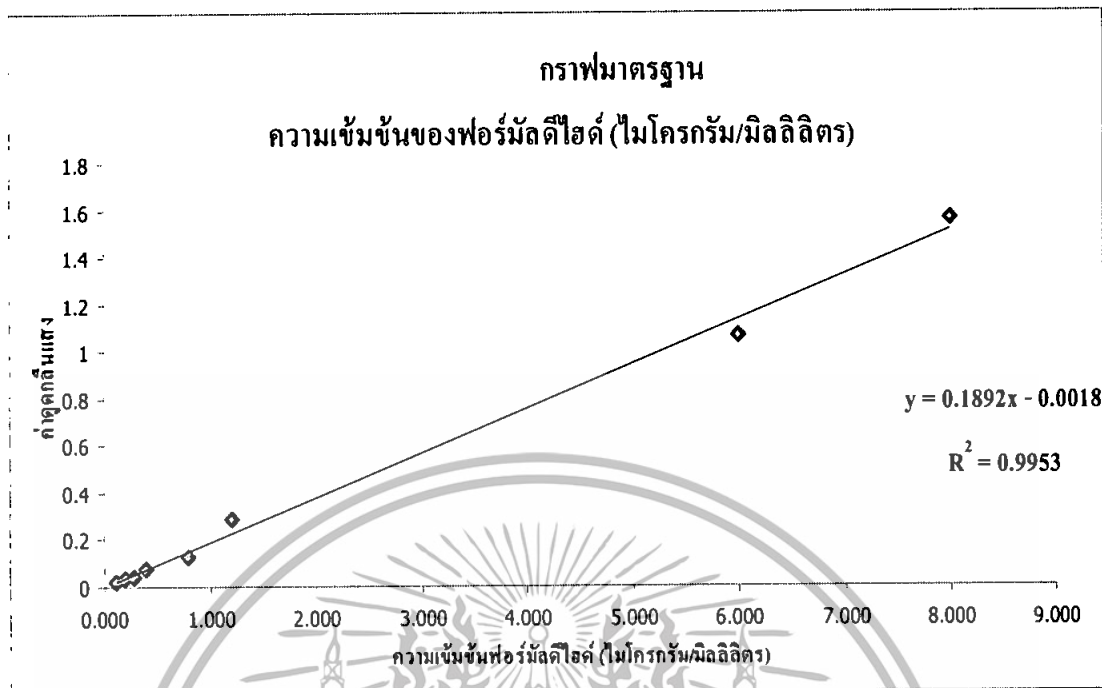
### การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ (Niosh Method 3500)

ปีเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ดังตารางที่ ข-1 ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์ 1% จนถึงขีดวัดปริมาตร ปีเปตสารละลายข้างต้นมา 4 มล. เติมสารละลายกรดโครมาโทปิก ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสี 0.1 มล. จากนั้นเติมกรดซังฟูริกเข้มข้น 96% ปริมาตร 6 มล. และนำไปให้ความร้อนที่ 96 °ซ เป็นเวลา 15 นาที เมื่อทิ้งให้เย็นแล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร จึงได้กราฟมาตรฐานที่นำมาใช้คำนวณหาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในการทดลอง

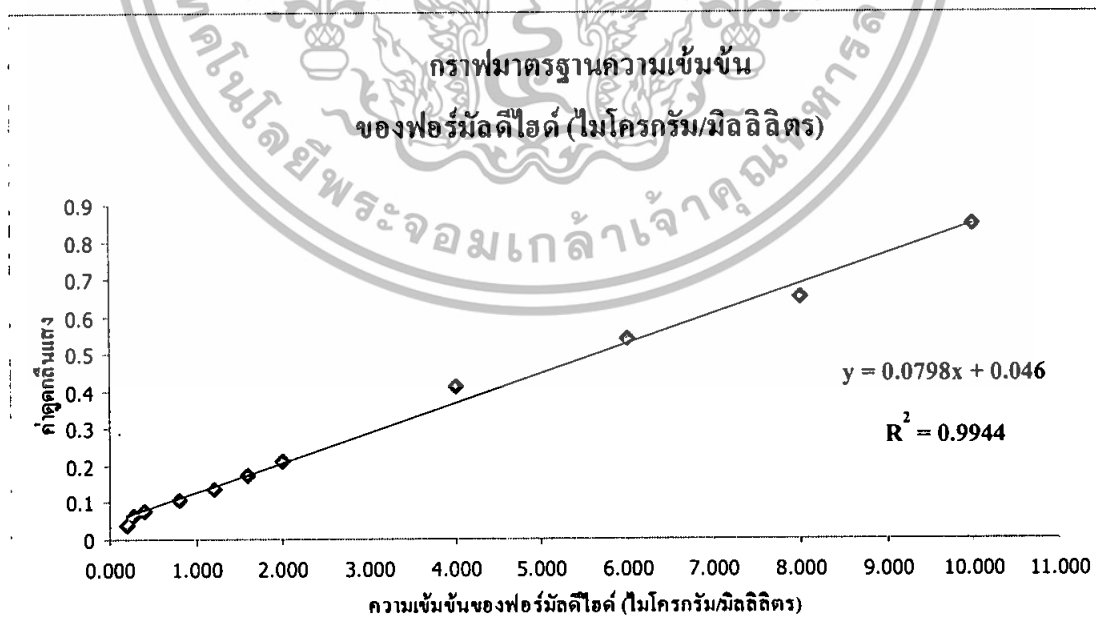
### ตารางที่ ข-1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ เข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (มล.)
0.04	0.10
0.12	0.30
0.20	0.50
0.28	0.70
0.40	1.00
0.80	2.00
1.20	3.00
6.00	15.00
8.00	20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

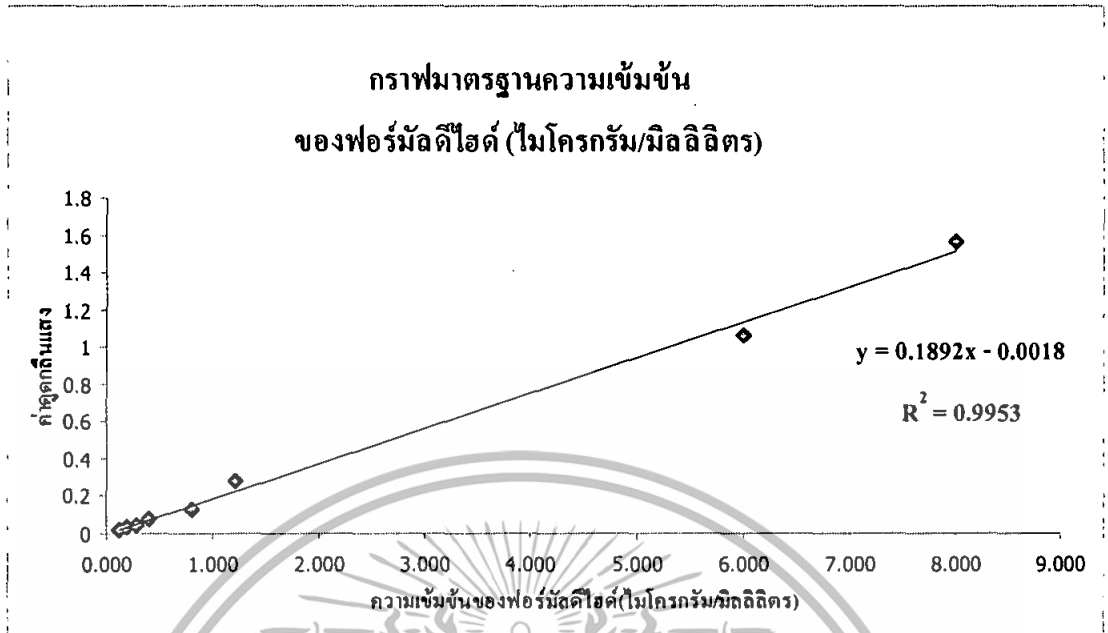


รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ครั้งที่ 1



รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-4 กราฟมาตรฐานใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทีฟที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 37% (w/w)

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณอากาศ ที่ทำการทดลอง	ปริมาณอากาศที่ สถานะมาตรฐาน	[HCHO] <sub>(g)</sub>		
			ไมโคร กรัม	มก./ ลบ.ม.	ทีพีเอ็ม
P-120-120-1	116.97	119.65	151.54	12.96	10.53
P-120-120-2	106.73	109.45	189.19	17.73	14.41
P-120-120-3	117.86	120.58	143.40	12.17	9.89
P-180-360-1	165.61	170.45	266.29	16.08	13.07
P-180-360-2	168.56	173.69	263.65	15.64	12.72
P-180-360-3	173.07	179.47	295.17	17.05	13.87

หมายเหตุ : P หมายถึง ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น 37%

ตัวเลขค่าแรก หมายถึง ระยะเวลาที่ปัมทำงาน (นาที)

ตัวเลขค่าที่สอง หมายถึง ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศ (นาที)

ตัวเลขค่าที่สาม หมายถึง ครั้งที่ทำการทดลอง

ตารางที่ ก-2 ความเข้มข้นก๊าซฟอรั่มัลดีไฮด์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอกทีฟที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น  
1 มก./มล.

รหัสตัวอย่าง	ปริมาตรอากาศ ที่ทำการทดลอง	ปริมาตรอากาศที่ สถานะมาตรฐาน	[HCHO] <sub>(g)</sub>		
			ไมโคร กรัม	มก./ ลบ.ม.	พีพีเอ็ม
D-60-120-1	58.82	56.64	2.10	0.49	0.40
D-60-120-2	58.27	56.10	4.11	0.86	0.70
D-60-120-3	57.60	55.63	5.07	1.04	0.84
D-90-180-1	87.65	84.98	4.87	0.67	0.55
D-90-180-2	86.66	84.32	4.02	0.58	0.47
D-90-180-3	87.01	84.23	6.35	0.86	0.70
D-180-360-1	171.64	166.68	17.77	1.16	0.94
D-180-360-2	166.80	161.79	20.52	1.36	1.11
D-180-360-3	176.56	171.17	26.44	1.63	1.33

หมายเหตุ : ND หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

D หมายถึง ความเข้มข้นฟอรั่มัลดีไฮด์เริ่มต้น 1 มก./มล.

ตัวเลขค่าแรก หมายถึง ระยะเวลาที่ปัมทำงาน (นาที)

ตัวเลขค่าที่สอง หมายถึง ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศ (นาที)

ตัวเลขค่าที่สาม หมายถึง ครั้งที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรั่มัลดีไฮด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีแอกทีฟหลังการทำ  
ความสะอาดห้องทดสอบ

รหัสตัวอย่าง	ปริมาตรอากาศ ที่ทำการทดลอง	ปริมาตรอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน	[HCHO] <sub>(๑)</sub>		
			ไมโคร กรัม	มก./ ลบ.ม.	พีพีเอ็ม
Clean P-120-120-1	119.70	117.02	70.74	0.60	0.50
Clean D-60-120-1	116.45	112.07	0.73	0.01	0.005
Clean D-90-180-1	117.21	113.10	0.94	0.01	0.006
Clean D-180-360-1	104.98	101.29	1.78	0.02	0.014

หมายเหตุ : ND หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

Clean หมายถึง การทำความสะอาดห้องทดสอบ

D หมายถึง ความเข้มข้นฟอรั่มัลดีไฮด์เริ่มต้น 1 มก./มล.

P หมายถึง ความเข้มข้นฟอรั่มัลดีไฮด์เริ่มต้น 37%

ตารางที่ ค-4 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากการเก็บในบรรยากาศทั่วไป เป็นระยะเวลานาน 3 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น. ทำการเก็บตัวอย่างที่หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณอากาศ ที่ทำการทดลอง	ปริมาณอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน	[HCHO] <sub>๑</sub>		
			ไมโคร กรัม	มก./ ลบ.ม.	พีพีเอ็ม
KMITL(1)20.02.08	173.56	169.24	1.15	0.0068	5.54
KMITL(2)21.02.08	174.09	170.32	0.52	0.0030	2.47
KMITL(3)22.02.08	187.65	182.67	0.94	0.0052	4.19
KMITL(4)23.02.08	185.00	179.94	0.94	0.0052	4.25
KMITL(5)24.02.08	186.67	178.74	1.15	0.0064	5.24
KMITL(6)25.02.08	190.29	182.20	0.84	0.0046	3.73

หมายเหตุ : KMITL หมายถึง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จากการเก็บในบรรยากาศทั่วไป เป็นระยะเวลาาน 3 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น. ทำการเก็บตัวอย่างที่ซอยลาดกระบัง 15 ถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณอากาศ ที่ทำการทดลอง	ปริมาณอากาศ ที่สถานะ มาตรฐาน	[HCHO] <sub>(๑)</sub>		
			ไมโคร กรัม	มก./ ลบ.ม.	พีพีบี
Jinda(1)20.02.08	172.28	167.57	1.89	0.011	9.19
Jinda(2)21.02.08	175.72	171.63	1.25	0.007	5.93
Jinda (3)22.02.08	185.67	178.96	1.58	0.009	7.16
Jinda (4)23.02.08	188.73	181.31	1.47	0.008	6.59
Jinda (5)24.02.08	186.93	177.25	1.36	0.008	6.26
Jinda (6)25.02.08	189.12	181.38	1.89	0.010	8.49

หมายเหตุ : Jinda หมายถึง ซอยลาดกระบัง 15 ถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยก๊าซฟลูออรีนของวิธีแอกทีฟที่ความเข้มข้นเมื่อเริ่มต้นทางทฤษฎี 1 มก./มล. ครั้งที่ 3

### ข้อมูลทั่วไป

อัตราการไหล	0.97	ลิตร/นาที
เวลาที่เก็บตัวอย่าง	120	นาที
เวลาที่ปั๊มทำงาน	60	นาที
ความเข้มข้นของฟลูออรีน	1	มก./มล.
น้ำหนักของถ่านกัมมันต์	70	กรัม

### 1. สภาวะที่เก็บตัวอย่าง

สภาวะที่เก็บตัวอย่าง	ก่อน	หลัง	เฉลี่ย	หน่วย
ความดัน	0.976	0.976	0.976	มิลลิเมตรปรอท
อุณหภูมิ	29.5	28.7	29.1	องศาเซลเซียส
ความชื้น	52	64	58	%

### 2. ปริมาตรอากาศที่สภาวะการทดลอง

$$\begin{aligned} \text{จาก } Q &= V/T \\ V &= 0.97 \frac{L}{\text{min}} \times 60 \text{ min} \\ &= 58.27 \text{ L} \end{aligned}$$

∴ ดังนั้นปริมาตรอากาศที่เก็บได้เท่ากับ 58.2 L

### 3. ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (V<sub>std.</sub>)

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ V_{std.} &= \frac{0.976 \text{ atm} \times 58.27 \text{ L} \times 298.15 \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 302.3 \text{ K}} \\ V_{std.} &= 56.10 \text{ L} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)	ค่าดูดกลืนแสง, y	ความเข้มข้น, x (ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร)	ปริมาณฟอร์ มัลดีไฮด์, x (ไมโครกรัม)
ตัวอย่าง (front)	20	0.043	0.22	4.4
ตัวอย่าง (back)	20	0.005	0.02	0.4

## การคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

จากราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรง  $y = 0.189x - 0.001$

เส้นแนวโน้มมีค่าเท่ากับ  $R^2 = 0.995$

หาค่า x จาก  $x = \left( \frac{y - 0.001}{0.1891} \right) \times 20$  ไมโครกรัม

จาก  $C_{HCHO} = \frac{M_f + M_b - 2M_B}{V_{std}}$

เมื่อ  $M_f$  = ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (front)

$M_b$  = ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (back)

$M_B$  = ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้เป็นเบสคง

$V_{std}$  = ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

$$C_{HCHO} = \frac{(4.4 + 0.4) - 0}{56.10}$$

$$= 0.085 \quad \text{ไมโครกรัม/ลิตร}$$

$$C_{HCHO} = 0.085 \quad \text{มก./ลบ.ม.}$$

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทำการเจือจาง 10 เท่า ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงต้องคูณด้วย 10

$$C_{HCHO} = 0.085 \times 10 \quad \text{มก./ลบ.ม.}$$

$$C_{HCHO} = 0.85 \quad \text{มก./ลบ.ม.}$$

$$= 0.85/1.23$$

$$C_{HCHO} = 0.7 \quad \text{พีพีเอ็ม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลการทดสอบอัตราการไหลทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล รุ่น 224-PCXR4 บริษัท SKC

ตารางที่ค-6 การทดสอบอัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ ใช้ในการทดลองครั้งที่ 3 (ความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ทางทฤษฎี 1 มก./มล.)

ครั้งที่	อัตราการไหลก่อน (มล./นาที)	อัตราการไหล หลัง (มล./นาที)
1	998.4	970.3
2	997.2	972.7
3	995.3	975.2
4	983.5	965.5
5	983.6	961.6
6	977.6	956.6
7	978.3	952.3
8	972.3	953
9	963.1	954.5
10	962.4	949.9
ค่าเฉลี่ย	981.17	961.16
SD	13.10	9.25
%RSD	1.33	0.96

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเฉลี่ยตลอดการทดลอง} &= \frac{981.17 + 961.16}{2} \\ &= 971.17 \text{ มล./นาที} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การประกันและควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ของเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล (Personal Air Sampling)

ผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ ค-6 การทดสอบอัตราการไหลทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่างซ้ำทั้ง 10 ครั้งโดยใช้สภาวะเช่นเดิมทุกครั้งด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคลพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ที่คำนวณได้ดังตารางมีค่าไม่เกิน 10 % และอัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างมีค่าไม่ต่างกันเกิน 10% ซึ่งแสดงว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคลมีอัตราการไหลที่มีความแม่นยำสูง กล่าวคืออัตราการเก็บตัวอย่างอากาศของเครื่องทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศมีความสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

### ตารางที่ ค-7 แสดงลักษณะอากาศรายวันที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ

วันที่	อุณหภูมิ สูงสุด (°ซ)	อุณหภูมิ ต่ำสุด (°ซ)	ทิศ	ความเร็วลม (กม./ชม.)	เวลา	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)
20/02/08	30.7	22.3	NE	24.09	13.57	-
21/02/08	30.7	19.7	ENE	27.80	09.30	-
22/02/08	33.2	20	NE	27.80	-	-
23/02/08	35.0	23.2	ENE	37.07	-	-
24/02/08	34.5	22.1	E	37.07	-	-
25/02/08	33.2	25.9	SSW	33.36	13.22	0.3
26/02/08	32.5	25.9	SSE	31.51	02.00	0.1

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยา [www.tmd.go.th](http://www.tmd.go.th)

หมายเหตุ : E หมายถึง ทิศตะวันออก

NE หมายถึง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ENE หมายถึง ทางทิศตะวันออกของของทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

SSW หมายถึง ทางทิศใต้ของทิศตะวันตกเฉียงใต้

SSE หมายถึง ทางทิศใต้ของทิศตะวันออกเฉียงใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์

สภาวะ	Visible absorption spectrometry (NIOSH 3500)	HPLC (NIOSH 2016)	GC (NIOSH 2541)
อัตราการไหล	0.2-1 ลิตร/นาที	0.03-1.5 ลิตร/นาที	0.01- 0.10 ลิตร/นาที
ปริมาตรอากาศ สูงสุด-ต่ำสุด	1-100 ลิตร	1-15 ลิตร	1- 36 ลิตร
เวลาที่เก็บตัวอย่าง ไร่ได้	30 วัน ที่ 25 °ซ	34 วัน ที่ 25 °ซ	3 สัปดาห์ ที่ 25° ซ
ช่วงที่ตรวจวัดได้	2-40 ไมโครกรัม	0.23-37 ไมโครกรัม	3-200 ไมโครกรัม
สารเคมี	Chromotropic acid NaHSO <sub>3</sub>	DNPH Acetonitrile	2(Hydroxymethyl) piperidine (2-HMP) Toluene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้