

# การสร้างชุดตรวจวัดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศภายในอาคาร

## Fabrication of formaldehyde test kit for indoor air

ณรงค์ คชภักดี\* พูนฉวี สมบัติศิริ และเอี่ยมศิริ ธิยะ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

### บทคัดย่อ

การสร้างชุดตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศอย่างง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ โดยการรวมวิธีเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟกับการตรวจวัดโดยวิธีเทียบสีเข้าด้วยกัน ผลการวิจัยพบว่าชุดตรวจวัดที่สร้างขึ้น สามารถตรวจวัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ได้ที่ความเข้มข้น 1.0-10.0 พีพีเอ็ม อย่างถูกต้องแม่นยำที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และช่วงอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมที่แปรปรวน มีช่วงเวลาที่ใช้ตรวจวัดคือ 8 และ 24 ชั่วโมง จากการวิจัยชุดตรวจวัดพบว่า ตัวดูดซับที่เหมาะสมคือ สารละลาย 4-อะมิโน ไฮดรอกซี-5-เมอร์แคปโท-1,2,4-ไตรอาโซน (AHMT) และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในอัตราส่วน 200 : 1000 ไมโครลิตร และน้ำปราศจากไอออน 0.8 มิลลิลิตร ในการสอบเทียบและทดสอบความใช้ได้ของวิธี ได้ผ่านระบบสอบเทียบเอกซ์โพเซอร์แซมเบอร์โดยถูกติดตามค่าด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ และจากการวิจัยพบว่า ไม่มีผลกระทบทางด้านอนุกรมวิธาน ซึ่งให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำในการหาปริมาณ โดยค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง 80-120% ( $\pm 20$  %RSD) ซึ่งยอมรับได้ ดังนั้นชุดตรวจวัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ตรวจวัดภายในอาคารได้จริง และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดได้มาก

**คำสำคัญ :** ฟอร์มัลดีไฮด์ การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ อากาศภายใน ชุดตรวจวัด

## Abstract

A formaldehyde test kit was developed to be a cheap and simple to use sensor. The developed test kit combined the benefits of passive sampling technique and colorimetric method. It was found that the test kit worked efficiently under formaldehyde concentration ranges from 1.0-10.0 ppm and under the variation of meteorological factors (concentration levels, temperature, relative humidity and wind speed). The optimum conditions were 8 and 24 h of exposure and 200:1000:800  $\mu\text{L}$  of AHMT : Alkaline:H<sub>2</sub>O for the sorbent solution. The calibration and validation was carried out in an exposure chamber system which was monitored with a gas sensor. It was found that meteorological factors did not have an influence on the accuracy and precision of the developed test kit since the acceptable recovery of 80-120% with  $\pm 20\%$  RSD were obtained indicating that the developed test kit is a cost effective method to be used for the monitoring of formaldehyde in indoor air.

**Keywords :** Formaldehyde, Passive sampling, Indoor air, Test kit

## บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ที่สำคัญมาก และยังมีการนำมาใช้มากทางอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิต กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน ซึ่งมักพบการปนเปื้อนในวัสดุ เช่น เฟอร์นิเจอร์ที่เป็นไม้อัด สำหรับกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์จะพบฟอร์มาลดีไฮด์ในกาวที่ใช้ยึดติดแผ่นไม้ประกอบ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเฟอร์นิเจอร์กาวที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ (1) กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (urea formaldehyde resin, UF resin) และ (2) กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (phenolformaldehyde resin, PF resin) หรือ Bakelite โดยทั่วไปแล้วกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มีอันตรายจากสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่ากาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่ากาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นที่นิยมใช้มากกว่า เนื่องจากราคาถูกกว่าและเหมาะที่จะใช้ภายในอาคาร ถึงแม้ว่ากาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์จะมีอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่า แต่ก็ยังพบการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากวัสดุที่ใช้กาวชนิดดังกล่าว โดยในช่วงแรก จะพบการระเหยในปริมาณมาก และจะลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านมา แต่ก็พบการระเหยอย่างต่อเนื่อง เมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อทางเดินหายใจ และระคายเคืองผิวหนัง อาจทำให้เกิดอาการหอบหืดและความผิดปกติของระบบการเจริญพันธุ์ได้ (สุชาติา ชินะจิตร, 2549)

โดยทั่วไปการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ต้องใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ แก๊สเซนเซอร์ (formaldehyde gas sensor) แก๊สดีเทกเตอร์ (gas detector tube) และเครื่องเก็บอากาศแบบพาสซีฟ (passive sampler) และแบบแอกทีฟ (active sampler) แล้วทำการตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่ยากซับซ้อน สิ้นเปลือง ราคาแพง ยากต่อการบำรุงรักษา รวมทั้งเป็นเครื่องมือขนาดใหญ่ ต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการทำงาน ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้ ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องซื้อชุดตรวจวัดที่มีราคาแพงและสิ้นเปลืองมาใช้

เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ ที่น่าจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คือ เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี (spectrophotometry) ที่อาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับรีเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเกิดขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาเปล่า หรือใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการตรวจวัด เช่น การใช้โครโมโทรปิกแอซิกไดโซเดียมซอลต์ (Chromotropic acid disodium salt; CTA) ในสารละลายกรดเข้มข้น (Geisling and Rappaport, 1982) การใช้ปฏิกิริยาเฮทซ์ (Hantzsch reaction) คือ การทำปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์กับอะซิโตน อะซิโตน (acetylacetone) ในสารละลาย

แอมโมเนีย (ammonia) (Nash, 1953) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ยุ่งยากและซับซ้อน รวมทั้งผู้ปฏิบัติ ต้องมีความรู้ความชำนาญในเทคนิคนั้น ๆ แล้วจึงมีราคาแพงอีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจที่จะพัฒนาชุดตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศภายในอาคารอย่างง่าย ที่อาศัยเทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟ (passive sampling technique) ที่ทำขึ้นจากหลอดทดลองขนาดกลาง ที่บรรจุสารละลาย 4-อะมิโน ไฮดราซีน-5-เมอร์แคปโท-1,2,4-ไตรอาโซน (4-amino hydrazine – 5 - mercapto - 1,2,4-triazole (AHMT) เป็นตัวดูดซับและเป็นอินดิเคเตอร์ของสารฟอร์มาลดีไฮด์ และใช้การตรวจวัดด้วยวิธีเทียบสี (colorimetric method) มารวมอยู่ในชุดตรวจวัดเพียงชุดเดียว เพื่อลดขั้นตอนให้รวดเร็ว ประหยัด และสามารถตรวจวัดได้หลาย ๆ จุดในเวลาเดียวกัน และสามารถนำไปใช้งานภาคสนามได้

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้สร้างชุดตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคาร โดยใช้หลักการการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ที่อาศัยการเคลื่อนที่อย่างอิสระ (การแพร่) ของสารที่สนใจวิเคราะห์จากอากาศ (บริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่า) มายังชุดตรวจวัด (บริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า) ซึ่งสามารถอธิบายและคำนวณปริมาตรอากาศตามกฎของฟิคส์ (Fick's Law)

ทำการศึกษาโดยออกแบบให้ตัวเก็บอากาศแบบพาสซีฟ มีรูปร่างต่างกัน เพื่อเหมาะกับการใช้งานที่จำนวนชั่วโมงในการเก็บตัวอย่างไม่เท่ากัน เช่น 8 และ 24 ชั่วโมง ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้หลอดแก้วที่มี 2 แบบ เพื่อตรวจวัด 2 ช่วงเวลา สำหรับ 8 ชั่วโมง จะใช้หลอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 ซม. ยาว 9.0 ซม. และสำหรับ 24 ชั่วโมง จะใช้หลอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 ซม. ยาว 9.5 ซม. โดยที่เวลา 8 ชั่วโมง หลอดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากกว่าและสั้นกว่า เนื่องจากจะสามารถเก็บสะสมฟอร์มาลดีไฮด์ได้เร็วกว่าที่ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ช่วงความเข้มข้นในช่วงที่ใช้งานและช่วงที่บ่งชี้อันตรายได้ จากนั้นจะทำการหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) คือ อัตราส่วนของสารละลายที่เป็นตัวดูดซับ (absorbing reagent) ทั้งสอง คือ 4-อะมิโน ไฮดราซีน-5-เมอร์แคปโท-1,2,4-ไตรอาโซน (AHMT) และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) แล้วทดสอบใช้งานโดยการหาค่ามวลของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เก็บได้ โดยวิธี Chromotropic acid (CTA) ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer มวลที่ได้จากวิธี colorimetric จะถูกนำมาคำนวณให้อยู่ในรูปปริมาตรอากาศ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) จากสมการ

$$\text{อัตราการไหล (Uptake rate, m}^3/\text{s)} = \frac{\text{Diffusion coefficient (m}^2/\text{s)} \times \text{พื้นที่หน้าตัด (m}^2\text{)}}{\text{ความยาว (m)}} \quad (1)$$

$$\text{ปริมาตรอากาศ (Air volume, m}^3\text{)} = \text{อัตราการไหล (uptake rate, m}^3/\text{s)} \times \text{เวลาสัมผัส (s)} \quad (2)$$

$$\text{ความเข้มข้น (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = \text{มวล (}\mu\text{g)} / \text{ปริมาตรอากาศ (m}^3\text{)} \quad (3)$$

เมื่อ	C ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ความเข้มข้นในหน่วยปริมาตรอากาศ
	W ( $\mu\text{g}$ )	มวลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์
	U ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	ค่า uptake rate ของการแพร่
	D ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	สัมประสิทธิ์การแพร่
	A ( $\text{m}^2$ )	ค่าพื้นที่หน้าตัดของหลอด diffusion
	L (m)	ระยะทางของการแพร่
	t (min)	เวลาในการสัมผัส

ซึ่ง uptake rate คำนวณได้จากขนาดของหลอดแก้วทั้ง 2 แบบ มาคำนวณ และค่า diffusion coefficient ของฟอร์มาลดีไฮด์ จากนั้นก็หาค่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (detection limit) ช่วงความเข้มข้นที่ใช้งานได้ (working range) พิสูจน์การใช้ได้ของวิธี (method validation) โดยการทดสอบใน exposure chamber แสดงดังรูปที่ 1 จากนั้นจะทำการทดสอบการใช้ได้ในสภาวะต่าง ๆ ใน exposure chamber ได้แก่ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ความเร็วลม ( $\text{m}/\text{s}$ ) ช่วงเวลา (min) และระดับความเข้มข้น ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) รวมถึงศึกษาเสถียรภาพของน้ำยาตรวจวัด (stability) ก่อนที่จะพัฒนาแถบเทียบสี (standard paper color) โดยใช้ช่วงความเข้มข้นที่สายตาคนโดยทั่วไปสามารถตัดสินได้ ซึ่งจะทำแบบทดสอบการใช้ได้ของแถบเทียบสี โดยการทดสอบให้คนหลาย ๆ คนสังเกตสีที่เกิดขึ้น แล้วนำมาสรุป จากนั้นดำเนินการทำแถบเทียบสีโดยใช้โปรแกรม Photoshop ในขั้นตอนการใช้งานจริง สารละลายตัวดูดซับ (absorbing reagent) จะถูกเติมลงไปหลอดแบบต่าง ๆ ตามอัตราส่วนแล้วนำไปสัมผัสเก็บตัวอย่างอากาศที่เวลาต่าง ๆ เมื่อครบเวลาให้เติมน้ำปราศจากไอออน 0.8 มิลลิลิตร โดยมีปริมาตรรวมเป็น 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปเทลงใน plate test จากนั้นเทียบสีกับแผ่นเทียบสี

## 1. สารเคมี

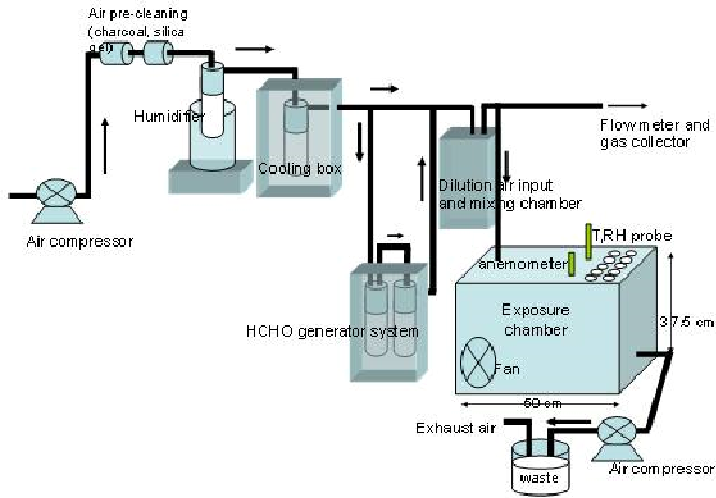
4-อะมิโน ไฮโดรราซีน-5-เมอร์แคปโท-1,2,4-ไตรอาโซล (4-Amino hydrazine-5-mercapto-1,2,4-triazole : AHMT) (Fluka, Germany) ฟอर्मัลดีไฮด์ 37% (v/v) (Formaldehyde: HCHO 37%) (Sigma-Aldrich, Germany) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) (Sigma-Aldrich, Germany) น้ำปราศจากไอออน (DI water) โครโมโทรปิก แอซิด ไดโซเดียม ซอลต์ (Chemotropic acid disodium salt : CTA) (Sigma-Aldrich, Germany) กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) (Sigma-Aldrich, Germany)

## 2. เครื่องมือ/อุปกรณ์

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Hygro-thermometer ยี่ห้อ Branan, England) สำหรับวัดความชื้นและอุณหภูมิในระบบแคมเบอร์) บีมดูดอากาศ (Air vacuum pump) สำหรับดูดอากาศให้ไหลในระบบ เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer Testo, Entech, China) สำหรับวัดความเร็วลมในระบบเอ็กซ์โพเชอร์แคมเบอร์ซิสเต็ม (Exposure chamber system) เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer รุ่น UV-1601 ยี่ห้อ Shimadzu, Japan) ไมโครปิเปต (Micropipette ยี่ห้อ Eppendorf, USA) เครื่องวัดอัตราการไหล (Air flow meter ยี่ห้อ Sensidyne, USA) สำหรับวัดอัตราการไหลของแก๊สในระบบ

## 3. การเตรียมชุดเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ สำหรับ 8 และ 24 ชั่วโมง

ชุดเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ ใช้หลอดแก้วที่มี 2 แบบ เพื่อตรวจวัด 2 ช่วงเวลา สำหรับ 8 ชั่วโมง จะใช้หลอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 ซม. ยาว 9.0 ซม. และสำหรับ 24 ชั่วโมง จะใช้หลอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 ซม. ยาว 9.5 ซม. บรรจุด้วยสารละลาย AHMT 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) (สารละลาย A) และสารละลาย Potassium hydroxide 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) (สารละลาย B) ในอัตราส่วน 200:1000 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนลงไป 0.8 มิลลิลิตร เมื่อเตรียมสารละลายเสร็จให้นำไปสัมผัส (expose) กับอากาศ ในเอ็กซ์โพเชอร์แคมเบอร์ (exposure chamber) ที่เวลา 8 และ 24 ชั่วโมง ฟอर्मัลดีไฮด์เมื่อสัมผัสอากาศและทำปฏิกิริยากับสารเคมีแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง แล้วจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีชมพู เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนที่ 520 นาโนเมตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อฟอर्मัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับสารละลาย AHMT ในสารละลายต่าง โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นออกซิเจนในอากาศจะให้สีม่วง และเมื่อเวลาเปลี่ยนไปจะให้สีเป็นสีชมพู วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร จากนั้นนำมาหาคำนวนค่าความเข้มข้น %Recovery และ %RSD โดยการเทียบจากความเข้มข้นใน exposure chamber (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 ระบบ Exposure chamber (ณรงค์ คชภักดี, 2548)

#### 4. ระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ สำหรับสอบเทียบ

ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้สำหรับสอบเทียบ ความถูกต้อง แม่นยำ และการทดสอบความใช้ได้ของการตรวจวัดต่อผลกระทบทางอุตุนิยมวิทยา และระดับความเข้มข้นในอากาศโดยรอบ ซึ่งต้องรู้ความเข้มข้นของอากาศภายในตลอดเวลา โดยการวัดอัตราการไหล และการเก็บแก๊สต่าง ๆ แล้วนำไปหามวล จากนั้นนำมาคำนวณหาความเข้มข้นโดยในการสอบเทียบจะใช้เวลาสัมผัส (exposure time) 2-4 ชั่วโมง ชุดระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ ประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ 1. ระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ (exposure chamber) 2. ชุดกำเนิดความชื้น (humidifier) 3. ชุดกำเนิดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde generator) 4. ชุดผสม (dilution and mixing chamber) 5. ชุดปรับอัตราการไหล (flow controller) และชุดหลอดดักแก๊ส (gas collector)

ระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ (exposure chamber) ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สำคัญ คือ เป็นส่วนที่ทำจำลองบรรยากาศจริงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการสัมผัสของอุปกรณ์ตรวจวัดกับแก๊สจะเกิดในส่วนนี้ ส่วนนี้ทำด้วยท่อ PVC ขนาด 9 ลิตร ภายในถูกเคลือบด้วยเทฟลอน (Teflon) โดยใช้เทฟลอน สเปรย์ เพื่อเพิ่มความเฉื่อยต่อปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง ซึ่งถูกต้องกับส่วนที่มาจากแชมเบอร์สำหรับผสม (mixing chamber) ภายในบรรจุด้วยหลอดไฟ เพื่อเป็นตัวปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้น อุปกรณ์วัดความเร็วลม (anemometer) และอุปกรณ์วัดความชื้น อุณหภูมิ (hygro-thermometer) ชุดกำเนิดความชื้น (humidifier) ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่จะกำเนิดไอน้ำโดยการต้ม เพื่อไปควบแน่นในระบบ โดยการปรับอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิต่ำความชื้นจะสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงความชื้นต่ำ ชุดนี้จะทำด้วยระบบต้มน้ำเดือด (hot water chamber) ที่สามารถปรับความร้อนได้

#### 4.1 การเตรียมแก๊สมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

ชุดกำเนิดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde generator) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ผลิตแก๊สหรือไอฟอร์มัลดีไฮด์ โดยการบรรจุสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 37% (ปริมาตร/ปริมาตร) ไว้ในหลอดกำเนิดแก๊ส แล้วดูดไล่ด้วยอากาศ เนื่องจากฟอร์มัลดีไฮด์เป็นที่สามารถระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง ซึ่งต้องมีการควบคุมหลอดกำเนิดให้อุณหภูมิคงที่ โดยการหุ้มด้วยฉนวน ส่วนนี้จะถูกดูดเข้าไปเจือจางกับไอน้ำก่อนเข้าเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์

ชุดผสม (dilution and mixing chamber) ชุดนี้จะทำหน้าที่เป็นจุดผสมกันระหว่างแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์กับไอน้ำและอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับวาล์วของชุดกำเนิดความชื้น และชุดกำเนิดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งต่อแชมเบอร์สำหรับผสม (mixing chamber) ชุดนี้ประกอบด้วยหลอดรวมแก๊สที่ถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เช่นเดียวกัน

ชุดปรับอัตราการไหล (flow rate controller) และชุดหลอดดักแก๊ส (gas collector) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของแก๊สในการเข้าสู่ระบบโดยวาล์ว เพื่อกำหนดความเข้มข้นในระบบซึ่งจะตรวจวัดอัตราการไหลด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลโดยใช้ฟองสบู่ (soap bubble flow meter)

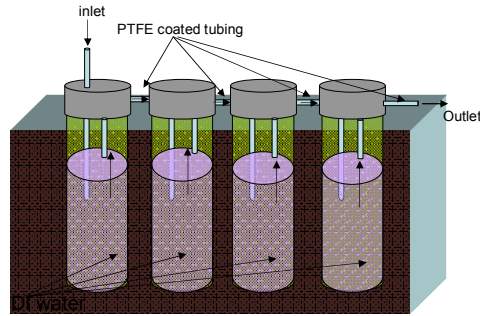
#### 4.2 การเก็บตัวอย่างแก๊สด้วยระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ (exposure chamber)

หลอดดักเก็บแก๊ส (รูปที่ 2) ทำหน้าที่เก็บมวลของแก๊สโดยมีตัวดูดซับที่เหมาะสมคือ น้ำ (ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถละลายน้ำได้ 99.9%) ที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ โดยชุดนี้จะดูดสารละลายอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสูญหายไปของมวลแก๊ส แล้วนำสารละลายไปคำนวณหาปริมาณโดยวิธีโครโมโทริกแอซิกไดโซเดียมซอลต์ (Chromotropic acid disodium salt, CTA) (เป็นวิธีมาตรฐาน) เพื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ในเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ความเข้มข้น (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{มวล (mg)} \times \text{เวลาในการเก็บ (min)}}{\text{อัตราการไหล (m}^3\text{/min)}}$$

ชุดปรับอัตราการไหลได้ถูกออกแบบให้เก็บอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสูญหายของมวล โดยใช้หลอดเก็บแก๊สต่อเป็นอนุกรมไว้ใช้ท่อซิลิโคน (silicone tubing) เป็นท่อนำแก๊ส





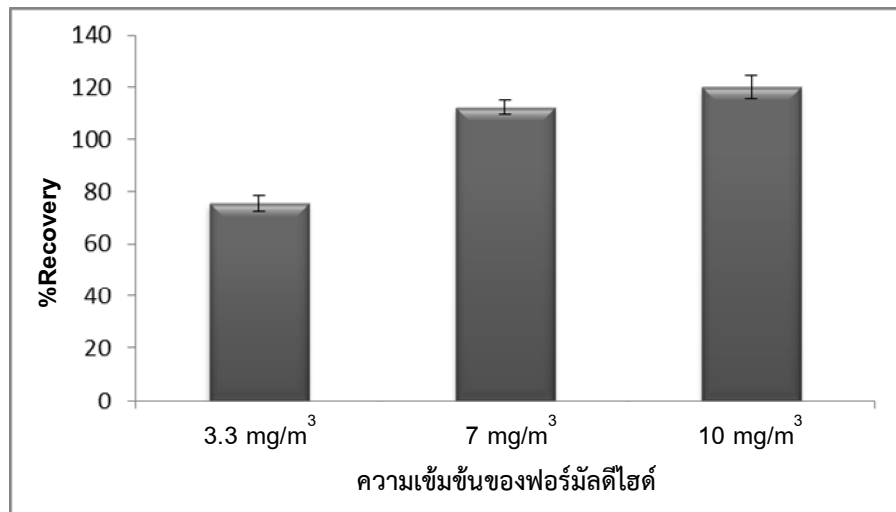
รูปที่ 2 หลอดดักเก็บแก๊ส

## ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

อัตราส่วนระหว่างสารละลาย 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) AHMT และสารละลาย 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) potassium hydroxide ซึ่งเป็นสารละลายตัวดูดซับ มีผลต่อการทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นเพื่อให้ชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นมีความไวในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด จึงต้องมีการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารสองชนิด คือ 200:1000 ไมโครลิตร มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 91.4 และภายใต้สภาวะดังกล่าว ชุดตรวจวัดให้ขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection, LOD) คือ  $0.03 \text{ mg/m}^3$  และขีดจำกัดการตรวจวัดเชิงปริมาณ (limit of quantification, LOQ) คือ  $0.06 \text{ mg/m}^3$

### 1. การทดสอบความใช้ได้ของวิธีต่อผลกระทบทางอุตุนิยมวิทยา และระดับความเข้มข้น (validation of meteorological effects and Concentration level)

เนื่องจากในการตรวจวัดมลพิษทางอากาศมีความแปรปรวนสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องมีการทดสอบหาค่าการได้กลับคืนหรือค่าความถูกต้อง (%Recovery) และความเที่ยงหรือความแม่นยำ (%RSD) ในแต่ละปัจจัย โดยการทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบ โดยการเทียบจากความเข้มข้นในระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ (exposure chamber) จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3

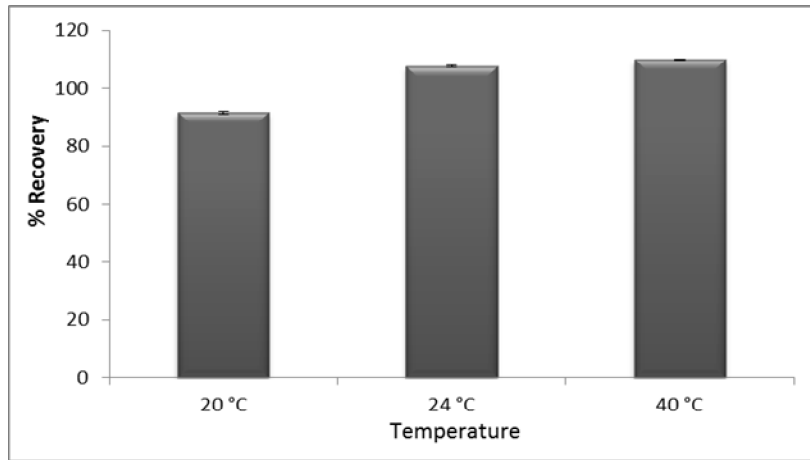


รูปที่ 3 การทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์

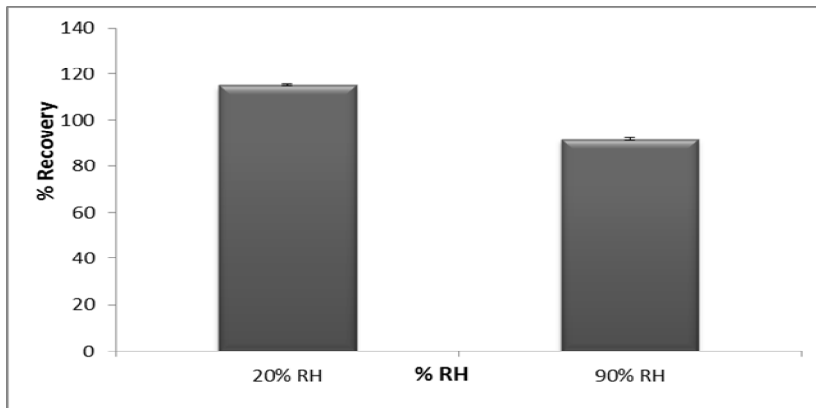
จากการทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลของความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องเครื่องยูวี-วิสทิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ 520 นาโนเมตร นำมาหาค่าความเข้มข้น แล้วคำนวณหาค่าความถูกต้อง และ ค่าความแม่นยำ โดยการเทียบจากความเข้มข้นในระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ (Exposure chamber) พบว่าช่วงค่าความถูกต้อง และค่าความแม่นยำ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 87%, 112% และ 120% แสดงให้เห็นว่าผลของความแตกต่างของระดับความเข้มข้นมีผลต่อความถูกต้อง ในกรณีความเข้มข้นต่ำ ๆ เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำการแพร่กระจายจะช้ากว่าความเข้มข้นสูง จึงทำให้การเก็บสะสมน้อยกว่าที่พบจริง ดังนั้นอาจจะต้องมีการหลีกเลี่ยงหรือระบุค่าที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ เป็นการประมาณค่า

## 2. ผลของอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นในอากาศ

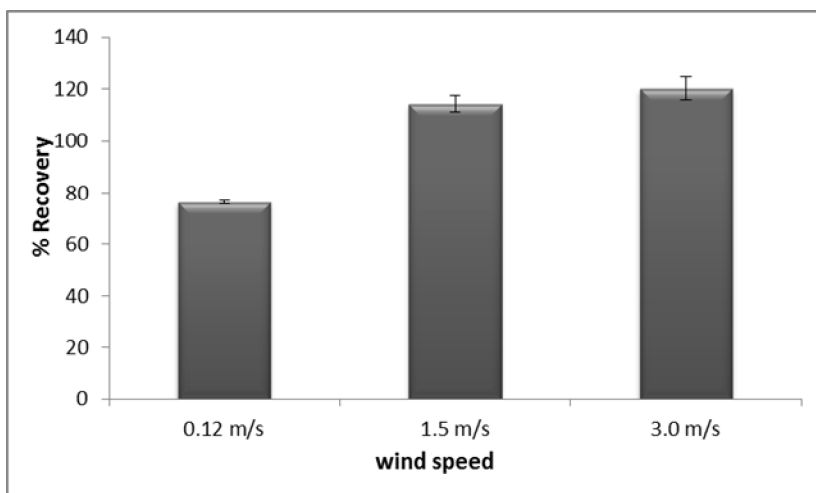
การทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลของอุณหภูมิ ผลของความชื้นในอากาศ และผลของความเร็วลมในแต่ละปัจจัย โดยการทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบ โดยการเทียบจากความเข้มข้นในระบบเอ็กซ์โพเชอร์แชมเบอร์ (exposure chamber) จากการวัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องเครื่องยูวี-วิสทิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ 520 นาโนเมตร แล้วนำมาหาค่าความเข้มข้น จากนั้นคำนวณหาค่าความถูกต้อง และค่าความแม่นยำ โดยการเทียบจากความเข้มข้นใน exposure chamber ผลการทดลองพบว่าช่วงค่าความถูกต้อง และความแม่นยำ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4 การทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลของอุณหภูมิในอากาศ



รูปที่ 5 การทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลของความชื้นในอากาศ



รูปที่ 6 การทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลของความเร็วลม

ผลการทดลองพบว่า ช่วงค่าความถูกต้อง และความแม่นยำ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ 91%, 107% และ 110% แสดงให้เห็นว่าผลของอุณหภูมิในช่วง 20-40 °C มีผลกระทบต่ออัตราการตรวจวัดที่อยู่ในช่วงที่รับได้ เนื่องจากอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นยิ่งมีผลต่ออัตราเร็วของการแพร่กระจาย ทำให้มีการเก็บสะสมมากกว่าอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิห้องทั่วไปจะอยู่ในช่วง 20-40 °C

ผลการทดลองระดับความชื้นพบว่า ที่ระดับความชื้นที่แตกต่างค่าความถูกต้อง และความแม่นยำ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 91% และ 115% ของ %Recovery แม้ว่าจะมีผลกระทบจากความชื้นเนื่องจากยิ่งความชื้นสูงขึ้นผลจากการแพร่กระจายจะถูกขัดขวางจากความชื้น ทำให้การเก็บสะสมต่ำลง รบกวนความถูกต้องแม่นยำได้

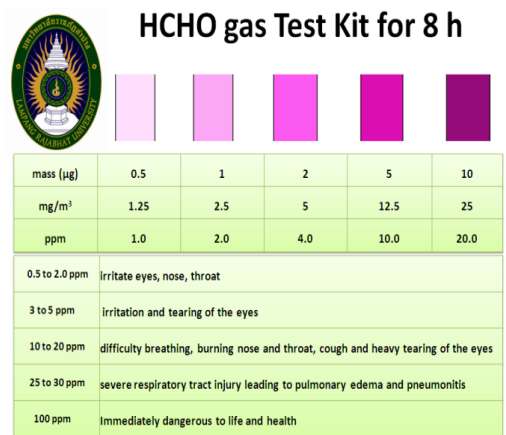
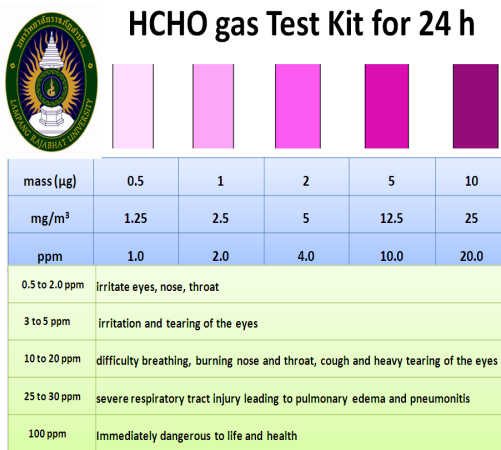
ผลการทดลองระดับความเร็วลมพบว่า ที่ระดับความเร็วลมที่แตกต่าง มีผลโดยตรงต่อการแพร่กระจาย แต่เนื่องจากหลอดดักแก๊สได้อ้างอิงขนาดของหลอดปาล์ม (Palm tube) (Palm, 1973) โดยสามารถลดผลกระทบทางอุทุนิยมวิทยาได้ จึงมีผลให้ค่าความถูกต้อง และความแม่นยำ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 76%, 114% และ 120% ของ %Recovery แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมในช่วง 0.12–3.0 m/s มีผลกระทบต่ออัตราการตรวจวัดในช่วงที่รับได้ แต่พบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นอัตราการแพร่กระจายเพิ่มการเก็บสะสมสูง ทำให้ค่าความถูกต้องต่ำกว่าปกติได้ สำหรับผลจากการทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบกับผลกระทบทางอุทุนิยมวิทยาที่อาจจะมีการตรวจวัดนั้นพบว่า ผลกระทบของอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และความเข้มข้นของแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์นั้นมีผลกระทบต่ออัตราการตรวจวัดน้อยมาก สังเกตได้จากค่าความถูกต้อง และค่าความแม่นยำของการทดสอบแต่ละพารามิเตอร์ ซึ่งค่าความถูกต้องของทุกการทดสอบนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 80–120% (%Recovery) จึงถือได้ว่าไม่ส่งผลกระทบต่อชุดตรวจวัด โดยผลกระทบทางอุทุนิยมวิทยามีผลน้อยมากในการตรวจวัด

### 3. เตรียมแถบสีมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ (standard paper color for formaldehyde test kit)

จากการเตรียมแถบสีมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบฟอร์มัลดีไฮด์ โดยเติมสารละลาย AHMT (A) และสารละลายต่าง (B) 200 : 1000 ไมโครกรัม ( $\mu\text{L}$ ) ตามด้วย 0.0, 5.0, 10.0, 20.0, 50.0 และ 100.0 ไมโครกรัม ของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ ( $10 \mu\text{L} = 1 \mu\text{g}$ ; HCHO) ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ 10 นาที แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 0.8 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 8 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นสีจะเปลี่ยนไปเป็นสีชมพู แล้วนำโทนสีต่าง ๆ มาเลือกระดับสีในโปรแกรมโฟโตชอป (Photoshop) โดยการพิจารณาค่าเฉดสี (Hue) และตกแต่ง เพื่อเตรียมเป็นแถบสีมาตรฐาน (standard paper color) แสดงดังรูปที่ 7 เนื่องจากต้องการจำลองการเปลี่ยนไปของสีที่เวลา 8 และ 24 ชั่วโมง เพื่อ

ตรวจสอบโทนสีให้มีความสมจริง โดยแถบเทียบสีสร้างจากการเติมสารฟอร์มาลดีไฮด์ลงไปโดยตรง และตั้งสารละลายดังกล่าวทิ้งไว้ที่ 8 และ 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทำแถบเทียบสี

จากการทดสอบความใช้ได้ของแถบสีโดยการสู่มแบบสอบถาม จำนวนประชากร 90% ของประชากรของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง พบว่าผู้ทดสอบสามารถตอบถูก 100% จากจำนวนประชากรทั้งหมด เมื่อเทียบกับตารางพบว่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% แสดงให้เห็นว่าแถบเทียบสีสามารถใช้ได้กับคนทั่วไป



รูปที่ 7 แถบสีมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบฟอร์มาลดีไฮด์ และชุดตรวจวัด

### สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าชุดตรวจวัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพสามารถตรวจวัดแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ในระดับที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และช่วงอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ที่แปรปรวนได้ โดยมีช่วงเวลาที่ใช้ตรวจวัดคือ 8 และ 24 ชั่วโมง จากการวิจัยชุดตรวจวัดตัวดูดซับที่เหมาะสม คือ สารละลาย 4-อะมิโน

ไฮดราซีน-5-เมอร์แคปโท-1,2,4-ไทโรอาโซน (AHMT) และสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในอัตราส่วน 200 : 1000 ไมโครลิตร และน้ำปราศจากไอออน 0.8 มิลลิลิตร โดยมีปริมาตรรวมเป็น 2 มิลลิลิตร ในการตรวจสอบให้ผลใกล้เคียงกับการตรวจวัดในระบบสอบเทียบเอกซ์พอเซอร์ แชมเบอร์ โดยใช้ค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำ ในการหาปริมาณซึ่งค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง 80-120% ( $\pm 20$  %RSD) จากการวิจัยพบว่า ผลกระทบทางด้านอุณหภูมิมิมีผลกระทบในการตรวจวัดน้อยมาก ดังนั้นชุดตรวจวัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ได้จริง สามารถวิเคราะห์ได้เทียบเท่ากับชุดตรวจวัดแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ในเชิงการค้า และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดได้มาก

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง ที่อนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง ที่อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ คชภักดี. (2548). การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ สำหรับการหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ภายในอากาศ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุชาติ ชินะจิต. (2549). ฟอร์มัลดีไฮด์-ฟอร์มัลดีไฮด์ สารร้ายตัวก่อมะเร็ง. แหล่งที่มา : <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=1&ID=43>, เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2549.
- Geisling, K. L., and Rappaport, S. M. (1982). A passive sampling device for determining formaldehyde in indoor air. *Environment International*. 8 : 153-158.
- Nash, T. (1953). The colorimetric estimation of formaldehyde by means of the Hantzsch reaction. *Biochemical Journal*. 55 : 416-21.
- Palmes E. D., and Gunnison A. F., (1973). Personal monitoring device for gaseous contaminants, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 34, 78-81