

การนำน้ดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคล  
REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN PRIVATE CARS

นพจาวภาวณิ เพชรทวี

นางสาวอุทิศญา พุกกะศรี

นางสาวพินญา กุฑ์เด็เจริญ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคล  
REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN PRIVATE CARS

นางสาวเกวลิน	เพชรศรี
นางสาวฐิติญา	พฤษะศรี
นางสาวพิชญา	ฤทธิ์เจริญ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

**REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN PRIVATE CARS**

**MISS KAWALIN    PHETSRI**

**MISS TITIYA     BRIKSHASRI**

**MISS PITCHAYA   RITJAROEN**

**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 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคล Removal of Formaldehyde in Private Cars
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเกวณีน เพชรศรี นางสาวฐิติญา พุกษะศรี นางสาวพิชญา ฤทธิ์เจริญ
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ (HCHO) ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ขณะรถยนต์จอดกลางแจ้งโดยใช้สารที่เหมาะสม จากการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในห้องทดสอบโดยใช้สารดูดซึม 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น, สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์, และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารละลาย 3 ระดับ คือ 0.1, 0.5 และ 1.0 M ในสภาวะบรรยากาศจำลอง 2 แบบ คือ สภาวะที่ไม่มีการดึงอากาศ ( $T_1$ ) และสภาวะที่มีการดึงอากาศ ( $T_2$ ) ลงในสารดูดซึม วิเคราะห์ HCHO ตามวิธีของ NIOSH 3500 เมื่อเลือกสารและวิธีที่เหมาะสมได้ นำมาทำการศึกษาในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีหื้อแตกต่างกัน 3 ชนิด ปริมาตรลูกสูบไม่เกิน 2500 ซีซี มีอายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี และรถยนต์จอดกลางแจ้ง พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัด HCHO ในสภาวะ  $T_2$  ในห้องทดสอบด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1.0 M มีความเหมาะสม บำบัดได้ 80.16-84.97% เมื่อนำมาบำบัด HCHO ในรถยนต์หื้อ A, B และ C ด้วยโซเดียมไบซัลไฟต์เข้มข้น 1.0 M พบว่าค่าเฉลี่ยของ HCHO มีค่าลดลง เหลือ  $18.08 \pm 4.66$ ,  $30.48 \pm 4.75$  และ  $16.69 \pm 5.72$  ppb ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัด HCHO เฉลี่ยในรถยนต์หื้อ A, B และ C เท่ากับ  $65.00 \pm 11.67$ ,  $68.27 \pm 6.73$  และ  $64.49 \pm 10.18$  % ตามลำดับ

คำสำคัญ: การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ รถยนต์ส่วนบุคคล วิธีวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ NIOSH 3500

<b>Special Project Title</b>	REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN PRIVATE CARS	
<b>Students</b>	MISS KAWALIN	PHETSRI
	MISS TITIYA	BRIKSHASRI
	MISS PITCHAYA	RITJAROEN
<b>Degree</b>	Bachelor of Science	
<b>Major Program</b>	Environmental Chemistry	
<b>Academic Year</b>	2013	
<b>Special Project Advisor</b>	Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak	

### ABSTRACT

This special project studied the formaldehyde (HCHO) removal in the private car under the outdoor parking conditions. The simulated conditions were done in the experiment chamber using 3 types of absorber e.g.; distillation water, Sodium bisulfites and Potassium permanganate. The absorber solutions were varied their initial concentration; 0.1, 0.5 and 1.0 M. The un-purge and purge HCHO through the absorbers were done as  $T_1$  and  $T_2$  condition. HCHO were analyzed by NIOSH method 3500. The private cars (3 brands; A, B and C) which had volumetric of piston 2500 CC at the mileage less than 5 years, park outdoor condition were selected. The suitable removal conditions from the experiment were chosen for HCHO removal in cars. The resulted show that in the experimental chamber, Sodium bisulfite 1.0 M had the highest removal efficiency 80.16 - 84.97% with  $T_2$  condition. Then, these conditions were done to remove HCHO in private car. As a result, the average HCHO on private car after treatment were  $18.08 \pm 4.66$  ppb,  $30.48 \pm 4.75$  ppb and  $16.69 \pm 5.72$  ppb for A, B and C brand, respectively. The average removal efficiency of HCHO was  $65.00 \pm 11.67\%$ ,  $68.27 \pm 6.73\%$ , and  $64.49 \pm 10.18\%$ , respectively.

**Keywords:** Formaldehyde removal, Private car, Formaldehyde NIOSH 3500

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลสำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์สาขาเคมี สิ่งแวดล้อม ที่ให้ข้อเสนอแนะ ให้ความรู้ การตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอน ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบ โครงการงานพิเศษ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ วิจัยรณผล เพื่อนำไปปรับปรุง รวมถึงการตรวจแก้ไขรูปเล่มให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าของรถยนต์ที่ให้ความอนุเคราะห์รถยนต์ในการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์และการทดลองการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ตลอดการวิจัยเป็นอย่างดีทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณหอพักนักศึกษา มายโฮมเพลส ที่เอื้อเฟื้อสถานที่จอดรถในการทำงานนอกสถานที่ในการเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับอุปกรณ์ทำงานวิจัย ที่ได้อนุญาตให้นำออกไปใช้นอกสถานที่ได้

ขอขอบคุณทุกๆคนจากใจจริงที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

กลุ่มของพวกเรามีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่กล่าวนามมา รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เกวลิน เพชรศรี

จิตติญา พฤกษ์ศรี

พิชญญา ฤทธิเจริญ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
สัญลักษณ์คำย่อ	X
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษ	4
2.1.1 แหล่งกำเนิดฟอร์มัลดีไฮด์	5
2.2 ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	6
2.3 การใช้ประโยชน์จากสารฟอร์มัลดีไฮด์	8
2.3.1 ทางด้านอุตสาหกรรม	8
2.3.2 ทางด้านของการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์	8
2.3.3 ทางด้านการแพทย์	8
2.3.4 ทางด้านเครื่องสำอาง	9
2.3.5 ทางด้านการเกษตร	9

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 อันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์	10
2.4.1 การเข้าสู่ร่างกาย	12
2.4.2 ความเป็นพิษ	13
2.4.3 การสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้เกิดอาการดังนี้	14
2.5 การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศและวิธีวิเคราะห์	16
2.5.1 การเก็บตัวอย่างทางมลพิษทางอากาศ	17
2.5.2 การวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์	21
2.6 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์	23
2.6.1 สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์	23
2.7 พอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์	25
2.7.1 กาวอีพอกซี	26
2.7.2 พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว	26
2.8 แหล่งกำเนิดกลิ่นภายในรถยนต์	27
2.9 หลักการประเมินความเสี่ยง	27
2.9.1. หน่วยงานประเมินความเสี่ยงที่ควรรู้จัก	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
<b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	37
3.2 วัสดุและสารเคมี	37
3.3 การดำเนินงานวิจัย	38
3.3.1 การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ	38
3.3.2 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบในสภาวะบรรยากาศจำลอง	39
3.3.3 สถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างรถยนต์	40
3.3.5 ตรวจสอบวัดปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์	41
3.3.6 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์	41
3.3.7 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	42
3.3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ	43
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 การประกันคุณภาพ	44
4.2 ฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ	45
4.3 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ	46
4.3.1 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยน้ำกลั่นในห้องทดสอบ	47
4.3.2 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสาร โซเดียม ไฮดรอกไซด์	48
4.3.3 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสาร โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	49
4.4 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศ (Ambient air) ด้วยวิธีการ เก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	50
4.5 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลด้วยวิธีการ เก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	53
4.6 การศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล	55
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 ปัญหาและอุปสรรค	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	60
<b>ภาคผนวก ก การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง</b>	65
<b>ภาคผนวก ข วิธีเก็บตัวอย่างอากาศและการจำลองการดูดซับ HCHO ในห้องทดสอบ</b>	74

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก ผลการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบและในตัวอย่างรถยนต์ และตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์	79
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางสถิติ	104

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	7
ตารางที่ 2.2 ชื่อทางการค้าและบริษัทผู้ผลิตฟอร์มัลดีไฮด์	9
ตารางที่ 2.3 สถิติการนำเข้าและส่งออกฟอร์มัลดีไฮด์ของประเทศไทย ปี พ.ศ.2544-2549	10
ตารางที่ 2.4 การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากสินค้าบริโภค	11
ตารางที่ 2.5 ระดับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับต่างๆ ส่งผลเสียต่อร่างกาย	14
ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์	15
ตารางที่ 2.7 ข้อดีข้อเสียของการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธีแอกทีฟและพาสซีฟ	20
ตารางที่ 2.8 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างของฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ	21
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบสถานะ BREAKTHROUGH	45
ตารางที่ 4.2 ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่สถานะจำลอง ณ ระดับใด ๆ	46
ตารางที่ 4.3 การตรวจวัด HCHO เทียบกับแหล่งอื่น	52
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลรายละเอียดของรถยนต์ตัวอย่างทั้ง 3 คัน	54

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของฟอร์มาลดีไฮด์	6
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	18
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง CHROMOTROPIC ACID กับ FORMALDEHYDE	22
รูปที่ 2.4 สารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	24
รูปที่ 2.5 สารโซเดียมไบซัลไฟต์	24
รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบที่มีฟอร์มาลดีไฮด์	39
รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบที่มีฟอร์มาลดีไฮด์	40
รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ส่วนบุคคล	41
รูปที่ 3.4 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล	42
รูปที่ 4.1 ผลของการบำบัดด้วยน้ำกลั่น	47
รูปที่ 4.2 ผลการบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์	48
รูปที่ 4.3 ผลการบำบัดด้วยสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	49
รูปที่ 4.4 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไป 3 จุด	51
รูปที่ 4.5 ฟอร์มาลดีไฮด์ ณ จุดเก็บตัวอย่าง	51
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้น HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล 3 ยี่ห้อ ที่จอดกลางแจ้ง	54
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้น HCHO ก่อนและหลังบำบัดภายในรถยนต์ ที่จอดกลางแจ้ง	56

## สัญลักษณ์คำย่อ

### สัญลักษณ์และคำย่อ

	ความหมาย
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
m <sup>3</sup>	ลูกบาศก์เมตร
cm <sup>3</sup>	ลูกบาศก์เซนติเมตร
°C	องศาเซลเซียส
ppm	หนึ่งในล้านส่วน
ppb	หนึ่งในพันล้านส่วน
ug/m <sup>3</sup>	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
mL/m <sup>3</sup>	มิลลิลิตรต่อลูกบาศก์เมตร
mL/mL	มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร
mg/mL	มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
mmHg	มิลลิเมตรปรอท
N	นอร์มัล
M	โมลาร์
K	เคลวิน
L	ลิตร
Atm	บรรยากาศ (หน่วย)
L1	ความเข้มข้น 0.1 M
L2	ความเข้มข้น 0.5 M
L3	ความเข้มข้น 1.0 M
LI	ปริมาตรสารละลายดีออกฟอรัมาลดีไฮด์ ปริมาตร 0.1 mL
LII	ปริมาตรสารละลายดีออกฟอรัมาลดีไฮด์ ปริมาตร 0.1 mL
LIII	ปริมาตรสารละลายดีออกฟอรัมาลดีไฮด์ ปริมาตร 0.1 mL

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสารเคมีในการดำเนินชีวิตในด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นยารักษาโรคชนิดต่างๆ ส่วนประกอบของอาหาร เครื่องสำอางประทินผิว ใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ รวมถึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตในด้านต่างๆ สารเคมีที่ถูกนำมาใช้มีทั้งผลดีและผลเสีย ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จากสารเคมีก่อให้เกิดภาวะมลพิษกับสภาพสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยของเสียประเภทสารอันตรายออกสู่ภายนอกโดยปราศจากการจัดการกากของเสียที่เหมาะสม ซึ่งมนุษย์ก็มีโอกาสได้รับพิษสารเคมีโดยตรงจากการหายใจเอาสารพิษเข้าไปหรือสัมผัสกับสารพิษเหล่านี้ในปริมาณน้อยๆ เป็นเวลานานจนอาจทำให้เสียชีวิตโดยเฉียบพลันหรืออาจเกิดโรคร้ายแรงตามมา เช่น โรคมะเร็ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการควบคุมหรือจัดการสารเคมี การจัดการกากของเสียที่เหมาะสม และที่สำคัญคือต้องมีกฎหมายที่มีการบังคับใช้อย่างชัดเจน

สารเคมีที่นำมาใช้ในปัจจุบันกันอย่างแพร่หลายอีกชนิดหนึ่งคือ สารเคมีอินทรีย์กลุ่มอัลดีไฮด์ เช่น ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde, HCHO) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุน ส่วนมากจะอยู่ในรูปของสารละลายฟอรัมาลีน (37%w/w) ที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเรซินด้วยยูเรียฟีนอลเมลามีนและอนุพันธ์ต่าง ๆ ของ ฟอรัมาลดีไฮด์ ซึ่งจะใช้ในการผลิตกาว เป็นส่วนผสมของสีวัตถุคิบบในการเคลือบผิวปูพื้น ใช้ในการรักษาเนื้อไม้ต่าง ๆ สำหรับทางการแพทย์ ใช้เป็นสารทำความสะอาดฆ่าเชื้อและใช้ในการเก็บรักษาเนื้อเยื่อหรือฉีดรักษาสภาพศพ เป็นต้น ซึ่งถ้าไม่มีการควบคุมปริมาณการใช้และวิธีป้องกันอย่างเหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม แหล่งกำเนิดของสารฟอรัมาลดีไฮด์อีกด้าน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม้อัด โฟมฉนวนกันความร้อน ผลิตภัณฑ์กระดาษไฟเบอร์กลาส ผ้าฆ่ามัน พรหมปูพื้น ขอบยางประตูและกระจกรถยนต์ ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองตาและเนื้อเยื่อในทางเดินหายใจส่วนบนและผิวหนัง ภูมิแพ้และหอบหืด (สมชัย, 2542; Ashmore, 2538) จากรายงานการรับแจ้งจากประชาชน กรณีรถยนต์ที่เพิ่งออกใหม่มีกลิ่นเหม็นฉุนคล้ายสารเคมีภายในห้องโดยสาร จึงอาจสันนิษฐานได้ว่ามีการระเหยของสารฟอรัมาลดีไฮด์ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยางหรือเป็นส่วนประกอบของกาวที่ใช้ประกอบอุปกรณ์ภายในรถยนต์ องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer, IARC) ระบุว่าฟอรัมาลดีไฮด์อาจเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 จากการเก็บข้อมูลการเกิดมะเร็งในคน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งหลังโพรงจมูกและ ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

หน่วยงานกระทรวงสาธารณสุขสหรัฐอเมริกา ได้จัดระดับความเสี่ยงน้อยที่สุดเรื้อรัง (Maximum Residue Limit, MRL) ของฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 0.003 ppm (0.004 mg/m<sup>3</sup>)

จากปัญหาข้างต้นจะเห็นได้ว่าอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ที่แอบแฝงอยู่ในรถยนต์เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้ฟอร์มาลดีไฮด์จากอุปกรณ์ภายในรถยนต์ระเหยออกมาได้มากขึ้น ก่อให้เกิดโรคความเจ็บป่วยหรือเป็นปัจจัยเสริมของการเกิดโรค ดังนั้นจึงสนใจในการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์และบำบัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและหาวิธีการป้องกันความเป็นอันตรายในการได้รับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ของผู้ขับขี่รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศด้วยวิธีแอกทีฟและวิธีการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์
2. ศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบด้วยสาร 3 ชนิด และคัดเลือกสารที่เหมาะสม
3. ศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลโดยใช้การดูดซับด้วยสารที่เหมาะสม
4. ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500
2. ศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ
  - (1) การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เพื่อหาปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหมาะสม โดยแปรค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ระดับ
  - (2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบโดยการใช้สารดูดซึม 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น, สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์, และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยแปรค่าความเข้มข้นสารละลาย 3 ระดับ และกำหนดสภาวะบรรยากาศจำลอง คือ สภาวะที่ไม่มีการดึงอากาศและสภาวะที่มีการดึงอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนเข้าสู่สารดูดซึม
3. บำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารดูดซึมและสภาวะที่เหมาะสมภายในห้องโดยสารรถยนต์ โดยใช้รถยนต์ยี่ห้อแตกต่าง 3 ชนิดที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี ขณะรถยนต์จอดกลางแจ้ง

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล
2. ทราบวิธีการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่เหมาะสม
3. สามารถนำการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์จากห้องทดสอบที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอีกปัญหาหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะเมืองหลักซึ่งเป็นศูนย์กลางความเจริญและการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ มีการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง จำนวนของยานพาหนะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อากาศเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญการปล่อยมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1) แหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม การจราจร การเผาขยะมูลฝอย การผลิตพลังงานไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงภายในบ้าน ฯลฯ

2) แหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ ได้แก่ การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า การนำเปื้อน การหมัก การปลิวกระจายของดิน ฯลฯ

3) แหล่งกำเนิดอื่นๆ ได้แก่ แหล่งที่เกิดปัญหามลพิษทางอากาศจากการรวมตัวทางปฏิกิริยาเคมีจากแหล่งต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตัวทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยา photochemical smog ฝนกรด อนุภาคซัลเฟตและไนเตรด

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญของประเทศไทยอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดจากยานพาหนะ มลพิษที่เกิดจากการคมนาคมขนส่งที่ปล่อยเข้าสู่บรรยากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และนอกจากนี้ ยังมีสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง การปล่อยสารมลพิษออกจากรถยนต์มีการปล่อยออกได้ 3 รูปแบบ คือ จากการระเหยในระบบเครื่องยนต์ (Evaporative emissions) จากการเติมเชื้อเพลิง (Refueling losses) และจากท่อไอเสียรถยนต์ (Exhaust emissions)

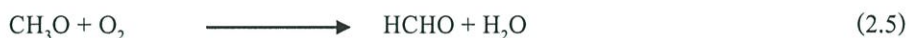
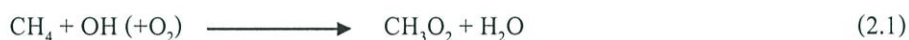
2. แหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม มลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมโดยส่วนมากเกิดจากกระบวนการผลิต เช่น จากการระเหยของก๊าซบางชนิดซึ่งเกิดจากขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น (ที่มา: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2552)

### 2.1.1 แหล่งกำเนิดฟอร์มาลดีไฮด์

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารเคมีที่สำคัญที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมผลิตวัสดุ ก่อสร้าง เคมีภัณฑ์ พลาสติก และสิ่งทอ ดังนั้นจึงสามารถพบฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นไอระเหยที่เป็นพิษได้จากวัสดุ สิ่งเคราะห์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น กาว ฝ้าเพดานสำเร็จรูป ฝ้าใยสังเคราะห์ สีทาบ้าน น้ำยาเคลือบเงาไม้ วัสดุฉนวน เบาะหนังรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ พาร์ติเคิลบอร์ด พรหมสังเคราะห์ กระดาษทิชชู น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น ซึ่งไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์นั้นจัดเป็นสารพิษในอากาศ ทำให้เกิดมลพิษในอากาศและถ้าพบฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณมากก็อาจเป็นอันตรายกับผู้ที่ได้รับได้ นอกจากนี้ยังเป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้และกระบวนการทางธรรมชาติ

ฟอร์มาลดีไฮด์จัดเป็นสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศของฟอร์มาลดีไฮด์มิได้ทั้งจากแหล่งกำเนิดโดยตรงจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ สารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารเติมแต่ง และการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การเผาไหม้ของวัตถุดิบทรีย์ในธรรมชาติ หรือจากการทำปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ โดยทั่วไปฟอร์มาลดีไฮด์ชั้นบรรยากาศนั้นสามารถเกิดและสลายตัวได้เอง โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่ง

การเกิดฟอร์มาลดีไฮด์ในสภาวะแวดล้อมทั่วไปเกิดจากการออกซิไดซ์มีเทนในอากาศดังสมการที่ 2.1-2.5



การเกิดฟอร์มาลดีไฮด์จากการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ได้จากการออกซิไดซ์เมทานอลในอากาศ ซึ่งเมทานอลที่ใช้เตรียมจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนดังสมการ 2.6 - 2.8



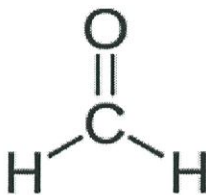
เมื่อในชั้นบรรยากาศมีแสงแดด หรือมีการรวมตัวของกลุ่มไฮดรอกซิล จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ได้ ดังสมการที่ 2.9 – 2.11



จากสมการจะเห็นได้ว่า เกิดสารประกอบ CO ขึ้นมา ซึ่งเป็นสารพิษที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ โดยมีฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศเป็นสารตั้งต้น และ  $\text{HCO}^\cdot$  ที่แตกตัวออกมานั้นสามารถก่อให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบพวกสม็อกอื่นๆได้ ทั้งยังสามารถเข้าจับกับไอออนของโลหะจำพวก  $\text{Cl}^\cdot$ ,  $\text{Mn}^\cdot$ ,  $\text{Br}^\cdot$  ได้เช่นกัน

## 2.2 ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

สารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์หรือที่รู้จักกันในชื่อ ฟอร์มัลลิน คือสารตัวเดียวกันเพียงแต่ว่าเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย เรียกว่า “ฟอร์มัลลิน” ซึ่งเป็นชื่อที่คุ้นเคยกันดีก็คือน้ำยา消毒ศพนั่นเอง ส่วน “ฟอร์มัลดีไฮด์” เป็นก๊าซไม่มีสีที่อุณหภูมิต่ำและความดันปกติ มีกลิ่นฉุน มีชื่อทางเคมีตามระบบการเรียกชื่อ IUPAC คือ Methanal ชื่อเคมีทั่วไป Formaldehyde นอกจากนี้สารฟอร์มัลดีไฮด์พบมากในที่อยู่อาศัย เบนานั่งในรถยนต์เนื่องจากเป็นสารที่อยู่ในกาวและสารเคลือบเฟอร์นิเจอร์ไม้ ไม้อัด และไม้แปรรูปอื่นๆซึ่งใช้เป็นวัสดุก่อสร้างรวมไปถึงสีทาบ้านบางชนิดและสารฟอร์มัลดีไฮด์ ยังมีชื่อพ้องอื่นๆหรือชื่อทางการค้า เช่น Formalin, HCHO, Formic aldehyde, Formol, Oxymethylene, Morbucid, Veracur, Methylene glycol, Formalin 40, Fannoform, Formalith, FYDE, HOCH, Karsan, Lysoform, Superlysoform, Oxomethylene, Methan 21, Melamine-Formaldehyde resin, Flammable, Methyl aldehyde, Methylene oxide และ Oxomethane สูตรโมเลกุลของสารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์ คือ HCHO ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของฟอร์มัลดีไฮด์ (ที่มา: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

สารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารเคมีที่เรานำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ทั้งในทางการแพทย์ เคมี เฟอร์นิเจอร์เครื่องใช้ในบ้าน ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารต้านเชื้อราในกาวลาเท็กซ์ที่ใช้ประกอบเครื่องเรือน เบาะหนังรถยนต์ และยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของโฟมที่ใช้ทำจนวน เป็นส่วนประกอบในเรซินที่เคลือบผิวรถยนต์ น้ำมันเคลือบผิวไม้ให้เงางาม ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในทางการค้าจะอยู่ในรูปของสารละลาย สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ไม่เสถียร มีปริมาณของกรดฟอร์มิกเพิ่มขึ้นตลอดเวลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แม้ว่าจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำซึ่งช่วยลดความเป็นกรดแล้วก็ตาม โดยจะเกิดพาราฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะตกตะกอนออกมาและมีความเป็นพิษมากกว่าฟอร์มาลินมาก ดังนั้นจึงมีการเติมสารป้องกัน การตกตะกอน ได้แก่ เมทานอล พาราฟอร์มาลดีไฮด์เป็นพอลิเมอร์ตัวหนึ่งของฟอร์มาลดีไฮด์ มีสูตรโครงสร้างเป็น  $[(CH_2O)_nH_2O]$  สามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า พาราฟอร์มหรือพอลิซีเมทิลีน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง เมื่อผสมกับพาราฟินร้อนจะปล่อยก๊าซ ฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาสามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคได้ ดังสมการที่ 2.12



ตารางที่ 2.1 สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของฟอร์มาลดีไฮด์

ชื่อทางเคมี (Chemical Name)	ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)
(CAS Registry Number)	000050-00-0
ชื่อ IUPAC (IUPAC Name):	Formaldehyde
หมายเลข CAS (CAS Number)	8013-13-6
น้ำหนักโมเลกุล (molecular formula)	30.03
สูตรเคมี (Chemical Formula)	$CH_2O$ [HCHO]
มวลต่อหนึ่งโมล	$30.03 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
ความหนาแน่น	$1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , gas
จุดหลอมเหลว $^{\circ}C$	-15
จุดเดือด ( $^{\circ}C$ )	96
ความดันไอ	101.3 kPa ที่ $-19^{\circ}C$ 52.6 kPa ที่ $-33^{\circ}C$
อุณหภูมิที่ติดไฟเอง	$430^{\circ}C$

## 2.3 การใช้ประโยชน์จากสารฟอร์มาลดีไฮด์

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากโรงงานผลิตจะอยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลินที่ความเข้มข้นประมาณ 37-55% โดยน้ำหนัก ฟอร์มาลดีไฮด์ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ ดังนี้

### 2.3.1 ทางด้านอุตสาหกรรม

ฟอร์มาลดีไฮด์ใช้เป็นสารตั้งต้นและสารตัวกลางในการผลิตพลาสติกหลายชนิดเช่น Melamine formaldehyde urea resins และ Phenol formaldehyde resins ซึ่งใช้ในการผลิต Particle board, Fiberboard และ Polywood acetal resins ใช้เพื่อขึ้นรูปหล่อชิ้นส่วนที่เป็นพลาสติกของรถยนต์ เครื่องมือภายในบ้าน อุปกรณ์ทำสวนและอุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อผลิตผงที่ใช้ในลักษณะเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์และยังใช้ในการย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีและสีย้อมติดแน่นในอุตสาหกรรมกระดาษใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อให้กระดาษล่อนและกันน้ำได้ นอกจากนี้ฟอร์มาลดีไฮด์ยังใช้ในการฟอกสีการพิมพ์ผสมโลหะเพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และวัตถุระเบิด สีต่างๆ เช่น สีคราม สีแดง สีอะครีลิก เป็นต้น (คมกริช และ คณะ, 2551)

### 2.3.2 ทางด้านของการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

จากการศึกษาของ Wistreich et al. (1972) พบว่าฟอร์มาลดีไฮด์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ และ Albert (1979) พบว่าสารฟอร์มาลดีไฮด์สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งในรูปของ vegetative bacteria, spore, fungi และ virus ซึ่งสารฟอร์มาลดีไฮด์จะทำลายแบคทีเรียโดยการจับกับกลุ่ม อะมิโนของโปรตีน ชักน้ำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างธรรมชาติ ได้ศึกษาความเป็นพิษของสารฟอร์มาลดีไฮด์ต่อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* พบว่าฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ส่วนในล้านส่วน (ppm) สามารถฆ่าเชื้อชนิดดังกล่าวได้ร้อยละ 99.90 และที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 75 ส่วนในล้านส่วน สามารถฆ่าเชื้อดังกล่าวได้หมดภายในเวลา 24 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ สารฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้นประมาณร้อยละ 0.004 จะช่วยป้องกันเชื้อราในการเก็บข้าวสาลีหรือป้องกันการเน่าเสียของข้าวโอ๊ตหลังการเก็บเกี่ยว (ที่มา: มะลิวรรณ แสงจันทร์, ชลอ ถิ์มสุวรรณ และสุปราณี ชินบุตร, 2531)

### 2.3.3 ทางด้านการแพทย์

ฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลินมีคุณสมบัติในการเก็บรักษาโปรตีน เช่น ใช้แช่ชิ้นเนื้อในการตรวจวิเคราะห์โรค หรือใช้ในการดอง และใช้ในการทำความสะอาดห้องผู้ป่วย เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมและสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ยาและวัคซีน (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

### 2.3.4 ทางด้านเครื่องสำอาง

การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เห็งื่อออกมา ใช้ในสบู่ ยาสีฟัน ยาบ้วนปาก ครีมโกนหนวด เพื่อฆ่าเชื้อ และใช้ในน้ำยาคัดปลิ้นตัว (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

### 2.3.5 ทางด้านการเกษตร

ใช้สำหรับการทำลายจุลินทรีย์ ป้องกันต้นไม้มที่เป็นโรค และป้องกันผลทางการเกษตร นอกจากนี้ยังใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในการเก็บรักษา ทำความสะอาดสถานที่เก็บอุปกรณ์เช่น ลังไม้และใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรคในดิน

สำหรับประเทศไทยตั้งแต่ปีพ.ศ.2544-2549 มีการนำเข้าฟอร์มาลดีไฮด์จากประเทศเยอรมัน อิตาลี ญี่ปุ่น สหราชอาณาจักร ออสเตรเลีย ใต้หวัน สเปน อินโดนีเซีย อินเดียและสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีชื่อทางการค้าและบริษัทผู้ผลิตฟอร์มาลดีไฮด์ ดังตารางที่ 2.2 นอกจากนี้ประเทศไทยมีการนำเข้าฟอร์มาลดีไฮด์เข้ามาในประเทศแล้ว ประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกฟอร์มาลดีไฮด์ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชื่อทางการค้าและบริษัทผู้ผลิตฟอร์มาลดีไฮด์

ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ
Magnus-MTD	Economic laboratory	U.S.A
Jamia Sanering	Jen villadesens Fabriker	Denmark
Svatska Ohlssons	A/S	
Sanering Svatska		
Radar Sanerring		Sweden
Svatska	Kemanord AB.	
Agua-Kem Koncentrat		Germany
Weilbulls	Linde AG.	Sweden
Krusbarsformalin	Wei Bull AB,W.	

(ที่มา: แก้ว, 2543 อ้างถึงกรมศุลกากร, 2550)

ตารางที่ 2.3 สถิติการนำเข้าและส่งออกพอร์มาลดีไฮด์ของประเทศไทย ปี พ.ศ.2544-2549

ปี พ.ศ.	นำเข้า		ส่งออก	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (บาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (บาท)
2544	875.74	10,686,210	178.11	2,022,685
2545	33.46	3,078,865	34.22	478,311
2546	34.75	4,444,321	218.01	2,555,525
2547	27.79	3,935,335	38.50	791,831
2548	38.42	4,445,755	43.22	872,122
2549	28.80	2,782,342	41.48	702,332

(ที่มา: แก้ว, 2543 อ้างถึงกรมศุลกากร, 2550)

#### 2.4 อันตรายจากพอร์มาลดีไฮด์

พอร์มาลดีไฮด์เป็นสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิ เครื่องสำอาง เส้นใย พลาสติก กาวสังเคราะห์สำหรับอุตสาหกรรมไม้ สี ปูน อาหารและยา เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2526 ได้มีการประมาณมูลค่าการใช้พอร์มาลดีไฮด์ทั่วโลก พบว่ามีมูลค่าสูงถึง 5 ล้านปอนด์ จากการที่พอร์มาลดีไฮด์ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ทำให้องค์การต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา ให้ความสนใจเกี่ยวกับพิษของสารนี้ที่มีต่อสุขภาพ ของประชากรที่สัมผัสโดยตรงและโดยทางอ้อมและได้มีการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยของพอร์มาลดีไฮด์จากสินค้าบริโภคหลายประเภทด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากสินค้าบริโภค

ชนิดของสินค้า	ปริมาณที่ปล่อย	
	ไมโครกรัม/กรัม/วัน	ไมโครกรัม/ลบ.ม./วัน
ผลิตภัณฑ์ไม้อัด	6.7-8.1	23,000-26,000
ไม้อัด (ตกแต่งภายใน)	7.5-9.2	13,000-15,000
รูป	19-21	32,000-36,000
เส้นผ้าไหม (ก่อนซัก)		
เส้นเช็ดชาย (ฝ้าย โพลีเอสเตอร์)	2.5-2.9	380-550
ชุดผู้หญิง (ฝ้าย โพลีเอสเตอร์)	3.4-4.9	380-750
เส้นใยถัก (100% ฝ้าย)	2.8-3.0	330-335

(ที่มา: ทศพร, 2534)

จากข้อมูลในตารางที่ 2.4 จะเห็นได้ว่ามนุษย์มีโอกาสสัมผัสกับสารพิษฟอร์มาลดีไฮด์ได้ทุกหนทุกแห่ง กล่าวคือ อาจสัมผัสได้จากการประกอบอาชีพ หรือจากการใช้ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยของรัฐเวอร์จิเนียตะวันตก (The West Virginia Department of Health) ได้ทำการศึกษาเพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในร่างกายกลุ่มคนที่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของฟอร์มาลดีไฮด์พบว่ามีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ

ความเข้มข้นน้อยกว่า 0.05 ส่วนในล้านส่วน ความเข้มข้น 0.05-0.19 ส่วนในล้านส่วน ความเข้มข้น 0.20-0.40 ส่วนในล้านส่วนและความเข้มข้นมากกว่า 0.40 ส่วนในล้านส่วน โดยกลุ่มคนที่มีปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่า 0.20 ส่วนในล้านส่วน จะไม่ปรากฏอาการใดๆจากพิษของสารดังกล่าว โดยทั่วไปแล้วปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่อวัยวะภายนอก เช่น ตา จมูก และผิวหนังจะรับรู้สีกจะมีค่าสูงกว่าปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่พบในร่างกาย กล่าวคือ จมูกจะไ้กลิ่น เมื่อฟอร์มาลดีไฮด์มีปริมาณความเข้มข้น 0.5-1.0 ส่วนในล้านส่วน ตาจะรู้สึกระคายเคืองเมื่อมีความเข้มข้น 1.0-2.0 ส่วนในล้านส่วน เยื่อจมูกจะรู้สึกแสบเมื่อมีความเข้มข้น 2-3 ส่วนในล้านส่วน จะเริ่มมีอาการอักเสบตา เมื่อมีความเข้มข้น 4-5 ส่วนในล้านส่วน โดยถ้าอยู่ในที่ที่จำกัดจะสามารถทนได้เพียง 10 นาที และถ้าปริมาณเข้มข้นสูงถึง 50-100 ส่วนในล้านส่วน อาจทำให้หมดสติได้ภายในเวลาเพียง 5 นาที ดังนั้น จะพบฟอร์มาลดีไฮด์ถึงแม้จะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็มีโทษมหันต์เช่นกันฉะนั้นผู้ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องหรือมีอาชีพเกี่ยวกับการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลีน ควรจะมี

วิธีการที่จะรักษาความปลอดภัยให้กับตนเอง วิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง คือการป้องกันในขณะปฏิบัติงาน และควบคุมให้บริเวณที่ทำงานมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เกิน 2 ส่วนในล้านส่วน (ที่มา: ทศพร, 2534)

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลิน เป็นตัวทำลายอินทรีย์เคมีตัวหนึ่ง ที่เป็นสาเหตุของการก่อมะเร็งในร่างกายมนุษย์ แต่ก็ยังมีผู้จำหน่ายหลายรายเข้าใจว่า สารละลายฟอร์มาลินหรือฟอร์มาลดีไฮด์ช่วยรักษาสินค้าของคนไว้ให้สดจึงนำมาใช้กับอาหารหลายประเภท เช่น กุ้ง ปูม้า ผักและอื่น ๆ มากมาย ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขห้ามใช้สารประเภทนี้เพื่อรักษาความสดในอาหาร จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลินมีทั้งคุณและโทษ หากเกิดความเข้าใจในพิษภัยของสารที่เราจำเป็นต้องเกี่ยวข้องก็สามารถป้องกันและแก้ไขได้ทันเวลาที่ ซึ่งจะทำได้ทำให้สามารถรอดพ้นจากพิษภัยของสารนี้ได้ (ที่มา: ทศพร, 2534)

#### 2.4.1 การเข้าสู่ร่างกาย

ในกรณีที่ได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณต่ำร่างกายสามารถกำจัดได้ แต่หากได้รับในปริมาณที่สูงขึ้นหรือมีความเข้มข้นมากขึ้น ฟอร์มาลดีไฮด์จะเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายการทำงานของเซลล์ในร่างกาย ทำให้เซลล์ตายได้ ฟอร์มาลดีไฮด์นั้นมีพิษต่อระบบต่างๆ เกือบทั่วทั้งร่างกายฟอร์มาลดีไฮด์จะมีพิษต่อระบบทางเดินหายใจ หากได้รับในรูปของไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ แม้จะปริมาณต่ำๆ ถ้าถูกตาจะระคายเคืองตามาก ถ้าสูดดมเข้าไปจะทำให้หลอดลมบวม ให้แสบจมูก เจ็บคอ ไอ หายใจไม่ออก ปวดอักเสบ น้ำท่วมปอด ทำให้เป็นแผลหรือถึงขั้นตาบอด ถ้าสูดดมเข้าไปมากๆ จะทำให้น้ำท่วมปอดจนหายใจไม่ออก แน่นหน้าอก และตายในที่สุด อาการเหล่านี้ อาจเกิดขึ้นหลายชั่วโมงหลังจากได้รับสาร โดยไม่มีอาการเจ็บปวด เลยก็ได้ หากได้รับปริมาณน้อยเป็นเวลานาน จะมีอาการไอและหายใจติดขัดเพราะหลอดลมอักเสบ เป็นต้น และฟอร์มาลดีไฮด์จะมีพิษร้ายแรงต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณมาก จะทำให้ปวดศีรษะอย่างรุนแรง หัวใจเต้นเร็ว แน่นหน้าอก ปากและคอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายท้อง ปวดท้องอย่างรุนแรง ภาวะอาหารอักเสบ เกิดแผลในกระเพาะอาหาร หากได้รับสารนี้โดยการบริโภค จะเกิดอาการพิษโดยเฉียบพลัน ซึ่งอาการมีตั้งแต่ปวดท้องอย่างรุนแรง อาเจียน อุจจาระร่วง ปัสสาวะไม่ออก หมดสติ ถ้าปล่อยทิ้งไว้อาจเสียชีวิตเพราะระบบหมุนเวียนเลือดล้มเหลว ถ้าหากได้รับในปริมาณ 60-90 ซีซี จะทำให้การทำงานของตับ ไต หัวใจ และสมองเสื่อมลง และก่อให้เกิดการปวดแสบปวดร้อนที่คอและปาก เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อทางเดินหายใจ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรง หมดสติ นอกจากนี้ยังพบว่าฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งด้วยฟอร์มาลดีไฮด์มีผลต่อผิวหนัง เมื่อสัมผัสจะเกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้เกิดผื่นคัน เป็นผื่นแดงเหมือนลมพิษ จนถึงผิวหนังไหม้เป็นสีขาวได้หากสัมผัสโดยตรง

## 2.4.2 ความเป็นพิษ

ฟอร์มาลดีไฮด์จัดเป็นสารที่มีความเป็นพิษ คือ มีค่า LD50 ต่อหนู (rat) ทางกระเพาะอาหาร เท่ากับ  $385 \pm 28.72$  mg/kg และ LD50 ต่อหนู (mice) ทางกระเพาะอาหารเท่ากับ  $424 \pm 34.13$  mg/kg ทั้งนี้ความเป็นพิษเฉียบพลันที่เกิดขึ้นกับสัตว์ทดลองเมื่อมีการฉีดฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่กระเพาะอาหาร จะเห็นได้จากการแสดงอาการตื่นตระหนก หลังจากนั้นจะเกิดอาการง่วงซึม อ่อนเพลีย หายใจติดขัด และตายภายในเวลา 2-3 ชั่วโมงแรกที่ได้รับสาร (ที่มา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ, 2555)

ส่วนในกรณีของความเป็นพิษเรื้อรัง ที่เกิดจากการได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายนั้น จากการทดลองในสุนัขและกระต่ายที่ได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ทางอาหารในปริมาณ 2-50 mg/kg เป็นเวลา 129 วัน พบว่าสัตว์ดังกล่าวจะมีน้ำหนักตัวลดลง จำนวนเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินในเลือด มีปริมาณต่ำลง สัตว์ทดลองบางส่วนตายในระหว่างการทดลอง ซึ่งเมื่อนำซากมาตรวจสอบ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพ (Pathology) ของตับ ลำไส้ตอนบน กระเพาะอาหาร และส่วนอื่นๆ ในระบบทางเดินอาหาร

สำหรับความเป็นพิษต่อมนุษย์ ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและดวงตา เป็นสารไวไฟและอาจเป็นสารก่อมะเร็ง ถ้าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ร่างกายได้รับสูงเกิน 0.1 ppm จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา จมูก และทางเดินหายใจ แต่ถ้าได้รับปริมาณเข้มข้นสูงเกิน 100 ppm อาจทำให้หมดสติและอาจถึงแก่ชีวิตในที่สุด เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ สารฟอร์มาลดีไฮด์จะเปลี่ยนรูปเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายระบบการทำงานของเซลล์ในร่างกาย ในกรณีอาการเรื้อรัง หากได้รับปริมาณน้อยแต่ระยะยาวจะทำให้เกิดผลเสียกับระบบภายในร่างกายต่างๆ หรือก่อให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปริมาณการได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง พบว่าคนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสารเคมีชนิดนี้ที่ระดับสูงกว่า 1 ppm เนื้อเยื่อโพรงจมูกจะถูกทำลายและมีโอกาสกลายเป็นมะเร็งโพรงจมูกในอนาคต ระดับความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับต่างๆส่งผลเสียต่อร่างกาย

ความเข้มข้น(ppm)	อาการ
0.0-0.05	ไม่มีอาการ
0.05-0.5	เชิงประสาทสัมผัส
0.05-1.0	จัดการทนกลิ่น
0.01-2.0	การระคายเคืองตา
0.10-25	การระคายเคืองทางเดินอากาศหายใจส่วนบน
5-30	การระคายเคืองทางเดินอากาศหายใจส่วนล่างและปอด
50-100	ปวดบวมน้ำ , ปวดอักเสบ
>100	เสียชีวิต

(ที่มา : คมกริชและคณะ, 2551)

#### 2.4.3 การสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ ทำให้เกิดอาการดังนี้

1. หากสูดดมไอรระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ ถ้าเกิน 0.1 ppm จะทำให้เกิดอาการเย็บพ่น คือ แสบตาและระคายเคืองในทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการอักเสบ มีอาการไอ แน่นหน้าอกหอบ คล้ายเป็นหืด อาจถึงขั้นเป็นปอดอักเสบ หรือปอดบวมน้ำเย็บพ่น

2. ถ้ามีการสูดดมไอรระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้นสูงมากๆ ตั้งแต่ 100 ppm ขึ้นไป อาจทำให้ตายได้

3. หากมีการสัมผัสถูกสารละลายโดยตรงทางผิวหนัง จะทำให้เกิดผิวหนังอักเสบ เกิดอาการคันทันที

4. เมื่อมีการสูดดมไอรระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นเวลานานๆจะทำให้เกิดการสะสมในร่างกายก่อให้เกิดโรคมะเร็งต่างๆได้ เช่น โรคมะเร็งโพรงจมูก มะเร็งคอหอยส่วนจมูก

##### 2.4.3.1 การกำหนดค่ามาตรฐานของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

เนื่องจากการได้สัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์นั้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพค่อนข้างรุนแรง จึงทำให้มีหลายองค์กรที่ทำการศึกษาและกำหนดมาตรฐานปริมาณการได้รับสัมผัสขึ้นมา โดยการกำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน (Time-weighted average, TWA) และค่ามาตรฐานสารเคมีในระยะเวลาอันสั้น (Short-term exposure limit, STEL) ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

องค์กรที่กำหนดมาตรฐาน	TWA (8-hr) (Time-weighted average)		STEL ( min) (Short-term exposure limit)	
	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm
OSHA (Occupational Safety and Health Administration), U.S.A	0.84	0.56	2.40	1.60
NIOSH (Nation Institute for Occupational Safety and Health), U.S.A	0.024	0.016	0.15	0.1
ACGIH ( American Conference of Government Industrial Hygienists)	1.37	0.91	-	-
ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย 30 พ.ศ. 2520	-	3	-	10

มาตรฐานคุณภาพกำหนดคุณภาพอากาศในประเทศไทยที่เกี่ยวกับฟอร์มาลดีไฮด์ กำหนดโดยกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม (กรมแรงงาน กระทรวงมหาดไทยในขณะนั้น) เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) โดยกำหนดในหมวดที่ 1 ข้อที่ 4 ห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติเท่ากับ 3 ppm ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด 30 นาทีเท่ากับ 10 ppm และปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้เท่ากับ 5 ppm

2.4.3.2 การควบคุม ป้องกันอันตราย และการจัดลำดับความเป็นอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์  
การควบคุมและป้องกันอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. การตระหนักและการประเมินถึงอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์
2. การจัดลำดับความอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์
3. การเตรียมข้อมูลเพื่อการตัดสินใจสั่งการของผู้บริหาร
4. การดำเนินการควบคุม ป้องกัน และการเฝ้าระวังอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์
5. การประเมินผลการควบคุมและการป้องกันอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์

ประเทศไทยมีการควบคุมการใช้โดยกำหนดให้มี พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ขึ้นมา โดย พ.ร.บ. ดังกล่าวกำหนดวัตถุอันตรายออกเป็น 4 ประเภท คือ

(1) วัตถุอันตรายชนิดที่ 1 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด

(2) วัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย

(3) วัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออกหรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับอนุญาต

(4) วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง

สำหรับฟอร์มาสีไฮด์จัดอยู่ประเภทที่ 2 คือเป็นวัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมประมง

## 2.5 การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศและวิธีวิเคราะห์

โลกมีชั้นของบรรยากาศห่อหุ้มอยู่โดยรอบหนาประมาณ 15 กิโลเมตร ชั้นของบรรยากาศดังกล่าวนี้ประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน ฟลูออรีน ไอออน และเชอจุลินทรีย์ต่าง ๆ เมื่อใดก็ตามที่ส่วนประกอบของอากาศเปลี่ยนแปลงไปมีปริมาณ ของฟลูออรีน ไอออน ก๊าซ กลิ่น หมอกควัน ไอ ไออนน้ำ เหม่าและกัมมันตภาพรังสีอยู่ในบรรยากาศมากเกินไปเรียกสภาวะนี้ “มลพิษทางอากาศ”

มลพิษทางอากาศ คือ สภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่าง ๆ อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟลูออรีนจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า เป็นต้น กรณีที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากท่อไอเสีย ของรถยนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมจากขบวนการผลิตจากกิจกรรมด้านการเกษตรจากการระเหย ของก๊าซบางชนิด ซึ่งเกิดจากขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น

มลพิษทางอากาศมีหลายประเภท เช่น สิ่งมีชีวิต (Biological) ยาฆ่าแมลง (Pesticides) ก๊าซ (Gases) โลหะ (Metals) แร่ธาตุ (Minerals) กัมมันตรังสี (Radiation) ไออนน้ำ (Vapors) และ อนุภาคขนาดเล็ก (Particulate Matter: PM) ซึ่งทำให้เกิดผลร้ายต่อสุขภาพต่างๆกัน คือ ทำให้เกิดโรค อาการป่วย (Sick building syndrome) และ (building related illness) เช่น ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ โรคทางเดินหายใจ หอบหืด มะเร็งปอด ภาวะกระดูกพรุน หูดหูด แพ้สารเคมีหลายชนิดอากาศเป็นสิ่งแวดล้อมพื้นฐานทางกายภาพที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต อากาศในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air) ถือว่ามีสาร

มลพิษน้อยเมื่อเทียบกับสถานที่ทำงานประเภทโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการหมุนเวียนของอากาศดีกว่า ในการเก็บตัวอย่างอากาศจึงสามารถแบ่งย่อยตามวัตถุประสงค์ของการติดตามเฝ้าระวังได้ ดังนี้

### 2.5.1 การเก็บตัวอย่างทางมลพิษทางอากาศ

การเก็บตัวอย่างอากาศนี้สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่นการเก็บแบบวิธีแอคทีฟ และวิธีพาสซีฟ ซึ่งวิธีแอคทีฟเป็นการใช้ปั๊มดูดอากาศเข้าไปในอุปกรณ์เก็บอากาศ แต่วิธีพาสซีฟเป็นการอาศัยหลักการแพร่ของอากาศ ซึ่งถ้ามีสารดูดซับอากาศติดตั้งอยู่ก๊าซที่ต้องการศึกษาสามารถแพร่เข้าไปยังสารดูดซับได้ การเก็บตัวอย่างอากาศและการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศนั้นเป็นงานที่ต้องการความละเอียดและรอบคอบ เนื่องจากความเข้มข้นดังกล่าวอยู่ในระดับส่วนในพันล้านส่วน หรือส่วนในล้านล้านส่วน ดังนั้นควรคำนึงถึงความถูกต้องในการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นอนุภาคดังนี้

1. ต้องมีการปรับความถูกต้องของอัตราการไหลของอากาศของเครื่องมือก่อนใช้งาน
2. ต้องจดบันทึกข้อมูลข่าวสารที่จะเป็นประโยชน์ต่อการแปลผลและประเมินผลค่าความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศที่ตรวจวัดได้
3. ต้องระวังตัวอย่างอนุภาคสูญหายระหว่างการนำตัวอย่างกลับไปห้องปฏิบัติการ
4. ต้องตั้งให้อัตราการดูดอากาศคงที่ตลอดเวลา และมีปริมาณมากพอที่จะนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้
5. ความพร้อมของเครื่องมือและความเหมาะสมของเครื่องมือที่ทำการเก็บตัวอย่างแต่ละชนิด
6. ต้องคำนึงถึงตัวแทนความเข้มข้นที่อาจไม่เท่ากันในแต่ละวันเช่น การเปลี่ยนแปลงการผลิต การระบายอากาศ เครื่องจักรเก่า-ใหม่
7. การประสานงานระหว่างผู้เก็บกับผู้วิเคราะห์

วิธีการที่นิยมใช้ในประเทศไทยนำมาจากวิธีการที่ได้รับการยอมรับโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US.EPA) การตรวจวัดโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของวัตถุประสงค์และลักษณะเฉพาะของระดับความเข้มข้นสารมลพิษและสภาวะที่ปรากฏ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นในบรรยากาศ องค์ประกอบอื่นๆ ในอากาศ หรือในจุดที่ทำการเลือกเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีผลทำให้เทคนิคในการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศแตกต่างกันออกไป วิธีเก็บตัวอย่างอากาศ (Air sampling methods) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

### 1. การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active air sampling)

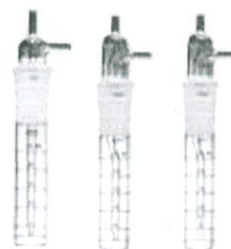
การเก็บตัวอย่างในอากาศประเภทนี้เป็นการเก็บตัวอย่างอนุภาคหรือก๊าซ มีการดูดตัวอย่างอากาศโดยอาศัยปั๊มดูดตัวอย่างอากาศผ่านเข้าไปใน sampling media ที่เหมาะสม การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟนิยมใช้วัดคุณภาพอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ อากาศจะถูกดูดมาเก็บไว้ที่ตัวจับสารตัวอย่าง ได้แก่ สารดูดซับหรือสารเคมีที่ใช้เป็นสารละลาย โดยมีปริมาตรอากาศและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่แน่นอน วิธีนี้สามารถเก็บตัวอย่างได้ทุกวัน ทำให้วิเคราะห์ผลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปสามารถเก็บได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นก๊าซและอนุภาค การเลือกชนิดของสารตัวจับสารตัวอย่างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารวิเคราะห์หลักในอากาศเป็นสำคัญ จากคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของก๊าซนั้นจะนำมาใช้พิจารณาเลือกสารดูดซับชนิดต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้เก็บตัวอย่างได้ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการคือ เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มดูดอากาศ ผ่านสารละลายที่บรรจุในหลอดเก็บตัวอย่างหรืออิมพิงเจอร์ สารละลายจะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่จะตรวจวัดแล้วเกิดการเปลี่ยนสี นำสารละลายไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้น สำหรับสารละลายดูดซึมที่ใช้สำหรับจับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ คือ โซเดียมไบซัลไฟต์ ซึ่งสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมกับฟอร์มัลดีไฮด์ได้เป็นผลิตภัณฑ์การเติมหมู่ไบซัลไฟต์ และเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกรดจะสามารถแตกตัวได้เป็นฟอร์มัลดีไฮด์ดังสมการ (ที่มา: คมกริชและคณะ, 2551)



ปั๊มลมดูดอากาศ



เครื่องวัดอัตราการไหล



ขวดบรรจุสารดูดซึม

รูปที่ 2.2 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

## 2. การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive air sampling)

การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ อาศัยหลักการการไหลอย่างอิสระของโมเลกุลที่ต้องการวิเคราะห์ จากตัวกลางของตัวอย่างไปยังตัวกลางดูดซับ โดยอาศัยผลของความแตกต่างของความต่างศักย์ทางเคมีของสารที่ต้องการวิเคราะห์ระหว่างสองตัวกลาง วิธีนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการตรวจหาสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน การไหลสุทธิของโมเลกุลสารที่ต้องการวิเคราะห์จะเป็นการไหลจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่งอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระบบอยู่ในสภาวะสมดุล หรือจนกระทั่งระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสิ้นสุดลงในระยะเวลาที่เหมาะสม ในทางปฏิบัติการเดินทางผ่านเครื่องกีดขวางอาศัยหลักการสองอย่าง คือ การแพร่ (diffusion) หรือการซึมผ่านเข้าไป (permeation) ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานทั่วไปในการจำแนกอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟทั้งหมด การศึกษาวิจัยโดยการนำสารประกอบ 2,4-ไดไนโตรฟีนีลไฮดราซีน (2,4-Dinitrophenylhydrazine, DNPH) มาใช้เป็นตัวดูดซับสารประกอบคาร์บอนิลในอากาศเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมา ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดผ่านการเติมนิวคลีโอไฟล์ให้กับกลุ่มคาร์บอนิล (Nucleophilic addition) และตามด้วยปฏิกิริยาการกำจัดน้ำออก (Water elimination) ใด้อนุพันธ์ของ 2,4-ไดไนโตรฟีนีลไฮดราโซน (ที่มา: Gorecki, T and Namiesnik, J., 2002)

ตารางที่ 2.7 ข้อดีข้อเสียของการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีแอกทีฟและพาสซีฟ

การเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟ		การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ความว่องไวและความแม่นยำในการตรวจวัดสูง	1. Personal sampling pump มีขนาดใหญ่และราคาสูงมาก	1. สามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่	1. ความว่องไวในการตรวจวัดต่ำกว่าวิธีแอกทีฟ
2. อุปกรณ์ต่างๆนำกลับมาใช้ใหม่ได้	2. มีเสียงรบกวนจากปั๊ม	2. มีขนาดเล็ก เบา และเงียบ	2. สารเคมีที่ใช้ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์มีราคาค่อนข้างสูง
3. สารเคมีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเตรียมได้ง่ายและราคาถูก	3. การเคลื่อนย้ายไม่สะดวกเนื่องจากอุปกรณ์มีหลายชิ้น	3. เหมาะสำหรับตรวจวัดปริมาณการได้สัมผัสของบุคคลและเหมาะสำหรับสำหรับตรวจอากาศภายในอาคาร	3. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ความระมัดระวังสูงเพื่อป้องกันการปนเปื้อน
4. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Spectrophotometer ทำได้ง่ายและรวดเร็ว	4. ไม่สามารถเก็บตัวอย่างจำนวนมากได้เนื่องจากต้องใช้ปั๊ม	4. สามารถเก็บตัวอย่างได้ครั้งละหลายๆตัวอย่าง	4. การวิเคราะห์ของวิธีพาสซีฟใช้เวลามากกว่าการวิเคราะห์ของวิธีแอกทีฟ

(ที่มา: แก้ว, 2543)

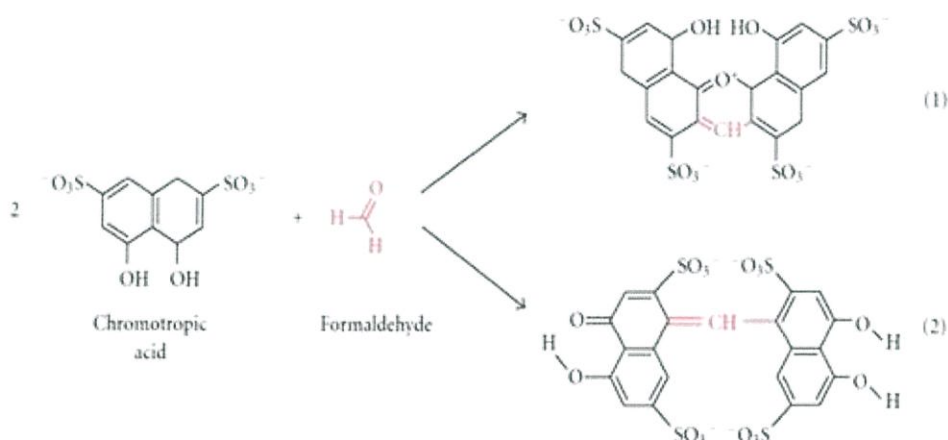
ตารางที่ 2.8 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

วิธีการ	การเก็บตัวอย่าง	การวิเคราะห์	สิ่งรบกวน
Chemotropic acid : NIOSH 3500	Midget impinger	Spectrophotometry	Phenol, otherorganic substances
Paraosanine (original)	Midget impinger	Spectrophotometry	Sulfur dioxide
Acetylacetone spectrophotometric	Midget impinger	Spectrophotometry	other aldehydes, amines, sulfur dioxide
2,4-DNPH aqueous ethanol	Midget impinger	HPLC	acetaldehyde
2,4-DNPH adsorbent	Adsorbent tube	HPLC	acetaldehyde
NIOSH acidic hydrazine	Midget impinger	Polarography	other aldehydes
OSHA acidic hydrazine	Midget impinger	Polarography	other aldehydes
NIOSH 2502	Reactive adsorbent	Gas chromatography	Acetaldehyde

(ที่มา : World Health Organization.1989. Environmental Health Criteria 89 Formaldehyde)

### 2.5.2 การวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์

1. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ด้วยวิธีเทียบสีตามวิธีของ NIOSH 3500 Manual of Analytical Methods 3500 ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ตามวิธีของ NIOSH 3500 Manual of Analytical Methods 3500 นั้น นำ Chromotropic acid  $((\text{HO})_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{SO}_3\text{H})_2)$  มาทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$  จะทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (strong media) ของปฏิกิริยาเกิดเป็น mono-cationic dibenzoxanthylum ในรูปของสารละลายสีม่วง



**รูปที่ 2.3** ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง Chromotropic acid กับ Formaldehyde  
(ที่มา: NIOSH Manual of Analytical Methods. Formaldehyde by VIS 3500)

2. วิเคราะห์ตามวิธีของ MERCK1.14678.0001 (Method: photometric) เป็นวิเคราะห์แบบแบดจ์โดยจะตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปของ Monocationic dibenzoxanthylium หลังจากทำปฏิกิริยากับสารในชุด Formaldehyde Test แล้วเขย่าตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 10 นาที จะได้สารละลายสีม่วง หลังจากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร ตามวิธีของ MERCK 1.14678.0001 (Method: photometric) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและสีของสารละลาย แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง ที่มา: (Fagnani, 2002)

3. การวิเคราะห์ตามวิธีของ Application Note 97 DIONEX (US.EPA Method8315) การเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมก่อนวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ โดยทำการสกัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ และทำให้สารตัวอย่างมีความเข้มข้นมากขึ้นด้วยการสกัดตัวอย่างแบบ Liquid/Solid extraction แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ที่มีหน่วยตรวจวัดเป็นยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สภาวะที่ใช้คอลัมน์ C-18 สารละลายที่ใช้ชะคือ อะซิโตน ไตรคลอโรเอทิลีน นำพื้นที่ใต้พีคที่ได้จากการวิเคราะห์มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่าง

## 2.6 การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีชื่อว่า Air Detoxify ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อย่อยสลายสารฟอร์มัลดีไฮด์ หลักการ คือ การดูดซับคาร์บอนและย่อยส่วนที่เหลือออกมาในรูปของไอน้ำบริสุทธิ์ซึ่งเป็นเทคนิคเดียวกับที่อุตสาหกรรมสี เช่น Nippon Air Care หรือ TOA Super shield Dura clean Oxygen Plus นำไปใช้ในการผลิตสีทาบ้าน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของดร.บี ซี วูฟเวอร์ตัน (Dr. B.C. Wolverton) นักวิจัยแห่งสถาบันวิจัยอวกาศนาซ่า ซึ่งทำวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้ประดับในการกำจัดสารพิษหรือมลพิษในอากาศและตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานไปทั่วโลกในหนังสือชื่อ Eco - Friendly House Plant พบว่า ไม้ประดับที่นิยมปลูกกันทั่วไปไม่เพียงแต่ให้ความสวยงามแต่ยังมีฤทธิ์ช่วยดูดซับสารฟอร์มัลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไซลิค โทลูอิน รวมทั้งไอเสียที่เกิดจากมนุษย์ได้ดี ตัวอย่างไม้ประดับ เช่น สาวน้อยประแป้ง (Dumb Cane) หมากเหลือง (Areca Palm หรือ Yellow Palm) เดหลี (Peace Lily) เยอบีร่า (Gerbera Daisy) วาสนาอริชฐาน (Cornstalk Plant) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าไม้ประดับเหล่านี้ล้วนแต่เป็นไม้ประดับที่ดูแลง่าย ลำต้นไม่ใหญ่ ใช้เนื้อที่ในการปลูกน้อย สามารถปลูกในกระถางและไว้ภายในตัวบ้านได้ (ที่มา : คู่มือด้านความปลอดภัยโรงงาน กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

### 2.6.1 สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์

1. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ชื่อภาษาอังกฤษ: Potassium Permanganate สูตรโครงสร้าง:  $\text{KMnO}_4$  เป็นสารออกซิไดส์, ใช้ในการวิเคราะห์เหล็ก, ควบคุมกลิ่น ใช้ในทางเกษตรดั่งผักและผลไม้ และฆ่าเชื้อไข้พยาธิ คุณสมบัติทางเคมี: เป็นผลึกของแข็งสีม่วง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มวลต่อหนึ่งโมล 158.034g/mol จุดหลอมเหลว : 240 °C ความหนาแน่น 2.703g/cm<sup>3</sup> มีความคงตัวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นสารที่มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติของการใช้และการเก็บ สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้ เช่น ผงโลหะ, แอลกอฮอล์, สารอาร์เซนไนต์, โบรไมด์, ไอโอไดด์, ฟอสฟอรัส, กรดกำมะถัน, สารประกอบอินทรีย์, กำมะถัน, ถ่านกัมมันต์, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น, เหล็ก, กลีเซอรอล, ไฮโปฟอสไฟท์, ไฮโปซัลไฟท์, เปอร์ออกไซด์ และออกซาลิก และสภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงได้แก่ ความร้อน เปลวไฟ แหล่งจุดไฟเพราะเมื่อถูกความร้อนจะสลายตัวให้อิโพลีที่เป็นพิษออกมา

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์อย่างรุนแรง สามารถระเบิดได้เมื่อเกิดการสันดาปอย่างแรง หรือสัมผัสถูกความร้อน เปลวไฟหรือมีการเสียดสี การสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ จะก่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรง ภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทอาจเกิดระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเมื่อสัมผัสกับความร้อนที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ หรือสารที่สามารถถูกติดไฟได้จะทำให้เกิดการจุดติดไฟได้ ควรเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด ป้องกันการเสียหายทางกายภาพและความชื้น แยก

เก็บออกจากสารที่เข้ากันไม่ได้ สารคลอไฟด์ สารอินทรีย์ หรือสารออกซิไดซ์ได้ง่ายและหลีกเลี่ยงการเก็บไว้ในพื้นไม้ (ที่มา: EPA Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants, 1999)



รูปที่ 2.4 สารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ที่มา: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

2. โซเดียมไบซัลไฟต์ ชื่อภาษาอังกฤษ: Sodium bisulfite มีสูตร โมเลกุล:  $\text{Na}_2\text{HSO}_3$  เป็นผงผลึก สีขาวมีมวล โมเลกุล 104.061g/mol มีการจัดเรียงกันของอะตอมเป็นผลึก โครงสร้างผลึกประกอบด้วย หน่วยเซลล์ Monoclinic ความหนาแน่น  $1.48\text{g/cm}^3$  และจุดหลอมเหลวอยู่ที่  $150^\circ\text{C}$ ;  $302^\circ\text{F}$ ;  $423\text{K}$  มีกลิ่นกำมะถันเล็กน้อย จุดเดือดอยู่ที่  $315$  สามารถย่อยสลายเมื่อถูกความร้อน สารละลายมีสภาพเป็นกรด สามารถออกซิไดซ์ในอากาศหรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การใช้งานโซเดียมไบซัลไฟต์ใช้ในการฟอก สำหรับผ้าฝ้ายและสารอินทรีย์และยังใช้ในอุตสาหกรรม เช่น สีย้อม, กระดาษ, ฟอกหนัง, การสังเคราะห์ สารเคมี, สารกันบูด เป็นต้น (ที่มา: [www.solvaynorthamerican.com](http://www.solvaynorthamerican.com), 2011, [www.Fao.org](http://www.Fao.org), 1999)



รูปที่ 2.5 สารโซเดียมไบซัลไฟต์ (ที่มา: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

3. น้ำ เป็นสารประกอบเคมีชนิดหนึ่ง มีสูตรเคมีคือ  $\text{H}_2\text{O}$  โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยออกซิเจน 1 อะตอมและไฮโดรเจน 2 อะตอมเชื่อมติดกันด้วยพันธะ โควาเลนต์ น้ำเป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน พบในอากาศเป็นไอน้ำ ก้อนเมฆ (ก่อตัวขึ้นจากอนุภาคน้ำในสถานะของแข็งและของเหลวแขวนลอยอยู่บนอากาศ) น้ำจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารต่างๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำ

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมีลักษณะทางภายนอกที่แตกต่างกัน เช่น ความใส ความขุ่น กลิ่น สี เป็นต้นและอุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการผลิตออกซิเจนที่ละลายน้ำนอกจากนี้การนำไฟฟ้าบอกถึงความสามารถของน้ำที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนโดยรวมในน้ำ และอุณหภูมิขณะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า คุณสมบัติทางด้านเคมีของความเป็นกรด - เบส ความกระด้าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ เป็นต้น (ที่มา : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) , <http://www.il.mahidol.ac.th/>)

## 2.7 พอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์

พอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดก็แข็งตัวถาวร มีหลายชนิด เช่น ไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า พาหนะ ส่วนประกอบของเรือหรือรถยนต์ พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์มาจากเซลลูโลสซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ยางไม้ เซลลูโลสประกอบด้วยธาตุคาร์บอนออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและคลอรีน นำมาสังเคราะห์โดยขบวนการที่เรียกว่า พอลิเมอร์ไรเซชัน บางครั้งพบว่ามีการใช้คำว่าพลาสติกและพอลิเมอร์ในความหมายเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แต่คำว่า พอลิเมอร์มักหมายถึงวัสดุประเภทพลาสติก ยาง เส้นใยและกาว ส่วนคำว่า พลาสติกจะหมายถึงสารผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ สารเพิ่มเสถียรภาพ และฟิลเลอร์ ที่ถูกนำมาใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยการขึ้นรูปให้มีรูปทรงต่างๆ เช่น ถัง งานและชิ้นเป็นต้น หากแปลตามรากศัพท์คำว่า พอลิเมอร์ หรือ polymer มาจากคำกรีก 2 คำ คือคำว่า poly แปลว่า มาก และคำว่า mer แปลว่า หน่วย พอลิเมอร์จึงแปลว่า สารที่มีโมเลกุลประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกันต่อกันเป็นสายยาวๆ

ฟีนอล ฟอร์มาลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde) ย่อว่า PF พลาสติกชนิดนี้รู้จักกันในชื่อ เบกเกไลต์ (Bakelite) มีปริมาณการใช้สูงสุดในประเภทเทอร์โมเซตติง การใช้ประโยชน์ นิยมทำด้ามมือจับ หูหม้อ หุกะทะ ฝาครอบงานจ่ายรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ถาดบรรจุสารเคมี โพลีเอสเตอร์ (Unsaturated polyester) ย่อว่า UP รู้จักกันในรูปของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส การใช้ประโยชน์ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เช่น เรือ รถยนต์ ชิ้นส่วนในเครื่องบิน กระจกชนิดต่าง ๆ ไม้อัดต่าง ๆ เคลือบด้วยโพลีเอสเตอร์ ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (urea formaldehyde) ย่อว่า UF คุณสมบัติ ตกไม่แตก ทนต่อน้ำยาเคมี ไขมัน และน้ำมัน เป็นฉนวนไฟฟ้า บางอย่างทึบแสงบางอย่างโปร่งแสง ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีพิษ ประโยชน์ที่อุณหภูมิใช้งานได้คือ 70-80 องศาเซนติเกรด ใช้ทำกระดุมเรือ ตัวถังรถยนต์ ยูเรียชนิดเหนียวใช้ทำกาวไม้อัด และชิปบอร์ด น้ำยาเคลือบผิวประเภทผลิตภัณฑ์นิยมใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ตู้วิทยุ ปุ่มจับด้ามเครื่องมือ

พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสาร โมเลกุลขนาดใหญ่ พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอเมอร์ (Monomer) หลายๆ หน่วยมาทำปฏิกิริยากัน พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดเองในธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส โปรตีน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก เส้นใย โฟม และกาวพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมาก พอลิเมอร์สังเคราะห์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด พอลิเมอร์ถูกนำมาใช้ในการยึดเกาะและการหล่อขึ้นอย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีการนำพอลิเมอร์มาใช้เป็นส่วนประกอบในสารยึดติดหรือกาว นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนต่างๆ วัสดุภายในรถยนต์ กระฉก เป็นต้น

### 2.7.1 กาวอีพอกซี

กาวอีพอกซีเป็น โคลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของเรซินกับสารเพิ่มความแข็ง (Hardener) เรซินจะประกอบด้วยมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์กลุ่มพอกไซค์ ส่วนใหญ่แล้วเรซิน อีพอกซีทั่วไปจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Epichlorohydrin และ Bisphenol-A ส่วนhardener ประกอบด้วยมอนอเมอร์พอลิเอมีน เช่น Triethylenetetramine (TETA) วัสดุที่ทำจากอีพอกซีจัดเป็น Thermosetting polymer หรือ Thermoset เป็นพอลิเมอร์ที่ผ่านการทำให้มีความเหนียวหรือความแข็งและไม่คืนรูป โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 °C การทำปฏิกิริยาเคมี หรือการใช้รังสีในกระบวนการผลิตจะทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวหรือของแข็งที่ถูกกักให้เป็นแผ่นบางได้ จากนั้นจึงใช้แบบหล่อ (mold) ในการขึ้นรูปให้เป็นวัสดุที่ต้องการ อีพอกซีถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิต fiber reinforced plastic ซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างอีพอกซีกับไฟเบอร์ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ อากาศยาน หรือใช้เป็นกาวหรือสารยึดติด (adhesives) กาวอีพอกซีหรือที่รู้จักกันในชื่อ Two component epoxy (two part epoxy หรือ two component thermosetting adhesives) จัดเป็นกาวหรือสารยึดติดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับ พอลิยูรีเทน อะคริลิก และไซยาโนอะคริเลต ซึ่งใช้ในการผลิตเครื่องบิน ยานยนต์ จักรยาน เรือ สกี สโนว์บอร์ด และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงในการยึดติด

### 2.7.2 พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyesters)

พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว อยู่ในกลุ่มของพอลิเอสเทอร์ ประกอบด้วยโซ่คาร์บอน[-OOC-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-COO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>]<sub>n</sub> พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวจะสร้าง โมเลกุลเชื่อม โมเลกุลระหว่างกันหากนำมาโคลิเมอร์ไรซ์ สร้างพอลิเมอร์ร่วมกับสารอินทรีย์มีกลิ่นชื่อว่า สไตรีน เรซินพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว ปกติจะถูกผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เรซินเหล่านี้จะเตรียมไว้เป็น bulk molding compound (BMC) และ sheet molding compound (SMC) สารประกอบทั้งสองชนิดอาจจะเสริมด้วยใยแก้วและสารเพิ่มเติมอื่นๆ โดยที่ SMC จะอยู่ในรูปของแผ่นพลาสติกขนาดใหญ่หรืออาจมีมันอยู่ ซึ่งจะนำไปขึ้น

รูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ฟันห้องน้ำ ถ้าของเรือขนาดเล็ก และวัสดุทำหลังคา ส่วน BMC จะเป็นก้อนพลาสติกขนาดใหญ่เพื่อเตรียมเข้ากระบวนการ Compression molding เป็นตัวถังรถและส่วนประกอบรถยนต์อื่นๆ

## 2.8 แหล่งกำเนิดกลิ่นภายในรถยนต์

สารที่ทำให้เกิดกลิ่นมีหลายชนิดส่วนใหญ่มักเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย กลิ่นที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไป การรับรู้กลิ่นและการตอบสนองของแต่ละบุคคลจะขึ้นอยู่กับความไวต่อการรับรู้กลิ่นวิธีการตรวจวัดกลิ่นภายในรถยนต์นั้นประกอบด้วยวิธีการตรวจวัดโดยวิธีการวิเคราะห์หาชนิดของสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น และการวัดระดับความรู้สึกของคนที่สัมผัสกลิ่นภายในรถยนต์ ในสหรัฐอเมริกาได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องนี้อย่างจริงจัง โดยนายเจฟฟ์ เกียร์ฮาร์ท ผู้อำนวยการโครงการวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมในสหรัฐอเมริกาเปิดเผยว่า กลิ่นภายในรถยนต์ที่สัมผัสทางการหายใจเข้าไปนั้น เต็มไปด้วยสารเคมีหลายร้อยชนิดที่อยู่ในพื้นที่แคบๆ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษารถยนต์ที่ผลิตในปี ค.ศ. 2011 – 2012 ในประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 200 คัน พบว่า กลิ่นใหม่ที่เกิดขึ้นนั้นส่วนใหญ่มาจากชิ้นส่วนพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบภายในรถยนต์ เช่น พวงมาลัย คอนโซลหน้า ที่พนักแขน รวมไปถึงเบาะนั่ง นอกจากนี้ชิ้นส่วนพลาสติกภายในห้องโดยสารแล้ว ยังพบว่าแหล่งกำเนิดฟอร์มัลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลมาจากยางขึ้น บริเวณขอบกระจกยางปูพื้นภายในรถยนต์ ฉนวนกันความร้อน กาวจากการติดตั้งเบาะนั่ง และอากาศที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในรถยนต์ ในการศึกษาครั้งนี้นอกจากจะพบต้นตอของปัญหากลิ่นใหม่แล้ว ยังพบว่า มีสารเคมีมากกว่า 275 ชนิด โดยเฉพาะวัสดุสารหน่วงการติดไฟประเภทโบรมีน (Brominated flame retardants, (BFRs) และ Chlorine จาก polyvinyl chloride (PVC) ที่เป็นส่วนประกอบในพลาสติกชิ้นส่วนรถยนต์ ส่งผลกระทบต่อตับ ไต ต่อมไทรอยด์ และระบบหมุนเวียนเลือดด้วยเช่นกัน (ที่มา: [www.Healthystuff.org](http://www.Healthystuff.org))

## 2.9 หลักการประเมินความเสี่ยง

เป็นการประเมินความรุนแรงของอันตรายและแนวโน้มที่ได้รับผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ ในการศึกษาและนำความรู้เรื่องการประเมินความเสี่ยงไปใช้นั้น ซึ่งโครงการพิเศษนี้สนใจที่ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล และปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผู้โดยสารได้รับเข้าไปนั้น เพื่อประเมินความรุนแรงของอันตรายและแนวโน้มที่ได้รับผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ว่าอยู่ในเกณฑ์เสี่ยงที่จะเป็นอันตรายหรือไม่การประเมินความเสี่ยงเป็นขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis) ซึ่ง

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การประเมินความเสี่ยง การจัดการความเสี่ยง (Risk management) และการสื่อสารความเสี่ยง (Risk communication) เพื่อความเข้าใจในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

#### 1. การบ่งชี้ความเป็นอันตราย (Hazard Identification)

เป็นการค้นหาข้อมูลความเป็นอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ โดยดูข้อมูลจากสัตว์ทดลอง เช่น ค่า LD<sub>50</sub> ของหนู หรือข้อมูลจากการศึกษาวิจัยในคน และศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟอร์มาลดีไฮด์

#### 2. การประเมินผลที่ตอบสนองต่อขนาดที่ได้รับ (Dose-response Assessment)

เป็นการหาความสัมพันธ์ของปริมาณสารพิษที่ได้รับและผลกระทบว่าอยู่ในระดับใดจึงจะมีผลต่อสุขภาพและใช้ข้อมูลนี้เพื่อเป็นขนาดอ้างอิงในการประเมินการได้รับสัมผัสต่อไป

#### 3. การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)

เป็นการหาขนาดที่ได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ ความเข้มข้นที่ได้รับ และโอกาสที่จะได้รับสารพิษ โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น วิถีทางที่ได้รับ ทั้งการกิน การหายใจ การสัมผัสทางผิวหนัง อายุ ระยะเวลาที่ได้รับ และอัตราการดูดซึมหรือกักเก็บสารพิษไว้ของร่างกาย

#### 4. ลักษณะความเสี่ยงที่เกิดขึ้น (Risk Characterization)

เป็นการนำข้อมูลจาก 3 ข้อข้างต้นนั้น มาสรุปให้เห็นถึงขนาดของความเสี่ยงของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อสุขภาพของบุคคลที่ประเมินว่าตลอดอายุที่มีการใช้งานรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลมีโอกาสเกิดความเสี่ยงมากกว่า 1 ในล้านหรือไม่ (CalTox, 2002) หากเกินก็มีความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งได้

#### 2.9.1. หน่วยงานประเมินความเสี่ยงที่ควรรู้จัก

1. U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา เป็นหน่วยงานหลักที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยง ในขั้นตอน dose-response assessment นั้น U.S. EPA รายงานค่าความปลอดภัยของสารไม่ก่อมะเร็งด้วยค่า reference dose (RfD) และ reference concentration (RfC) U.S. EPA ได้คำนวณค่า RfD/RfC ของสารเคมีมากกว่า 500 สารพร้อมทั้งรายละเอียดการคำนวณ (ที่มา: <http://chemtrack.org/Doc/F319.pdf>)

2. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสารไม่ก่อมะเร็งเท่านั้น สำหรับขั้นตอน dose-response assessment นั้น ATSDR รายงานค่าความปลอดภัยด้วยค่า Minimal Risk Level (MRL) ซึ่งหลักการคำนวณเช่นเดียวกับค่า Reference dose ของ U.S. EPA ข้อแตกต่างระหว่างฐานข้อมูลของ ATSDR และของ U.S. EPA คือ ATSDR จัดทำ MRL ของสารเคมีเป็น 3

ระดับ คือ ระดับเฉียบพลัน (acute), ระดับปานกลาง(intermediate) และ ระดับเรื้อรัง (chronic) โดยค่า chronic MRL นั้นเทียบเท่ากับ RfD ของ U.S.EPA ในกรณีที่มีข้อมูลการศึกษาด้านพิษวิทยาหาสารเคมีที่มีระยะเวลาการศึกษาน้อยกว่า chronic ATSDR จึงจัดทำค่า MRL สำหรับ acute หรือ intermediate ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการศึกษาโดยทั่วไปถ้าการศึกษาระยะสั้นน้อยกว่า 2 เดือน จะได้ค่า acute MRL ถ้าระยะเวลาการศึกษา 2 เดือน – 1 ปี จะได้ค่า intermediate MRL ทำให้การนำค่า MRL ไปใช้ได้กว้างขวางกว่าค่า RfD ของ U.S. EPA ซึ่งใช้เฉพาะผลที่เกิดจากการได้รับสารเป็นเวลานาน (Chronic effects) เท่านั้น (ที่มา: <http://chemtrack.org/Doc/F319.pdf>)

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แก้ว (2543) ผู้วิจัยทำการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคาร โดยใช้วิธีแอดทิฟและพาสซีฟ ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล 5 ห้อง ได้แก่ ห้องดองศพและห้องปฏิบัติการกายวิภาคโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลตำรวจ ห้องตรวจศพและห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลรามาริบดี และพื้นที่เปรียบเทียบ พบว่าวิธีการตรวจวัดโดยวิธีแอดทิฟและพาสซีฟ มีความสัมพันธ์กันทุกพื้นที่ที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าเฉลี่ยดังนี้ ห้องดองศพ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ เท่ากับ  $363.85 \pm 164.94$  ppb (วิธีแอดทิฟ) และ  $411.86 \pm 36.15$  ppb (วิธีพาสซีฟ) ห้องปฏิบัติการกายวิภาค โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ เท่ากับ  $107.57 \pm 36.15$  ppb (วิธีแอดทิฟ) และ  $148.94 \pm 36.66$  ppb (วิธีพาสซีฟ) ห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลตำรวจ เท่ากับ  $224.99 \pm 138.46$  ppb (วิธีแอดทิฟ) และ  $230.99 \pm 50.73$  ppb (วิธีพาสซีฟ) ห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลรามาริบดี เท่ากับ  $206.15 \pm 39.16$  ppb (วิธีแอดทิฟ) และ  $248.47 \pm 39.47$  ppb (วิธีพาสซีฟ) และพื้นที่เปรียบเทียบ เท่ากับ  $13.63 \pm 1.29$  ppb (วิธีแอดทิฟ) และ  $17.79 \pm 1.43$  ppb (วิธีพาสซีฟ) ทุกพื้นที่ศึกษามีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน TWA ของ OSHA ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 100 ppb ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานส่วนใหญ่มีอาการ เจ็บคอ คอแห้ง ตาแห้ง คัน ระคายเคืองตา และปวดศีรษะ ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพพบว่า ห้องดองศพ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์มีค่าสูงที่สุด

พรเทพ (2548) ผู้วิจัยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและค่า pH ต่อผลิตภัณฑ์กาวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับยูเรีย โดยควบคุมอุณหภูมิในการทดลองที่ 75, 80, 85, และ 90 องศาเซลเซียส ในขณะที่ทำการปรับเปลี่ยนค่า pH เท่ากับ 5.0, 5.4, 6.2, และ 6.6 ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิและ pH ของการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นทั้งสองคือยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นที่สมบูรณ์มากขึ้น(เหลือฟอร์มาลดีไฮด์น้อยลง) แต่โมเลกุลของกาวที่ได้จะมี

ขนาดเล็ก เมื่อนำกาวดังกล่าวไปทำการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้ ทำให้ดัชนีวัดความแข็งแรงต่างๆ อาทิ เช่น Internal bonding strength (IB), Bending strength (MOR และ MOE) และ Screw holding test มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การบวมตัวและการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจาก โมเลกุลขนาดเล็กสามารถซึมแพร่เข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี และเกิดการพอร์มโครงสร้างแบบร่างแหภายในเนื้อไม้ได้สมบูรณ์กว่า นอกจากนี้ ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ไม้ที่ได้จะมี Formaldehyde emission ที่ต่ำลงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การแข็งตัวของกาว จะต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นของกาวมีปริมาณลดลง ในขณะที่ทั้งอุณหภูมิและ pH ไม่ส่งผลต่อความถ่วงจำเพาะ ความหนืดหรือละลายของเนื้อกาวที่ได้แต่อย่างใด อย่างไรก็ตามพบว่าที่ pH สูงกว่า 6.2 จะไม่สามารถสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาวที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้เนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยาการควบแน่น

สิริวรรณ, สาวิตรี และพจนีย์ (2548) ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศ ได้แก่ ฟORMALดีไฮด์ และอะซีทัลดีไฮด์ ในบริเวณย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงเดือนมีนาคม 2548 บริเวณพื้นที่ที่ตรวจวัดมีปริมาณการจราจรหนาแน่นประมาณ 10,000 คันต่อวัน ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฟORMALดีไฮด์สูงกว่าอะซีทัลดีไฮด์ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23 และ 20 ppb ตามลำดับผลการศึกษาที่ได้แสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารทั้งสองชนิด โดยในเดือนมีนาคมซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนมกราคมประมาณ 6 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดสูงกว่าประมาณ 10 ppb นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าในวันทำการจะมีความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่าในวันหยุด ซึ่งสามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักของสารทั้งสองชนิดมาจากการปล่อยควันจากท่อไอเสียรถยนต์ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์พบว่าไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดในบรรยากาศ

คมกริช, ธนากร, และปาจรีย์ (2551) ผู้ทำการวิจัยศึกษาวิธีการตรวจวัดก๊าซฟORMALดีไฮด์ (HCHO) ภายในอาคารที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟตามวิธีของ NIOSH 3500 และวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟตามวิธีของ Gillett, 2000 วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เป็นสารดูดซึม และทำให้เกิดสีกับกรดโครโมโทปิก จำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบที่ทำจากสแตนเลสปริมาตร 120 ลิตร ใช้สารละลายฟORMALดีไฮด์เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นแหล่งกำเนิดสารในห้องทดสอบ พบว่าปริมาณก๊าซ HCHO อยู่ในช่วงของการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอคทีฟ ส่วนวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ อาศัยหลักการแพร่ของ HCHO ที่ถูกดูดซับบนวัสดุดูดซับที่มี DNPH เคลือบอยู่ ทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา 4 จุด โดยใช้ 2 วิธีพร้อมกันได้แก่ 1.) ห้อง

เก็บสารเคมีประจำภาควิชาเคมีชั้น 5 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 2.) ห้องปฏิบัติการเคมี อาคารวิทยาศาสตร์ 3.) ห้องปฏิบัติการชีววิทยา ชั้น 4 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 4.) ห้องทดสอบจำลองสถานการณ์ พบว่าการเก็บตัวอย่างจุดดังกล่าวตามวิธีแอดทีพที่มีปริมาณ HCHO เท่ากับ  $182.8 \pm 9.47$ ,  $8.32 \pm 3.18$ ,  $35.83 \pm 8.69$ , และ  $211.17 \pm 33.45$  ppb และจากวิธีพาสตีพพบว่ามีความเข้มข้นน้อยกว่าที่จะตรวจวัดได้ และพบว่าปริมาณ HCHO ที่จุดต่างๆ ไม่เกินค่ามาตรฐาน TLV-TWA ของ OSHA จากการประเมินความเสี่ยงพบว่า พื้นที่ศึกษาจุดที่ 1 คือห้องเก็บสารเคมีประจำภาควิชาเคมีชั้น 5 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ มีความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ถ้าทำงานวันละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ ตลอดอายุการทำงาน

เดซี่ (2551) การวิจัยนี้ได้ดำเนินการเพื่อศึกษาสารกลุ่มคาร์บอนิลในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร อันเนื่องจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบชนิดและระดับความเข้มข้นของสารกลุ่มคาร์บอนิลในกรุงเทพมหานครฯ เพื่อศึกษาการกระจายในบรรยากาศของสารกลุ่มคาร์บอนิล และเพื่อทราบความเข้มข้นของสารกลุ่มคาร์บอนิล เปรียบเทียบกับจำนวนรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว ได้มีการเก็บตัวอย่างอากาศจาก 10 จุด ในกรุงเทพมหานคร ในปี 2550 ถึงปี 2551 โดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศต่อกับหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสาร 2,4 DNP ในหลอด และนำตัวอย่างมาสกัดและวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค HPLC ตาม US EPA Compendium Method TO-11A ของสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่ามีสารกลุ่ม คาร์บอนิลที่พบในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร จำนวน 10 ชนิด คือ สารฟอร์มัลดีไฮด์ สารอะเซทัลดีไฮด์ สารอะซีโตน สารโพรพิวัลดีไฮด์ สารบิวทิลดีไฮด์ สารโครโทนัลดีไฮด์ สารเบนซัลดีไฮด์ สารไอโซวาเลดีไฮด์ สารวาเลดีไฮด์ และสารเฮกซานัลดีไฮด์ สารฟอร์มัลดีไฮด์ พบมากที่สุดในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร ในพื้นที่ริมถนน พบในช่วง 5.14 – 17.2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ค่าเฉลี่ย 11.53 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) ในพื้นที่อยู่อาศัย ในเวลาเดียวกันมีความเข้มข้นในช่วง 3.06 – 19.9 ไมโครกรัม/ลบ.ม. (ค่าเฉลี่ย 9.65 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) ความเข้มข้นของสารอะเซทัลดีไฮด์ ในพื้นที่ริมถนนอยู่ในช่วง 1.59 – 7.95 ไมโครกรัม/ลบ.ม. (ค่าเฉลี่ย 3.51 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) ในพื้นที่อยู่อาศัย ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.07 – 8.05 ไมโครกรัม /ลบ.ม.) (ค่าเฉลี่ย 3.11 ไมโครกรัม/ลบ.ม.) สารกลุ่มคาร์บอนิล อื่นๆ ที่พบในกรุงเทพมหานคร มีความเข้มข้นต่ำ ในการศึกษาพบว่าในเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น ความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ และสารอะเซทัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ในเวลากลางคืน ความเข้มข้นของสารกลุ่มนี้ลดลงเนื่องจากการลดลงของแหล่งกำเนิด และจากการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในพื้นที่ริมถนนกับจำนวนรถยนต์พบที่มีความสัมพันธ์ที่ดี ( $R^2 = 0.977$ ) เช่นเดียว

จากการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอะเซทิลดีไฮด์ในพื้นที่ริมถนนกับจำนวนรถยนต์พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดี ( $R^2 = 0.9256$ )

วรรณมา และ คณะ (2551) ผู้วิจัยศึกษาการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและความเชื่อมโยงต่อสภาวะโลกร้อน จากการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเขตกรุงเทพมหานครระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 - เดือนกุมภาพันธ์ 2551 จำนวน 11 จุด แบ่งออกเป็นบริเวณริมถนน 5 จุด บริเวณที่อยู่อาศัย 5 จุด และบริเวณทั่วไป 1 จุด โดยใช้เทคนิค canister-preconcentrator-GC/MS ข้อสรุปจากผลการศึกษาพบว่ามีการตรวจวัดได้จำนวน 53 ชนิดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกฮาโลเจนเทตไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มสารประกอบออกซิเจนเทตไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารเหล่านี้บางตัวก็ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง บางตัวมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ระบบตับและไต บางตัวเป็นสารที่ก่อให้เกิดก๊าซโอโซน จากการประมวลผลเกี่ยวกับศักยภาพการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย 5 กลุ่มนี้ พบว่า บริเวณริมถนนมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีศักยภาพในการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ 5 อันดับแรก ได้แก่ Propene, Toluene, m-, p-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene และ o-Xylene และเมื่อเปรียบเทียบกับสารในกลุ่มอะโรมาติกทั้งในบริเวณริมถนนและสูงกว่าสารชนิดอื่นในกลุ่มอะโรมาติก นอกจากนี้ ในบรรดาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มฮาโลคาร์บอนที่จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกและทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน พบว่า สาร CFC-12 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณริมถนนและสาร HCF-22 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณที่อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายดังกล่าวนี้เป็นสารที่มีโอกาสต่อการเกิดสภาวะโลกร้อน คณะผู้วิจัยจึงเสนอว่า ควรต้องมีการติดตามตรวจสอบเพื่อเฝ้าระวังระดับของสารดังกล่าวในบรรยากาศเพื่อจัดการและควบคุมจากแหล่งกำเนิดต่อไป

Paul, Lars, Bernd and Peter (1983) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ โดยใช้วิธี acetyl acetone fluorometric ฟอร์มัลดีไฮด์ถูกดูดซับในน้ำโดยใช้ตัวดูดซับ อัตราการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ 0.5 ลิตร/นาที ใช้ปริมาตรตัวอย่างที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 – 20 ลิตร ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของตัวอย่าง ภายใต้สภาวะการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ในช่วง 0.2 – 1.7 มิลลิกรัมต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ความแม่นยำของวิธีการนี้แสดงเป็นค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $3.4 \pm 1.6 \%$  ค่าความถูกต้องเท่ากับ  $101 \pm 5 \%$  และขีดจำกัดของวิธีการประเมินความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศเท่ากับ 0.040 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Beat Meyer and Karl Hermann's (1985) ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาเรซินยูเรีย พอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบในการผลิต พาดิเคิลบอร์ด, แผ่นไม้อัด, ไม้อัดสำหรับปูพื้น, ผนัง กำแพง, เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งมีอยู่ในเกือบทุกสำนักงาน อาคารบ้านเรือน และในที่สาธารณะ หากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ถูกนำมาใช้ในบริเวณพื้นที่ที่อากาศถ่ายเท ไม่สะดวก ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะปล่อยสาร พอร์มาลดีไฮด์ออกมา ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นมลพิษทางอากาศขึ้นมา ดังนั้นการควบคุมคุณภาพการผลิต ของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงและลดปัญหาของการปล่อยสารพอร์มาลดีไฮด์ ออกมา

ความเข้มข้นของพอร์มาลดีไฮด์ในอากาศในอาคารขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์, พื้นผิวของ ผลิตภัณฑ์, ปริมาณอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้น, อายุและอัตราการปล่อยสารพอร์มาลดีไฮด์ของ ผลิตภัณฑ์ ในการควบคุมมาตรฐานในปัจจุบันจะใช้วิธีการคำนวณจากอัตราการปล่อยสาร พอร์มาลดีไฮด์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้มีการควบคุมการใช้ เรซินยูเรียพอร์มาลดีไฮด์ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ให้มีการปล่อยสารพอร์มาลดีไฮด์ออกมาจากผลิตภัณฑ์เกินกว่าค่ากำหนดของ มาตรฐานสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.01 ppm ในทุกๆสภาวะ

Rong et al. (2002) คณะผู้วิจัยศึกษาผลของการออกซิไดซ์ด้วยอากาศในการดูดซับไอระเหย พอร์มาลดีไฮด์ บนถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยเรยอน โดยทำการออกซิไดซ์ด้วยอากาศปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ในช่วง 350-450 °C และใช้เวลา 1-3 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยธรรมดา จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านกัมมันต์ เช่น ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจน วิเคราะห์หา พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน ขนาดของรูพรุน และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เกาะที่ผิวถ่าน พบว่า ไอโซเทอมของ ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นแบบที่ 1 ตามข้อเสนอของ Brunauer, Deming, Deming and Teller (BDDT) ถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยเรยอนที่ทำการออกซิไดซ์ด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 420°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะมี พื้นที่ผิวสูง 1635 m<sup>2</sup>/g และยังพบหมู่ carboxylic acid เกาะอยู่ที่ผิวคาร์บอน ซึ่งสามารถสร้างพันธะที่ แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจนได้ จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้สามารถดูดซับไอระเหยพอร์มาลดีไฮด์ 196.5 mL/g

คณะผู้วิจัยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยเรยอน โดยนำไปเผา ภายใต้อุณหภูมิของไนโตรเจน ด้วยอัตราการความร้อน 2 K/min ที่ช่วงอุณหภูมิ 550-950 °C และนำไป ศึกษาการดูดซับไอระเหยพอร์มาลดีไฮด์ พบว่ากรณีที่ผลิตถ่านกัมมันต์ที่ใช้อุณหภูมิสูงในการกระตุ้นทำ ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยพอร์มาลดีไฮด์สูงขึ้นและพบว่า Breakthrough time มากขึ้น

**Boonamnuayvitaya et al. (2005)** คณะผู้วิจัยศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟสำหรับดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ ทำการแปรตัวกระตุ้นด้วย ไออน้ำ คาร์บอน ไดออกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ มีพื้นที่ผิว  $407 \pm 12 \text{ m}^2/\text{g}$  และพบหมู่ฟังก์ชันเป็นสารมีขั้วที่ผิวรูพรุน ทำให้ดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดถึง  $245 \text{ mL/g}$  ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พื้นที่ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีพื้นที่ผิวสูงสุดถึง  $914 \pm 21 \text{ m}^2/\text{g}$  แต่พบหมู่ฟังก์ชันเป็นพวกไม่มีขั้ว จึงมีความสามารถในการดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ได้เพียง  $130 \text{ mL/g}$  ซึ่งความสามารถในการดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ดังนั้นแสดงว่าการดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์จึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีมากกว่าลักษณะพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน

**C.W. Kwong, Christopher Y.H. Chao, K.S. Hui, M.P. Wan (2007)** ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาโดยการใช้ NaX, NaY และ MCM-41 ทำให้ไอโซนทำปฏิกิริยากับโทลูอิน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดมลพิษทางอากาศ การใช้ไอโซนร่วมกับวัสดุพรุนทั้งแบบ Micro หรือ Meso porous นั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดมลพิษ แต่ไอโซนที่เหลือจากการดูดซึมโทลูอินนั้น จะมาเร่งปฏิกิริยากับวัสดุพรุน ซึ่งทำให้เกิดสารพิษออกมา ดังนั้น ไอโซนก็เป็นตัวการที่เกิดมลพิษด้วย จึงนำกรดลูอิสมาทำให้ไอโซน แดกตัวเป็นออกซิเจน และหลังจากนั้นยังเกิดปฏิกิริยาทำให้โทลูอินเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  อีกด้วย

ในสถานะแห้ง MCM-41 จะใช้ปริมาณน้อยที่สุดก็สามารถลดมลพิษได้ถึง 90% และตามด้วย NaY และ NaX ในสถานะที่มีความชื้น (50% RH), จะต้องใช้ปริมาณ MCM-41 และ NaX ปริมาณมากกว่าเพื่อให้ลดมลพิษเมื่อเทียบกับกับสถานะแห้ง

การทดลองพบว่ามีเกิดการคายสารที่ดูดซึมออกมา ทำให้เกิดการศึกษาวาสตุและสารต่างๆ เพื่อหาความสมดุลของการลดมลพิษ ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถลดมลพิษของโทลูอินได้ 20-40% โดยผ่านการเร่งปฏิกิริยาของไอโซน ส่วนสารพิษที่เหลือ เช่น แอลดีไฮด์ และกรดอินทรีย์นั้นจะกำจัดออกไปโดยผ่านกระบวนการฟอกอากาศเพื่อให้อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าควบคุม

**Kumagai, et.al (2007)** ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์ด้วยตัวดูดซับที่ได้จากแกลบ โดยนำแกลบมาทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 250, 400, 600 และ 800 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหล 500-700 mL/min เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และนำแกลบอีกส่วนมา กระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อัตราการไหล 500-700 mL/min ที่อุณหภูมิ 875 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำไปดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์และไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ที่อยู่ใน

ถุงตัวอย่างที่ทำจากพอลิไวนิลฟลูออไรด์ฟิล์ม โดยจะบรรจุ ไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 1.0 ppm และบรรจุไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 ppm ไว้อย่างละ 200 mL โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ <math>< 1\%</math> ที่อุณหภูมิ 22-24 °C การวัดความเข้มข้นของไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย Kitagawa formaldehyde detection tubes, Japan และวัดความเข้มข้นของไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ด้วย Gastec acetaldehyde detection tube, Japan พบว่า แกลบที่ทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 600 °C จะมีพื้นที่ผิวสูงสุด 166 m<sup>2</sup>/g ส่วนแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 875 °C จะมีพื้นที่ผิวสูง 466 m<sup>2</sup>/g ในขั้นตอนการดูดซับไอระเหยจะเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากอะซีทัลดีไฮด์ใน ถุงตัวอย่างได้เร็วที่สุด และตัวดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์และไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ในถุงตัวอย่างเร็วที่สุด และตัวดูดซับที่ได้จากแกลบมีอัตราการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

**Flavio R Rocha (2008)** ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาการเปรียบเทียบสารประกอบคาร์บอนิลที่ระเหยได้ในบรรยากาศ สารฟอร์มัลดีไฮด์จัดว่าเป็นสารมลพิษมากที่สุด สมควรได้รับการพิจารณาให้มีการออกกฎหมายควบคุมคุณภาพของอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร การวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการเก็บตัวอย่างคือ นำกระดาษกรองที่หยดด้วย 2,4-Dinitrophenylhydrazine (2,4 DNPH) เกิดเป็นสารประกอบไฮดราโซน แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธี formed hydrazone ด้วยเครื่อง HPLC ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้หลอดไฟเบอร์ที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ซึ่งทำจากโพลิโพรพิลีนชนิดมีรูพรุนในการเก็บตัวอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ ตัว oxyphan fiber ซึ่งออกแบบมาสำหรับการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในเลือด เนื่องจากมีความต้านทานสูง ความหนาแน่นสูง และมีอัตราส่วนของพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างกับปริมาณที่รองรับของไหลเข้าไปในหลอด เครื่องเก็บตัวอย่างประกอบด้วยท่อเทฟลอนที่อยู่ภายในมัดเส้นในโพลิโพรพิลีนขนาดเล็ก ขณะที่ให้ตัวอย่างผ่านอุปกรณ์ด้วยอัตราการไหลต่ำ ตัวอย่างอากาศจะไหลกระจายตัวอยู่ในเส้นใย ซึ่งจะถูกระตุ้นโดยปั๊มแบบอัตราการไหลต่ำ ระบบนี้จะเชื่อมโยงกับวิธีการเก็บตัวอย่างและการวัดปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ที่อยู่ในรูปของไฮดรอกซิมิเทนซัลโฟเนต ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไบซัลไฟต์ด้วยตัวคาพิลลารี อิเล็กโตรโพรซิส ที่มี CE-C4D ที่ได้รับการพัฒนาจนสมบูรณ์แบบในการประเมินฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ

**Chao-Heng Tseng, Chi-De Hsieh, Shiao-Shing Chen Z (2008)** ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาฟอร์มัลดีไฮด์ในอาคารส่วนใหญ่มาจากวัสดุตกแต่งภายใน, กาวและสี เนื่องจากการตกแต่งภายในฟอร์มัลดีไฮด์ที่มากเกินไปและขาดการควบคุมที่เหมาะสมมีความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งที่โดย 100 ถึง

1,000 เท่าซึ่งมากกว่าระดับที่ยอมรับได้ในอาคารสำนักงานจำนวนมาก งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดและกลไกการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในร่มโดยประเภทต่างๆของการทำความสะอาดอากาศ

สี่ประเภทในการทำความสะอาดอากาศที่ศึกษา รวมถึงกระบวนการโฟโตแคทาไลติก การทำความสะอาดโดยถ่านกัมมันต์ การทำความสะอาดด้วยไอออนลบและการใช้โอโซนทำความสะอาดที่ความชื้นต่างๆ อุณหภูมิและความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ผู้วิจัยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดและกลไกการกำจัด HCHO ภายในอาคาร โดยศึกษาจาก 4 วิธี คือ (1) การเสื่อมสลายตามธรรมชาติของฟอร์มัลดีไฮด์ (2) การทำความสะอาดแบบปิด และ (3) การทำความสะอาดแบบเปิด (4)การใช้โอโซนทำความสะอาด ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ทำการเก็บตัวอย่างและบันทึกทุก 10 ถึง 30 นาทีในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด

ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์มีผลกระทบจากความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ต่ำของฟอร์มัลดีไฮด์ทั้ง 4 วิธี (1) จากวิธีการเสื่อมสลายตามธรรมชาติของฟอร์มัลดีไฮด์ โดยการทำความสะอาดด้วยถ่านกัมมันต์ ได้ประสิทธิภาพการกำจัดของฟอร์มัลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 3.3-28.6% (2) การทำความสะอาดแบบปิด จากการทำความสะอาดด้วยไอออนลบ ได้ประสิทธิภาพการกำจัดของฟอร์มัลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 18.5-30.8% (3) การทำความสะอาดแบบเปิด ด้วยกระบวนการโฟโตแคทาไลติกได้ประสิทธิภาพการกำจัดของฟอร์มัลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 18.7-56.0% (4)การใช้โอโซนทำความสะอาด ประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์โดยใช้โอโซน อยู่ในช่วง 18.2-44.2% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำความสะอาดอากาศยังไม่เพียงพอที่จะกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์เพื่อให้ตรงกับองค์การอนามัยโลก (0.08 ppm) การลดลงของแหล่งที่มาและการปรับปรุงการระบายอากาศควรจะนำไปควบคุมเพื่อลดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในอาคาร

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ห้องทดสอบ (Experimental Chamber) ใช้เดซิกเคเตอร์ ปริมาตร 16.14 L ทำการหาปริมาตรของเดซิกเคเตอร์ได้โดยการตวงน้ำใส่ลงในเดซิกเคเตอร์ทั้งส่วนที่เป็น โดแก้วและฝาครอบ แล้วคำนวณปริมาตรน้ำที่ใช้เป็นปริมาตรของห้องทดสอบ
2. เครื่องยูวี-วิซิบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น GENESYS 10S UV-VIS
3. เครื่องเก็บตัวอย่างแบบส่วนบุคคล (Personal Air Sampling) ยี่ห้อ SKC รุ่น 224-PCXR4 พร้อมอุปกรณ์อิมพิงเจอร์และแทรปเปอร์
4. เครื่องเปรียบเทียบอัตราการไหลอิเล็กทรอนิกส์ (BIOS International corp.) ยี่ห้อ BIOS รุ่น Defender 520
5. เครื่องดูดนิยมิวิทยา Vanyage Pro
6. รถยนต์ที่มีปริมาตรลูกสูบน้อยกว่า 2500 ซีซี จำนวน 3 ยี่ห้อ
7. เครื่องวัด pH และค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
8. Thermometer แบบดิจิตอล ยี่ห้อ KTJ รุ่น TA328 ความละเอียด  $\pm 1^{\circ}\text{C}$
9. เตาให้ความร้อน ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น A007226
10. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED224S
11. ชุดเครื่องแก้วสำหรับไทเทรต และวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### 3.2 วัสดุและสารเคมี

1. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) เข้มข้น 40% เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Carlo ERBA
2. โซเดียมไบซัลไฟต์ ( $\text{NaHSO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Himedia, India
3. โซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Carlo ERBA
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Loba Chemic
5. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเตต ( $\text{KHC}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ) เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Carlo ERBA
6. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Carlo ERBA
7. ฟีนอล์ฟทาลีน เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ Carlo ERBA

8. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95% (95% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เกรดวิเคราะห์หือ Fisher Scientific, UK
9. กรดโครโมโทปิก ((HO)<sub>2</sub>C<sub>10</sub>H<sub>4</sub>(SO<sub>3</sub>Na)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O) เกรดวิเคราะห์หือ Sigma Aldich, USA
10. น้ำปราศจากไอออน

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

1. สร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้เดซิเคเตอร์ขนาด 16.14 L จำลองเป็นห้องทดสอบ ทำการทาวาสลินเพื่อให้เกิดความหนืดระหว่างโถแก้วและฝาครอบ และเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างที่อากาศสามารถเข้าออกได้ ทำการชั่ง KMnO<sub>4</sub> จำนวน 0.05g ใส่ขามระเหยเพื่อทำหน้าที่ช่วยสลายพันธะของพาราฟอร์มาลดีไฮด์ นำขามระเหยดังกล่าวใส่ในห้องทดสอบ และเติมสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ ปริมาตร 0.1 mL ด้วยไมโครปิเปต โดยปิดฝาเดซิเคเตอร์อย่างรวดเร็ว ไม่บรรจุสิ่งใดๆ นอกจากที่ระบุไว้ ดังรูปที่ 3.1(ก) และปิด Stopcock

2. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้พัดลมเป่า เพื่อให้ฟอร์มาลดีไฮด์เกิดการฟุ้งกระจายทั่วห้องทดสอบ

3 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.4 L/min โดยใช้ NaHSO<sub>3</sub>เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึมดังรูปที่ 3.2

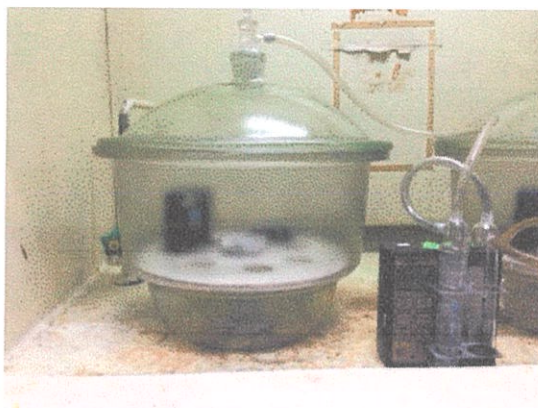
4. ปิเปตสารดูดซึมที่ได้ จำนวน 4 mL ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด

5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500

6. ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 6 แต่เปลี่ยนปริมาตรสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ จาก 0.1 mL เป็น 0.5 mL และ 1.0 mL ตามลำดับ

8. คำนวณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบที่มีฟอร์มัลดีไฮด์

### 3.3.2 การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบในสภาวะบรรยากาศจำลอง

การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบในสภาวะบรรยากาศจำลอง โดยมีตัวแปร 2 ชนิด ดังนี้

- ภายใต้สภาวะไม่มีการดึงอากาศภายในห้องทดสอบเข้าสู่สารดูดซึมเรียกว่า สภาวะ  $T_1$  และสภาวะที่มีการดึงอากาศ (พ่นอากาศ) ภายในห้องทดสอบเข้าสู่สารดูดซึมเรียกว่า สภาวะ  $T_2$

1. สร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ตาม 3.3.1 ข้อ 1 - 2 โดยเติมสารละลายสต็อกฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาตร 0.1 mL ด้วยไมโครปิเปตทั้งชุดควบคุมที่ไม่มีน้ำกลั่น และชุดทดลองที่บรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 200 mL โดยพ่นอากาศเป็นเวลา 15 นาที

2. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.4 L/min โดยใช้  $\text{NaHSO}_3$  เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เพื่อหาฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบ

3. ปิเปตสารดูดซึมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองปริมาตร 4 mL ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด

4. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500 ถือเป็น การจำลองสภาวะมีฟอร์มัลดีไฮด์เป็นระดับที่ I (L-I)

5. ทำการทดลองซ้ำรวม 3 ซ้ำ

6. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 6 แต่เปลี่ยนปริมาตรสารละลายสต็อกฟอร์มัลดีไฮด์ จาก 0.1 mL เป็น 0.5 mL และ 1.0 mL ตามลำดับ ถือว่าเป็นสภาวะมีฟอร์มัลดีไฮด์เป็นระดับที่ II และ III ตามลำดับ (L-II และ L-III) และทำทั้งสภาวะ  $T_1$  และ  $T_2$

7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 8 แต่เปลี่ยนชุดทดลองที่บรรจุน้ำกลั่น โดยพ่นอากาศเป็นเวลา 15 นาที เป็น ไม่พ่นอากาศ

8. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 - 7 แต่เปลี่ยนจากน้ำกลั่น เป็นสารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 M และ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 M ตามลำดับ

9. คำนวณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้นในชุดควบคุม ( $C_0$ ) และความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบชุดทดลอง ( $C_e$ ) รวมทั้งประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ จากสมการที่ 3.1

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบที่มีฟอร์มัลดีไฮด์

### 3.3.3 สถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างอากาศเก็บอากาศภายในรถยนต์ส่วนบุคคล 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A, B และ C โดยทำการสุ่มตัวอย่างยี่ห้อละ 3 คัน ซึ่งจอดอยู่บริเวณหมู่บ้านอาร์เอ็นทีเพลส ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยจะเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. และ 13.00-16.00 น.

### 3.3.4 เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างรถยนต์

สอบถามจากอาสาสมัครที่ต้องการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์ และทำการคัดเลือกตามเกณฑ์ ดังนี้

- รถยนต์ส่วนบุคคลจากอาสาสมัครที่มีขนาดปริมาตรกระบอกสูบ 3,000 CC
- รถยนต์ส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งาน ไม่เกิน 5 ปี
- รถยนต์ที่มียี่ห้อแตกต่างกัน 3 ยี่ห้อ
- ตรวจวัดรถยนต์ที่จอดกลางแจ้ง

### 3.3.5 ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์

1. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 180 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.4 L/min โดยใช้  $\text{NaHSO}_3$  เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม

2. นำเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลตั้งภายในรถยนต์ ทำการเก็บอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง

3. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ที่จอดในที่กลางแจ้ง จำนวน 9 ครั้ง

4. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500 (ที่มาจาก Formaldehyde: Method, 1994)

5. คำนวณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เก็บได้ภายในห้องโดยสารรถยนต์ส่วนบุคคล



รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ส่วนบุคคล

### 3.3.6 การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์

1. ทำการบรรจุสารดูดซึมชนิดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหมาะสม ปริมาตร 200 mL ลงบีกเกอร์ดังรูป 3.4 โดยพ่นอากาศเป็นเวลา 15 นาที ตั้งไว้ภายในจุดศูนย์กลางของห้องโดยสารรถยนต์

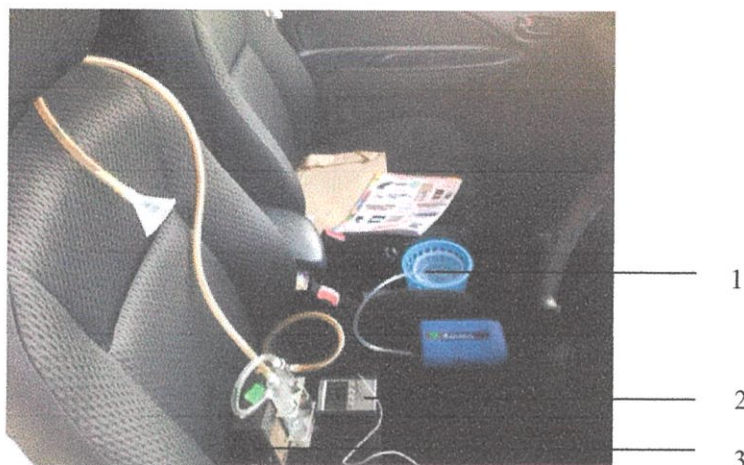
2. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 180 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.4 L/min โดยใช้  $\text{NaHSO}_3$  เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม

3. นำเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลตั้งภายในรถยนต์ ทำการเก็บอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง

4. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ที่จอดในที่กลางแจ้ง ซ้ำรวมจำนวน 9 ครั้ง

5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500

6. คำนวณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือภายในห้อง โดยसारถยนต์รวมทั้งประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ จากสมการที่ 3.1



**รูปที่ 3.4** การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยส่วนบุคคล

หมายเหตุ 1 = อุปกรณ์ใส่สารดูดซึม

2 = Thermometer แบบดิจิตอล

3 = ชุดเก็บตัวอย่างอากาศ

### 3.3.7 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

1. ปรับอัตราการไหลเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ที่อัตราการไหล 0.4 L/min ครั้งละ 10 ค่า ในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย, S.D และ %RSD โดยจะต้องมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 จึงถือว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศมีอัตราไหลคงที่ตลอดการทดลอง

2. ทำความสะอาดห้องทดสอบทุกครั้งหลังทำการเก็บตัวอย่าง โดยใช้ถ่านกัมมันต์ทำการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เพื่อป้องกันการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ ต้องทำความสะอาดทุกครั้งเพื่อให้อากาศภายในห้องสะอาดและเปิดฝาเคชเตอร์ตั้งทิ้งไว้ระยะเวลา 30 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 0.4 L/min เป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500

3. ทำการตรวจสอบการเกิด Break through ซึ่งหมายถึงป้อนเก็บตัวอย่างอากาศผ่านเข้ามายังอิมฟิงเจอร์ที่มีสารดูดซึม  $\text{NaHSO}_3$  เข้มข้น 1 % จำนวน 20 mL บรรจุอยู่และละลายในสารดูดซึมได้หมด โดยไม่ผ่านออกไปจากสารดูดซึมขณะทำการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้อิมฟิงเจอร์ 2 ชุด คือ ชุดหน้า

(Front impinger) ซึ่งใช้เก็บอากาศในห้องทดสอบ และใช้ชุดหลัง (Back impinger) เก็บอากาศจากชุดหน้าเพื่อตรวจสอบอากาศที่ผ่านออกมาจากอิมพิงเจอร์ชุดหน้าว่าในอากาศไม่มีฟอร์มาลดีไฮด์ผ่านออกมาด้วย โดยนำสารดูดซึ่มในอิมพิงเจอร์ทั้ง 2 ชุดไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500

### 3.3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดสอบความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารดูดซึ่มที่เหมาะสมที่ได้ผลจากข้อ 3.3.6 ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอดกลางแจ้งว่าแตกต่างกันหรือไม่อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 โดยเลือกใช้โปรแกรม SPSS ประมวลผลเพื่อหาค่าสถิติ ทดสอบสมมติฐาน ( $H_0$  = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ,  $H_1$  = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA ถ้าค่านัยสำคัญในตาราง ANOVA มีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าเป็นการปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  และยอมรับสมมติฐาน  $H_1$  แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน  $H_0$  และปฏิเสธสมมติฐาน  $H_1$  รายละเอียดผลการวิเคราะห์ทั้งหมดดังภาคผนวก ง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเก็บตัวอย่างปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ทั้ง 3 ระดับภายในห้องทดสอบ ศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ โดยการใช้สาร 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ( $\text{NaHSO}_3$ ) และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) โดยภายใต้สภาวะที่มีการดึงอากาศ และสภาวะไม่มีการดึงอากาศภายในห้องทดสอบที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่สารละลายทั้งสามชนิด และคัดเลือกสารดูดซับที่เหมาะสม ศึกษาการเก็บตัวอย่างและบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้การดูดซับด้วยสารที่เหมาะสมในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อที่จอดกลางแจ้ง สถานที่เก็บตัวอย่าง คือ บริเวณหมู่บ้านอาร์เอ็นพีเพลส ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

#### 4.1 การประกันคุณภาพ

การเก็บอากาศเมื่อทำการปรับอัตราการไหลเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้งให้อัตราการไหล 0.4 L/min ครั้งละ 10 ค่า ในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาหาอัตราการไหลเฉลี่ยจากอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บ โดยจะต้องมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 จึงถือว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศมีอัตราไหลคงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจากมีผลต่อการคำนวณปริมาณอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ จากการคำนวณพบว่า มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 0.2-1.0 จึงถือว่าสามารถใช้ในการคำนวณปริมาณอากาศได้ถูกต้อง (รายละเอียดดังตาราง ข)

การทำความสะอาดห้องทดสอบทุกครั้งหลังทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ผ้ากันเปื้อนเป็นตัวดูดซับ โดยทำการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เพื่อป้องกันการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ ต้องทำความสะอาดทุกครั้งเพื่อให้อากาศภายในห้องสะอาดและเปิดผ้าห้องทดสอบตั้งทิ้งไว้ระยะเวลา 30 นาที โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 0.4 L/min เป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500 พบว่า ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด จึงถือได้ว่าไม่มีการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องทดสอบในระดับที่ตรวจวิเคราะห์ได้ตามวิธี NIOSH 3500 (รายละเอียดดังภาคผนวก ค หน้า 105 )

การเก็บตัวอย่างอากาศที่ถูกต้องจะทำการตรวจสอบการเกิด Break through ซึ่งหมายถึง บั้มเก็บตัวอย่างอากาศผ่านเข้ามายังอิมพิงเจอร์ที่มีสารดูดซับ  $\text{NaHSO}_3$  เพิ่มขึ้น 1 % จำนวน 20 mL บรรจุอยู่

และละลายในสารดูดซึ่มได้หมดโดยไม่ผ่านออกไปจากสารดูดซึ่มขณะทำการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้อิมพิงเจอร์ 2 ชุด คือ ชุดหน้า (Front impinger) ซึ่งใช้เก็บอากาศในห้องทดสอบ และใช้ชุดหลัง (Back impinger) เก็บอากาศจากชุดหน้าเพื่อตรวจสอบอากาศที่ผ่านออกมาจากอิมพิงเจอร์ชุดหน้าว่าในอากาศไม่มีฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านออกมาด้วยโดยนำสารดูดซึ่มในอิมพิงเจอร์ทั้ง 2 ชุดไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500 จากผลการตรวจสอบสภาวะ Break through โดยเลือกการจำลองระดับ HCHO III จะเห็นได้ว่าการตรวจวัดพบฟอร์มัลดีไฮด์ในอิมพิงเจอร์ชุดหน้าเท่านั้น แสดงว่าไม่มีฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านจากอิมพิงเจอร์ชุดหน้ามายังอิมพิงเจอร์ชุดหลัง จึงถือได้ว่าสามารถจับฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศได้หมดและการเก็บตัวอย่างอากาศในแต่ละครั้งไม่เกิดสภาวะ Breakthrough แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบสภาวะ BREAKTHROUGH

ครั้งที่	[HCHO (ppb)]		อุณหภูมิ (°C)
	ชุดหน้า	ชุดหลัง	
1	245.50	0.00	30.00
2	232.72	0.00	31.00
3	256.54	0.00	30.00
เฉลี่ย	244.92 ± 11.92	0.00	30.33

#### 4.2 ฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

การศึกษาฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ ศึกษาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ทั้ง 3 ระดับทำได้โดยการสร้างสภาวะจำลองในห้องทดสอบที่มีปริมาตรเท่ากับ 16.14 ลิตร ใส่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO<sub>4</sub>) ลงในชามระเหย เมื่อหยดสารละลายสต็อกฟอร์มัลดีไฮด์ ลงไปในห้องทดสอบ โดยมีสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์ที่แรงสามารถสารช่วยเร่งการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นตามวิธีของ NIOSH 3500

ตารางที่ 4.2 พอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่สภาวะจำลอง

ปริมาณ [HCHO]	ครั้งที่	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	[HCHO] (ppb)	เฉลี่ย (ppb)	เฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
L-I	1	26.0	255.57	260.39±25.08	31.98±3.08
	2	26.0	287.53		
	3	26.0	238.06		
L-II	1	26.0	348.86	405.88±49.47	49.85±6.08
	2	26.0	431.49		
	3	26.0	437.29		
L-III	1	26.0	683.64	757.27±64.24	93.01±7.89
	2	26.0	786.26		
	3	26.0	801.90		

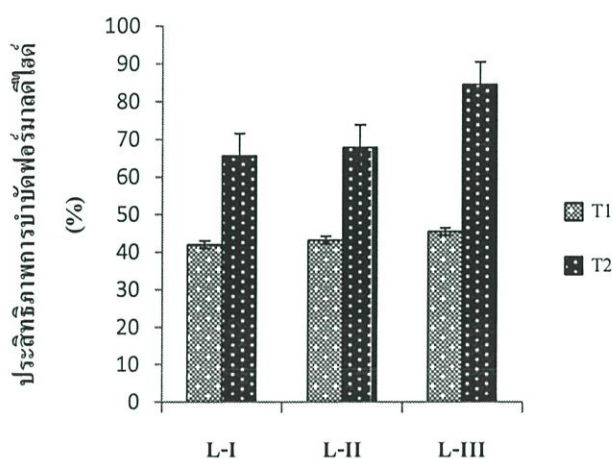
จากตารางที่ 4.2 พบว่า ในการจำลองสภาวะพอร์มาลดีไฮด์มีค่าความเข้มข้นของพอร์มาลดีไฮด์เฉลี่ยเท่ากับ 260.39±25.08, 405.88±49.47, และ 757.27±64.24 ppb ตามลำดับ

#### 4.3 การบำบัดพอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

ในการศึกษาการบำบัดพอร์มาลดีไฮด์ ทำได้โดยการสร้างสภาวะจำลองในห้องทดสอบเหมือนข้อ 4.2.1 จากข้อมูลเคมีภัณฑ์ (*Material safety data sheet, MSDS*) พบว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์ที่แรง สามารถทำลายพันธะพาราพอร์มาลดีไฮด์หรือกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิกขึ้นอยู่กับสภาวะที่ทำปฏิกิริยา (ดังสมการที่ 2.12 หน้า 7) พอร์มาลดีไฮด์เป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และเกิดการดูดซับได้ดีกับสารโซเดียมไบซัลไฟต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำกลั่น สารโซเดียมไบซัลไฟต์ และสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการศึกษาการบำบัดพอร์มาลดีไฮด์ นอกจากนี้สารทั้งสามชนิดสามารถหาได้ง่ายและมีความเหมาะสมในการกำจัดพอร์มาลดีไฮด์ พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของประสิทธิภาพการบำบัดพอร์มาลดีไฮด์ของสารที่ใช้บำบัด เพื่อทำการเปรียบเทียบสารชนิดใดมีความเหมาะสมที่ใช้บำบัดพอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลได้ประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด, และศึกษาการละลายของพอร์มาลดีไฮด์โดยทำการศึกษาใน 2 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่ไม่มีการดึงอากาศ ( $T_1$ ) และสภาวะที่มีการดึงอากาศ ( $T_2$ ) ภายในห้องทดสอบเข้าสู่สารละลายทั้งสามชนิด ซึ่งจำลองสภาวะที่มีพอร์มาลดีไฮด์

ปนเปื้อนในระดับ L-I, L-II, และ L-III วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นตามวิธีของ NIOSH 3500 (รายละเอียดดังกล่าวภาคผนวก ก หน้า 84)

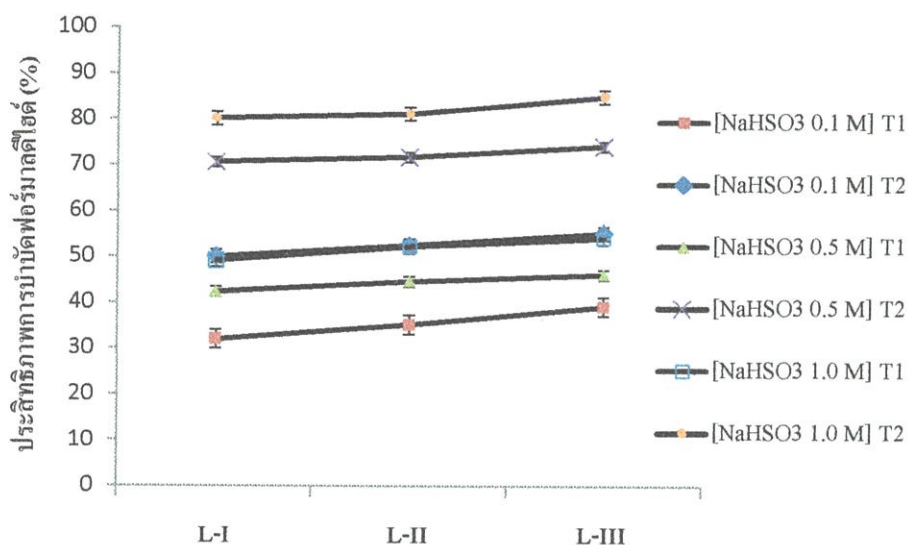
#### 4.3.1 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยน้ำกลั่นในห้องทดสอบ



รูปที่ 4.1 ผลของการบำบัดด้วยน้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.1 เห็นได้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ระดับ พบว่าสถานะที่มีการดึงอากาศ ( $T_2$ ) มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศดีกว่าสถานะที่ไม่มีการดึงอากาศ ( $T_1$ ) ได้ถึง 65-85% โดยระดับฟอร์มาลดีไฮด์ที่คงเหลือในห้องทดสอบ L-I ถึง L-III มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $132.48 \pm 1.64$ ,  $241.74 \pm 17.97$ , และ  $552.29 \pm 0.63$  ppb ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดึงอากาศภายในห้องทดสอบเข้าสู่ น้ำกลั่นทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ละลายลงสู่น้ำกลั่นได้มากขึ้น สืบเนื่องจากปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่หลงเหลือ ภายในอากาศ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $78.70 \pm 2.38$ ,  $133.10 \pm 10.50$ , และ  $259.04 \pm 5.40$  ppb ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในสถานะที่มีการดึงอากาศ ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถละลายลงสู่น้ำกลั่นได้ดียิ่งขึ้นซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของการละลาย นั่นคือ เมื่อมีการดึงอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ลงในน้ำกลั่นจะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนกับน้ำกลั่น ส่วนในสถานะที่ไม่มีการดึงอากาศสามารถจับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผิวน้ำ จากข้อมูล MSDS ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถละลายในน้ำได้ดี จากผลการทดลองจะพบว่าสถานะที่มีการดึงอากาศภายในห้องทดสอบเข้าสู่ น้ำกลั่นสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีกว่าสถานะที่ไม่มีการดึงอากาศ ดังนั้น การดึงอากาศลงสู่น้ำกลั่นที่มีคุณสมบัติในการจับฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศและสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์อย่างง่ายได้ (รายละเอียดดังกล่าวภาคผนวก ก หน้า 85)

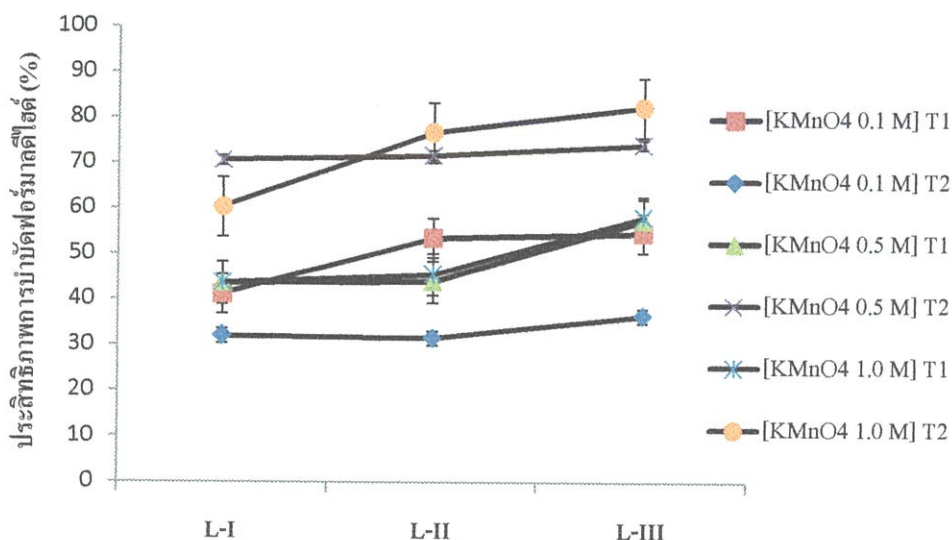
### 4.3.2 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์



รูปที่ 4.2 ผลการบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารซูดซิมโซเดียมไบซัลไฟต์โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไบซัลไฟต์ 3 ระดับจาก 0.1, 0.5, และ 1.0 M มีอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 30.2 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M มีค่าสูงสุด เมื่อมีระดับฟอร์มาลดีไฮด์ L-I ถึง L-III ซึ่งไม่มีการดึงฟอร์มาลดีไฮด์ลงสู่สารซูดซิมหรือสถานะ T<sub>1</sub> อยู่ระหว่าง 42.21-54.11% แต่ถ้ามีการดึงฟอร์มาลดีไฮด์ลงสู่สารซูดซิมพบว่ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นในช่วง 80.16-84.97% แสดงให้เห็นว่าการดึงอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีสอดคล้องกับการใช้น้ำกลั่นในหัวข้อ 4.3.1 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารซูดซิมที่เพิ่มขึ้น พบว่า ความเข้มข้นมีผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการบำบัดทำให้ระดับฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศลดลง โดยระดับฟอร์มาลดีไฮด์ที่คงเหลือในอากาศ L-I ถึง L-III มีค่าโดยเฉลี่ย เท่ากับ 32.51±2.79, 91.38±1.55, และ 113.91±1.48 ppb ตามลำดับ แต่พบฟอร์มาลดีไฮด์ในสารซูดซิมเพิ่มขึ้น มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 309.74±1.52, 452.50±3.93, และ 781.51± 2.59 ppb ตามลำดับ (รายละเอียดคั่งภาคผนวก ค หน้า 90-91 )

### 4.3.3 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต



รูปที่ 4.3 ผลการบำบัดด้วยสาร โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารคูดซิมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3 ระดับจาก 0.1, 0.5, และ 1.0 M มีอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 29.7 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสาร โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.0 M มีค่าสูงสุด เมื่อมีระดับฟอร์มาลดีไฮด์ L-I ถึง L-III ซึ่งไม่มีการคั่งฟอร์มาลดีไฮด์ลงสู่สารคูดซิมหรือสภาวะ T<sub>1</sub> อยู่ระหว่าง 60.35-82.34% แต่ถ้ามีการคั่งฟอร์มาลดีไฮด์ลงสารคูดซิม พบว่ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นในช่วง 43.71-58.17% แสดงให้เห็นว่าไม่มีการคั่งอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดี เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารคูดซิมที่เพิ่มขึ้น พบว่า ความเข้มข้นมีผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการบำบัดทำให้ระดับฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศลดลง โดยระดับฟอร์มาลดีไฮด์ที่คงเหลือในอากาศ L-I ถึง L-III มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $162.25 \pm 1.70$ ,  $142.97 \pm 1.73$ , และ  $145.65 \pm 3.58$  ppb ตามลำดับ ส่วนมีการคั่งอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยกว่า โดยระดับฟอร์มาลดีไฮด์ที่คงเหลือในอากาศ L-I ถึง L-III มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $229.53 \pm 1.44$ ,  $331.18 \pm 9.86$ , และ  $347.98 \pm 2.92$  ppb ตามลำดับ ตามลำดับ (รายละเอียดคั่งภาคผนวก ค หน้า 96-97) จากผลการทดลองสรุปได้ศึกษาบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ สามารถเลือกใช้สารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M เนื่องจากมีประสิทธิภาพคูดซิมฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ น้ำกลั่นและสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่สามารถบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้เหมือนกันแต่ในการนำไปใช้บำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ เลือกใช้สาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M เพราะมีความเหมาะสมที่สุด และยังเป็นสารที่มีคุณสมบัติเฉพาะเจาะจงในการคูดซิมฟอร์มาลดีไฮด์ใน

บรรยากาศจากข้อมูลมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างอากาศวิธีของ NIOSH 3500 เลือกใช้สารโซเดียมไบซัลไฟด์ที่มีคุณสมบัติทางกายและคุณสมบัติทางเคมีเฉพาะเจาะจงสำหรับเป็นสารละลายดูดซึมที่ใช้สำหรับจับฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งสารโซเดียมไบซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมกับฟอร์มาลดีไฮด์ได้เป็นผลิตภัณฑ์การเติมหมู่ไบซัลไฟด์ (ดังสมการ 2.13 หน้า 19) ดังนั้นการดึงอากาศลงในสารโซเดียมไบซัลไฟด์ 1.0 M ที่มีคุณสมบัติในการจับฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีกว่าไม่มีการดึงอากาศลงในสารโซเดียมไบซัลไฟด์ 1.0 M และสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้โดยการใช้สารโซเดียมไบซัลไฟด์ที่สามารถหาได้ง่ายและมีความสะดวกในการใช้

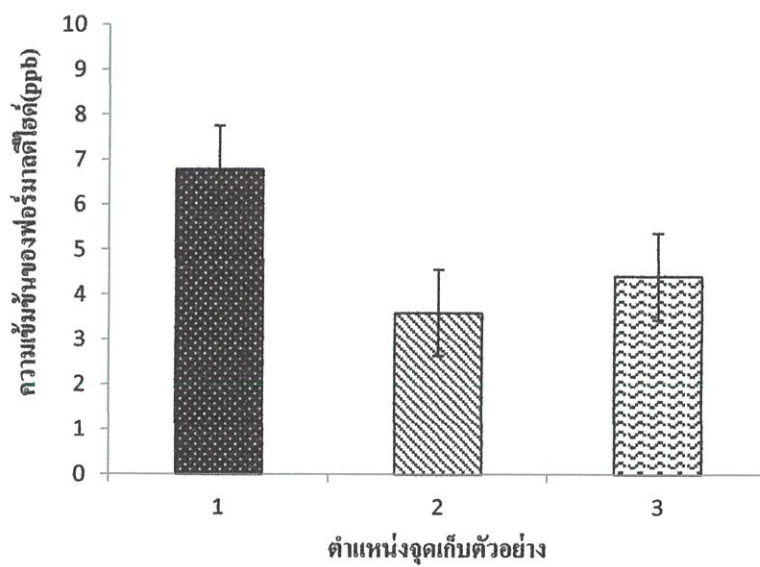
#### 4.4 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air) ด้วยวิธีการเก็บ ตัวอย่างแบบแอคทีฟ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรส่งผลกระทบต่อให้มีการนำทรัพยากรมาใช้อย่างมากมายเพื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และการนำทรัพยากรมาใช้อย่างมากมาย จนเกินสมรรถนะของธรรมชาติที่ฟื้นฟูได้ จึงเป็นสาเหตุให้พื้นที่เสื่อมโทรมและถูกทิ้งรกร้าง หรือบางแห่งมีการปลดปล่อยสารพิษปนเปื้อนลงสู่แหล่งธรรมชาติ อันก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหาที่พบในปัจจุบันจากกรณีไฟไหม้บ่อขยะแพรกษา จังหวัดสมุทรปราการในระหว่างวันที่ 16 มีนาคม ถึง 19 มีนาคม 2557 จะมีสารเคมีอันตรายบางชนิดเกิดขึ้น เช่น พลาสติกไซเซอร่า ไดออกซิน และโลหะหนักเป็นพิษต่างๆ เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม ไอหรือควันพิษจากการเผาขยะออกสู่บรรยากาศ ยังตรวจพบสารเคมีทั้ง 4 ชนิดที่มาพร้อมกับบ่อขยะแพรกษาที่ค่ามลพิษในบรรยากาศเกินค่ามาตรฐาน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ตรงกองขยะสูงถึง 175 ppm, คาร์บอนมอนอกไซด์สูงถึง 10 ppm, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงถึง 4-5 ppm, และฟอร์มาลดีไฮด์สูงถึง 0.9-1.0 ppm ซึ่งพบว่าสารทุกตัวเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด สารเคมีเหล่านี้เป็นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนซึ่งความรุนแรงของผลกระทบจากสารพิษดังกล่าว ขึ้นอยู่กับปริมาณการสูดเข้าไป และระยะเวลาสัมผัส เช่น อยู่ใกล้มาก ก็อาจได้รับเข้าไปมาก โดยอากาศที่เกิดมีตั้งแต่ระยะไกลอย่างเฉียบพลัน จนถึงหมดสติเหล่านี้เป็นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ 2557) การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศทำโดยการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณหมู่บ้าน อาร์เอ็นพีเพลส ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ทำการเก็บทั้งหมด 3 จุด แสดงดังรูปที่ 4.4 โดยทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่างมีสถานะกลางแจ้ง ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 9.00-16.00 น. อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 180 นาที ผลการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศทั่วไป 3 จุด

- หมายเหตุ
- 1 = บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศที่ 1
  - 2 = บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศที่ 2
  - 3 = บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศที่ 3



รูปที่ 4.5 ฟอร์มาลดีไฮด์ ณ จุดเก็บตัวอย่าง

ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้บริเวณจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $6.79 \pm 1.18$  ppb อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 35.5 องศาเซลเซียส ส่วนจุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.60 \pm 0.60$  ppb อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 36.9 องศาเซลเซียส และจุดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.40 \pm 0.93$  ppb อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 36.6 องศาเซลเซียสพบว่า มีระดับฟอร์มัลดีไฮด์ค่าประมาณ  $4.27-8.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อเทียบผลการตรวจวัดของเดซี่, 2551 พบสารฟอร์มัลดีไฮด์มากที่สุดในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครในพื้นที่ริมถนนพบในช่วง  $5.14-17.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ค่าเฉลี่ย  $11.532 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น ความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นในเวลากลางคืนความเข้มข้นของสารกลุ่มนี้ลดลงเนื่องจากการลดลงของแหล่งกำเนิดและความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในพื้นที่ริมถนนกับจำนวนรถยนต์พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดี

ตารางที่ 4.3 การตรวจวัด HCHO เทียบกับแหล่งอื่น

สถานที่ตรวจวัด	[HCHO] ที่ตรวจวัดได้ (ppb)	หมายเหตุ
RNP PLACE - จุดที่ 1 - จุดที่ 2 - จุดที่ 3	$6.79 \pm 1.18$ $3.60 \pm 0.60$ $4.40 \pm 0.93$	ตรวจวัดเองในช่วงเดือน ก.พ.- มี.ค. 2557 ตั้งแต่เวลา 9.00-16.00
KMITL - ห้องเก็บสารเคมี - ห้องปฏิบัติการเคมี - ห้องปฏิบัติการชีววิทยา	$182.8 \pm 9.47$ $8.32 \pm 3.18$ $35.83 \pm 8.69$	อ้างอิงจากกรมกริชโดยตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดในปี 2550
หน้าคณะวิทยาศาสตร์และ สี่แยกชอยจินดา	$4.24 \pm 1.10$ $7.22 \pm 1.30$	อ้างอิงจากปราชญ์พิชญ์โดยตรวจวัดในปี 2551
อ.บางเสาธง จ. สมุทรปราการและสนาม กีฬาแห่งชาติปทุมวัน	$1.28 \pm 0.50$ $0.85 \pm 0.50$	อ้างอิงจากจากรุวรรณโดยตรวจวัดในช่วงเดือน ธ.ค. - ม.ค. 2553 ตั้งแต่เวลา 9.00-12.00

จากตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้เมื่อเทียบกับแหล่งอื่น พบว่า จุดที่ 1 สภาวะกลางแจ้งมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ใกล้เคียงกับบริเวณสี่แยกซอยจินดา ซึ่งทั้ง 2 จุดเป็นบริเวณที่มีการจราจรทุกช่วงเวลาหากเป็นการตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และยังพบว่าจุดที่ 2 และจุดที่ 3 มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ใกล้เคียงกับบริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ เช่น ห้องปฏิบัติการที่มีการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ จะพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในระดับที่สูง ส่วนบริเวณที่เป็นที่โล่งและมีลมพัดผ่านตลอดเวลาอย่างเช่นสนามกีฬา จะพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในระดับที่ต่ำ นอกจากนั้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคมที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศมีอากาศร้อนจัด ไม่มีลมพัดผ่านและปัญหาที่พบในปัจจุบันจากกรณีไฟไหม้บ่อขยะแพรกษา อาจเป็นไปได้ว่าในชั้นบรรยากาศมีมลพิษที่ปนเปื้อนจากควันพิษจากการเผาขยะ แต่ลมพัดผ่านไม่ถึงบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศมีค่ามลพิษไม่สูงเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดบริเวณที่ตรวจวัดและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณนั้น

#### 4.5 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลด้วยวิธีการเก็บตัวอย่าง แบบ แอคทีฟ

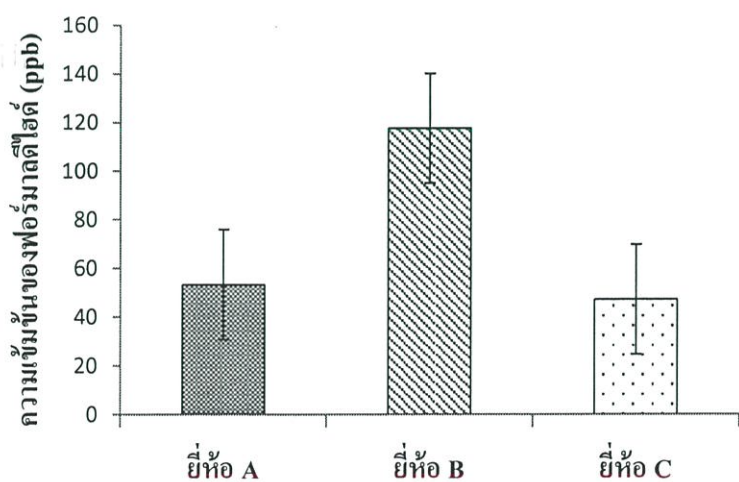
รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่นำมาเป็นตัวอย่างศึกษานี้ ได้จากการสุ่มเลือกรถยนต์ของบุคคลทั่วไป โดยจำกัดให้มีปริมาตรลูกสูบเท่ากับ 2,500 CC. และจำกัดอายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม 2557 ตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น.

ทำการเก็บตัวอย่างในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ A, B, และ C ยี่ห้อละ 1 คัน จากการสังเกต พบว่า รถยนต์ทุกคันมีสภาพการใช้งานปกติ ไม่เคยประสบอุบัติเหตุที่อาจทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวของเครื่องยนต์ทำให้เกิดการซึมผ่านของอากาศจากภายนอกรถยนต์เข้าสู่ภายในได้ บางคันอาจมีการตกแต่งอุปกรณ์ภายในเพิ่มเติมบ้างซึ่งข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของรถยนต์ทั้ง 3 คัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลรายละเอียดของรถยนต์ตัวอย่างทั้ง 3 คัน

คันที่	อุปกรณ์ตกแต่งภายใน		การทำความสะอาดภายในรถ		อายุการใช้งาน	ปริมาตรห้องโดยสาร (m <sup>3</sup> )	น้ำมันเชื้อเพลิง	หมายเหตุ
	ดั้งเดิม	เพิ่มเติม	ประจำ	นานครั้ง				
1	✓		✓		2 ปี	3.23	ดีเซล	เบาะนั่งเป็นเบาะพรมทั้งคัน, มีน้ำหอมปรับอากาศ
2		✓	✓		1 ปี	4.29	ดีเซล	เบาะนั่งเป็นเบาะหนังทั้งคัน, มีลามิเนตตกแต่ง
3	✓			✓	3 ปี	3.66	ดีเซล	เบาะนั่งเป็นเบาะพรมทั้งคัน

ดำเนินการเก็บตัวอย่างภายใต้สภาวะจอดรถกลางแจ้งอัตราการใช้ของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 180 นาที ผลการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 คัน จำนวน 9 ครั้งของแต่ละคัน (n=9) แสดงดังรูปที่ 4.5



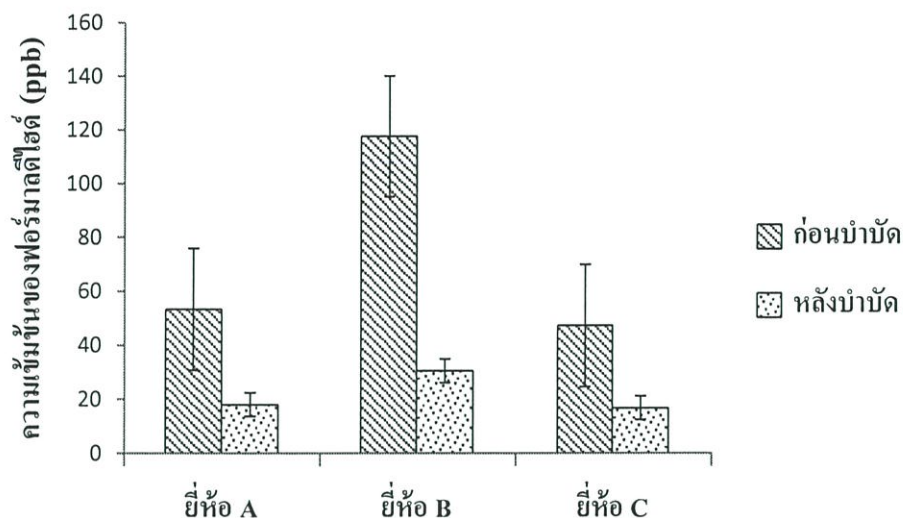
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้น HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล 3 ยี่ห้อ ที่จอดกลางแจ้ง

จากการตรวจวัดพบว่า รถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ  $53.30 \pm 8.06$ ,  $117.56 \pm 17.41$ , และ  $47.13 \pm 10.78$  ppb ตามลำดับ ในห้องโดยสารต้องสารรถยนต์มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก ส่งผลให้ฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมายังห้องโดยสารของรถยนต์ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA (รายละเอียดดังภาคผนวก ง หน้า 110) พบว่า รถยนต์ 3 ยี่ห้อ มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ในสภาวะที่จอดกลางแจ้ง พบว่า รถยนต์ยี่ห้อ B มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า รถยนต์ยี่ห้อ B จะเห็นว่า รถยนต์ยี่ห้อ B มีอุปกรณ์ตกแต่งภายในเพิ่มเติมจากที่โรงงานผลิต นั่นคือ มีการใช้ลามิเนตตกแต่งในส่วนของพวงมาลัยรถยนต์ ซึ่งลามิเนตมีส่วนผสมของ Melamine formaldehyde resins (MF) นอกจากนี้ยังมีชิ้นส่วนพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบภายในรถยนต์ เช่น คอนโซลหน้า ที่พักแขน รวมไปถึงเบาะนั่ง นอกจากนี้ชิ้นส่วนพลาสติกภายในห้องโดยสารแล้วยังพบแหล่งกำเนิดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลมาจากยางขึ้น บริเวณขอบกระจก ยางปูพื้นภายในรถยนต์ ฉนวนกันความร้อน กาวจากการติดตั้งเบาะนั่ง และอากาศที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในรถยนต์ จึงอาจถือได้ว่าเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องโดยสารรถยนต์ยี่ห้อ B เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรถยนต์จอดอยู่ในสภาวะกลางแจ้ง ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ตัวแปรที่สามารถส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารรถยนต์ นอกจากอุณหภูมิที่สูงแล้วอุปกรณ์ตกแต่งเพิ่มเติมอย่างเช่น ลามิเนต มีผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ภายในห้องโดยสารรถยนต์

#### 4.6 การศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

การศึกษการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จะศึกษาภายใต้สภาวะการจอดรถยนต์กลางแจ้ง เลือกใช้สาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลทั้ง 3 ยี่ห้อ โดยทำการเก็บตัวอย่างในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ A, B, และ C ยี่ห้อละ 1 คัน นำสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ไว้จุดกึ่งกลางภายในห้องโดยสาร ภายใต้สภาวะที่มีการดึงอากาศ ผลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ภายในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดกลางแจ้ง จำนวนอย่างละ 9 ครั้ง (n=9) แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้น HCHO ก่อนและหลังบำบัดภายในรถยนต์ 3 ยี่ห้อที่จอดกลางแจ้ง

จากการตรวจวัดพบว่า รถยนต์ยี่ห้อ A มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ  $18.02 \pm 4.66$  ppb มีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารเฉลี่ย 35.64 องศาเซลเซียส ส่วนรถยนต์ยี่ห้อ B มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ  $30.48 \pm 4.75$  ppb มีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารเฉลี่ย 36.66 องศาเซลเซียส และรถยนต์ยี่ห้อ C มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ  $16.69 \pm 5.72$  ppb มีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารเฉลี่ย 36.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่ารถยนต์ยี่ห้อ B มีหลังบำบัดมีความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่ารถยนต์ยี่ห้อ A และยี่ห้อ C เนื่องจากรถยนต์ยี่ห้อ B มีอุปกรณ์ตกแต่งภายในเพิ่มเติมจากที่โรงงานผลิต คือ มีการใช้ลามิเนตตกแต่งในส่วนของพวงมาลัยรถยนต์ ซึ่งลามิเนตมีส่วนผสมของ Melamine formaldehyde resins (MF) และมีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารที่สูงกว่าส่งผลให้ฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาในห้องโดยสารของรถยนต์ได้มาก นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลทั้ง 3 ยี่ห้อ ที่จอดกลางแจ้ง พบว่ารถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ  $65.00 \pm 11.67\%$ ,  $68.27 \pm 6.73\%$  และ  $64.49 \pm 10.18\%$  ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลซึ่งสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้เกือบ 70% ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลแตกต่างกับประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เนื่องจาก ความจุห้องโดยสารภายในรถยนต์ขนาดใหญ่กว่าในห้องทดสอบ โดยใช้ปริมาตรสารดูดซับที่เท่ากัน และจากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความ

แปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA (รายละเอียดดังภาคผนวก ง หน้า 119) พบว่า รดยนต์ 3 ยี่ห้อ มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรดยนต์ 3 ยี่ห้อ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหมาะสมโดยแปรค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ระดับ ได้ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ระดับ I,II และIII มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $260.39 \pm 25.08$ ,  $405.88 \pm 49.47$ , และ  $757.27 \pm 64.24$  ppb ตามลำดับ เมื่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบด้วยสาร 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น, สารโซเดียมไบซัลไฟต์, และสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ของสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในสภาวะที่มีการดึงอากาศมีประสิทธิภาพเกือบ 90 % จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ส่วนบุคคล 3 ยี่ห้อ ซึ่งความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B, และ C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $53.30 \pm 8.06$ ,  $117.56 \pm 17.4$ , และ  $47.13 \pm 10.78$  ppb ตามลำดับ จากการศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B, และ C มีค่าเฉลี่ย  $18.08 \pm 4.66$ ,  $30.48 \pm 4.75$  และ  $16.69 \pm 5.72$  ppb ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ารถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C พบว่ามีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M โดยเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์จากตัวอย่างรถยนต์ที่สุ่มเลือกจำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ A, B และ C ที่จอดกลางแจ้ง โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $65.00 \pm 11.67$  %,  $68.27 \pm 6.73$  %, และ  $64.49 \pm 10.18$  % ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ารถยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

#### 5.1 ปัญหาและอุปสรรค

การเก็บตัวอย่างในรถยนต์ส่วนบุคคลค่อนข้างมีอุปสรรคมาก เนื่องจากต้องเก็บตัวอย่างในวันที่เจ้าของรถยนต์มีความสะดวกที่จะให้เก็บตัวอย่าง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ควรมีการเปิดประตูหรือกระจกทิ้งไว้สักพักก่อนเพื่อเป็นการระบายอากาศเดิมของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารให้เป็นอากาศภายนอกเข้าสู่รถยนต์
2. ควรบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ที่เพิ่งผลิตและยังไม่ได้ถูกจำหน่ายสู่ผู้บริโภค เพื่อลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ และลดปัญหาสุขภาพของผู้ขับขี่

3. อุปกรณ์ที่ใช้บำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ควรพัฒนาให้ได้มาตรฐานเหมาะสมในการใช้งานจริง

4. ศึกษาการใช้สารเคมีชนิดอื่นที่มีสมบัติการดูดซับทางเคมี สามารถออกซิไดซ์ หรือเกิดปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์กลายเป็นสารอื่นที่สลายตัวได้เร็วกว่าและไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการบำบัดได้

5. เมื่อปีครรถยนต์และตรวจวัดระดับฟอร์มาลดีไฮด์ ถ้ามีค่าเพิ่มสูงกว่าอากาศภายนอก ทำให้ทราบว่าฟอร์มาลดีไฮด์มีแหล่งกำเนิดอยู่ภายในรถยนต์

## เอกสารอ้างอิง

- กษามาส บัวแก้ว, จริญญา พาไพพรสว่าง, จิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ.2556. การตรวจวัดความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล. โครงการพิเศษ. สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- กรมควบคุมมลพิษ. เอกสารอ้างอิงข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์. (น.ป.ป.). [ Online ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556). Available: <http://msds.pcd.go.th/index.asp>
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541. กองการจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการจัดการงานเคมีอันตรายสูง ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde). กรุงเทพมหานคร. บริษัท เอ็ม ซี ซีลลาบส์ จำกัด
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2552. ใช้แก๊สโซฮอล์ทำให้เป็นมะเร็งจริงหรือ. [ Online ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2556). Available: [www.most.go.th/main/index.php/news/organization-news/193-gasohal](http://www.most.go.th/main/index.php/news/organization-news/193-gasohal)
- แก้ว ขจรไชยกุล 2543. การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- คมกริช ชั้นก้อน, ธนากร สารทไทย และปาจารย์ พุททชว.2551. การตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคาร. โครงการพิเศษ. สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- จุฑารัตน์. 2555. พืชจากสารฟอร์มาลดีไฮด์.ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและการจัดการภัยพิบัติ. [Online ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2556). Available: <http://dpm.nida.ac.th>
- ณรงค์ คชภักดี, สมพร จันทร์ระ และเพริศพิชญ์ คณาธารณา.2548. การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟและเอกซ์โพเซมเบอร์สำหรับการหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในอาคาร. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปรางทิพย์ แก้วเพ็ญกรอ และวัลลวี นัฐสถาพร. 2550. การศึกษาความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ.

โครงการพิเศษ. สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มะลิวรรณ แสงจันทร์, ชลอ ลัมสุวรรณ และสุปราณี ชินบุตร. 2531. การสลายตัวของฟอร์มาลินและ

ความเป็นพิษต่อ *Aeromonas hydrophila* และแพลงก์ตอน. คณะประมง.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง

วรรณภา เลาวกุล. 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์การประยุกต์ใช้รีเซพเตอร์โมเดลเพื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิด

สารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศในเขตเมือง. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรม

ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

สุภาสินี ลิมาปานภาพ, บทที่ 9 พอลิเมอร์, 167-188, [ Online ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557).

Available: <http://www.physics.kku.ac.th/315205/sites/default/files/chapter09.pdf>.

สุเทพ เรืองวิเศษ. Risk Assessment เพื่อการจัดการสารเคมีของประเทศ. คณะสัตวแพทยศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556). Available:

<http://chemtrack.org/Doc/F319.pdf>

สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด, สาวิตรี การ์เวทย์ และพจนีย์ ชุนมมงคล. 2548. อิทธิพลของอุณหภูมิและ

ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์

และอะซีตัลดีไฮด์ใน เขตชุมชนเมือง. สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

แหล่งของมลพิษ. [ Online ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2556). Available: เข้าถึงได้จาก:

[http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter2/chapter2\\_airpolution.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter2/chapter2_airpolution.htm)

A.Levart.M.Veber. 2000. Determination of aldehydes and ketones in air sampling using

cryotrapping sampling, Slovenia, Journal, Faculty of Chemistry and chemical Technology,

University of Ljubljana.

- Beat Meyer and Karl Hermann's. 1985. **Reducing Indoor Air Formaldehyde Concentrations**, USA, Journal, University of Washington, Seattle, Washington.
- Chao-Heng Tseng, Chi-De Hsieh, Shiao-Shing Chen, **The Removal of Indoor Formaldehyde by Various Air Cleaners**, Taiwan, Journal, Institute of Environment Planning and Management, National Taipei University of Technology.
- E. Fagnani, C.B. Melios, L. Pezza, H.R. Pezza. 2003. **Chromotropic acid\_ formaldehyde reaction .in strongly acidic media. The role of dissolved oxygen and replacement of concentrated sulphuric acid**, Brazil, Journal, Instituto de Química-UNESP, SP.
- EPA Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants. 1999. **Potassium Permanganate**. [Online ]. (Access on 25 December 2013). Available: [www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/alter/chapt\\_5.pdf](http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/alter/chapt_5.pdf)
- Daisy Morknoy.2008. **Carbonyl compounds in Bangkok ambient air associated with gasohol**, thesis, Thailand, Environmental Management.
- Flávio R Rocha, Lúcia H G Coelho, Marcelo L A Lopes, Lilian R F Carvalho, José A Fracassi da Silva, Claudimir L do Lago. 2008. **Ivano G R Gutz, Environmental formaldehyde analysis by active diffusive sampling with a bundle of polypropylene porous capillaries followed by capillary zone electrophoretic separation and contactless conductivity detection**, Brazil, Journal, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes.
- Gorecki, T and Namiesnik, J. 2002. **Passive sampling**. TrAC, Trends Anal. Chem. 21(4): 276-291.
- H. D. Gesser' and Shall Fut. 1990. **Removal of Aldehydes and Acidic Pollutants from Indoor Air**, Canada, Journal, chemistry Department, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.
- Jeffrey P.Koplan. 1999. **Toxicological Profile for Formaldehyde**, U.S. Dept. of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

- JECFA. 1999. **Sodium Hydrogen sulfite**. [ Online ]. (Access on 25 December 2013). Available: [www.Fao.org/an/agn/jecfa/-additives/specs/Monograpg1/Additive-409.pdf](http://www.Fao.org/an/agn/jecfa/-additives/specs/Monograpg1/Additive-409.pdf)
- Kwong, Christopher Y.H. Chao, K.S. Hui, M.P. Wan. 2007. **Removal of VOCs from indoor environment by ozonation over different porous materials**, Hong Kong, Journal, Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology.
- Paul, Lars, Bernd and Peter. 1983. **Quantitative Determination of Formaldehyde in Air Using the Acetylacetone Method**, Denmark, Journal, Institute of Hygiene, University of Aarhus, Universitetsparken 180, Danish National Institute of Occupational Health, Baunegaardsvej
- NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 1996. **Formaldehyde by Vis 3500**. [ Online ]. (Access on 1 November 2013). Available: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-s54/pdfs/3500.pdf>.
- Seiji Kumagai, Keiji Sasaki, Yoshie Shimizu, Koichi Takeda. 2007. **Formaldehyde and acetaldehyde adsorption properties of heat-treated rice husks**, Japan, Journal, Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Akita Prefectural University.
- SKC Air Sampling Pump. 2008. **Personal Sampling Pumps**. USA, SKC Inc. [Online]. (Access on 5 November 2013) Available: <http://www.skcinc.com/index.asp>
- Solvay sustainable. 2011. **Sodium Bisulfite Solution**. [Online]. (Access on 5 November 2013) Available: [www.solvaynorthamerican.com/SiteCollectionDocuments/PDF/PSSSodiumBisulfite SolutionFanal.pdf](http://www.solvaynorthamerican.com/SiteCollectionDocuments/PDF/PSSSodiumBisulfiteSolutionFanal.pdf)
- Sukanya Nuasaena, Pakorn Opaprasitb, Pramuan Tangboriboonrata. 2004. **Hollow latex particles functionalized with chitosan for the removal of formaldehyde from indoor air**, Thailand, Journal, Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, School of Bio-

Chemical Engineering and Technology, Sirindhorn International Institute of Technology (SIIT), Thammasat University

Virote Boonamnuayvitaya, Srisuda Sae-Ung. 2005. **Preparation of activated carbons from coffee residue for the adsorption of formaldehyde**, Thailand, Journal, Department of Chemical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thailand; The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thailand; Department of Chemical Engineering, Chulalongkorn University.

World Health Organization. 1989. **Environmental Health Criteria 89 Formaldehyde**. [ Online ]. (Access on 30 November 2013). Available: [www.inchem.org/documents/ech/ech89.htm](http://www.inchem.org/documents/ech/ech89.htm)

## ภาคผนวก ก

### การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### ก.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL

##### 1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL

- ปิเปตสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 40% w/v มา 2.5 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตรหรือ 1 ลิตร (สารละลายมาตรฐานนี้สามารถอยู่ได้นาน 3 เดือน)

##### 2. การเตรียมสารละลาย Sodium sulfite 1.13 M (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำทดลอง)

- ชั่งสาร  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  มา 3.5606 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตร 25 mL

##### 3. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL

- ปิเปตสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ความเข้มข้น 1.13 M มา 5.0 mL ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 mL และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กปรับ pH ของสารละลายเป็น 8.5-10 ด้วยสารละลายกรดหรือเบส จดบันทึกค่า pH จากนั้นเติมสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 1mg/mL มา 10 mL โดยการปิเปต จะได้ pH เท่ากับ 11 จากนั้นทำการไทเทรตด้วยด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N โดยให้ pH กลับมาเท่าเดิมประมาณ 8.5-10 แล้วจด บันทึกปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรต (1 mL acid = 0.600 mg. HCHO ; ต้องใช้กรดประมาณ 17 mL)

\*\* ถ้าหากค่า pH เกินจุดยุติ ให้ทำ back titration กลับไปจุดยุติด้วย NaOH 0.01 นอร์มัล

#### ตารางที่ ก -1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL

ครั้งที่	ปริมาตร $\text{H}_2\text{SO}_4$ เริ่มต้น	pH เริ่มต้น	ปริมาตร $\text{H}_2\text{SO}_4$ สิ้นสุด	pH สิ้นสุด	ปริมาตร $\text{H}_2\text{SO}_4$ ที่ใช้
1	0.00	8.75	17.20	8.75	17.20
2	17.20	8.75	34.30	8.74	17.10
3	0.00	8.75	17.20	8.75	17.20
เฉลี่ย					19.38

### ผลการทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร		
ชั่งสารโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )	3.5607	g
ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 25 mL. จะได้ความเข้มข้น	1.1300	M
ปริมาตรของสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้ครั้งละ	5.0000	mL

### การคำนวณหา [HCHO]

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } C_s &= \frac{30.00(Na \times Va - Nb \times Vb)}{V_s} \\
 &= \frac{30.00(0.0200 \times 17.17)}{10.00} \\
 &= 1.0302 \text{ mg/mL}
 \end{aligned}$$

## ก.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฏุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate,  $\text{KHC}_2\text{H}_4\text{O}_4$ ) ( $M_w = 204.23 \text{ g/mol}$ ) ความเข้มข้น 0.01 N

- นำสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตชนิดรีเอเจนต์เกรด ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งสารมา 0.2072 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปริมาตรขนาด 100 mL

2. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ( $M_w = 40 \text{ กรัมต่อโมล}$ ) ความเข้มข้น 0.01 N

- การเตรียมสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10% โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 g ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 100 mL ในขณะที่ละลายสารเคมี จะเกิดความร้อนขึ้นให้แช่บีกเกอร์ลงในอ่างน้ำร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อน จากนั้นบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ลงในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนหรือขวดแก้วสีชาที่มีฝาจุกเกลียวปิด

- ทำการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 N ที่ปราศจากการคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการต้มน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร (ใส่ให้เกิน 1000 มิลลิลิตรเล็กน้อย) ในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL ต้มให้น้ำกลั่นเดือดประมาณ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ นำสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% มา 4 มิลลิลิตร เติมนลงในบีกเกอร์ แล้วใช้แท่งแก้วค่อยๆ คน ไม่ให้เกิดฟอง ถ่ายสารละลายลงในขวดพอลิเอทิลีนหรือขวดแก้วสีชาที่มีจุกเกลียวปิด

### 3. การเตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)

- ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.10 g ในเอทิลแอลกอฮอล์ 96% ปริมาตร 1000 mL

### 4. หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N

- ปิเปิดสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลตมา 10 mL ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 mL แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (ปริมาตรที่ใช้ต่างกันไม่เกิน 0.10 mL) คำนวณหาคความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วคิดผลลาคความเข้มข้นที่แน่นอน

#### ผลการทดลอง

การหาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N ด้วยสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต

ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ (KHP)	0.2072	g
ละลายในน้ำกลั่น	100.00	mL
ปริมาตรที่ใช้ครั้งละ	10.00	mL

#### ตารางที่ ก - 2 การหาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้
1	11.00	21.60	10.60
2	21.60	32.30	10.70
3	32.30	43.00	10.70
เฉลี่ย			10.67

#### การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 1. \text{ การคำนวณหา [KHP] จาก [KHP]} &= \frac{g}{EW} \times \frac{1000}{V} \\
 &= \frac{0.2072}{204.23} \times \frac{1000}{100} \\
 &= 0.0101 \text{ N} \\
 \text{ดังนั้น [KHP]} &= 0.0101 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ การคำนวณหา } [\text{NaOH}] \text{ จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 0.0101 \times 10.00 &= N_2 \times 10.67 \\
 N_2 &= 0.0095 \text{ N} \\
 \text{ดังนั้น } [\text{NaOH}] &= 0.0095 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### ก.3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก

#### 1. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 N

- ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% มา 27.5 mL ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 mL จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 N

#### 2. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 N

- ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 N มา 20 mL ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 mL จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 N

#### 3. การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 N

- ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 N มา 10 mL ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน แล้วบันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ปริมาตรที่ใช้แตกต่างกันไม่เกิน 0.10 mL คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริกแล้วคิดผลจากความเข้มข้นที่แน่นอนไว้

#### ผลการทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์	0.0095 N
ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ครั้งละ	10.00 mL

ตารางที่ ก – 3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้
1	0.00	21.00	21.00
2	0.00	21.10	21.10
3	0.00	21.00	21.00
เฉลี่ย			21.30

#### การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 1. \text{ การคำนวณหา } [H_2SO_4] \text{ จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 &0.0095 \times 21.33 = N_2 \times 10.00 \\
 N_2 &= 0.0200 \text{ N} \\
 \text{ดังนั้น } [H_2SO_4] &= 0.0200 \text{ N} \\
 &= 1.0302 \text{ mg/mL}
 \end{aligned}$$

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเตรียมสาร โซเดียมซัลไฟต์ ( $Na_2SO_3$ ) 1.13 M ต้องทำการเตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้งไม่ควรเตรียมทิ้งไว้นาน เพราะอาจมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายความเจือจางลงได้
2. การวัด pH ควรจุ่มหัวโพรบไว้ในสารละลายที่จะวัดตลอดเวลา และควรบั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กไปพร้อมกันขณะทำการวัด pH
3. ควรปรับ pH เริ่มต้นให้มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละครั้งและจดบันทึกค่า pH ทุกครั้งที่ทำการวัด pH

#### ก.4 การเตรียมสารเคมีที่ใช้เป็นตัวดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

1. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) ความเข้มข้น 0.1 M  
 - ชั่งสาร โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 15.8034 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL จะได้สารละลายสีม่วง (ขณะเตรียมสารควรทำในตู้ดูดควันเพราะโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์ที่ไวต่อแสง)

## 2. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) ความเข้มข้น 0.5 M

- ชั่งสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 79.017 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL จะได้สารละลายสีม่วงสำหรับความเข้มข้น 0.5 M ควรทิ้งไว้ 1 คืนและกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก เพราะเนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ช้า (ขณะเตรียมสารควรทำในตู้ดูดควันเพราะโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์ที่ไวต่อแสง)

## 3. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) ความเข้มข้น 1.0 M

- ชั่งสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 158.034 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL จะได้สารละลายสีม่วงสำหรับความเข้มข้น 1.0 M ควรทิ้งไว้ 1 คืนและกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก เพราะเนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ช้า (ขณะเตรียมสารควรทำในตู้ดูดควันเพราะโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์ที่ไวต่อแสง)

## 4. การเตรียมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{HSO}_3$ ) ความเข้มข้น 0.1 M

- ชั่งสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 10.4061 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL จะได้สารโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.1 M

## 5. การเตรียมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{HSO}_3$ ) ความเข้มข้น 0.5 M

- ชั่งสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 52.0305 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL จะได้สารโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.5 M

## 6. การเตรียมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{HSO}_3$ ) ความเข้มข้น 1.0 M

- ชั่งสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 104.061 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL จะได้สารโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1.0 M

## 7. การเตรียมน้ำกลั่น

- เติมน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จำนวน 200 mL

### ก. 5 การสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

#### 1. การเตรียมสารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์ 1% .

- ชั่งสาร โซเดียมโบซัลไฟต์ 1 g ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL

#### 2. เตรียมสารละลายกรดโครโมโทรปิก

- ชั่งสาร 4,5-dihydroxy-2,7-naphthalenedisulfonic acid disodium salt 0.1 g เจือจางด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 mL กรองด้วยกระดาษกรอง 0.42 ไมครอนและควรเก็บไว้ในขวดสีชา ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสี (ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์)

#### 3. การสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

- เปิดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL (รู้ความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว) มา 1 mL ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์ 1% จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 ug/mL

- เปิดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 ul/mL มา 0.1 , 0.3 , 0.5 , 0.7 , 1.0 และ 2.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์ 1%

- เปิดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่เตรียมไว้ข้างต้น มาอย่างละ 4 mL ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด จากนั้นเติมสารละลายกรดโครโมโทรปิกจำนวน 100 ug และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 96 % จำนวน 6 mL แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมโบซัลไฟต์ 1% เป็นรีเอเจนต์แบล็ก

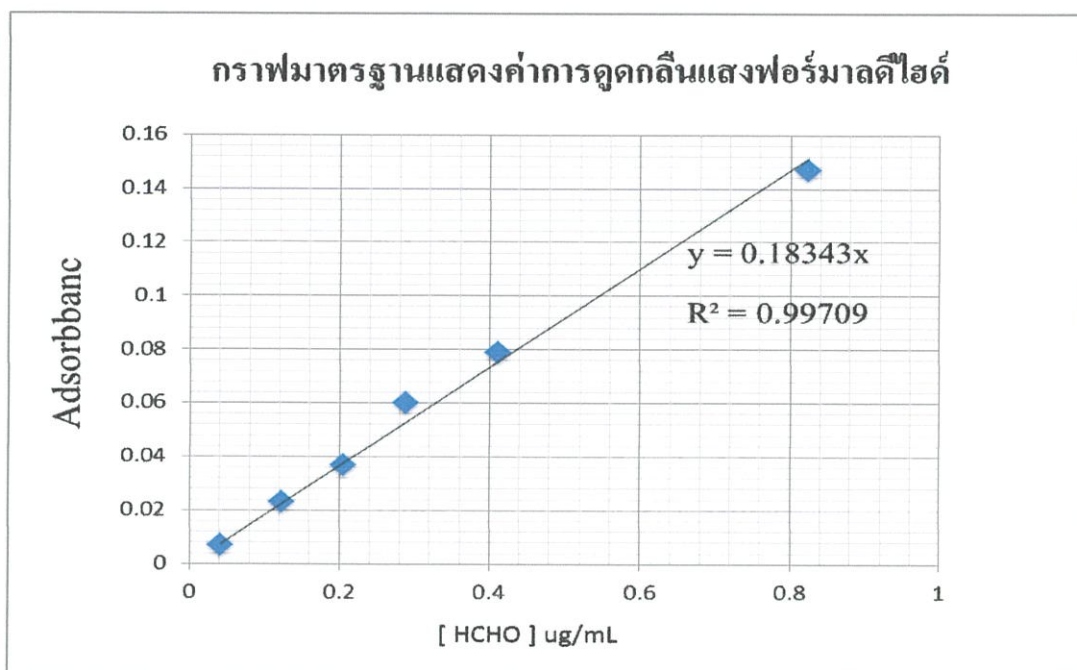
## ผลการทดลอง

ตารางที่ ก- 4 ค่าการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นต่างๆของ สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน ฟอร์มาลดีไฮด์( $\mu\text{g/ml}$ )	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.041
0.1	0.124
0.5	0.206
0.7	0.288
1.0	0.412
2.0	0.814

ข้อควรระวัง

1. ในขณะที่ต้มสารใน water bath จุกยางของหลอดทดลองอาจจะหลุดออกต้องระวัง
2. ควรตั้งอุณหภูมิของ water bath ให้คงที่ที่  $95^{\circ}\text{C}$  และควรนำสารไปต้มใน water bath ทันทีหลังจากใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 96% ลงในหลอดทดลอง
3. ขณะเตรียมกรดโครโมโทรปิกควรเตรียมในตู้ดูดควัน



รูปที่ ก - 1 กราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

## ภาคผนวก ข

### วิธีเก็บตัวอย่างอากาศและการจำลองการดูดซับ HCHO ในห้องทดสอบ

#### ข.1 วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างส่วนบุคคล

1. การปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (Flow Calibrations by Electronic Calibrators) ตามคู่มือการใช้เครื่องมือเก็บอากาศส่วนบุคคล SKC Cat. No. 224 PCXR8

- การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

2. ตั้งอัตราการไหลประมาณ 400 มล./นาที นำมาหาอัตราการไหลเฉลี่ย โดยทำการอ่านค่าอัตราการไหล 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (RSD) ประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่างอากาศตามปริมาตรที่ต้องการ โดยใช้การพิจารณาจากค่า %RSD ของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศโดยค่าที่ได้ควรน้อยกว่า 10% และอัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศไม่ควรต่างกันเกิน 10% เช่นกัน ถ้าค่าที่ได้มากกว่าค่าที่กำหนดต้องตรวจสอบ เช่น อุปกรณ์และพลังงานของแบตเตอรี่ ค่าต่างๆสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$X = \frac{\sum_0^n X_i}{N} \quad \text{ข - 1}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad \text{ข - 2}$$

$$\%RSD = \frac{SD \times 100}{X} \quad \text{ข - 3}$$

ตารางที่ ข-1 การเปรียบเทียบอัตราการไหล BREAKTHROUGH

ครั้งที่	อัตราการไหล (L/min)											เฉลี่ย	เฉลี่ยก่อน-หลัง	SD	%RSD
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	ก่อน	ก่อน	0.4030	0.4005	0.4019	0.3983	0.3995	0.4019	0.4025	0.4002	0.4020	0.4012	0.4054	0.4054	0.0014
	หลัง	หลัง	0.4084	0.4112	0.4116	0.4115	0.4087	0.4077	0.4085	0.4091	0.4100	0.4096		0.0003	0.0013
2	ก่อน	ก่อน	0.4046	0.4037	0.4019	0.3999	0.4079	0.4024	0.4077	0.4022	0.4079	0.4012	0.4069	0.4069	0.0028
	หลัง	หลัง	0.4056	0.4121	0.4099	0.4187	0.4077	0.4090	0.4124	0.4088	0.4086	0.4057		0.0005	0.0037
3	ก่อน	ก่อน	0.4088	0.4045	0.4064	0.3989	0.4076	0.4064	0.4043	0.4055	0.4064	0.4034	0.4068	0.4068	0.0026
	หลัง	หลัง	0.4067	0.4047	0.4087	0.4143	0.4067	0.4087	0.4114	0.4078	0.4068	0.4085		0.0011	0.0026

ตารางที่ ข-2 การเปรียบเทียบอัตราการไหล การจำลองการดูดซับ HCHO ในห้องทดสอบ ปริมาตรสารละลายสต็อก 1.0 ml

ครั้งที่	อัตราการไหล (L/min)											เฉลี่ย	เฉลี่ยก่อน-หลัง	SD	%RSD
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	ก่อน	0.4011	0.3986	0.4009	0.4015	0.4003	0.4020	0.3998	0.3988	0.3984	0.3987	0.4000	0.4007	0.0013	0.32
	หลัง	0.4015	0.4015	0.4011	0.4018	0.4011	0.4010	0.4014	0.4011	0.4014	0.4017	0.4014		0.0003	0.07
2	ก่อน	0.4020	0.3975	0.4018	0.4024	0.4004	0.4031	0.3988	0.3999	0.3995	0.3999	0.4005	0.4013	0.0017	0.42
	หลัง	0.4026	0.4024	0.4011	0.4027	0.4021	0.4019	0.4025	0.4020	0.4015	0.4013	0.4020		0.0005	0.13
3	ก่อน	0.4011	0.3986	0.4009	0.4013	0.4005	0.4020	0.3999	0.4029	0.3978	0.3979	0.4003	0.4006	0.0017	0.41
	หลัง	0.4015	0.3978	0.4010	0.4014	0.4012	0.4010	0.4016	0.4010	0.4012	0.4015	0.40093		0.0011	0.27

ตารางที่ ข - 3 การเปรียบเทียบอัตราการไหล การจำลองการดูดซับ HCHO ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 M ในเคซิเคเตอร์ ปริมาตร สารละลายสต็อก 0.1 ml แบบไม่พ่นอากาศ

ครั้งที่	อัตราการไหล ( L/min )											เฉลี่ย	เฉลี่ย ก่อน- หลัง	SD	%RSD
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
control	ก่อน	0.4043	0.4056	0.4048	0.4072	0.4072	0.4072	0.4062	0.4054	0.4051	0.4081	0.4061	0.4079	0.0012	0.29
	หลัง	0.4092	0.4099	0.4094	0.4096	0.4100	0.4093	0.4103	0.4096	0.4107	0.4091	0.4097		0.4097	0.0005
1	ก่อน	0.4047	0.4055	0.4061	0.4024	0.4043	0.4037	0.4057	0.4046	0.4043	0.4053	0.4047	0.4071	0.0010	0.25
	หลัง	0.4095	0.4093	0.4092	0.4098	0.4091	0.4093	0.4095	0.4097	0.4094	0.4103	0.4095		0.4095	0.0003
2	ก่อน	0.4050	0.4052	0.4068	0.4029	0.4048	0.4041	0.4062	0.4050	0.4041	0.4058	0.4050	0.4074	0.0011	0.26
	หลัง	0.4091	0.4098	0.4094	0.4099	0.4105	0.4095	0.4093	0.4107	0.4105	0.4096	0.4098		0.4098	0.0005
3	ก่อน	0.4049	0.4057	0.4065	0.4027	0.4045	0.4040	0.4059	0.4048	0.4046	0.4055	0.4049	0.4075	0.0010	0.25
	หลัง	0.4096	0.4091	0.4099	0.4109	0.4098	0.4091	0.4107	0.4101	0.4095	0.4120	0.4101		0.4101	0.0009

ตารางที่ ข-4 การเปรียบเทียบอัตราการไหลการเก็บตัวอย่างในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A ขณะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	อัตราการไหล ( L/min )										เฉลี่ย	เฉลี่ย ก่อน- หลัง	SD	%RSD	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9					10
1	ก่อน	0.4021	0.4035	0.4014	0.4054	0.4016	0.4023	0.4018	0.4047	0.4052	0.4038	0.4032	0.4040	0.0015	0.36
	หลัง	0.4046	0.4052	0.4035	0.4065	0.4048	0.4050	0.4053	0.4041	0.4049	0.4051			0.4049	0.0007
2	ก่อน	0.4033	0.4015	0.4028	0.4063	0.4011	0.4035	0.4046	0.4025	0.4018	0.4027	0.4030	0.4042	0.0015	0.36
	หลัง	0.4062	0.4043	0.4040	0.4051	0.4048	0.4058	0.4064	0.4041	0.4074	0.4058			0.4054	0.0011
3	ก่อน	0.4012	0.4035	0.4028	0.4048	0.4019	0.4024	0.4031	0.4027	0.4016	0.4032	0.4027	0.4044	0.0010	0.24
	หลัง	0.4058	0.4063	0.4048	0.4087	0.4053	0.4071	0.4062	0.4062	0.4055	0.4048			0.4061	0.0011
4	ก่อน	0.4030	0.4025	0.4014	0.4026	0.4029	0.4037	0.4041	0.4032	0.4058	0.4049	0.4034	0.4046	0.0012	0.30
	หลัง	0.4063	0.4051	0.4047	0.4062	0.4070	0.4068	0.4051	0.4084	0.4042	0.4035			0.4057	0.0014
5	ก่อน	0.4023	0.4035	0.4019	0.4017	0.4030	0.4018	0.4027	0.4045	0.4051	0.4057	0.4032	0.4043	0.0014	0.34
	หลัง	0.4054	0.4049	0.4061	0.4049	0.4042	0.4056	0.4037	0.4071	0.4062	0.4058			0.4054	0.0010
6	ก่อน	0.4034	0.4017	0.4029	0.4028	0.4034	0.4019	0.4021	0.4034	0.4041	0.4010	0.4027	0.4040	0.0009	0.23
	หลัง	0.4044	0.4051	0.4049	0.4068	0.4055	0.4060	0.4046	0.4050	0.4061	0.4057			0.4054	0.0007
7	ก่อน	0.4021	0.4023	0.4046	0.4034	0.4029	0.4045	0.4041	0.4032	0.4024	0.4045	0.4034	0.4045	0.0009	0.23
	หลัง	0.4050	0.4034	0.4049	0.4042	0.4058	0.4067	0.4087	0.4074	0.4048	0.4055			0.4056	0.0015
8	ก่อน	0.4034	0.4021	0.4016	0.4041	0.4035	0.4051	0.4046	0.4021	0.4038	0.4014	0.4032	0.4043	0.0012	0.30
	หลัง	0.4065	0.4054	0.4058	0.4042	0.4069	0.4048	0.4037	0.4051	0.4049	0.4074			0.4055	0.0011
9	ก่อน	0.4035	0.4051	0.4042	0.4047	0.4062	0.4012	0.4032	0.4016	0.4034	0.4025	0.4036	0.4048	0.0015	0.37
	หลัง	0.4060	0.4058	0.4049	0.4062	0.4073	0.4048	0.4053	0.4087	0.4056	0.4051			0.4060	0.0011

### การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณของการเปรียบเทียบอัตราการไหลการเก็บตัวอย่างในรถยนต์ส่วนบุคคล ยี่ห้อ A ขณะจอดในร่ม ครั้งที่ 1

#### 1. การหาอัตราการไหลเฉลี่ย

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

$$\bar{X} = \frac{(401.5 + 403.5 + 404.5 + 404.1 + 403.6 + 405.1 + 401.2 + 402.2 + 402.9 + 403.4)}{10}$$

$$\bar{X} = 403.2$$

#### 2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

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

$$SD = \sqrt{\frac{(4.5)^2}{10-1}}$$

$$SD = 1.5$$

#### 3. การหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (%RSD)

$$\%RSD = \frac{SD \times 100}{\bar{X}}$$

$$\%RSD = \frac{1.5 \times 100}{403.2}$$

$$\%RSD = 0.372$$

## ภาคผนวก ก

### ผลการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบและในตัวอย่างรถยนต์และตัวอย่าง การคำนวณความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์

ตาราง ก - 1 ผลการบำบัด HCHO ด้วยน้ำกลั่นในห้องทดสอบ

3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )							
Control	303.15	44.94	12.228	0.380	309.247		
LI-1	303.15	40.45	12.291	0.209	170.276	179.216 (±7.756)	44.94
LI-2	303.15	40.75	12.282	0.226	184.143		40.45
LI-3	303.15	2.51	12.294	0.225	183.228		40.75
S.D ค่าเฉลี่ย							2.51
ค่าเฉลี่ย							42.05
Control	302.15	1017	12.000	0.430	350.325		
LII-1	302.15	1017	12.264	0.246	200.031	198.955 (±0.933)	42.90
LII-2	302.15	1017	12.135	0.244	198.464		43.35
LII-3	302.15	1017	12.186	0.244	198.370		43.38
S.D ค่าเฉลี่ย							0.27
ค่าเฉลี่ย							43.21
Control	302.15	1017	12.348	0.986	802.856		
LIII-1	302.15	1017	12.246	0.538	438.312	436.204 (±1.873)	45.41
LIII-2	302.15	1017	12.138	0.535	435.565		45.41
LIII-3	302.15	1017	12.12	0.534	434.733		45.75
S.D ค่าเฉลี่ย							0.20
ค่าเฉลี่ย							45.52

\* LI-1 ระดับ HCHO ที่จำลองระดับ I ทำซ้ำครั้งที่ 1, LI-2 ระดับ HCHO ที่จำลองระดับ I ทำซ้ำครั้งที่ 2, LI-3 ระดับ HCHO ที่จำลองระดับ I ทำซ้ำครั้งที่ 3

ตาราง ก-2 ผลการบำบัด HCHO ด้วยน้ำกลั่นในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
มีการดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )							
Control	303.15	1011	12.225	0.282	229.402		
L1-1	303.15	1011	12.282	0.099	81.002	78.702 (±2.381)	64.69
L1-2	303.15	1011	12.291	0.097	78.857		65.62
L1-3	303.15	1011	12.279	0.094	76.248		66.76
<b>S.D</b> ค่าเฉลี่ย							1.04
<b>S.D</b> ค่าเฉลี่ย							65.69
Control	302.15	1017	12.228	0.510	414.898		
LII-1	302.15	1017	12.189	0.149	121.337	133.098 (±10.496)	70.75
LII-2	302.15	1017	12.285	0.168	136.441		67.11
LII-3	302.15	1017	12.288	0.174	141.515		65.89
<b>S.D</b> ค่าเฉลี่ย							2.53
<b>S.D</b> ค่าเฉลี่ย							67.92
Control	302.15	1017	12.258	1.061	863.594		
LIII-1	302.15	1017	12.273	0.318	259.313	259.038 (±5.398)	85.95
LIII-2	302.15	1017	12.336	0.325	264.293		84.20
LIII-3	302.15	1017	12.354	0.311	253.507		83.61
<b>S.D</b> ค่าเฉลี่ย							1.22
<b>S.D</b> ค่าเฉลี่ย							84.59

ตาราง ก-3 ผลการบำบัด HCHO ด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 0.1 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )							
Control	303.05	1011	12.285	0.342	278.264		32.05
L1-I-1	303.05	1011	12.459	0.232	189.087	189.105 (±0.968)	31.69
L1-I-2	303.05	1011	12.465	0.233	190.082		32.39
L1-I-3	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35		0.35
S.D ค่าเฉลี่ย							32.04
Control	303.05	1011	12.189	0.691	562.766		
L1-II-1	303.05	1011	12.225	0.448	364.702	364.733 (±1.614)	35.19
L1-II-2	303.05	1011	12.228	0.446	363.134		35.47
L1-II-3	303.05	1011	12.219	0.450	366.362		34.90
S.D ค่าเฉลี่ย							0.29
							35.19
Control	303.05	1011	12.174	1.014	825.649		
L1-III-1	303.05	1011	12.270	0.615	501.082	502.683 (±4.331)	39.31
L1-III-2	303.05	1011	12.252	0.614	499.604		39.49
L1-III-3	303.05	1011	12.225	0.623	507.365		38.55
S.D ค่าเฉลี่ย							0.50
							39.12

ตาราง ก-4 ผลการบำบัด HCHO ด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 0.1 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp ( K )	Pressure ( hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง ( L )	HCHO (mg/m3)	HCHO ( ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
มีการดึงอากาศ ( T <sub>2</sub> )							
Control	303.05	1011	12.279	0.316	257.042		
L1-I-1	303.05	1011	12.003	0.156	127.316	128.362 (±1.378)	50.47
L1-I-2	303.05	1011	12.006	0.160	129.923		49.45
L1-I-3	303.05	1011	12.354	0.157	127.847		50.26
S.D ค่าเฉลี่ย							0.54
S.D ค่าเฉลี่ย							50.06
Control	303.05	1011	12.189	11.97	0.684		
L1-II-1	303.05	1011	12.018	11.80	0.331	264.641 (±5.444)	51.55
L1-II-2	303.05	1011	12.021	11.80	0.326		52.34
L1-II-3	303.05	1011	12.027	11.81	0.318		53.49
S.D ค่าเฉลี่ย							0.98
S.D ค่าเฉลี่ย							52.46
Control	303.05	1011	12.216	11.99	1.023		
L1-III-1	303.05	1011	12.276	12.05	0.455	373.421 (±9.865)	55.53
L1-III-2	303.05	1011	12.279	12.05	0.458		55.19
L1-III-3	303.05	1011	12.282	12.06	0.462		54.80
S.D ค่าเฉลี่ย							0.36
S.D ค่าเฉลี่ย							55.17

ตาราง ก-5 ผลการบำบัด HCHO ด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 0.5 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )							
Control	303.15	1012	12.114	0.328	267.086		
L2-I-1	303.05	1012	12.102	0.189	154.254	154.072 (±3.655)	42.25
L2-I-2	303.05	1012	12.138	0.194	157.633		40.98
L2-I-3	303.05	1012	12.126	0.185	150.330		43.71
S.D ค่าเฉลี่ย							1.37
ค่าเฉลี่ย							42.31
Control	303.05	1012	12.12	0.644	524.040		
L2-II-1	303.05	1012	12.12	0.366	297.979	290.226 (±6.761)	43.14
L2-II-2	303.05	1012	12.141	0.351	285.553		45.51
L2-II-3	303.05	1012	12.168	0.353	287.147		45.21
S.D ค่าเฉลี่ย							1.29
ค่าเฉลี่ย							44.62
Control	303.15	1012	12.144	0.983	800.653		
L2-III-1	303.15	1012	12.168	0.533	433.677	431.329 (±2.274)	45.83
L2-III-2	303.15	1012	12.162	0.530	431.173		46.15
L2-III-3	303.15	1012	12.156	0.527	429.136		46.40
S.D ค่าเฉลี่ย							0.28
ค่าเฉลี่ย							46.13

ตาราง ก – 6 ผลการบำบัด HCHO ด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 0.5 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp ( K )	Pressure ( hPa )	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง ( L )	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO ( ppb )	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
มีการดึงอากาศ ( T <sub>2</sub> )							
Control	303.15	1012	12.147	0.333	270.824		
L2-I-1	303.15	1012	12.108	0.104	84.346	79.543 (±4.333)	68.86
L2-I-2	303.15	1012	12.141	0.093	75.928		71.96
L2-I-3	303.15	1012	12.111	0.096	78.354		71.07
S.D ค่าเฉลี่ย							1.60
ค่าเฉลี่ย							70.63
Control	303.05	1012	12.141	0.631	513.459		
L2-II-1	303.05	1012	12.099	0.177	144.259	145.138 (±1.529)	71.90
L2-II-2	303.05	1012	12.126	0.177	144.252		71.91
L2-II-3	303.05	1012	12.117	0.180	146.903		71.39
S.D ค่าเฉลี่ย							0.30
ค่าเฉลี่ย							71.73
Control	303.15	1012	12.168	0.982	800.559		
L2-III-1	303.15	1012	12.159	0.257	209.098	207.262 (±1.595)	73.88
L2-III-2	303.15	1012	12.183	0.254	206.461		74.21
L2-III-3	303.15	1012	12.153	0.253	206.226		74.24
S.D ค่าเฉลี่ย							0.20
ค่าเฉลี่ย							74.11

ตาราง ก-7 ผลการบำบัด HCHO ด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 1.0 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )							
Control	304.15	1010	12.237	0.213	173.734		
L3-I-1	304.15	1010	12.213	0.105	85.172	88.237 (±3.551)	50.98
L3-I-2	304.15	1010	12.222	0.107	87.411		49.69
L3-I-3	304.15	1010	12.225	0.113	92.128		46.97
S.D ค่าเฉลี่ย							2.04
ค่าเฉลี่ย							49.21
Control	303.65	1011	12.159	0.643	523.919		
L3-II-1	303.65	1011	12.144	0.304	247.759	250.350 (±2.90)	52.71
L3-II-2	303.65	1011	12.171	0.311	253.573		51.60
L3-II-3	303.65	1011	12.168	0.307	249.717		52.34
S.D							0.56
ค่าเฉลี่ย							52.22
Control	303.15	1010	12.159	0.921	757.737		
L3-III-1	303.15	1010	12.168	0.138	112.376	113.911 (±1.478)	53.55
L3-III-2	303.15	1010	12.171	0.142	115.323		55.39
L3-III-3	303.15	1010	12.150	0.140	114.033		53.37
S.D							1.12
ค่าเฉลี่ย							54.11

ตาราง ก-8 ผลการบำบัด HCHO ด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 1.0 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
มีการดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )							
Control	304.15	1010	12.243	0.201	164.001		
L3-I-1	304.15	1010	12.213	0.038	31.245	32.507 (±2.785)	80.95
L3-I-2	304.15	1010	12.183	0.038	30.576		81.36
L3-I-3	304.15	1010	12.261	0.044	35.699		78.23
S.D ค่าเฉลี่ย							1.70
ค่าเฉลี่ย							80.18
Control	304.15	1010	12.162	0.597	486.001		
L3-II-1	304.15	1010	12.189	0.114	92.888	91.383 (±1.552)	80.89
L3-II-2	304.15	1010	12.105	0.110	89.788		81.53
L3-II-3	304.15	1010	12.18	0.112	91.473		81.18
S.D ค่าเฉลี่ย							0.32
ค่าเฉลี่ย							81.20
Control	303.35	1010	12.102	0.908	486.001		
L3-III-1	303.35	1010	12.150	0.422	92.888	91.383 (±1.552)	85.17
L3-III-2	303.35	1010	12.174	0.405	89.788		84.78
L3-III-3	303.35	1010	12.189	0.423	91.473		84.95
S.D ค่าเฉลี่ย							0.19
ค่าเฉลี่ย							84.97

ตาราง ก-9 ผลการบำบัด HCHO ด้วย  $\text{KMnO}_4$  0.1 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย ( $\pm$ SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ ( $T_1$ )							
Control	303.65	1016	12.351	0.226	183.973		
L1-I-1	303.65	1016	12.243	0.143	116.639	108.142 ( $\pm 7.447$ )	36.60
L1-I-2	303.65	1016	12.258	0.126	102.751		44.15
L1-I-3	303.65	1016	12.249	0.129	105.035		42.91
S.D ค่าเฉลี่ย							4.05
ค่าเฉลี่ย							41.22
Control	302.15	1017	12.189	0.387	314.742		
L1-II-1	302.15	1017	12.228	0.181	147.751	146.248 ( $\pm 1.456$ )	53.06
L1-II-2	302.15	1017	12.219	0.180	146.148		53.57
L1-II-3	302.15	1017	12.234	0.178	144.845		53.98
S.D ค่าเฉลี่ย							0.46
ค่าเฉลี่ย							53.53
Control	302.65	1017	12.192	0.754	613.951		
L1-III-1	302.65	1017	12.231	0.341	277.789	278.403 ( $\pm 0.749$ )	54.75
L1-III-2	302.65	1017	12.264	0.343	279.237		54.52
L1-III-3	302.65	1017	12.246	0.342	278.182		54.69
S.D ค่าเฉลี่ย							0.12
ค่าเฉลี่ย							54.65

ตาราง ก – 10 ผลการบำบัด HCHO ด้วย  $\text{KMnO}_4$  0.1 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย ( $\pm$ SD)	% การบำบัด [HCHO]
มีการดึงอากาศ ( $T_2$ )							
Control	303.15	1016	12.219	0.267	217.334		
L1-I-1	303.15	1016	12.243	0.179	145.585	147.632 ( $\pm 2.339$ )	33.01
L1-I-2	303.15	1016	12.237	0.181	147.129		32.30
L1-I-3	303.15	1016	12.228	0.184	150.181		30.90
S.D ค่าเฉลี่ย							1.08
ค่าเฉลี่ย							32.07
Control	302.65	1017	12.21	0.226	302.955		
L1-II-1	302.65	1017	12.297	0.143	208.836	207.241 ( $\pm 1.958$ )	31.07
L1-II-2	302.65	1017	12.261	0.126	205.056		32.31
L1-II-3	302.65	1017	12.27	0.129	207.832		31.40
S.D ค่าเฉลี่ย							0.65
ค่าเฉลี่ย							31.59
Control	303.15	1016	12.234	0.737	600.431		
L1-III-1	303.15	1016	12.261	0.479	389.976	381.215 ( $\pm 7.643$ )	35.05
L1-III-2	303.15	1016	12.225	0.464	377.755		37.09
L1-III-3	303.15	1016	12.237	0.462	375.914		37.39
S.D ค่าเฉลี่ย							1.27
ค่าเฉลี่ย							36.51

ตาราง ก – 11 ผลการบำบัด HCHO ด้วย  $\text{KMnO}_4$  0.5 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )							
Control	303.25	1016	12.15	0.304	247.545		
L2-I-1	303.25	1016	12.180	0.171	138.966	139.447 (±2.549)	43.86
L2-I-2	303.25	1016	12.156	0.175	142.203		42.55
L2-I-3	303.25	1016	12.186	0.168	137.174		44.59
S.D ค่าเฉลี่ย							1.03
ค่าเฉลี่ย							43.67
Control	303.35	1016	12.12	0.432	247.545		
L2-II-1	303.35	1016	12.153	0.239	138.966	139.447 (±4.932)	44.63
L2-II-2	303.35	1016	12.162	0.238	142.203		44.88
L2-II-3	303.35	1016	12.129	0.249	137.174		42.33
S.D ค่าเฉลี่ย							1.40
ค่าเฉลี่ย							43.95
Control	303.15	1016	12.162	0.344	280.315		
L2-III-1	303.15	1016	12.132	0.347	282.492	285.416 (±7.034)	58.31
L2-III-2	303.15	1016	12.150	0.360	293.440		57.98
L2-III-3	303.15	1016	12.162	0.344	280.315		56.36
S.D ค่าเฉลี่ย							1.05
ค่าเฉลี่ย							57.55

ตาราง ก - 12 ผลการบำบัด HCHO ด้วย  $\text{KMnO}_4$  0.5 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย ( $\pm$ SD)	% การบำบัด [HCHO]
มีการดึงอากาศ ( $T_2$ )							
Control	303.15	1016	12.123	0.301	245.044		
L2-I-1	303.15	1016	12.180	0.198	161.121	162.611 ( $\pm 4.562$ )	34.25
L2-I-2	303.15	1016	12.174	0.195	158.981		35.12
L2-I-3	303.15	1016	12.183	0.206	167.732		31.55
S.D ค่าเฉลี่ย							1.86
ค่าเฉลี่ย							33.64
Control	303.45	1016	12.081	0.429	349.072		
L2-II-1	303.45	1016	12.171	0.290	235.730	231.259 ( $\pm 1.046$ )	32.47
L2-II-2	303.45	1016	12.18	0.272	221.246		36.62
L2-II-3	303.45	1016	12.192	0.291	236.802		32.16
S.D ค่าเฉลี่ย							2.49
ค่าเฉลี่ย							33.75
Control	303.25	1016	12.189	0.838	682.635		
L2-III-1	303.25	1016	12.141	0.495	403.172	402.396 ( $\pm 1.650$ )	40.94
L2-III-2	303.25	1016	12.153	0.496	403.514		40.89
L2-III-3	303.25	1016	12.177	0.492	400.501		41.33
S.D ค่าเฉลี่ย							0.24
ค่าเฉลี่ย							41.05

ตาราง ก – 13 ผลการบำบัด HCHO ด้วย  $\text{KMnO}_4$  1.0 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง (L)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย ( $\pm$ SD)	% การบำบัด [HCHO]
ไม่มีการดึงอากาศ ( $T_1$ )							
Control	302.15	1017	12.114	0.503	409.182		
L3-I-1	302.15	1017	12.093	0.198	160.844	162.251 ( $\pm$ 1.702)	60.69
L3-I-2	302.15	1017	12.123	0.202	164.143		59.89
L3-I-3	302.15	1017	12.138	0.199	161.765		60.47
S.D ค่าเฉลี่ย							0.42
ค่าเฉลี่ย							60.35
Control	302.15	1017	12.168	0.755	614.365		
L3-II-1	302.15	1017	12.189	0.173	141.148	142.966 ( $\pm$ 1.726)	77.03
L3-II-2	302.15	1017	12.162	0.178	144.589		76.47
L3-II-3	302.15	1017	12.156	0.176	143.160		76.70
S.D ค่าเฉลี่ย							0.28
ค่าเฉลี่ย							76.73
Control	302.25	1017	12.153	1.013	824.863		
L3-III-1	302.25	1017	12.159	0.184	149.700	145.651 ( $\pm$ 3.582)	81.85
L3-III-2	302.25	1017	12.138	0.177	144.363		82.50
L3-III-3	302.25	1017	12.15	0.176	142.892		82.68
S.D ค่าเฉลี่ย							0.43
ค่าเฉลี่ย							82.34

ตาราง ก – 14 ผลการบำบัด HCHO ด้วย  $\text{KMnO}_4$  1.0 M ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L1-L3	Temp ( K )	Pressure ( hPa)	ปริมาตร อากาศตัวอย่าง ( L )	HCHO (mg/m <sup>3</sup> ) ในอากาศ	HCHO ( ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)	% การบำบัด [HCHO]
<b>มีการดึงอากาศ ( T<sub>2</sub> )</b>							
Control	302.15	1017	12.156	0.501	407.768		
L3-I-1	302.15	1017	12.168	0.281	229.098	229.532 (±1.441)	43.82
L3-I-2	302.15	1017	12.129	0.280	228.357		44.00
L3-I-3	302.15	1017	12.138	0.284	231.140		43.32
<b>S.D ค่าเฉลี่ย</b>							0.35
<b>S.D ค่าเฉลี่ย</b>							43.71
Control	302.45	1017	12.129	0.747	608.237		
L3-II-1	302.45	1017	12.180	0.420	342.100	331.177 (±9.861)	43.76
L3-II-2	302.45	1017	12.156	0.403	328.498		45.99
L3-II-3	302.45	1017	12.171	0.397	322.933		46.91
<b>S.D ค่าเฉลี่ย</b>							1.62
<b>S.D ค่าเฉลี่ย</b>							45.55
Control	303.15	1017	12.15	1.022	831.964		
L3-III-1	303.15	1017	12.165	0.430	350.201	347.975 (±2.920)	57.91
L3-III-2	303.15	1017	12.159	0.423	344.669		58.57
L3-III-3	303.15	1017	12.135	0.429	349.056		58.04
<b>S.D ค่าเฉลี่ย</b>							0.35
<b>S.D ค่าเฉลี่ย</b>							58.17

ตาราง ก-15 ผลการบำบัด HCHO ด้วยน้ำกลั่นในสารละลาย

การทดลอง ระดับ L1-L3	สภาวะที่ทดลอง	[HCHO] (ug/mL)	[HCHO] (ppb)	X( $\pm$ SD)
LI-1	ไม่ดิ่งอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.134	134.115	132.479 $\pm$ 1.6355
LI-2		0.132	132.479	
LI-3		0.131	130.844	
LI-1	ดิ่งอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.200	199.769	198.133 $\pm$ 1.4425
LI-2		0.197	197.043	
LI-3		0.198	197.588	
LII-1	ไม่ดิ่งอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.103	103.040	103.403 $\pm$ 1.1349
LII-2		0.105	104.675	
LII-3		0.102	102.494	
LII-1	ดิ่งอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.221	220.992	241.735 $\pm$ 17.9719
LII-2		0.252	251.561	
LII-3		0.253	252.651	
LIII-1	ไม่ดิ่งอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.277	277.416	278.506 $\pm$ 1.0905
LIII-2		0.279	278.506	
LIII-3		0.280	279.597	
LIII-1	ดิ่งอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.553	552.651	552.288 $\pm$ 0.6293
LIII-2		0.552	551.561	
LIII-3		0.553	552.651	

\* LI-1 ระดับ HCHO ที่จำลองระดับ I ทำซ้ำครั้งที่ 1

LI-2 ระดับ HCHO ที่จำลองระดับ I ทำซ้ำครั้งที่ 2

LI-3 ระดับ HCHO ที่จำลองระดับ I ทำซ้ำครั้งที่ 3

ตาราง ก – 16 ผลการบำบัด HCHO NaHSO<sub>3</sub> 0.1 M ในสารละลาย

การทดลอง ระดับ L1-L3	สถานะที่ทดลอง	[HCHO (ug/mL)	[HCHO] (ppb)	X(±SD)
L1-I-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.055	55.063	57.426±6.595
L1-I-2		0.065	64.877	
L1-I-3		0.052	52.338	
L1-I-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.199	198.992	194.085±4.3273
L1-I-2		0.191	190.814	
L1-I-3		0.192	192.450	
L1-II-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.114	114.085	113.949±1.166
L1-II-2		0.115	115.04	
L1-II-3		0.113	112.721	
L1-II-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.137	136.841	137.205±1.666
L1-II-2		0.136	135.751	
L2-II-3		0.139	139.022	
L1-III-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.196	195.952	195.407±1.966
L1-III-2		0.193	193.226	
L1-III-3		0.197	197.043	
L1-III-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.418	417.760	417.760±0.546
L1-III-2		0.418	418.305	
L1-III-3		0.417	417.214	

ตาราง ก – 17 ผลการบำบัด HCHO NaHSO<sub>3</sub> 0.5 M ในสารละลาย

การทดลอง ระดับ L1-L3	สถานะที่ทดลอง	[HCHO (ug/mL)	[HCHO] (ppb)	X(±SD)
L2-I-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.104	103.960	104.529±1.830
L2-I-2		0.103	103.047	
L2-I-3		0.107	106.580	
L2-I-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.191	191.255	185.529±6.176
L2-I-2		0.179	178.984	
L2-I-3		0.186	186.348	
L2-II-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.270	269.866	268.775±1.091
L2-II-2		0.268	267.685	
L2-II-3		0.269	268.775	
L2-II-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.136	135.751	137.205±1.666
L2-II-2		0.137	136.841	
L2-II-3		0.139	139.022	
L2-III-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.183	182.636	178.275±3.816
L2-III-2		0.177	176.639	
L2-III-3		0.176	175.549	
L2-III-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.499	499.388	495.026±3.817
L2-III-2		0.492	492.300	
L2-III-3		0.493	493.391	

ตาราง ก – 18 ผลการบำบัด HCHO NaHSO<sub>3</sub> 1.0 M ในสารละลาย

การทดลอง ระดับ L1-L3	สถานะที่ทดลอง	[HCHO] (ug/mL)	[HCHO] (ppb)	X(±SD)
L3-I-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.070	70.329	71.056±0.833
L3-I-2		0.071	70.874	
L3-I-3		0.072	71.964	
L3-I-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.310	309.664	309.741±1.522
L3-I-2		0.308	308.259	
L3-I-3		0.311	311.300	
L3-II-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.135	135.205	136.659±1.372
L3-II-2		0.138	137.931	
L3-II-3		0.137	136.841	
L3-II-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.457	456.863	452.502±3.931
L3-II-2		0.449	449.231	
L3-II-3		0.451	451.412	
L3-III-1	ไม่ดึงอากาศ (T <sub>1</sub> )	0.179	179.460	166.740±13.721
L3-III-2		0.152	152.200	
L3-III-3		0.169	168.56	
L3-III-1	ดึงอากาศ (T <sub>2</sub> )	0.779	779.061	781.509±2.590
L3-III-2		0.781	781.247	
L3-III-3		0.784	784.220	

ตาราง ก-19 ความเข้มข้นของ HCHO ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A

การทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	เวลาเก็บ (min)	ปริมาตรอากาศตัวอย่าง	ปริมาตรสถานะมาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)
1	308.65	1018	180	72.720	70.58	0.224	0.063	51.699
2	307.35	1018	180	72.756	70.91	0.204	0.058	46.824
3	309.95	1015	180	72.792	70.14	0.228	0.065	52.905
4	311.55	1015	180	72.828	69.82	0.288	0.083	67.266
5	309.35	1016	180	72.774	70.33	0.229	0.065	53.016
6	309.65	1016	180	72.720	70.21	0.219	0.062	50.704
7	311.35	1014	180	72.810	69.77	0.277	0.080	64.761
8	306.35	1018	180	72.774	71.16	0.192	0.054	43.915
9	307.55	1018	180	72.864	70.97	0.200	0.056	45.909
ค่าเฉลี่ย								53.000
S.D								8.061

ตาราง ก-20 ความเข้มข้นของ HCHO ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B

การทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	เวลาเก็บ (min)	ปริมาตรอากาศตัวอย่าง	ปริมาตรสถานะมาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)
1	308.65	1018	180	72.720	70.58	0.224	0.063	51.699
2	307.35	1018	180	72.756	70.91	0.204	0.058	46.824
3	309.95	1015	180	72.792	70.14	0.228	0.065	52.905
4	311.55	1015	180	72.828	69.82	0.288	0.083	67.266
5	309.35	1016	180	72.774	70.33	0.229	0.065	53.016
6	309.65	1016	180	72.720	70.21	0.219	0.062	50.704
7	311.35	1014	180	72.810	69.77	0.277	0.080	64.761
8	306.35	1018	180	72.774	71.16	0.192	0.054	43.915
9	307.55	1018	180	72.864	70.97	0.200	0.056	45.909
ค่าเฉลี่ย								53.000
S.D								8.061

ตาราง ก-21 ความเข้มข้นของ HCHO ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ที่ห้อง C

การทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	เวลาเก็บ (min)	ปริมาตรอากาศตัวอย่าง	ปริมาตรสถานะมาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)
1	308.65	1018	180	72.720	70.58	0.224	0.063	51.699
2	307.35	1018	180	72.756	70.91	0.204	0.058	46.824
3	309.95	1015	180	72.792	70.14	0.228	0.065	52.905
4	311.55	1015	180	72.828	69.82	0.288	0.083	67.266
5	309.35	1016	180	72.774	70.33	0.229	0.065	53.016
6	309.65	1016	180	72.720	70.21	0.219	0.062	50.704
7	311.35	1014	180	72.810	69.77	0.277	0.080	64.761
8	306.35	1018	180	72.774	71.16	0.192	0.054	43.915
9	307.55	1018	180	72.864	70.97	0.200	0.056	45.909
ค่าเฉลี่ย								53.000
S.D								8.061

ตาราง ก-22 ความเข้มข้นของ HCHO หลังบำบัดด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 1.0 M ภายในรถยนต์ที่ห้อง A

การทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	เวลาเก็บ (min)	ปริมาตรอากาศตัวอย่าง	ปริมาตรสถานะมาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)
1	308.65	1018	180	72.720	70.58	0.224	0.063	51.699
2	307.35	1018	180	72.756	70.91	0.204	0.058	46.824
3	309.95	1015	180	72.792	70.14	0.228	0.065	52.905
4	311.55	1015	180	72.828	69.82	0.288	0.083	67.266
5	309.35	1016	180	72.774	70.33	0.229	0.065	53.016
6	309.65	1016	180	72.720	70.21	0.219	0.062	50.704
7	311.35	1014	180	72.810	69.77	0.277	0.080	64.761
8	306.35	1018	180	72.774	71.16	0.192	0.054	43.915
9	307.55	1018	180	72.864	70.97	0.200	0.056	45.909
ค่าเฉลี่ย								53.000
S.D								8.061

ตาราง ก-23 ความเข้มข้นของ HCHO หลังบำบัดด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 1.0 M ภายในรถยนต์ที่ข้อ B

การทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	เวลาเก็บ (min)	ปริมาตรอากาศ ตัวอย่าง	ปริมาตรสถานะมาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)
1	308.65	1018	180	72.720	70.58	0.224	0.063	51.699
2	307.35	1018	180	72.756	70.91	0.204	0.058	46.824
3	309.95	1015	180	72.792	70.14	0.228	0.065	52.905
4	311.55	1015	180	72.828	69.82	0.288	0.083	67.266
5	309.35	1016	180	72.774	70.33	0.229	0.065	53.016
6	309.65	1016	180	72.720	70.21	0.219	0.062	50.704
7	311.35	1014	180	72.810	69.77	0.277	0.080	64.761
8	306.35	1018	180	72.774	71.16	0.192	0.054	43.915
9	307.55	1018	180	72.864	70.97	0.200	0.056	45.909
ค่าเฉลี่ย								53.000
S.D								8.061

ตาราง ก-24 ความเข้มข้นของ HCHO หลังบำบัดด้วยสาร NaHSO<sub>3</sub> 1.0 M ภายในรถยนต์ที่ข้อ C

การทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	เวลาเก็บ (min)	ปริมาตรอากาศ ตัวอย่าง	ปริมาตรสถานะมาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)
1	308.65	1018	180	72.720	70.58	0.224	0.063	51.699
2	307.35	1018	180	72.756	70.91	0.204	0.058	46.824
3	309.95	1015	180	72.792	70.14	0.228	0.065	52.905
4	311.55	1015	180	72.828	69.82	0.288	0.083	67.266
5	309.35	1016	180	72.774	70.33	0.229	0.065	53.016
6	309.65	1016	180	72.720	70.21	0.219	0.062	50.704
7	311.35	1014	180	72.810	69.77	0.277	0.080	64.761
8	306.35	1018	180	72.774	71.16	0.192	0.054	43.915
9	307.55	1018	180	72.864	70.97	0.200	0.056	45.909
ค่าเฉลี่ย								53.000
S.D								8.061

ตาราง ก-25 การทำความสะอาด HCHO ในห้องทดสอบ

การทดลอง ระดับ L-1	Temp (K)	Pressure (hPa)	ปริมาตร อากาศ ตัวอย่าง	ปริมาตร สภาวะ มาตรฐาน	[HCHO] จากกราฟ (ug/mL)	HCHO (mg/m <sup>3</sup> )	HCHO (ppb)	ค่าเฉลี่ย (± SD)
1	299.15	1018	12.219	12.24	0.008	0.0130	10.884	8.854 (±0.690)
2	299.65	1018	12.126	12.12	0.008	0.008	6.834	
3	298.65	1018	12.174	12.21	0.011	0.011	8.846	

## การคำนวณ

## 1. การคำนวณหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่เก็บตัวอย่างแบบวิธีแอกทีฟภายในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A ขณะจอดกลางแจ้ง ครั้งที่ 1

## ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง

- อุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง	308.65 K
- ความดันบรรยากาศเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง	1018 hPa
- อัตราการไหลเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง	0.404 L/min
- เวลาในการเก็บตัวอย่าง	180 min

## 1.1 ปริมาตรอากาศที่สภาวะการทดลอง

จาก	$Q = \frac{V}{T}$
เมื่อ	$Q =$ อัตราการไหลที่ใช้เก็บตัวอย่าง (L/min) $T =$ เวลาในการเก็บตัวอย่าง (min) $V =$ ปริมาตรอากาศในสภาวะการทดลอง
แทนค่า	$V = 0.404 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 180 \text{ min}$ $V = 72.72 \text{ L}$
	ดังนั้นปริมาตรอากาศที่เก็บได้เท่ากับ 72.72 L

## 1.2 การหาปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

จากสูตร	$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$
เมื่อ	$P_1 =$ ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน = 1013.25 hPa $V_1 =$ ปริมาตรบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน $T_1 =$ อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน = 298.15 K $P_2 =$ ความดันบรรยากาศที่สภาวะเก็บตัวอย่าง = 1018 hPa $V_2 =$ ปริมาตรบรรยากาศที่สภาวะเก็บตัวอย่าง = 72.72L $T_2 =$ อุณหภูมิที่สภาวะเก็บตัวอย่าง = 308.65 K

$$V_1 = \frac{P_2 \times V_2 \times T_1}{P_1 \times T_2}$$

$$V_{\text{std.}} = \frac{1018 \text{ hPa} \times 72.72 \text{ L} \times 298.15 \text{ K}}{1013.25 \text{ hPa} \times 308.65 \text{ K}}$$

$$V_{\text{std.}} = 70.58 \text{ L}$$

### 1.3 การหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วย $\text{mg}/\text{m}^3$

จากกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.183x - 0.004$

เส้นแนวโน้มมีค่าเท่ากับ  $R^2 = 0.997$

หาค่า  $x$  จาก  $x = \left( \frac{y+0.004}{0.183} \right)$

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

เมื่อ	$M_f$	=	ปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (front) ( $\mu\text{g}$ )
	$M_b$	=	ปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (Back) ( $\mu\text{g}$ )
	$M_B$	=	ปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้เป็นแบลจค์ ( $\mu\text{g}$ )
	$V_{\text{std.}}$	=	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)

$$C_{\text{HCHO}} = \frac{(0.22 \times 20) + 0 - 2(0)}{70.58}$$

$$= 0.063 \text{ mg}/\text{m}^3$$

### 1.4 การหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วย ppm

จากสูตร  $\text{ppm} = \frac{24.45}{MW_{\text{HCHO}}} \times \text{ความเข้มข้นในหน่วย } \text{mg}/\text{m}^3$

$$\text{ppm} = \frac{24.45}{30.03} \times 0.063$$

$$= 0.052 \text{ ppm}$$

## 1.5 การหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วย ppb

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \text{ppb} &= \frac{24.45}{MW_{\text{HCHO}}} \times \text{ความเข้มข้นในหน่วย mg/m}^3 \times 1000 \\ \text{ppb} &= \frac{24.45}{30.03} \times 0.063 \times 1000 \\ &= 51.70 \quad \text{ppb} \end{aligned}$$

## 2. การคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

$$\text{จากสูตร} \quad \text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

เมื่อ  $C_0$  = ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลเริ่มต้น

$C_1$  = ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่เหลือ

ตัวอย่างประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า;} \quad \text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} &= \frac{51.70 - 15.28}{51.70} \times 100 \\ &= 70.45 \% \end{aligned}$$

## ภาคผนวก ง

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ง.1 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอด  
กลางแจ้ง

ตารางที่ ง- 1 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C สภาวะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C
1	51.70	122.10	41.55
2	46.82	102.47	40.67
3	52.91	114.53	40.19
4	67.27	130.72	43.52
5	53.02	154.18	50.84
6	50.70	113.82	38.78
7	64.76	105.67	66.03
8	43.92	119.51	38.65
9	45.91	95.06	63.93
ค่าเฉลี่ย	53.30	117.56	47.13
S.D	8.06	17.45	10.78

## สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$  = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ไม่แตกต่างกัน,  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_1$  = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกัน,  $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

ตารางที่ ง-2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ สภาวะ จอครด กลางแจ้ง

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	27490.247	2	13745.124	84.900	.000
Within Groups	3885.529	24	161.897		
Total	31375.776	26			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE AWAY ANOVA ดังตาราง ง-2 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ง.2 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0 M ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอด กลางแจ้ง

ตารางที่ ง- 3 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0 M ในรถยนต์ ยี่ห้อ A, B และ C สภาวะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C
1	15.28	39.13	10.04
2	17.00	39.60	12.88
3	12.91	32.90	11.59
4	23.36	32.36	20.18
5	13.92	34.89	23.26
6	19.67	39.55	9.94
7	12.76	45.65	24.81
8	23.30	31.70	19.95
9	23.95	32.58	17.85
ค่าเฉลี่ย	18.02	30.48	16.69
S.D	4.66	4.75	5.72

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$  = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ไม่แตกต่างกัน,  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_1$  = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกัน,  $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

ตารางที่ ง- 4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสาร โซเดียม ไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ สภาวะจอร์รถกลางแจ้ง

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2199.839	2	1099.920	42.742	.000
Within Groups	617.621	24	25.734		
Total	2817.461	26			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA ดังตาราง ง-4 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ง.3 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอดกลางแจ้ง

ตารางที่ ง- 5 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A สภาวะจอดกลางแจ้ง

	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด
	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)
	51.70	15.28
	46.82	17.00
	52.91	12.91
	67.27	23.36
	53.02	13.92
	50.70	19.67
	64.76	12.76
	43.92	23.30
	45.91	23.95
ค่าเฉลี่ย	53.30	18.02
S.D	8.06	4.66

สมมุติฐานทางสถิติ

$H_0$  = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ A ไม่แตกต่างกัน,  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_1$  = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ A แตกต่างกัน,  $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

ตารางที่ ง- 6 ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A สภาวะจอดรถกลางแจ้ง

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
concen	Equal variances assumed	.897	.359	11.275	16	.000	34.98444	8.27718	28.40645	41.56244
	Equal variances not assumed			11.275	12.803	.000	34.98444	8.27718	28.27040	41.69849

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-8 โดยโปรแกรม SPSSพบว่า ด้วยวิธี Levene ได้ sig = 0.359 ที่  $\alpha = 0.05$  ค่า sig มากกว่า  $\alpha$  สรุปว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

โดยใช้ Independent Samples T -Test ได้  $t = 11.275$  และ sig = 0.000 ที่  $\alpha = 0.05$  ค่า sig น้อยกว่า  $\alpha$  สรุปว่า จึงปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A ที่จอดกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ ง- 7 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0

M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ B สภาวะจอดกลางแจ้ง

	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด
	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)
	122.10	39.13
	102.47	39.60
	114.53	32.90
	130.72	32.36
	154.18	34.89
	113.82	39.55
	105.67	45.65
	119.51	31.70
	95.06	32.58
ค่าเฉลี่ย	117.56	30.48
s.d	17.45	4.75

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$  = ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารดิวต็อกซ์โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ B ไม่แตกต่างกัน,  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_1$  = ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารดิวต็อกซ์โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ B แตกต่างกัน,  $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

ตารางที่ ง- 8 ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ B สภาพจะจอดรถกลางแจ้ง

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
concen	Equal variances assumed	4.880	.042	13.446	16	.000	81.07778	6.02975	68.29527	93.86028
	Equal variances not assumed			13.446	9.179	.000	81.07778	6.02975	67.47808	94.67748

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-8 โดยโปรแกรม SPSS พบว่า ด้วยวิธี Levene ได้ sig = 0.042 ที่  $\alpha = 0.05$  ค่า sig มากกว่า  $\alpha$  สรุปว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดแตกต่างกัน

โดยใช้ Independent Samples T-Test ได้  $t = 13.446$  และ sig = 0.000 ที่  $\alpha = 0.05$  ค่า sig น้อยกว่า  $\alpha$  สรุปว่า จึงปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ B ที่จอดกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ ง-9 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ C สภาวะจอดกลางแจ้ง

ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	
ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	
41.55	10.04	
40.67	12.88	
40.19	11.59	
43.52	20.18	
50.84	23.26	
38.78	9.94	
66.03	24.81	
38.65	19.95	
63.93	17.85	
ค่าเฉลี่ย	47.13	16.69
SD	10.78	5.72

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$  = ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ C ไม่แตกต่างกัน,  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_1$  = ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ยี่ห้อ C แตกต่างกัน,  $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

ตารางที่ ง- 10 ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัด และหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ C สภาวะ จอดรถกลางแจ้ง

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
concen	Equal variances assumed	3.681	.073	7.472	16	.000	30.40667	4.06965	21.77940	39.03393
	Equal variances not assumed			7.472	12.201	.000	30.40667	4.06965	21.55587	39.25746

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-8 โดยโปรแกรม SPSSพบว่า ด้วยวิธี Levene ได้ sig = 0.073 ที่  $\alpha = 0.05$  ค่า sig มากกว่า  $\alpha$  สรุปว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

โดยใช้ Independent Samples T-Test ได้  $t = 7.472$  และ sig = 0.000 ที่  $\alpha = 0.05$  ค่า sig น้อยกว่า  $\alpha$  สรุปว่า จึงปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนบำบัดและหลังบำบัดด้วยสาร โซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ C ที่จอดกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ง.4 การวิเคราะห์ทางสถิติประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์  
1.0 M ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอดกลางแจ้ง

ตารางที่ ง- 11 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3  
ยี่ห้อ สภาวะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	ประสิทธิภาพการบำบัด [HCHO]รถยนต์ยี่ห้อ A (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด [HCHO]รถยนต์ยี่ห้อ B (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด [HCHO]รถยนต์ยี่ห้อ C (%)
1	70.45	67.96	75.83
2	63.69	61.36	68.34
3	75.59	71.28	71.17
4	65.27	75.24	53.63
5	73.74	77.37	54.25
6	61.22	65.25	74.36
7	80.30	56.80	62.42
8	46.95	73.47	48.37
9	47.82	65.73	72.08
ค่าเฉลี่ย	65.00	68.27	64.49
S.D	11.67	6.73	10.18

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$  = ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ไม่แตกต่างกัน,  $\mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_1$  = ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกัน,  $\mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

ตารางที่ ง- 12 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ สภาวะจอดรถกลางแจ้ง

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	75.696	2	37.848	.398	.676
Within Groups	2281.830	24	95.076		
Total	2357.526	26			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE AWAY ANOVA ดังตาราง ง-12 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.676 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_1$  ยอมรับ  $H_0$  คือ ประสิทธิภาพการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยสารโซเดียมไบซัลไฟต์ 1.0 M ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05