

การตรวจวัดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

MEASUREMENT OF FORMALDEHYDE CONCENTRATION
IN PRIVATE CARS

นางสาวธนาภา ชาติ

บ้านแก้ว

นางสาวจรัญญา

พาโพรตว่าง

นางสาวฉวีราวรรณ

อุบลประถมน

โครงการพิเศษแบบมีส่วนร่วมแห่งองค์การศึกษาดารววิทยศาสตร์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การตรวจวัดความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

MEASUREMENT OF FORMALDEHYDE CONCENTRATION

IN PRIVATE CARS

นางสาว กชามาส บัวแก้ว

นางสาว จริญญา พาไพรสว่าง

นางสาว จิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**MEASUREMENT OF FORMALDEHYDE CONCENTRATION
IN PRIVATE CARS**

MISS KACHAMAS BUAKAEW

MISS JARANYA PAPRAISAWANG



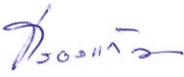
MISS JIRAWAN RERKPRAKOB

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ การตรวจวัดความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล
MEASUREMENT OF FORMALDEHYDE CONCENTRATES IN
PRIVATE CARS

ชื่อนักศึกษา นางสาวชามาส บัวแก้ว
นางสาวจัญญา พาไพรสว่าง
นางสาวจิราวรรณ ฤกษ์ประกอบ
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน	
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การตรวจวัดความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชามาส	บัวแก้ว
	นางสาวจรูญญา	พาไพรสว่าง
	นางสาวจิราวรรณ	ฤกษ์ประกอบ
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว	ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (HCHO) ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ภายใต้การศึกษา 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่จอดรถยนต์ในที่ร่ม สภาวะที่จอดรถยนต์กลางแจ้ง และสภาวะที่รถยนต์มีการเคลื่อนที่ ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500 โดยเลือกรถยนต์ที่มีปริมาตรลูกสูบไม่เกิน 1,500 ซีซี และจำกัดอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี จำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดนิ่งจำนวน 7 คัน และรถยนต์เคลื่อนที่จำนวน 3 คัน จากการตรวจวัดปริมาณ HCHO สภาวะที่จอดในร่ม พบว่า มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 22.06 ± 7.7 ppb, 24.99 ± 9.8 ppb และ 16.77 ± 6.3 ppb ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) ส่วนในสภาวะที่จอดกลางแจ้ง พบว่ารถยนต์ยี่ห้อ C ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าแตกต่างกับรถยนต์ยี่ห้อ B และ C อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยยี่ห้อ A, B และ C เท่ากับ 59.36 ± 7.5 ppb, 74.69 ± 19.6 ppb และ 39.09 ± 11.4 ppb ตามลำดับ สำหรับสภาวะที่รถยนต์มีการเคลื่อนที่ พบว่า รถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 22.06 ± 7.7 ppb, 24.99 ± 9.8 ppb และ 16.77 ± 6.3 ppb ตามลำดับ

คำสำคัญ : ฟอร์มาลดีไฮด์ รถยนต์ส่วนบุคคล NIOSH 3500

Title MEASUREMENT OF FORMALDEHYDE CONCENTRATION
IN PRIVATE CARS

Student MISS KACHAMAS BUAKAEW
MISS JARANYA PAPAISAWANG
MISS JIRAWAN RERKPRAKOB

Degree Bachelor of Science

Major Program Environmental Resource Chemistry

Advisor Asst.Prof .Krongkaew Tippayasak

ABSTRACT

Formaldehyde (HCHO) in private cars were studied under 3 condition; indoor-outdoor parking and during driving. The air samples were drawn and analyzed by NIOSH method 3500. The brands of car (A, B and C) were selected from the pioneers. All cars have cylinder volume of internal combustion engine less than 1500 cc and using mileage less than 3 years. All HCHO measurement were done 7 replicates except the driving conditions were triplicated. The results stated that the average HCHO from indoor parking cars for all 3 brands did not differ significantly ($\alpha = 0.05$) and were 22.06 ± 06 , 24.99 ± 9.8 and 16.77 ± 6.3 ppb for A, B and C respectively. While the outdoor parking; brand C was differ significantly from A and B ($C=59.36\pm 7.5$, $A=74.69\pm 19.6$ and $B=39.09\pm 11.4$). For moving condition, HCHO were range 16.77 ± 6.3 , 22.06 ± 7.7 and 24.99 ± 9.8 ppb.

Keyword: Formaldehyde, Private car, NIOSH 3500

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและคำแนะนำจากบุคคลหลายฝ่าย รวมทั้งการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงการพิเศษ คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งแนะแนวทางในการดำเนินงาน ดิชมผลงาน ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณิ จรรยาพูน และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้คำแนะนำและความรู้ที่จะเป็นแนวทางในการทำโครงการพิเศษนี้ อีกทั้งอนุเคราะห์ตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์

ขอบพระคุณ รศ.สายชล สีนสมบูรณ์ทอง อาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ ที่ให้คำปรึกษา และแนะนำวิธีการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติในโครงการพิเศษนี้

ขอบพระคุณ คุณภักตร์ชญัญ จำปาทิว, คุณวรรณณา จำกัด, คุณศักดา ตราช่าง, คุณศิริพร วิสาขศาสตร์, คุณณานิน อริยทรัพย์เจริญ และคุณสุพิชชา ขอมสละ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้รถยนต์ในการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็น รวมถึงการขอใช้สถานที่ตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

ขอบพระคุณ บิดา มารดาและทุกคนในครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ รวมทั้งฝ่าฟันอุปสรรคปัญหาต่างๆ มาด้วยกัน ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ในท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงข้างต้น ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดและสำหรับคุณงามความดีของโครงการพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	IVV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	XI
คำย่อและสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สารประกอบพอร์มาลดีไฮด์	4
2.2 อุตสาหกรรมที่มีการใช้พอร์มาลดีไฮด์	19
2.3 แหล่งกำเนิดกลิ่นภายในรถยนต์	23
2.4 พอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์	28
2.5 การประเมินความเสี่ยง	30
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.2 วัสดุและสารเคมี	44
3.3 การดำเนินงานวิจัย	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 การประกันคุณภาพ	50
4.2 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศ (Ambient air) ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	53
4.3 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	55
4.4 ยี่ห้อรถยนต์กับการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกมาภายในตัวรถ	59
4.5 การศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	65
5.2 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลจำนวน 3 ยี่ห้อ ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ	65
5.3 การศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์	66
5.4 ปัญหาและอุปสรรค	66
5.5 ข้อเสนอแนะ	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
เอกสารอ้างอิง	68	
ภาคผนวก ก	การคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	73
ภาคผนวก ข	วิธีเก็บตัวอย่างอากาศและการสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	79
ภาคผนวก ค	ผลการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ย ของฟอร์มัลดีไฮด์	84
ภาคผนวก ง	การวิเคราะห์ทางสถิติ	93

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	5
ตารางที่ 2.2 ระดับความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์และอาการที่เกิดขึ้น	9
ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานของฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศ	11
ตารางที่ 2.4 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างของฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ	16
ตารางที่ 2.5 สถิติการนำเข้าและส่งออกฟอร์มัลดีไฮด์ของประเทศไทย ปี พ.ศ.2544-2549	22
ตารางที่ 4.1 การตรวจวัด HCHO ในอิมพิงเจอร์ชุดหน้า (Front impinger) และชุดหลัง (Back impinger)	51
ตารางที่ 4.2 การตรวจวัด HCHO ภายในห้องทดสอบหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	52
ตารางที่ 4.3 การตรวจวัด HCHO เทียบกับแหล่งอื่น	54
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลรายละเอียดของรถยนต์ตัวอย่างทั้ง 7 คัน	56
ตารางที่ 4.5 การตรวจวัด HCHO ในรถยนต์ยี่ห้อ A	58
ตารางที่ 4.6 การตรวจวัด HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A , B และ C ขณะเคลื่อนที่	61
ตารางที่ 4.7 การตรวจวัด HCHO ในห้องทดสอบ	63
ตารางที่ 4.8 การบำบัดฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องทดสอบ	63
ตาราง ก-1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	74
ตาราง ก-2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก	76
ตาราง ก-3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ 1 mg/mL	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตาราง ข-1	การเปรียบเทียบอัตราการไหลการเก็บตัวอย่างในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล	80
ตาราง ข-2	ค่าการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	83
ตาราง ค-1	การตรวจวัด HCHO ในบรรยากาศบริเวณที่ร่มและกลางแจ้ง	84
ตาราง ค-2	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A ขณะจอดในที่ร่ม	84
ตาราง ค-3	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B ขณะจอดในที่ร่ม	85
ตาราง ค-4	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ C ขณะจอดในที่ร่ม	85
ตาราง ค-5	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A ขณะจอดกลางแจ้ง	86
ตาราง ค-6	ข้อมูลทางอูดุณิยมิวิทยาขณะเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A ขณะจอดกลางแจ้ง	86
ตาราง ค-7	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B ขณะจอดกลางแจ้ง	87
ตาราง ค-8	ข้อมูลทางอูดุณิยมิวิทยาขณะเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B ขณะจอดกลางแจ้ง	87
ตาราง ค-9	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ C ขณะจอดกลางแจ้ง	88
ตาราง ค-10	ข้อมูลทางอูดุณิยมิวิทยาขณะเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ C ขณะจอดกลางแจ้ง	88
ตาราง ค-11	ผลการทดลองการจำลองการบำบัด	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตาราง ง-1	ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C สภาวะจอดรถในที่ร่ม	93
ตาราง ง-2	ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ สภาวะจอดรถในที่ร่ม	94
ตาราง ง-3	ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C สภาวะจอดรถกลางแจ้ง	94
ตาราง ง-4	ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ที่สภาวะจอดรถกลางแจ้ง	95
ตาราง ง-5	ตาราง Post Hoc Tests เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี LSD	96
ตาราง ง-6	ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A	97
ตาราง ง-7	ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่สภาวะจอดรถในที่ร่มและกลางแจ้ง	98
ตาราง ง-8	ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่สภาวะจอดรถในที่ร่มและกลางแจ้ง	98
ตาราง ง-9	ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B	99

ตาราง ง-10	ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่สภาวะจอดครถในร่มและกลางแจ้ง	100
ตาราง ง-11	ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ใน รถยนต์ยี่ห้อ B ที่สภาวะจอดครถในร่มและกลางแจ้ง	100
ตาราง ง-12	ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ C	101
ตาราง ง-13	ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ C ที่สภาวะจอดครถในร่มและกลางแจ้ง	102
ตาราง ง-14	ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ในรถยนต์ยี่ห้อ C ที่สภาวะจอดครถในร่มและกลางแจ้ง	102

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของฟอร์มาลดีไฮด์	4
รูปที่ 2.2	ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง Chromotropic acid กับ Formaldehyde	17
รูปที่ 2.3	สัดส่วนการใช้ฟอร์มาลีนในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆของประเทศไทย	19
รูปที่ 3.1	การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองภายในห้องทดสอบที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์	44
รูปที่ 3.2	การเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์	45
รูปที่ 3.3	การเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ส่วนบุคคล	47
รูปที่ 3.4	การเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบที่มีการตรวจสอบการเกิด Breakthrough	48
รูปที่ 4.1	ความเข้มข้นของ HCHO บริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (สภาวะที่ร้อน) และ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 (สภาวะกลางแจ้ง)	53
รูปที่ 4.2	ความเข้มข้นของ HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A ที่จอดนิ่งภายใต้สภาวะที่ร้อนและกลางแจ้ง	56
รูปที่ 4.3	ความเข้มข้นของ HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดในที่ร้อนและกลางแจ้ง	60
รูปที่ ข-1	กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์	83

คำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์และคำย่อ

	ความหมาย
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
m ³	ลูกบาศก์เมตร
°C	องศาเซลเซียส
ppm	หนึ่งในล้านส่วน
ppb	หนึ่งในพันล้านส่วน
µg/m ³	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
mg/mL	มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
K	เคลวิน
L	ลิตร
atm	บรรยากาศ (หน่วย)
hPa	เฮกโตปาสกาล
L/min	ลิตรต่อนาที
[HCHO]	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการนำเอาสารเคมีจำนวนมากมาใช้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นยารักษาโรค เครื่องสำอาง เป็นส่วนประกอบของอาหาร ใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช และสัตว์ (pesticides) ตลอดจนนำมาใช้ในการผลิตด้านต่างๆ ทางอุตสาหกรรม การนำสารเคมีเหล่านี้มาใช้มีผลทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งมนุษย์ก็มีโอกาสได้รับสารเคมีที่ปนเปื้อนนี้ในปริมาณน้อยๆ เป็นเวลานานจนอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยได้ เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ได้รับในแต่ละวันมีปริมาณน้อยและความเป็นพิษมิได้เกิดขึ้นในทันทีที่ได้รับสาร แต่อาจเกิดจากการได้รับสารอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี หรือนานกว่า การสรุปผลว่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการได้รับสารใดจึงทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการควบคุมหรือจัดการสารเคมี ซึ่งสามารถทำได้โดยการวางแผนการใช้ การจัดการกากของเสียที่เหมาะสม และที่สำคัญคือต้องมีกฎหมายที่มีการบังคับใช้อย่างชัดเจน

สารเคมีที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายชนิดหนึ่งคือ สารเคมีอินทรีย์กลุ่มอัลดีไฮด์ เช่น ฟอรัลมาลดีไฮด์ (Formaldehyde, HCHO) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุน สารฟอรัลมาลดีไฮด์นำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายๆด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งถ้าไม่มีการควบคุมปริมาณการใช้และวิธีป้องกันอย่างเหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม แหล่งกำเนิดของสารฟอรัลมาลดีไฮด์อีกด้าน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม้อัด โฟมฉนวนกันความร้อน ผลิตภัณฑ์กระดาษไฟเบอร์กลาส ผ้าม่าน พรมปูพื้น ขอบยางประตูและกระจกรถยนต์ ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองตา และเนื้อเยื่อในทางเดินหายใจส่วนบนและผิวหนัง ภูมิแพ้และหอบหืด (สมชัย, 2542; Ashmore, 2538) จากการศึกษาในประเทศจีน (Tang, X. et. al 2009) พบว่าปริมาณฟอรัลมาลดีไฮด์มากกว่า 65% ของปริมาณทั้งหมด ใช้เป็นส่วนประกอบในเรซินที่ใช้ทำกาวยูเรียฟอรัลมาลดีไฮด์ ฟีนอลฟอรัลมาลดีไฮด์ และเมลามีนฟอรัลมาลดีไฮด์ ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบของกาวในอุตสาหกรรม

ไม้อัด ใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยาง ใช้ทำปลอกหุ้มคอกยลัรยนต์ และไม่นานมานี้มีรายงานการรับแจ้งจากประชาชน กรณีรถยนต์ที่เพิ่งออกใหม่มีกลิ่นเหม็นฉุนคล้ายสารเคมีภายในห้องโดยสาร จึงอาจสันนิษฐานได้ว่ามีการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยางหรือเป็นส่วนประกอบของกาวที่ใช้ประกอบรถยนต์ องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer ,IARC) ระบุว่าฟอร์มาลดีไฮด์อาจเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 จากการเก็บข้อมูลการเกิดมะเร็งในคน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งหลังโพรงจมูกและ ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) หน่วยงานกระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดระดับความเสี่ยงน้อยที่สุดเรื้อรัง (Maximum Residue Limit ,MRL) ของฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 0.003 ppm (0.004 mg/m³)

จากปัญหาที่พบข้างต้น ทำให้เกิดความตระหนักถึงอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ที่แอบแฝงอยู่ในรถยนต์ และเนื่องจากประเทศไทยมีแสงแดดจัดและอุณหภูมิสูง ส่งผลให้กาวประเภทฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาได้มากขึ้น ควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดที่ พบภายในรถยนต์ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้สนใจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี และจอดอยู่กลางแจ้งในช่วงเวลากลางวัน เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในการได้รับไอระเหยจากฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อประเมินความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี และหาวิธีการป้องกันฟอร์มาลดีไฮด์จากการรับสัมผัสทางการหายใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศด้วยวิธีแอกทีฟและตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์
- 2) เพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี ขณะจอดนิ่ง
- 3) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคล
- 4) เพื่อศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศอย่างง่าย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการเก็บตัวอย่างอากาศแบบวิธีแอกทีฟวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 3500 ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี ในยี่ห้อแตกต่างกัน 3 ชนิด ในสภาวะ 3 สภาวะ คือ จอดนิ่งกลางแจ้ง จอดนิ่งในร่มและเคลื่อนที่
- 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย

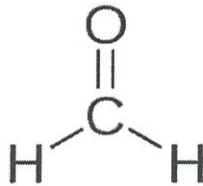
- 1) ทราบความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล เพื่อเป็นตัวบ่งชี้อันตรายที่มีต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้รถ
- 2) สามารถนำข้อมูลจากการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือลดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล
- 3) ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

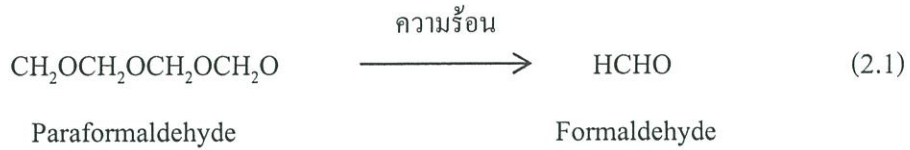
2.1 สารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์ (FORMALDEHYDE)

สารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์เป็นก๊าซไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีกลิ่นฉุน มีชื่อทางเคมีตามระบบการเรียกชื่อ IUPAC คือ Methanal ชื่อเคมีทั่วไป Formaldehyde นอกจากนี้ยังมีชื่อพ้องอื่นๆ หรือชื่อทางการค้า เช่น Formalin, HCHO, Formic aldehyde, Formol, Oxymethylene, Morbicid, 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 (th.wikipedia.org)

ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในทางการค้าจะอยู่ในรูปของสารละลาย สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ไม่เสถียร จะมีปริมาณของกรดฟอร์มิกเพิ่มขึ้นตลอดเวลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แม้ว่าจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำซึ่งช่วยลดความเป็นกรดแล้วก็ตาม โดยจะเกิดพาราฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะตกตะกอนออกมาและมีความเป็นพิษมากกว่าฟอร์มัลดีไฮด์มาก ดังนั้นจึงมีการเติมสารป้องกันการตกตะกอน ได้แก่ เมทานอล พาราฟอร์มัลดีไฮด์เป็นพอลิเมอร์ตัวหนึ่งของฟอร์มัลดีไฮด์ มีสูตรโครงสร้างเป็น $[(\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}_2\text{O}]$ สามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า พาราฟอร์มหรือพอลิซีเมทิลีน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง เมื่อผสมกับพาราฟินร้อนจะปล่อยก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ออกมา สามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคได้ ดังสมการที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์

พารามิเตอร์	สมบัติ
สูตรโมเลกุล	CH ₂ O , [HCHO]
สูตรโครงสร้าง	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$
น้ำหนักโมเลกุล	30.03
ความหนาแน่น	1
จุดหลอมเหลว (°C)	-15
จุดเดือด (°C)	96
การระเหย (vol %)	7-73
ความดันไอ	101.3 kPa ที่ -19 °C 52.6 kPa ที่ -33 °C
จุดวาบไฟ	
สูตร 37% (methanol free)	85 °C
สูตร 15% (methanol free)	50 °C
อุณหภูมิที่ติดไฟเอง	430 °C
Henry's law constant (Pa·m ³ /mol, at 25 °C)	2.2 × 10 ⁻² ถึง 3.4 × 10 ⁻²

2.1.1 แหล่งกำเนิดฟอร์มัลดีไฮด์

ฟอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศของฟอร์มัลดีไฮด์มีได้ทั้งจากแหล่งกำเนิดโดยตรงจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ หรืออุตสาหกรรมที่มีการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเติมแต่ง และการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การเผาไหม้ของวัตถุดิบทรีย์ในธรรมชาติ หรือจากการทำปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ

โดยทั่วไปฟอร์มัลดีไฮด์ชั้นบรรยากาศนั้นสามารถเกิดและสลายตัวได้เอง โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (คมกริช,2551)

การเกิดฟอร์มัลดีไฮด์จากการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ได้จากการออกซิไดซ์เมทานอลในอากาศ ซึ่งเมทานอลที่ใช้เตรียมจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนดังสมการ 2.2 - 2.4 (คมกริช,2551)



การเกิดฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะแวดล้อมทั่วไปเกิดจากการออกซิไดซ์มีเทนในอากาศดังสมการที่ 2.5 – 2.9 (คมกริช,2551)



เมื่อในชั้นบรรยากาศมีแสงแดด หรือมีการรวมตัวของกลุ่มไฮดรอกซิล จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ได้ ดังสมการที่ 2.10 – 2.12 (คมกริช,2551)





จากสมการที่ 2.10-2.12 จะเห็นได้ว่า เกิดสารประกอบ CO ขึ้นมา ซึ่งเป็นสารพิษที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ โดยมีฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศเป็นสารตั้งต้น และ HCO[·] ที่แตกตัวออกมานั้นสามารถก่อให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบพวกสม็อกอื่น ๆ ได้ ทั้งยังสามารถเข้าจับกับไอออนของโลหะจำพวก Cl⁻, Mn⁻, Br⁻ ได้เช่นกัน

2.1.2 อันตรายจากฟอร์มัลดีไฮด์

2.1.2.1 การเข้าสู่ร่างกาย

ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์และฟอร์มัลลินเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และดวงตา เป็นสารไวไฟ เป็นสารก่อมะเร็ง อย่างไรก็ตามมีข้อโต้แย้งในระดับสากลในประเด็นการจำแนกฟอร์มัลลินอาจเป็นสารก่อมะเร็ง โดย IARC ระบุว่าฟอร์มัลลินอาจเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 จากการเก็บข้อมูลการเกิดมะเร็งในคน ในขณะที่กลุ่มประชาคมยุโรป (European Union ,EU) จัดให้ฟอร์มัลลินอาจเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม C3 ซึ่งไม่มีข้อมูลที่ระบุชัดเจนว่าฟอร์มัลลินเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งในคน

ฟอร์มัลลินที่มีเมทานอลผสมอยู่มากจะมีจุดวาบไฟต่ำ จัดเป็นของเหลวไวไฟ มีสมบัติกัดกร่อนเป็นความเสี่ยงรอง แต่เมื่อมีเมทานอลผสมอยู่น้อยจะทำให้จุดวาบไฟสูงขึ้น (ความไวไฟลดลง) จึงถูกจัดเป็นสารกัดกร่อน ไม่จัดเป็นสารไวไฟ (ตามการจำแนกประเภทสินค้าอันตรายของสหประชาชาติ) และมีความเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและอาจเป็นสารก่อมะเร็งเช่นเดียวกับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553)

2.1.2.2 ความเป็นพิษ

ฟอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นสารที่มีความเป็นพิษ คือ มีค่า LD50 ต่อหนู (rat) ทางกระเพาะอาหารเท่ากับ 385 ± 28.72 mg/kg และหนู (mice) เท่ากับ 424 ± 34.13 mg/kg ทั้งนี้ความเป็นพิษเฉียบพลันที่เกิดขึ้นกับสัตว์ทดลองเมื่อมีการฉีดฟอร์มัลดีไฮด์เข้าสู่กระเพาะอาหาร จะเห็น

ได้จากการแสดงอาการคันระหนก หลังจากนั้นจะเกิดอาการง่วงซึม อ่อนเพลีย หายใจติดขัด และตายภายในเวลา 2-3 ชั่วโมงแรกที่ได้รับสาร

สำหรับความเป็นพิษต่อมนุษย์ ฟอรัมาลดีไฮด์เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและดวงตา และอาจเป็นสารก่อมะเร็ง สารฟอรัมาลดีไฮด์ที่ร่างกายได้รับสูงเกิน 0.1 ppm จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา จมูก และทางเดินหายใจ แต่ถ้าได้รับเข้มข้นสูงเกิน 100 ppm อาจทำให้หมดสติและอาจถึงแก่ชีวิตในที่สุด เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ สารฟอรัมาลดีไฮด์จะเปลี่ยนรูปเป็นกรดฟอรัมิก (Formic acid) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายระบบการทำงานของเซลล์ในร่างกาย ในกรณีพิษเรื้อรัง หากได้รับปริมาณน้อยแต่ระยะยาวจะทำให้เกิดผลเสียกับระบบภายในร่างกายต่างๆ หรือก่อให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปริมาณการได้รับสารฟอรัมาลดีไฮด์ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง พบว่าคนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับฟอรัมาลดีไฮด์นี้ที่ระดับสูงกว่า 1 ppm เนื้อเยื่อโพรงจมูกถูกทำลายและมีโอกาสกลายเป็นมะเร็งโพรงจมูกในอนาคต (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ,2012)

การจำแนกให้ฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็ง โดยในปี พ.ศ.2530 องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer,IARC) พบหลักฐานเพียงพอที่เชื่อได้ว่าฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ แต่มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะยืนยันได้ว่าฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ จึงได้จัดให้ฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารในกลุ่ม 2A คืออาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ในปีเดียวกันสำนักงานควบคุมมลพิษของสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ได้จัดฟอรัมาลดีไฮด์ไว้ในกลุ่ม 1B คืออาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และได้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ประเมินค่า Cancer Potency Factor (CPF) จากข้อมูลที่ได้จากสัตว์ไว้ที่ $6.5 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (แสดงถึงการได้รับฟอรัมาลดีไฮด์ในระดับ 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต จะมีโอกาสเป็นมะเร็งเพิ่มขึ้น 1 ในล้าน) องค์การอนามัยโลก(World Health Organization ,WHO) จึงออกคำแนะนำระดับฟอรัมาลดีไฮด์ในอากาศไม่ควรเกิน 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ค่าเฉลี่ย 0.5 ชั่วโมง) และได้ทำการประเมินค่าเฉลี่ยระดับการเริ่มรับรู้กลิ่นฟอรัมาลดีไฮด์ของคนทั่วไปอยู่ที่ 60-220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ โอกาสที่มนุษย์ได้กลิ่นฟอรัมาลดีไฮด์จะต่ำ และมีรายงานการระคายเคืองตาที่ระดับ 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจที่ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และที่ระดับ 3.0 mg/m^3 ผู้คนทั่วไปจะรู้สึกระคายคอ

ในปี พ.ศ.2540 Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR ได้กำหนดค่าระดับการสูดดมอย่างต่อเนื่องที่จะก่อความเสี่ยงต่ำ (MRL) ไว้ที่ $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (US.EPA ,2554)

ในปี พ.ศ. 2543 หน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency ,US.EPA) ได้ปรับค่าความเข้มข้นเป็น $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$

สำหรับอาการสลับนั้นพบได้ยาก เนื่องจากเกิดอาการระคายเคืองหรืออาการอื่นมาก่อน จึงทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการสัมผัสที่ความเข้มข้นสูงมากเกินไปจนถึงกับทำให้สลับได้ ระดับความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์และอาการที่เกิดขึ้น

ความเข้มข้น (ppm)	อาการ
1	สามารถทำให้ได้กลิ่น
2-3	จะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายได้ โดยเฉพาะที่ลำคอและมีน้ำตา
4-5	จะทำให้เกิดอาการน้ำตาไหล (จำนวนเล็กน้อย) ไหลไม่หยุด
10	จะทำให้เกิดอาการน้ำตาไหล (จำนวนมาก) ไหลไม่หยุด
10-20 (ในระหว่าง 5-10 นาที)	จะทำให้หายใจลำบาก จมูกและคอแสบร้อน และอาการแสบร้อนนี้จะขยายไปถึงหลอดลมพร้อมกับมีอาการไอได้
50-100 (ในระหว่าง 5-10 นาที)	จะทำให้เกิดการเจ็บป่วยอย่างรุนแรงได้

ผู้สัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผิวหนังจะเกิดอาการต่างๆกัน ได้แก่

1. อาการเฉียบพลัน จะเกิดอาการผิวหนังอักเสบเป็นผื่นแดง อาจเป็นตุ่มพุพอง ตกสะเก็ด และแสบคันทันทีที่สัมผัส และจะเกิดขึ้นที่ใบหน้า คอ อذنทวาร ข้อมือของแขน เปลือกตา เป็นต้น
2. อาการเรื้อรัง เกิดขึ้นหลังจากที่สัมผัสระยะเวลาหลายปี โดยจะเริ่มเป็นจากปลายนิ้วมือ หลังมือ ท้องแขน และส่วนของร่างกายซึ่งเสียดสีกับเสื้อผ้าที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ในเส้นใย

การรักษา โดยทั่วไปรักษาอาการ แบ่งได้เป็น (แก้ว ขจรไชยกุล,2543)

1.) ผู้ป่วยที่ได้รับพิษอย่างเฉียบพลันจากการหายใจ

ให้นำผู้ป่วยออกมารับอากาศอย่างบริสุทธิ์และให้สูดไอน้ำจากน้ำที่เติมแอมโมเนีย ให้ออกซิเจน ขาบำรุงหัวใจ ยากระตุ้นการหายใจ และยาระงับประสาทตามความจำเป็น

2.) ผู้ป่วยที่มีการระคายเคืองของทางเดินหายใจ ควรให้ mucosa alkalin หรือ oil inhalations

3.) ผู้ป่วยที่หลอดคอและหลอดลมปอดอักเสบอย่างเฉียบพลันและรุนแรงให้ oil solution ที่ประกอบด้วย menthol หรือ camphor 5 %

4.) ผู้ป่วยที่ไออย่างรุนแรง ให้ยาประเภท codeine,libexine หรือ dionnine

5.) ผู้ป่วยที่เกิดการระคายเคือง ล้างหน้าด้วยน้ำเกลือ หรือน้ำสะอาด ผู้ป่วยที่กินฟอรัมาลดีไฮด์เข้าไป ให้ล้างท้องด้วย ammonium carbonate หรือ sodium carbonate หรือ acetate solution 3% ไซดิม น้ำ น้่านม หรือยาถ่ายชนิด salin

6.) ผู้ที่สัมผัสฟอรัมาลดีไฮด์ทางผิวหนัง ให้ล้างออกทันทีด้วยน้ำสะอาดหรือน้ำยาแอมโมเนีย 5%

2.1.2.3 การกำหนดค่ามาตรฐานของฟอรัมาลดีไฮด์ในอากาศ

เนื่องจากการได้สัมผัสฟอรัมาลดีไฮด์นั้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพค่อนข้างรุนแรง จึงทำให้มีหลายองค์กรที่ทำการศึกษาและกำหนดมาตรฐานปริมาณการได้รับสัมผัสขึ้นมา โดยการกำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน (Time-weighted Average ,TWA) และค่ามาตรฐานสารเคมีในระยะเวลาดำเนิน (Short-term Exposure Limit ,STEL) ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

องค์กรที่กำหนดมาตรฐาน	TWA (8-hr)		STEL (min)	
	mg/m ³	ppm	mg/m ³	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.ค. 2520	-	3	-	10

(ที่มา:World Health Organization.1989.)

นอกจากนี้ยังมีค่ามาตรฐานปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศของประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ดังนี้

- ปริมาณสูงสุดของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน เท่ากับ 0.5 mg/m³
- ปริมาณสูงสุดของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ยอมให้มีได้ในบริเวณที่อยู่อาศัย เมื่อได้รับครั้งหนึ่ง (maximum single) เท่ากับ 0.035 mg/m³ ปริมาณเฉลี่ยต่อวันที่ยอมให้มีในบริเวณที่อยู่อาศัยเท่ากับ 0.012 mg/m³

2.1.2.4 การควบคุม ป้องกันอันตราย และการจัดลำดับความเป็นอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานที่ทำงาน

การควบคุมและป้องกันอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. การตระหนักและการประเมินถึงอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์
2. การจัดลำดับความอันตรายของฟอร์มาลดีไฮด์
3. การเตรียมข้อมูลเพื่อการตัดสินใจสั่งการของผู้บริหาร

4. การดำเนินการควบคุม ป้องกัน และการเฝ้าระวังอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์

5. การประเมินผลการควบคุมและการป้องกันอันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์
ฟอร์มาลดีไฮด์จัดเป็นสารเคมีที่มีอันตรายซึ่งในการจัดลำดับความสำคัญของอันตรายจากสารเคมีต้องพิจารณาถึงปัจจัย 2 ประการคือ

1. ความรุนแรงของอันตรายที่เกิดหรืออาจเกิดขึ้น หมายถึง อันตรายที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นนั้น ก่อให้เกิดหรืออาจจะทำให้เกิดผลที่มีความรุนแรงเพียงใด หรือสารเคมีนั้นๆ มีความเป็นพิษรุนแรงมากน้อยเพียงใด ในการพิจารณาความรุนแรงขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งระดับความรุนแรงของอันตรายแบ่งได้ดังนี้

ระดับที่ 1 : เป็นอันตรายที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวง เป็นอันตรายที่ใกล้จะเกิดขึ้น อันตรายอันนั้นหากเกิดขึ้นกับคนหลายคนความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้น อันตรายอันนั้นหากเกิดขึ้นกับคนหลายคนความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นจะแพร่กระจายไปกว้างขวาง ทำให้เกิดการสูญเสียทรัพย์สินมาก

ระดับที่ 2 : เป็นอันตรายขั้นวิกฤต อันตรายอันนั้นหากเกิดขึ้นจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่รุนแรงหรือการเจ็บป่วยอย่างสาหัส ทรัพย์สินนั้นหากเกิดขึ้นสามารถทำให้เกิดการเจ็บป่วย อุบัติการณ์เสียหาย แต่การบาดเจ็บ การเจ็บป่วยและการเสียหายของอุปกรณ์นั้นไม่รุนแรง

ระดับที่ 3 : เป็นอันตรายขั้นเล็กน้อย อันตรายอันนั้นหากเกิดขึ้น จะไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง ทรัพย์สินไม่เกิดความเสียหาย

ระดับที่ 4 : เป็นอันตรายขั้นเล็กน้อย อันตรายอันนั้นหากเกิดขึ้น จะไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง ทรัพย์สินไม่เกิดความเสียหาย

2. ความเป็นไปได้หรือโอกาสที่เกิดอันตรายนั้น หมายถึง จากสถานการณ์ที่เป็นอยู่จะมีความเป็นไปได้หรือมีโอกาสมากน้อยเพียงใดที่จะเกิดอันตราย ในการพิจารณาความเป็นไปได้นี้ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ซึ่งระดับความเป็นไปได้หรือโอกาสของการเกิดอันตรายแบ่งได้ดังนี้

ระดับ A : มีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเกิดอันตรายขึ้นมีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นทันทีทันใด และเกิดขึ้นภายในเวลาอันสั้น

ระดับ B : มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดอันตรายขึ้นและเป็นไปได้อาจจะเกิดขึ้นในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ระดับ C : มีความเป็นไปได้น้อยที่จะเกิดอันตรายขึ้น โดยอาจจะเกิดขึ้นในเวลา

ระดับ D : มีความเป็นไปได้น้อยมากที่จะเกิดอันตรายขึ้น ไม่ค่อยเกิดขึ้น

สำหรับฟอร์มัลติไฮด์นั้นจัดอยู่ในระดับความรุนแรงของอันตราย เท่ากับ 1 และมีระดับความเป็นไปได้หรือโอกาสของการเกิดอันตรายเท่ากับ A ดังนั้นอันตรายจากฟอร์มัลติไฮด์มีลำดับความสำคัญของอันตรายเท่ากับ 1-A

ประเทศไทยมีการควบคุมการใช้ โดยกำหนดให้มี 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

สำหรับฟอร์มัลติไฮด์ จัดอยู่ประเภทที่ 2 คือเป็นวัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมประมง

2.1.3 การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศและวิธีวิเคราะห์

อากาศเป็นสิ่งแวดล้อมพื้นฐานทางกายภาพที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต อากาศในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air) ถือว่ามีสารมลพิษน้อยเมื่อเทียบกับสถานที่ทำงาน ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการหมุนเวียนของอากาศดีกว่า ในการเก็บตัวอย่างอากาศ จึงสามารถแบ่งย่อยตามวัตถุประสงค์ของการติดตามเฝ้าระวังได้ดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศทั่วไป (Ambient air sampling)

ตัวอย่างอากาศอยู่ภายนอกอาคาร ในการเก็บต้องการให้มีปริมาณมากพอ เพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างอากาศบริเวณที่ต้องการศึกษาได้ดี เนื่องจากอากาศเป็นของไหลมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบได้ การไหลแทนที่จากมวลอากาศบริเวณอื่นเนื่องมาจากลม ความกดอากาศ ตลอดจนระดับความสูงจากพื้นดิน ก็มีผลต่อชนิดและองค์ประกอบของอากาศได้

2. การเก็บตัวอย่างอากาศจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Emission source sampling)

3. ตัวอย่างอากาศจากแหล่งกำเนิด เช่น จากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม จากเตาเผาขยะ จากท่อไอเสียรถยนต์ ตลอดจนจากการเผาขยะเป็นบริเวณกว้าง

4. การเก็บตัวอย่างอากาศจากสถานที่ทำงานหรือภายในอาคาร (indoor air sampling)

สภาพแวดล้อมในการทำงานหรือที่อยู่อาศัยอาจเป็นแหล่งที่มีปัญหามลภาวะทางอากาศ จึงมีการศึกษาและทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคาร

2.1.4 การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศ

การเก็บตัวอย่างอากาศและการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศนั้น เป็นงานที่ต้องการความประณีตและความถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นดังกล่าวอยู่ในระดับ ส่วนในพันล้านส่วน หรือส่วนในล้านล้านส่วน วิธีการที่นิยมใช้ในประเทศไทยนำมาจากวิธีการที่ได้รับการยอมรับโดย US.EPA การตรวจวัดโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของ วัตถุประสงค์และลักษณะเฉพาะของระดับความเข้มข้นสารมลพิษและสถานะที่ปรากฏ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นในบรรยากาศ องค์ประกอบอื่นๆในอากาศ หรือในจุดที่ทำการเลือกเก็บ ตัวอย่าง ซึ่งส่งผลทำให้เทคนิคในการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศแตกต่างกันออกไป วิธีเก็บ ตัวอย่างอากาศ (Air Sampling Methods) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active air sampling)

เป็นการเก็บตัวอย่างอนุภาคหรือก๊าซ มีการชักตัวอย่างอากาศโดยอาศัยปั๊มดูดตัวอย่างอากาศผ่านเข้าไปใน sampling media ที่เหมาะสม นิยมใช้วัดคุณภาพอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ อากาศจะถูกดูดมาเก็บไว้ที่ตัวจับสารตัวอย่าง ได้แก่ สารกรอง สารดูดซับหรือสารเคมีที่ใช้เป็นสารละลาย โดยมีปริมาตรอากาศและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่แน่นอน วิธีนี้สามารถเก็บตัวอย่างได้ทุกวัน ทำให้วิเคราะห์ผลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปสามารถเก็บได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นก๊าซและอนุภาค การเลือกชนิดของสารตัวจับสารตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารวิเคราะห์หลักในอากาศเป็นสำคัญ จากคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของก๊าซนั้นจะนำมาใช้พิจารณาเลือกสารดูดซับชนิดต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้เก็บตัวอย่างได้ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีต โดยอาศัยหลักการคือ เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มดูดอากาศ ผ่านสารละลายที่บรรจุในหลอดเก็บตัวอย่างหรืออิมพิงเจอร์ สารละลายจะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่จะตรวจวัดแล้วเกิดการเปลี่ยนสี นำสารละลายไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้น สำหรับสารละลายดูดซับที่ใช้สำหรับจับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ คือ โซเดียมไบซัลไฟต์ ซึ่งสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมกับฟอร์มาลดีไฮด์ได้เป็นผลิตภัณฑ์การเติมหมู่ไบซัลไฟต์ และเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกรดจะสามารถแตกตัวได้เป็นฟอร์มาลดีไฮด์ ดังสมการ 2.13 – 2.14



2. การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive air sampling)

เป็นการเก็บตัวอย่างก๊าซละอองไอที่อาศัยหลักการแพร่ โดยอัตราการเก็บตัวอย่างถูกควบคุมโดยกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การแพร่ผ่านเมมเบรนที่เป็นวัสดุดูดซับ โดยไม่มีการใช้ปั๊ม (Active force) อุปกรณ์พาสซีฟอาศัยหลักการแพร่ของมลพิษที่สนใจผ่านสิ่งกีดขวาง (Carrier) และถูกจับอยู่บนเมมเบรน โดยบนเมมเบรนจะมีสารเคมีที่จำเพาะกับมลพิษนั้นๆ เคลือบอยู่ เพื่อเป็นตัวดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยากับมลพิษนั้นๆ การซึมผ่านของมลพิษที่ศึกษาเป็นการแพร่ของโมเลกุลอย่างอิสระ การศึกษาวิจัยโดยการนำสารประกอบ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน (2,4-Dinitrophenylhydrazine ,DNPH) มาใช้เป็นตัวดูดซับสารประกอบคาร์บอนิลในอากาศเป็นที่ยอมรับ

กันอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมา ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดผ่านการเติมนิวคลีโอไฟล์ให้กับกลุ่มคาร์บอนิล (Nucleophilic addition) และตามด้วยปฏิกิริยาการกำจัดน้ำออก (Water elimination) ได้อนุพันธ์ของ 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราโซน

ตารางที่ 2.4 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างของฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ

วิธีการ	การเก็บตัวอย่าง	การวิเคราะห์	สิ่งรบกวน
Chemotropic acid : NIOSH 3500	midget impinger	spectrophotometry	Phenol, other organic substances
Paraosaniline (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
NIOSH acidic hydrazine	midget impinger	polarography	other aldehydes
NIOSH 2502	Reactive adsorbent	Gas chromatography	Acetaldehyde

(ที่มา : World Health Organization.1989.)

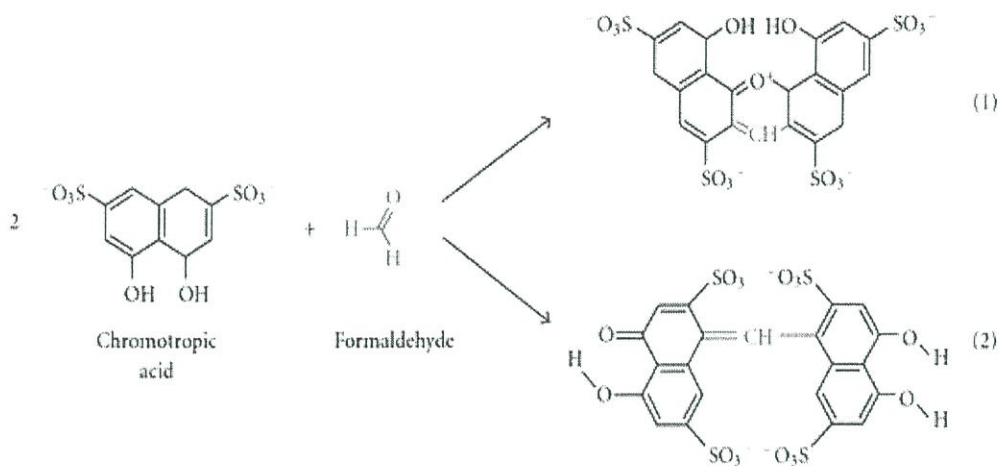
2.1.5 การวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากการตรวจวัดสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมาจากวิธีมาตรฐานต่างๆ ได้แก่

1. หลักการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ ด้วยวิธีเทียบสีตามวิธีของ NIOSH 3500 (NIOSH Manual of Analytical Method,1994)

ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ ตามวิธีของ NIOSH 3500 นำ กรดโครโมโทรปิก (Chromotropic acid ((HO)₂C₁₀H₄(SO₃H)₂)) มาทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ในสารละลาย

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (strong media) ของปฏิกิริยาเกิดเป็น mono-cationic dibenzoxanthylum ในรูปของสารละลายสีม่วง ดังรูปที่ 2.2



2.การวิเคราะห์ตามวิธีของ Application Note 97 DIONEX (US.EPA Method 8315)

(<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8315a.pdf>)

ทำการเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมก่อนวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ โดยทำการสกัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ และทำให้สารตัวอย่างมีความเข้มข้นมากขึ้นด้วยการสกัดตัวอย่างแบบ Liquid/Solid extraction แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่มีหน่วยตรวจวัดเป็นยูวี-วิชิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สภาวะที่ใช้คอลัมน์ C-18 สารละลายที่ใช้ชะคือ อะซิโตน ไนไตรล์ นำพื้นที่ได้พิกที่ได้จากการวิเคราะห์มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่าง

2.1.6 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์

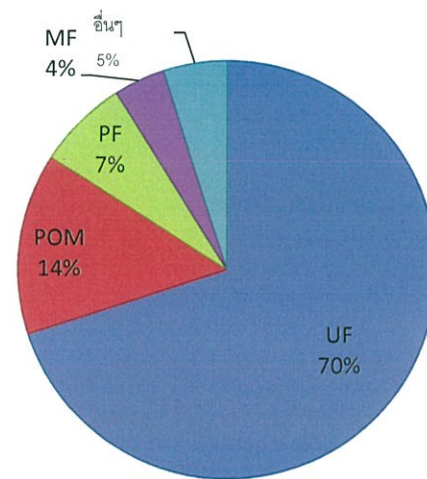
ปัจจุบันมีเทคโนโลยีชื่อว่า Air Detoxify ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อย่อยสลายสารฟอร์มาลดีไฮด์ หลักการ คือ การดูดซับคาร์บอนและย่อยส่วนที่เหลือออกมาในรูปของไอน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นเทคนิคเดียวกับที่อุตสาหกรรมสี เช่น Nippon AirCare หรือ TOA Supershield Duraclean Oxygen Plus นำไปใช้ในการผลิตสีทาบ้าน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของดร.บี ซี วูฟเวอร์ตัน (Dr. B.C. Wolverton) นักวิจัยแห่งสถาบันวิจัยอวกาศนาซ่า ซึ่งทำวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้ประดับในการกำจัดสารพิษหรือมลพิษในอากาศและตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานไปทั่วโลกในหนังสือชื่อ Eco - Friendly House Plant พบว่าไม้ประดับที่นิยมปลูกกันทั่วไปไม่เพียงแต่ให้ความสวยงามแต่ยังมีฤทธิ์ช่วยดูดซับ สารฟอร์มาลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไซลิคิน 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 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

2.2 อุตสาหกรรมที่มีการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้จากโรงงานผลิตจะอยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลีน ที่ความเข้มข้นประมาณ 37-55% โดยน้ำหนัก ซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ พลาสติกโพลีอะซิทัล และเคมีภัณฑ์อื่นๆ นอกจากนี้ยังนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นสารฆ่าเชื้อ สารกันเสีย ยาฆ่าแมลง ตัวลอคออกซิเจนในปฏิกิริยา

2.2.1 ปริมาณการใช้ฟอร์มาลีนในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

สัดส่วนการใช้ฟอร์มาลีนในอุตสาหกรรมต่างๆของประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตสารยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ถึง 70% ของการผลิตทั้งหมดในประเทศ แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



UF ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์

MF เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์

PF ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์

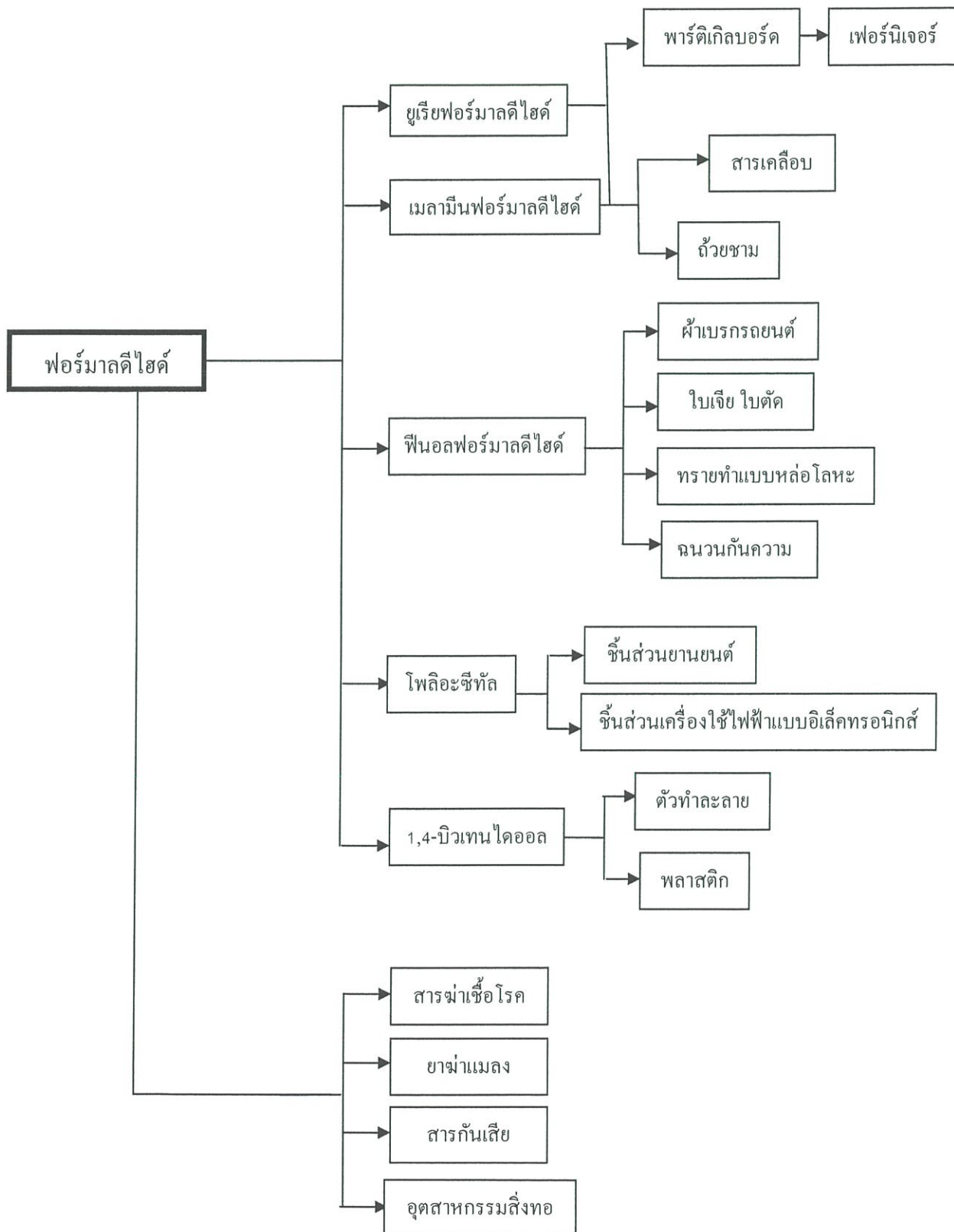
POM โพลีออกซีเมทิลีน หรือ พลาสติกโพลีอะซิทัล

รูปที่ 2.3 สัดส่วนการใช้ฟอร์มาลีนในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆของประเทศไทย

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2553

2.2.1 อุตสาหกรรมต่อเนื่องและประโยชน์จากฟอร์มัลดีไฮด์

ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ดังแสดงแผนภาพ



2.2.3 การใช้ประโยชน์จากฟอร์มัลดีไฮด์

ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากโรงงานผลิตจะอยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์หรือฟอร์มาลินที่ความเข้มข้นประมาณ 37-55% โดยน้ำหนัก ฟอร์มัลดีไฮด์ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ ดังนี้

2.2.3.1 ด้านอุตสาหกรรม

1. ในการผลิตเรซินและพลาสติก เช่น urea-formaldehyde melamine-formaldehyde, phenol-formaldehyde และอื่นๆ
2. ในการสังเคราะห์ urotropine, propargyl alcohol ยา วัตถุระเบิดและสีต่างๆ เช่น สีคราม (indigo) สีแดง (rose maryl) สีอะคริลิก (acrylic dyes) รวมถึงการฟอกหนังและสีตกแต่งอาหาร (dressing)
3. ในการย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีและย้อมติดแน่นขึ้น
4. ในการฟอกและการพิมพ์ เช่น การเตรียม Rongalite, Heradite
5. ในอุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้
6. ในการผสมโลหะ เพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
7. ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อผลิตผงที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์

2.2.3.2 ด้านการเกษตร

1. ใช้สำหรับการทำลายและการป้องกันจุลินทรีย์ในต้นไม้ที่เป็นโรค
2. ป้องกันผลผลิตเกษตรเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา
3. ใช้ฆ่าเชื้อโรคในดินและใช้ทำปุ๋ย (urea formaldehyde)
4. ใช้ทำความสะอาดสถานที่เก็บอุปกรณ์ เช่น ถังไม้

2.2.3.3 ด้านการแพทย์

1. ใช้ในการดองศพ
2. ใช้ทำความสะอาดห้องผู้ป่วย เครื่องมือเครื่องใช้ในการเตรียมและสังเคราะห์

ผลิตภัณฑ์ยา วัคซีน เป็นต้น

2.2.3.4 เครื่องสำอาง

1. ใช้ในเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เหงื่อออกมา
2. ใช้ในยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก สบู่ ครีมโกนหนวด เพื่อฆ่าเชื้อ
3. ใช้ในน้ำยาดับกลิ่นตัวและกลิ่นอื่นๆ

สำหรับประเทศไทยตั้งแต่ปีพ.ศ.2544-2549 มีการนำเข้าฟอร์มาลดีไฮด์จากต่างประเทศ เยอรมัน อิตาลี ญี่ปุ่น สหราชอาณาจักร ออสเตรเลีย ใต้หวัน สเปน อินโดนีเซีย อินเดียและสหรัฐอเมริกา ประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกฟอร์มาลดีไฮด์ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สถิติการนำเข้าและส่งออกฟอร์มาลดีไฮด์ของประเทศไทย 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: สถิติการนำเข้า-ส่งออกฟอร์มาลดีไฮด์ กรมศุลกากร 2550)

2.3 แหล่งกำเนิดกลิ่นภายในรถยนต์

ปัจจุบันมีจำนวนรถยนต์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากนโยบายรถคันแรกของรัฐบาล ทำให้ประชาชนมีโอกาสดำเนินการเป็นเจ้าของรถยนต์ได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่รถยนต์ที่เพิ่งออกใหม่ มักจะมีกลิ่นภายในห้องโดยสารติดมาด้วยเสมอ หรือที่เรียกว่า “กลิ่นรถใหม่” ซึ่งเป็นกลิ่นของชิ้นส่วนพลาสติกและสารเคลือบต่างๆ ภายในห้องโดยสาร มีความเป็นอันตรายสูงและอาจทำให้หมกหม昧ได้ หากสูดดมอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานๆ ระหว่างขับรถ

ในสหรัฐอเมริกาได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องนี้อย่างจริงจัง โดยนายเจฟฟ์ เกียร์ฮาร์ท ผู้อำนวยการโครงการวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมในสหรัฐอเมริกาเปิดเผยว่า กลิ่นภายในรถยนต์ที่สัมผัสทางการหายใจเข้าไปนั้น เต็มไปด้วยสารเคมีหลายร้อยชนิดที่อยู่ในพื้นที่แคบๆ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษารถยนต์ที่ผลิตในปี ค.ศ. 2011 – 2012 ในประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 200 คัน พบว่า กลิ่นใหม่ที่เกิดขึ้นนั้นส่วนใหญ่มาจากชิ้นส่วนพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบภายในรถยนต์ เช่น พวงมาลัย คอนโซลหน้า ที่พนักแขน รวมไปถึงเบาะนั่ง ในการศึกษาครั้งนี้นอกจากจะพบต้นตอของปัญหากลิ่นใหม่แล้ว ยังพบว่ามีสารเคมีมากกว่า 275 ชนิด โดยเฉพาะวัสดุสารหน่วงการติดไฟประเภทโบรมีน (Brominated flame retardants, (BFRs) และ Chlorine used for polyvinyl chloride (PVC) ที่เป็นส่วนประกอบในพลาสติกชิ้นส่วนรถยนต์ ส่งผลกระทบต่อ ไม้ ไต ต่อมไทรอยด์ และระบบหมุนเวียนเลือดด้วยเช่นกัน (Sanook AUTO,2555)

2.3.1 สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มาจากคาร์บอนดำของน้ำมันเชื้อเพลิง

จากการศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเขตกรุงเทพมหานคร (พฤกษ์ 2544 พรรณวดี 2547 และ พรรณวดี 2551) พบว่าแหล่งกำเนิดหลักที่มีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศอันดับแรกมาจากยานพาหนะ ในรถยนต์จะมีแหล่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ 3 ทาง คือ จากไอน้ำมันที่ระเหยออกจากถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง ไอน้ำมันจากเพลลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ และไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์ (นพดล 2550 และ Toyota Motor Sales, U.S.A) เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายจัดเป็นสารที่มีอันตรายต่อสุขภาพ บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง บางชนิดเป็นสารที่มีคุณสมบัติก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาทส่วนกลาง ไม้และไต และบางชนิดเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชันที่ในบรรยากาศ

ทำให้เกิดก๊าซโอโซน หากมีปริมาณก๊าซโอโซนมากในบรรยากาศจะมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทำให้เกิดอาการแสบตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้การทำงานของปอดผิดปกติ และมีผลต่อพืช ก่อให้เกิดการผิดปกติของยีน ทำให้ใบเปลี่ยนสีหรือเหี่ยวแห้ง (Bloemen และคณะ, 1993) ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่หน่วยงานภาครัฐต้องมีการควบคุมหรือจัดการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่ปล่อยออกมาจากไอเสียรถยนต์และไอระเหยจากถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง

ในประเทศไทย สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะส่วนใหญ่เน้นควบคุมหรือจัดการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปล่อยออกมาจากไอเสียรถยนต์ แต่ยังไม่มีความชัดเจนในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะประเทศไทยยังขาดข้อมูลในเรื่องปริมาณการระบายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ และเนื่องด้วยปัจจุบันรัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมการใช้เอทานอลในรถยนต์เพิ่มขึ้นและกำหนดนโยบายให้มีการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ทดแทนน้ำมันเบนซิน อย่างไรก็ตาม น้ำมันแก๊สโซฮอล์มีส่วนผสมของเอทานอลที่มีความดันไอสูงกว่าน้ำมันเบนซิน ทำให้มีปริมาณไอระเหยสูงกว่าน้ำมันเบนซินที่ไม่ผสมเอทานอล จากผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ 2550 เกี่ยวกับไอระเหยของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยทดสอบ ณ สภาวะการสูญเสียในช่วงระหว่างวัน (Diurnal breathing loss) และสภาวะการสูญเสียเมื่อจอร์ถยนต์ขณะเครื่องร้อน (Hot soak loss) ภายใต้โครงการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ พบว่าการทดสอบทั้งสองสภาวะมีไอระเหยของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์สูงกว่าน้ำมันเบนซินอย่างเห็นได้ชัด (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

2.3.2 สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มาจากส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

1. Melamine formaldehyde resins (MF)

Melamine formaldehyde resins (MF) เป็นเรซินที่เกิดจากการบ่มอย่างรวดเร็ว ทนต่ออุณหภูมิสูงและมีความต้านทานสารเคมี จะใช้ในการเคลือบพื้นผิวของรถยนต์และการทำลามิเนตตกแต่ง

2. Phenol formaldehyde resins (PF)

Phenol formaldehyde resins (PF) เป็นเรซินที่มีความชื้นสูง ทนต่อสารเคมี และต้านทานความร้อนสูง คุณสมบัติเหล่านี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานภายใต้กระโปรงรถ แม่พิมพ์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เกียร์และเบรก เรซิน PF ยังมีความต้านทานแรงเสียดทานสูง จึงนิยมใช้ทำผ้าเบรก คลัทช์ และชิ้นส่วนเกียร์อัตโนมัติเช่นเดียวกับลามิเนตตกแต่งสำหรับการ ตกแต่งภายในรถยนต์

3. Polyoxymethylenes (POM)

Polyoxymethylenes (POM) เป็นพอร์มาลดีไฮด์พื้นฐานของเทอร์โมพลาสติก ในสหภาพยุโรปนิยมใช้ POM ในการผลิตของปั๊มเชื้อเพลิงในรถยนต์ เนื่องจากความต้านทานของน้ำมันเบนซินและคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นของน้ำมันหล่อลื่น นอกจากนี้ POM ยังใช้ประโยชน์เช่น ผลิตที่จับประตูรถยนต์ ชิ้นส่วนพลาสติกของระบบเข็มขัดนิรภัย ชิ้นส่วนระบบ เกียร์อัตโนมัติ เป็นต้น

4. Methylene bis (dephenyl di-isocyanate) (MDI)

พอร์มาลดีไฮด์ถูกนำมาผลิต Methylene bis (dephenyl di-isocyanate) (MDI) เป็นโครงสร้างสำหรับพอลิยูรีเทน มีการประยุกต์ใช้ MDI ร่วมกับโฟมที่มีน้ำหนักเบา ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตประตูรถยนต์สำหรับชนวนกันความร้อนผสมกับโฟมกึ่งที่มีความยืดหยุ่น ที่ให้ความสะดวกสบายสำหรับทำที่นั่งในรถ การเคลือบยูรีเทนที่ทำด้วย MDI ยังใช้เคลือบเงาและสารกันรั่วสำหรับประตูและหน้าต่างรถเช่นเดียวกับกาวที่ใช้ติดบริเวณสปอยเลอร์กันชนและแผงภายใน

5. 1,4-Butanediol (BDO)

พอร์มาลดีไฮด์เป็นโครงสร้างสารเคมีของ 1,4-บิวเทน ไดออล (BDO) ซึ่งจะ ถูกแปลงแล้วให้เป็นสารอื่น ๆ เช่น Polybutylene Terephthalate เรซิน (PBTs) ในการใช้งานรถยนต์ PBTs ใช้ทำกันชนรถยนต์และชิ้นส่วนโลหะในเครื่องยนต์

6. Pentaerythritol (Penta)

พอร์มาลดีไฮด์ถูกนำมาใช้ผลิต pentaerythritol (Penta) สำหรับการผลิต สารเคมีและวัสดุจำนวนมาก เช่น alkyd resins เพราะมีความคงทน ต้นทุนต่ำและมีความร้อนสูงและ

ทนต่อสารเคมีที่ พบในผลิตภัณฑ์ที่เคลือบเงาสำหรับรถยนต์ Penta ยังใช้เพื่อผลิต neopolyol esters ซึ่งเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซและดีเซล

7. Hexamine

Hexamine เป็นสารเคมีพิเศษที่ผลิตจากฟอร์มัลดีไฮด์และแอมโมเนีย ใช้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดย hexamine เป็นตัวเร่งในการผลิตยางที่ใช้ในการทำยางรถยนต์

2.3.3 สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มาจากน้ำหอมปรับอากาศภายในรถยนต์

ในปัจจุบัน มีน้ำหอมปรับอากาศต่างๆ ที่ใช้ในการดับกลิ่นให้กับห้อง หรือสถานที่ต่างๆ ให้เลือกมากมาย ไม่ว่าจะเป็นแบบน้ำ แบบเจล แบบสเปรย์ หรือแบบระเหยด้วยความร้อน ทั้งหมดถูกออกแบบมาเพื่อสร้างกลิ่นให้กระจายออกไปในบริเวณที่ได้ติดตั้งน้ำหอมเหล่านั้นเอาไว้โดยส่วนประกอบหลักของน้ำหอมปรับอากาศมี 4 ชนิด คือ ฟอร์มัลดีไฮด์ พาราไดคลอโรเบนซีนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และสารเพิ่มความดันภายในกระป๋องสเปรย์ ตัวน้ำหอมนั้นอาจไม่ได้เป็นอันตรายมากนัก แต่สิ่งที่แฝงมากับน้ำหอมเหล่านี้ในบางผู้ผลิตนั้นอาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ (<http://www.chemtrack.org> (2553))

ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการตรวจสอบน้ำหอมปรับอากาศที่วางจำหน่ายอยู่ในห้องตลาด พบว่ามีจำนวนมากที่มีสาร พทาเลต (Phthalates) ซึ่งเป็นกลุ่มของสารเคมีที่ใช้ในการละลายและอุ้มเอาส่วนที่เป็นน้ำหอมเอาไว้ สารเคมีกลุ่มนี้เป็นสารตัวเดียวกันกับที่ใช้ในการทำพลาสติกอ่อนตัวลง และใช้ในการทำกาวต่างๆ และยังพบได้ในเครื่องสำอางอีกหลายอย่าง สี ยาทาเล็บ และของเล่นเด็ก

มีการศึกษาในหนูทดลองและคนพบว่า ถ้าได้รับสารพทาเลตในปริมาณมาก จะเพิ่มโอกาสเป็นมะเร็งได้มากขึ้น มีผลกระทบต่อฮอร์โมนเพศในทารกให้ผิดปกติไป และยังพบว่า มีผลกระทบต่อความสามารถในการเจริญพันธุ์อีกด้วย จึงอาจสรุปได้ว่าพทาเลตนี้เป็นสารอันตรายจากน้ำหอมปรับอากาศที่มีผลได้มากกว่าคนเราเลยทีเดียว (www.womanandkid.com (2555))

2.3.4 สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มาจากพวงมาลัยดอกไม้สด

พวงมาลัยดอกไม้สดเป็นงานฝีมือของไทยลักษณะหนึ่ง โดยการนำดอกไม้ กลีบดอกไม้ ใบไม้ และส่วนต่าง ๆ ของดอกไม้ที่ร้อยได้ มาร้อยเป็นพวง งานฝีมือดังกล่าวสืบทอดกันมาแต่โบราณ แต่เดิมการประดิษฐ์ดอกไม้ของไทยจะทำเพื่อใช้ในงานพิธีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเทศกาลงานบุญ งานบวช หรือแม้กระทั่งงานในวาระสุดท้ายของชีวิตอย่างงานศพก็ยังคงมีความเกี่ยวข้องกับผูกพัน จึงเรียกได้ว่าคนไทยมีความผูกพันกับพวงมาลัยมาช้านานนัก

แต่ในปัจจุบัน พวงมาลัยที่มีขายกันตามบริเวณตามสี่แยกไฟแดงในเขตกรุงเทพมหานครมีการแช่สารฟอร์มาลิน (Formalin) ในพวงมาลัย ทำให้ผู้ที่ซื้อพวงมาลัยเกิดอาการวิงเวียนศีรษะในขณะที่ขับรถ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพวงมาลัยส่วนใหญ่ทำมาจากดอกไม้สด เช่น ดอกมะลิ ดอกจําปี ดอกกุหลาบ ฯลฯ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการเหี่ยวแห้งและเฉาเร็ว เพราะดอกไม้สดต้องเก็บไว้ในที่เย็นจึงจะรักษาของสดไว้ได้นาน พ่อค้าแม่ค้าจึงคิดหาวิธีในการเก็บรักษาเพื่อช่วยยืดอายุการขายให้ยาวนานมากขึ้น โดยการนำพวงมาลัยไปแช่สารฟอร์มาลิน เพื่อให้ดอกไม้ยังคงดูสดอยู่ตลอดเวลา โดยไม่คำนึงถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้บริโภคซึ่งมีโอกาสที่จะสัมผัสหรือสูดดมกับสารฟอร์มาลิน (เบญญาภา เมธาวราพร, 2556)

จรัชย์ มูลทองโร่ย เลขาธิการคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค (สคบ.) กล่าวว่า ทาง สคบ. ร่วมมือกับกรุงเทพมหานคร (กทม.) ทำการสุ่มตรวจ พวงมาลัยดอกไม้สดบริเวณสี่แยกไฟแดง และตลาดสดหลายพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร ปรากฏว่าผู้ขายพวงมาลัยดอกไม้สดจำนวนไม่น้อยมักฉีดสารฟอร์มาลินลงในดอกไม้ เบื้องต้นการตรวจสอบตัวอย่างดอกไม้ จากตลาดค้าดอกไม้ ใน กทม. 27 ตลาด พบร้านดอกไม้สดกว่า 17 ตลาด ที่ใช้สารฟอร์มาลิน ซึ่งที่ผ่านมามีผู้ที่ประสบเหตุการณ์ดังกล่าว โดยซื้อพวงมาลัยที่สี่แยกไฟแดงแล้วมาแขวนไว้ที่หน้ารถ พอถึงเวลาไประยะหนึ่งได้สูดดมสารฟอร์มาลินที่อยู่บนพวงมาลัยดอกไม้เข้าไป ซึ่งจากการตรวจสอบจากแพทย์พบว่า หากสูดดมสารนี้เข้าไปมากๆ จะเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจจะทำให้แสบจมูก ไอ เจ็บคอ ปอดอักเสบ ระบายเคืองตา หรือถ้าสูดดมมากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดอาการน้ำท่วมปอดแน่นหน้าอก และอาจเสียชีวิตได้ (matichon online วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2556)

2.4 พอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์

พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอเมอร์ (Monomer) หลายๆ หน่วยมาทำปฏิกิริยากัน พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดเองในธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส โปรตีน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก เส้นใย โฟม และกาวพอลิเมอร์ ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมาก พอลิเมอร์สังเคราะห์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด พอลิเมอร์ถูกนำมาใช้ในการยึดเกาะและการหล่อขึ้นอย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีการนำพอลิเมอร์มาใช้เป็นส่วนประกอบในสารยึดติดหรือกาว นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนต่างๆ วัสดุภายในรถยนต์ กระจก เป็นต้น

2.4.1 กาวอีพอกซี (Epoxy)

อีพอกซี เป็น โคพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของเรซินกับสารเพิ่มความแข็ง (hardener) เรซินจะประกอบด้วยมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์กลุ่มพอกไซค์ ส่วนใหญ่แล้วเรซินอีพอกซีทั่วไปจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Epichlorohydrin และ Bisphenol-A ส่วนที่ทำให้แข็งตัว (hardener) ประกอบด้วยมอนอเมอร์พอลิเอมีน เช่น Triethylenetetramine (TETA) วัสดุที่ทำจากอีพอกซีจัดเป็น Thermosetting polymer หรือ Thermoset เป็นพอลิเมอร์ที่ผ่านการทำให้มีความเหนียวหรือความแข็งและไม่คืนรูป โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 °C การทำปฏิกิริยาเคมี หรือการใช้รังสีในกระบวนการผลิตจะทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวหรือของแข็งที่ถูกกดให้เป็นแผ่นบางได้ จากนั้นจึงใช้แบบหล่อ (mold) ในการขึ้นรูปให้เป็นวัสดุที่ต้องการ อีพอกซีถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิต fiber-reinforced plastic ซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างอีพอกซีกับไฟเบอร์ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ อากาศยาน หรือใช้เป็นกาวหรือสารยึดติด (adhesives)

กาวอีพอกซีหรือที่รู้จักกันในชื่อ Two-component epoxy (two-part epoxy หรือ two-component thermosetting adhesives) จัดเป็นกาวหรือสารยึดติดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับ โพลียูรีเทน อะคริลิก และซายานออะครีเลต ซึ่งใช้ในการผลิตเครื่องบิน ยานยนต์ จักรยาน เรือ สกี สโนว์บอร์ด และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงในการยึดติด

2.4.2 พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyesters - UP)

พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว อยู่ในกลุ่มของพอลิเอสเทอร์ ประกอบด้วยโซ่คาร์บอน $[-OOC-C_6H_4-COO-CH_2-CH_2]_n$ พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวจะสร้างโมเลกุลเชื่อมโมเลกุลระหว่างกัน หากนำมาโคพอลิเมอร์ไรซ์ สร้างพอลิเมอร์ร่วมกับสารอินทรีย์มีกลิ่นชื่อว่า สไตรีน เรซิน โพลีเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว ปกติจะถูกผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เรซินเหล่านี้จะเตรียมไว้เป็น bulk molding compound (BMC) และ sheet molding compound (SMC) สารประกอบทั้งสองชนิด อาจจะเสริมด้วยใยแก้วและสารเพิ่มเติมอื่นๆ โดยที่ SMC จะอยู่ในรูปของแผ่นพลาสติกขนาดใหญ่ หรืออาจมีขนาดอยู่ ซึ่งจะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น พื้นห้องน้ำ ถ้ำของเรือขนาดเล็ก และวัสดุทำหลังคา ส่วน BMC จะเป็นก้อนพลาสติกขนาดใหญ่เพื่อเตรียมเข้ากระบวนการ Compression molding เป็นตัวถังรถและส่วนประกอบรถยนต์อื่นๆ

2.4.3 พอลิอะคริเลต (Polyacrylate)

พอลิอะคริเลต มักเรียกกันทั่วไปว่า อะคริลิก เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม สามารถผลิตได้จากมอนอเมอร์หลายชนิด พลาสติกประเภทนี้ที่เป็นพื้นฐาน ได้แก่ เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate) พอลิอะคริเลตเป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเส้นสายเป็นแบบอะแทกติก (Atactic) กล่าวคือ โมเลกุลมีกิ่งหรือแขนงไม่แน่นอน ลื่นบ้างยาวบ้าง มีความโปร่งใสมาก แสงผ่านได้ประมาณร้อยละ 92 จึงเป็นวัสดุมาตรฐานที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น เเลนส์ ฝาครอบไฟท้าย และกระจกรถยนต์

2.4.4 เบคิไลต์ (Bakelite)

ในปี ค.ศ.1907 ลีโอ เฮนดริคส์ เบเคอร์แลนด์ (Leo Hendrick Baekeland) ได้ประสบความสำเร็จในการทำพอลิเมอร์สังเคราะห์ (พลาสติก) ชนิดแรก การค้นพบของเบเคอร์แลนด์กระตุ้นให้เกิดการผลิตพลาสติกชนิดอื่นๆ ตลอดจนการเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติก เบเคอร์แลนด์พบว่าเมื่อผสมฟีนอล (phenol) กับฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) เข้าด้วยกัน ให้ความร้อน แล้วกลั่นเอาน้ำออกโดยกระบวนการควบแน่น (condensation) จะได้สารเหนียวๆ ที่เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วจะแข็งตัว เป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมอย่างยิ่งในการใช้เป็นวัสดุฉนวนหุ้มสายไฟ เรียกชื่อทางการค้าว่า “เบคิไลต์”

เบคิไลต์ เป็นชื่อทางการค้าของ Phenol formaldehyde resin หรือมักจะเรียกกันว่า ฟีนอลิก เป็นพลาสติกเทอร์โมเซตชนิดหนึ่ง ฟีนอลิกทนความร้อนในสภาวะปกติได้ประมาณ 160 -

180 องศาฟาเรนไฮต์ หากผสมวัตถุดิบความร้อนบางชนิดจะสามารถทนความร้อนได้ถึง 400 องศาฟาเรนไฮต์ ฟีนอลิกเป็นตัวนำความร้อนที่เร็ว ติดไฟได้ช้าและดับเอง จึงมักนิยมใช้ทำมือจับสำหรับอุปกรณ์เครื่องครัว อุปกรณ์ไฟฟ้า ฝาครอบจานจ่ายรถยนต์ ถาดบรรจุสารเคมี ตู้ทีวี ที่รองนั่ง โถส้วม และโฟม เป็นต้น

2.5 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงเป็นเครื่องมือสำคัญที่หน่วยงานต่างๆ ใช้ในการควบคุมการปนเปื้อนของสารเคมีในอาหารและสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อมนุษย์ การประเมินความเสี่ยงเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจากการได้รับสารในปริมาณน้อยๆ และเป็นเวลานาน ตลอดจนปริมาณสูงสุดที่มนุษย์สามารถรับได้ในแต่ละวัน โดยไม่เกิดอันตรายใดๆ ต่อสุขภาพ

ซึ่งโครงการพิเศษนี้สนใจที่ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล และปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผู้ใช้รถยนต์ได้รับเข้าไปนั้น เพื่อประเมินความรุนแรงของอันตรายและแนวโน้มที่ได้รับผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ว่าอยู่ในเกณฑ์เสี่ยงที่จะเป็นอันตรายหรือไม่

2.5.1. หลักการประเมินความเสี่ยง

การจัดการสารเคมีที่มุ่งเน้นผลของสารเคมีต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน จำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านพิษวิทยาารวมเข้ากับความรู้ด้านคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณค่าความปลอดภัยของสารเคมี การศึกษาวิจัยในด้านนี้ได้เพิ่มพูนมากขึ้นจนเกิดเป็นศาสตร์ใหม่ขึ้นมา ศาสตร์ดังกล่าวนี้ได้ขยายองค์ความรู้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับและมีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางศาสตร์ที่กล่าวนี้ คือ “การประเมินความเสี่ยง” (Risk assessment) (ดร. สุเทพ เรืองวิเศษ, 2551)

ในการศึกษาและนำความรู้เรื่องการประเมินความเสี่ยงไปใช้นั้น ต้องทราบว่าการประเมินความเสี่ยงมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ ความเป็น state-of the art หมายความว่า มีการนำเอาข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลด้านพิษวิทยาที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลองไปใช้คำนวณค่าความปลอดภัยสำหรับมนุษย์ ซึ่งต้องมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) และสมมุติฐานต่างๆ ในการคำนวณหรือแม้จะใช้อุปกรณ์ที่ได้จากการศึกษาในมนุษย์ก็ต้องมีการนำข้อมูลนั้นไปคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้

ได้ค่าความปลอดภัยที่สามารถนำไปใช้ได้กับประชาชนทั่วไปได้ นอกจากนี้การคำนวณค่าความปลอดภัยยังขึ้นกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ถึงแม้จะใช้ข้อมูลความเป็นพิษเดียวกัน แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ต่างกัน ค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้ก็แตกต่างกันด้วย การประเมินความเสี่ยงยังมีคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการคือ มีความเป็น Dynamics หมายความว่า ค่าความปลอดภัยสำหรับมนุษย์ที่คำนวณได้นั้น ไม่ใช่ค่าคงที่ แต่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ถ้ามีข้อมูลทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาใหม่หรือมีวิธีการประเมินค่าความปลอดภัยใหม่

การประเมินความเสี่ยงเป็นขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การประเมินความเสี่ยง การจัดการความเสี่ยง (risk management) และการสื่อสารความเสี่ยง (risk communication) เพื่อความเข้าใจในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ (นพ.ศิริวิชญ์ เศษธรรม, 2554)

1) การบ่งชี้ความเป็นอันตราย (Hazard Identification)

คือกระบวนการในการบ่งชี้ว่าสิ่งใดหรือภาวะใดเป็นปัจจัยคุกคาม นั่นคือหากมนุษย์สัมผัสสิ่งนั้นหรือภาวะนั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพขึ้นได้ การบ่งชี้สิ่งคุกคาม เป็นการตอบคำถามว่า ในสถานที่แห่งหนึ่ง หรือสภาพการณ์หนึ่งนั้น มีสิ่งคุกคามอยู่จริงหรือไม่ หรืออะไรบ้างที่เป็นสิ่งคุกคาม เครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งของแพทยอาชีวเวชศาสตร์ ในการบ่งชี้สิ่งคุกคามในสถานที่ทำงานก็คือ การเดินสำรวจสถานที่ทำงาน (walkthrough survey)

2) การประเมินผลที่ตอบสนองต่อขนาดที่ได้รับ (Dose-response Assessment)

คือการประเมินระดับการสัมผัสที่แต่ละบุคคล ประชากร หรือระบบนิเวศน์ ได้รับว่ามากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงขนาดการสัมผัส (dose) ระยะเวลาที่สัมผัส (duration) และช่องทางการสัมผัส (routes of exposure) รวมถึงเส้นทางการฟุ้งกระจายของสิ่งคุกคามจากในสิ่งแวดล้อมผ่านตัวกลาง (medias) มาสู่คนด้วย

3) การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure Assessment)

เป็นการประเมินว่าขนาดของการสัมผัสระดับใดจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากน้อยเท่าใด ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้สามารถแบ่งระดับการสัมผัส เป็น ระดับปลอดภัย กับ

ระดับที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ตัวอย่างที่ชัดเจน เช่น การประเมินการตอบสนองต่อสารเคมี ในวิชาพิษวิทยา สารพิษชนิดเดียวกันแต่มี “ปริมาณการสัมผัส” ต่างกัน จะทำให้ร่างกายตอบสนอง ต่างกัน สำหรับสิ่งคุกคามประเภทอื่น ทั้งสิ่งคุกคามทาง กายภาพ ชีวภาพ และกายศาสตร์ ระดับการ สัมผัสที่ต่างกันนั้นก็ทำให้ร่างกายมนุษย์เกิดผลตอบสนองต่างกันด้วยเช่นเดียวกัน

4) ลักษณะความเสี่ยงที่เกิดขึ้น (Risk Characterization)

คือการวิเคราะห์ข้อมูลจากทั้ง 3 ขั้นตอนก่อนหน้าเพื่อนำมาประเมินว่า การ สัมผัสสิ่งคุกคามในสภาพที่เป็นอยู่นั้น ถือเป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือไม่ ในที่ทำงานหรือสถาน ประกอบการแห่งหนึ่ง คนทำ งานแต่ละคน หรือแผนกงานแต่ละแผนก ย่อมจะมีความเสี่ยงต่อ สุขภาพที่แตกต่างกันไปตามสิ่งคุกคามที่สัมผัส รายละเอียดที่ต้องพิจารณาในขั้นตอนนี้คือ ต้องบอก ให้ได้ว่าความเสี่ยงต่อปัจจัยคุกคามที่สนใจนั้น ระดับของความเสี่ยงมีมากน้อยแค่ไหน มีความเสี่ยง อย่างไร ใครเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงสูงสุด ลักษณะงานหรือกิจกรรมแบบใดที่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสุด ดังนี้ เป็นต้น

2.5.2. หน่วยงานประเมินความเสี่ยง

1. U.S. EPA เป็นหน่วยงานหลักที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยง ใน ขั้นตอน dose-response assessment นั้น U.S. EPA รายงานค่าความปลอดภัยของสารไม่ก่อมะเร็ง ด้วยค่า reference dose (RfD) และ reference concentration (RfC) U.S. EPA ได้คำนวณค่า RfD/RfC ของสารเคมีมากกว่า 500 สารพร้อมทั้งรายละเอียดการคำนวณ สามารถสืบค้นได้จาก website www.epa.gov/iris

2. ATSDR เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศ สหรัฐอเมริกาที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสารไม่ก่อมะเร็งเท่านั้น สำหรับขั้นตอน dose-response assessment นั้น ATSDR รายงานค่าความปลอดภัยด้วยค่า Minimal Risk Level (MRL) ซึ่ง หลักการคำนวณเช่นเดียวกับค่า 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 นั้น เทียบเท่ากับ RfD ของ U.S.EPA ในกรณีที่มีข้อมูลการศึกษาด้านพิษวิทยาหาสารเคมีที่มีระยะเวลา การศึกษาน้อยกว่า chronic ATSDR จึงจัดทำค่า MRL สำหรับ acute หรือ intermediate ขึ้นอยู่กับ

ระยะเวลาการศึกษาโดยทั่วไปถ้าการศึกษาระยะสั้นน้อยกว่า 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

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลิจิต ศรีประเสริฐสุข (2540)

ผู้ทำการวิจัยศึกษาการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ห้องซึ่งได้แก่ ห้องคองสัตว์ ภาควิชาชีววิทยา ห้องพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องเก็บสารเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ดำเนินการโดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ การสำรวจเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องต่าง ๆ สภาพห้องรวมทั้งลักษณะการใช้งาน ลักษณะการจัดเก็บสารการตรวจวัดและวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องที่ทำการศึกษา และการแก้ไขโดยเปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อลดระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องคองสัตว์ และห้องเจ้าหน้าที่ที่อยู่ภายในพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ห้องพบว่า ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องทั้งสามมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุด 30 นาที ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศในในห้องที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ห้องในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันเนื่องจากกิจกรรมที่กระทำภายในห้องแต่ละห้องที่ทำการศึกษาในแต่ละเดือนนั้นแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณการใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละห้องกับระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศในห้องแต่ละห้องมีความสัมพันธ์กันสูงในทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการศึกษาด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงอุณหภูมิ 29-32 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 79-91 เปอร์เซ็นต์พบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการแก้ไขโดยการระบายอากาศออกจากห้องคองสัตว์ แล้วทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของ

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องระหว่างและหลังจากเปิดพัดลมระบายอากาศเป็นเวลา 30 นาที พบว่าระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องดังกล่าวข้างต้นมีค่าต่ำกว่าสภาพปกติก่อนการแก้ไขประมาณ 32 และ 49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันการแก้ไขโดยการเปิดพัดลมในห้องเจ้าหน้าที่ที่อยู่ภายในพิพิธภัณฑสถานธรรมชาติวิทยาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องดังกล่าวข้างต้นมีค่าต่ำกว่าสภาพปกติก่อนการแก้ไขประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์

แก้ว (2543)

ผู้วิจัยทำการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคาร โดยใช้วิธีแอกทีฟและพาสซีฟ ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล 5 ห้อง ได้แก่ ห้องคองศพและห้องปฏิบัติการกายวิภาคโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลตำรวจ ห้องตรวจศพและห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลรามาริบัติ และพื้นที่เปรียบเทียบ พบว่าวิธีการตรวจวัดโดยวิธีแอกทีฟและพาสซีฟ มีความสัมพันธ์กันทุกพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าเฉลี่ยดังนี้ ห้องคองศพ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ เท่ากับ 363.85 ± 164.94 ppb (วิธีแอกทีฟ) และ 411.86 ± 36.15 ppb (วิธีพาสซีฟ) ห้องปฏิบัติการกายวิภาค โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เท่ากับ 107.57 ± 36.15 ppb (วิธีแอกทีฟ) และ 148.94 ± 36.66 ppb (วิธีพาสซีฟ) ห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลตำรวจ เท่ากับ 224.99 ± 138.46 ppb (วิธีแอกทีฟ) และ 230.99 ± 50.73 ppb (วิธีพาสซีฟ) ห้องปฏิบัติการพยาธิโรงพยาบาลรามาริบัติ เท่ากับ 206.15 ± 39.16 ppb (วิธีแอกทีฟ) และ 248.47 ± 39.47 ppb (วิธีพาสซีฟ) และพื้นที่เปรียบเทียบ เท่ากับ 13.63 ± 1.29 ppb (วิธีแอกทีฟ) และ 17.79 ± 1.43 ppb (วิธีพาสซีฟ) ทุกพื้นที่ศึกษามีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในห้องสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน TWA ของ OSHA ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 100 ppb ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานส่วนใหญ่มีอาการ เจ็บคอ คอแห้ง ตาแห้ง คัน ระคายเคืองตา และปวดศีรษะ ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพพบว่า ห้องคองศพ 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 พบว่าเมื่ออุณหภูมิและพีเอช ของการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นทั้งสองคือยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นที่สมบูรณ์มากขึ้น(เหลือฟอร์มาลดีไฮด์น้อยลง) แต่โมเลกุลของกาวที่ได้จะมีขนาดเล็ก เมื่อนำกาวดังกล่าวไปทำการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้ ทำให้ดัชนีวัดความแข็งแรงต่างๆ อาทิเช่น Internal bonding strength (IB), Bending strength (MOR และ MOE) และ Screw holding test มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การบวมตัวและการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากโมเลกุลขนาดเล็กสามารถซึมแพร่เข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี และเกิดการพอร์มโครงสร้างแบบร่างแหภายในเนื้อไม้ได้ สมบูรณ์กว่า นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ไม้ที่ได้จะมี Formaldehyde emission ที่ต่ำลงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การแข็งตัวของกาวจะต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการควบแน่นของกาวมีปริมาณลดลง ในขณะที่ทั้งอุณหภูมิและ pH ไม่ส่งผลต่อความถ่วงจำเพาะ ความหนืดร้อยละของเนื้อกาวที่ได้แต่อย่างใด อย่างไรก็ตามพบว่าที่ pH สูงกว่า 6.2 จะไม่สามารถสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาวที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้เนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยาการควบแน่น

สิริวรรณ สวัสดิ์ และพจนีย์ (2548)

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศได้แก่ฟอร์มาลดีไฮด์ และอะซีทัลดีไฮด์ ในบริเวณย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึงเดือนมีนาคม 2548 บริเวณพื้นที่ที่ตรวจวัดมีปริมาณการจราจรหนาแน่นประมาณ 10,000 คันต่อวัน ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าอะซีทัลดีไฮด์ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23 และ 20 ppb ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้แสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารทั้งสองชนิด โดยในเดือนมีนาคมซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนมกราคมประมาณ 6 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดสูงกว่าประมาณ 10 ppb นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าในวันทำการจะมีความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่าในวันหยุด ซึ่งสามารถบ่งชี้ให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดหลัก

ของสารทั้งสองชนิดมาจากการปล่อยควันจากท่อไอเสียรถยนต์ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์พบว่าไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดในบรรยากาศ

ปรางทิพย์ และวัลลวี (2550)

ผู้ทำการวิจัยศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นต่ำในอากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟตามวิธีของ NIOSH 3500 โดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เป็นสารดูดซึม และทำให้เกิดสีกับกรดโครโมโทปิก วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิชิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร โดยจำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบที่ทำจากสแตนเลสมีปริมาตรอากาศ 120 ลิตร โดยใช้สารละลาย HCHO เข้มข้น 37% w/w เป็นแหล่งกำเนิด แบ่งเป็น 2 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 1.) สารละลาย HCHO เข้มข้น 37% จำนวน 0.5 มิลลิลิตร 2.) สารละลาย HCHO เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 120, 180, และ 360 นาที พบว่าสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 37% ไม่เหมาะสมเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เนื่องจากปริมาณของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงเกินขีดจำกัดสูงสุดของวิธีการตรวจวัด (40 ไมโครกรัม) แต่ปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากการใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีค่าอยู่ในช่วงของการวิเคราะห์ เมื่อได้วิธีการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมแล้ว นำวิธีการเก็บตัวอย่างไปประยุกต์ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศ โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด จุดแรกคือจุดที่การจราจรเบาบาง และจุดที่สองคือจุดที่มีการจราจรหนาแน่นพอสมควร พบว่า บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เป็นบริเวณการจราจรเบาบาง มีความเข้มข้นเท่ากับ 4.24 ± 1.10 ppb และสี่แยกซอยจินดา ถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง ที่มีการจราจรหนาแน่น มีความเข้มข้นเท่ากับ 7.27 ± 1.30 ppb จากการตรวจวัดพบว่าบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นพอสมควรมีความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าบริเวณที่มีการจราจรเบาบาง ทั้งในวันทำการและวันหยุด แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นอาจก่อให้เกิดฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากกว่า จึงสามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากกว่า

คมกริช ชนากร และปาจริย์ (2551)

ผู้ทำการวิจัยศึกษาวิธีการตรวจวัดก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ (HCHO) ภายในอาคารที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟตามวิธีของ NIOSH 3500 และวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟตามวิธีของ Gillett, 2000 วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์เป็นสารดูดซับ และทำให้เกิดสีกับกรดโครโมโทปิก จำลองสถานการณ์ในห้องทดสอบที่ทำจากสแตนเลสปริมาตร 120 ลิตร ใช้สารละลายฟอรัมาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็นแหล่งกำเนิดสารในห้องทดสอบ พบว่าปริมาณก๊าซ HCHO อยู่ในช่วงของการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอคทีฟ ส่วนวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ อาศัยหลักการแพร่ของ HCHO ที่ถูกดูดซับบนวัสดุดูดซับที่มี DNPH เคลือบอยู่ ทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา 4 จุด โดยใช้ 2 วิธีพร้อมกันได้แก่ 1.) ห้องเก็บสารเคมีประจำภาควิชาเคมีชั้น 5 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 2.) ห้องปฏิบัติการเคมี อาคารวิทยาศาสตร์ 3.) ห้องปฏิบัติการชีววิทยา ชั้น 4 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 4.) ห้องทดสอบจำลองสถานการณ์ พบว่าการเก็บตัวอย่างจุดดังกล่าวตามวิธีแอคทีฟมีปริมาณ HCHO เท่ากับ 182.8 ± 9.47 , 8.32 ± 3.18 , 35.83 ± 8.69 , และ 211.17 ± 33.45 ppb และจากวิธีพาสซีฟพบว่ามีความเข้มข้นน้อยเกินกว่าที่จะตรวจวัดได้ และพบว่าปริมาณ HCHO ที่จุดต่างๆ ไม่เกินค่ามาตรฐาน TLV-TWA ของ OSHA จากการประเมินความเสี่ยงพบว่า พื้นที่ศึกษาจุดที่ 1 คือห้องเก็บสารเคมีประจำภาควิชาเคมีชั้น 5 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ มีความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ถ้าทำงานวันละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ ตลอดอายุการทำงาน

วรรณมาและคณะ (2551)

ผู้วิจัยศึกษาการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและความเชื่อมโยงต่อสภาวะโลกร้อน จากการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเขตกรุงเทพมหานครระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 - เดือนกุมภาพันธ์ 2551 จำนวน 11 จุด แบ่งออกเป็นบริเวณริมถนน 5 จุด บริเวณที่อยู่อาศัย 5 จุด และบริเวณทั่วไป 1 จุด โดยใช้เทคนิค canister-preconcentrator-GC/MS ข้อมูลสรุปจากผลการศึกษาพบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้จำนวน 53 ชนิดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกฮาโลจิเนตไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มสารประกอบออกซิเจนเฮตไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารเหล่านี้บางตัวก็ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง บางตัวมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ

ระบบประสาท ระบบตับและไต บางตัวเป็นสารที่ก่อให้เกิดก๊าซโอโซน จากการประมวลผลเกี่ยวกับศักยภาพการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย 5 กลุ่มนี้ พบว่า บริเวณริมถนนมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีศักยภาพในการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ 5 อันดับแรกได้แก่ Propene, Toluene, m-, p-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene และ o-Xylene และเมื่อเปรียบเทียบสารในกลุ่มอะโรมาติกทั้งในบริเวณริมถนนและสูงกว่าสารชนิดอื่นในกลุ่มอะโรมาติก นอกจากนี้ ในบรรดาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มฮาโลคาร์บอนที่จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกและทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน พบว่า สาร CFC-12 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณริมถนนและสาร HCF-22 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณที่อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายดังกล่าวนี้เป็นสารที่มีโอกาสต่อการเกิดสภาวะโลกร้อน คณะผู้วิจัยจึงเสนอว่า ควรต้องมีการติดตามตรวจสอบเพื่อเฝ้าระวังระดับของสารดังกล่าวในบรรยากาศเพื่อจัดการและควบคุมจากแหล่งกำเนิดต่อไป

Sergio M.C.et.al. (2003)

ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมทางบรรยากาศในช่วงวันที่ 4 ธันวาคม 2530 ถึง 17 มกราคม 2543 ของเมือง Rio de Janeiro ที่มีการเก็บตัวอย่าง 28 จุดพบว่าระดับฟอร์มัลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์ที่เกิดจากการปล่อยของยานพาหนะที่เคลื่อนที่บนท้องถนน พบค่าฟอร์มัลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์ที่เกิดจากการปล่อยของยานพาหนะที่เคลื่อนที่บนท้องถนน พบค่าฟอร์มัลดีไฮด์ในเขตเมืองมีค่าระหว่าง 1.52 และ 54.31 ppb สำหรับอะซีทัลดีไฮด์มีค่า 2.36 และ 45.60 ppb อัตราส่วนที่สูงของฟอร์มัลดีไฮด์ต่ออะซีทัลดีไฮด์คือ 0.76-1.61 ซึ่งเป็นผลมาจาก oxygenated fuels ประเทศบราซิล เป็นประเทศที่มีความสามารถพิเศษ โดยจะใช้ยานพาหนะที่ใช้ hydrated ethanol (มากกว่า 4 ล้านคนของยานพาหนะที่ต้องเสียภาษี), แก๊สโซฮอล์ (คือการผสมกันของน้ำมันเบนซินและเอทานอล 24% v/v) และเชื้อเพลิงดีเซล ที่ทำการวิเคราะห์ไอเสียยานพาหนะมีการทำโมเดลการจำลองเลียนแบบของคุณภาพอากาศในเดือนสิงหาคมและเดือนธันวาคม 2542 ที่ยืนยันว่า อะซีทัลดีไฮด์ มีปริมาณสูง เนื่องมาจากการปล่อยโดยตรงของยานพาหนะและยังทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยแสง ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

Rong et al. (2002)

คณะผู้วิจัยศึกษาผลของการออกซิไดซ์ด้วยอากาศในการดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ บนถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยเรยอน โดยทำการออกซิไดซ์ด้วยอากาศปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วง 350-450 °C และใช้เวลา 1-3 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยธรรมชาติ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านกัมมันต์ เช่น ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจน วิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน ขนาดของรูพรุน และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เกาะที่ผิวถ่าน พบว่า ไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นแบบที่ 1 ตามข้อเสนอของ Brunauer, Deming, Deming and Teller (BDDT) ถ่านกัมมันต์ชนิดเส้นใยเรยอนที่ทำการออกซิไดซ์ด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 420°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะมีพื้นที่ผิวสูง 1635 m²/g และยังพบหมู่ carboxylic acid เกาะอยู่ที่ผิวคาร์บอน ซึ่งสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจนได้ จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้สามารถดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ 196.5 mL/g

Fagnani, Melios, Pezza and Pezza (2003)

คณะผู้วิจัยศึกษาขั้นตอนการเกิดออกซิเดชันในการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์โดยวิธี Chromotropic acid spectrophotometric ที่แนะนำโดย NIOSH ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้น H₂SO₄ (18 mol l⁻¹) เป็นกรดที่เป็นตัวออกซิไดซ์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน H₂SO₄ จะละลายผ่านออกซิเจน เมื่อ H₂SO₄ เข้มข้นจะถูกแทนที่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น (12 mol L⁻¹) และกรดฟอสฟอริก (14.7 mol l⁻¹) เดิมการตรวจสอบขั้นตอนการเกิดออกซิเดชันใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่เป็นอันตรายและกัดกร่อนซึ่งได้ถูกกำจัดและเปลี่ยนมาเป็นสารที่มีประโยชน์ เป็นอันตรายน้อยกว่าอย่าง HCl และ H₂O₂

Boonamnuyvitaya et al. (2005)

คณะผู้วิจัยศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟสำหรับดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ ทำการแปรตัวกระตุ้นด้วย ไออน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ มีพื้นที่ผิว 407 ± 12 m²/g และพบหมู่ฟังก์ชันเป็นสารมีขั้วที่ผิวรูพรุน ทำให้ดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดถึง 245 mL/g ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พื้นที่ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ มีพื้นที่ผิวสูงสุดถึง 914 ± 21 m²/g แต่

พบหมู่ฟังก์ชันเป็นพวกไม่มีขั้ว จึงมีความสามารถในการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ได้เพียง 130 mL/g ซึ่งความสามารถในการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ดังนั้นแสดงว่าการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์จึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีมากกว่าลักษณะพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน

Kumagai, et.al (2007)

ศึกษาการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์ด้วยตัวดูดซับที่ได้จากแกลบ โดยนำแกลบมาทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 250, 400, 600 และ 800 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหล 500-700 mL/min เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และนำแกลบอีกส่วนมากระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อัตราการไหล 500-700 mL/min ที่อุณหภูมิ 875 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์และไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ที่อยู่ในถุงตัวอย่างที่ทำจากพอลิไวนิลฟลูออไรด์ฟิล์ม โดยบรรจุฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 1.0 ppm และอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 ppm ไว้อย่างละ 200 mL โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ <1% ที่อุณหภูมิ 22-24 °C ทำการวัดความเข้มข้นของไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย Kitagawa formaldehyde detection tubes, Japan และวัดความเข้มข้นของไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ด้วย Gastec acetaldehyde detection tube, Japan พบว่า ถ่านที่มาจากแกลบ ที่อุณหภูมิ 600 °C มีพื้นที่ผิวสูงสุด 166 m²/g ส่วนแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 875 °C จะมีพื้นที่ผิวสูง 466 m²/g ในขั้นตอนการดูดซับไอระเหยจะเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากอะซีทัลดีไฮด์ในถุงตัวอย่างได้เร็วที่สุด และตัวดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์และไอระเหยอะซีทัลดีไฮด์ในถุงตัวอย่างเร็วที่สุด และตัวดูดซับที่ผลิตได้จากแกลบมีอัตราการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

Flavio R Rocha (2008)

ในการเปรียบเทียบสารประกอบคาร์บอนิลที่ระเหยได้ในบรรยากาศ สารฟอร์มัลดีไฮด์จัดว่าเป็นสารมลพิษมากที่สุด สมควรได้รับการพิจารณาให้มีการออกกฎหมายควบคุมคุณภาพของอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร การวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการเก็บตัวอย่างคือ นำกระดาษกรองที่หยดด้วย 2,4-Dinitrophenylhydrazine (2,4 DNPH) เกิดเป็นสารประกอบไฮดราโซน แล้ว

วิเคราะห์ด้วยวิธี formed hydrazone ด้วยเครื่อง HPLC ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้หลอดไฟเบอร์ที่ทำจากโพลีโพรพิลีนชนิดมีรูพรุนในการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ ตัว oxyphan fiber ซึ่งออกแบบมาสำหรับการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในเลือด ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีความต้านทานสูง ความหนาแน่นสูง และมีอัตราส่วนของพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างกับปริมาณที่รองรับของไหลเข้าไปในหลอด เครื่องเก็บตัวอย่างประกอบด้วยท่อเทฟลอนที่อยู่ภายในมัดเส้นใน โพลีโพรพิลีนขนาดเล็ก ขณะที่ให้ตัวอย่างผ่านอุปกรณ์ด้วยอัตราการไหลต่ำ ตัวอย่างอากาศจะไหลกระจายตัวอย่างอยู่ในเส้นใย ซึ่งจะถูกระงับโดยปัมป์แบบอัตราการไหลต่ำ ระบบนี้จะเชื่อมโยงกับวิธีการเก็บตัวอย่างและการวัดปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์ที่อยู่ในรูปของไฮดรอกซิมิเทนซัลโฟเนต ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไบซัลไฟด์ด้วยตัวคาพิลลารี อิเล็กโตรโพรเซซิส ที่มี capacitively coupled contactless conductivity detection (CE-C4D) ที่ได้รับการพัฒนาจนสมบูรณ์แบบในการประเมินฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ

Peipei Dai, Yunshan Ge, Yongming Lin, Sheng Su, Bin Liang (2013)

ผู้วิจัยการศึกษาลักษณะของไอเสียและไอระเหยที่ปล่อยออกมาจากรถยนต์โดยสารที่ใช้ น้ำมันเบนซินผสมเมทานอล หรือที่เรียกว่าน้ำมันเชื้อเพลิง M15 ซึ่งมีส่วนผสมของเบนซิน 85% และเมทานอล 15% โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิง โดยมลพิษที่ปล่อยออกมานั้น รวมไปถึงสารมลพิษทั้งที่ถูกควบคุมและไม่ถูกควบคุมตามกฎหมาย ในการทดสอบการปล่อยไอเสียของรถยนต์โดยสาร ดำเนินการทดสอบโดยใช้โคเนาโมมิเตอร์ และทำการตรวจวัดด้วยระบบการสุ่มตัวอย่างที่ปริมาตรคงที่ (CVS) ที่มีระบบการเจือจางอากาศ (DAR) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อการตรวจวัดสารมลพิษที่ไม่ถูกควบคุมตามกฎหมาย ส่วนการทดสอบการปล่อยไอระเหยของรถยนต์โดยสาร ดำเนินการทดสอบในห้องทดสอบสำหรับตรวจวัดการระเหย หรือ Sealed Housing for Evaporative Determinations (SHED) ทำการเก็บตัวอย่างผ่านเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่เคลือบด้วย 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH), Tenax TA และซิลิกาเจล สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศที่มีสารประกอบคาร์บอนิล สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และเมทานอล เจือปนในอากาศ ตามลำดับ ผลการทดสอบการปล่อยไอเสียของรถยนต์โดยสาร เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง พบว่า สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบคาร์บอนิลที่ปล่อยออกมาจากรถยนต์โดยสารที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง

M15 มีปริมาณลดลง 16% และ 7% ตามลำดับ ขณะที่สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 85% ส่วนสารฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปล่อยออกมานั้น พบว่ามีปริมาณเกือบ 2 เท่าของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน สำหรับการทดสอบการปล่อยไอระเหยของรถยนต์โดยสาร พบว่า ไอระเหยของเชื้อเพลิงที่ระเหยออกมาจากถังเชื้อเพลิงรถยนต์มีปริมาณมากกว่าไอระเหยที่ระเหยออกมาขณะที่เครื่องยนต์หยุดการทำงานหลังจากการขับเคลื่อน และเมื่อตรวจวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยออกมาจากรถยนต์โดยสารที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง M15 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 63% นอกจากนี้ยังปล่อยสารมลพิษจำพวกสารประกอบคาร์บอนิล และสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น 19% และ 23% ตามลำดับ ส่วนเมทานอลที่ระเหยออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิง M15 พบว่ามีค่าสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินบริสุทธิ์ถึง 128 เท่า ดังนั้นควรให้ความสำคัญในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงและพัฒนาถังเชื้อเพลิงของรถยนต์โดยสารเพื่อเป็นการลดการปล่อยไอระเหยสู่บรรยากาศ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ห้องทดสอบ (Experimental Chamber) ใช้เคชิกเคเตอร์ ปริมาตร 15.5 L ทำการหาปริมาตรของเคชิกเคเตอร์ได้โดยการตวงน้ำใส่ลงในเคชิกเคเตอร์ทั้งส่วนที่เป็นโถแก้วและฝาครอบแล้วคำนวณปริมาตรน้ำที่ใช้เป็นปริมาตรของห้องทดสอบ

2. เครื่องยูวี-วิชิเบล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น GENESYS 10S UV-VIS

3. เครื่องเก็บตัวอย่างแบบส่วนบุคคล (Personal Air Sampling) ยี่ห้อ SKC รุ่น 224-PCXR4 พร้อมอุปกรณ์อิมฟิงเจอร์และแทรปเปอร์

4. เครื่องเปรียบเทียบอัตราการไหลอิเล็กทรอนิกส์ (BIOS International corp.) ยี่ห้อ BIOS รุ่น Defender 520

5. เครื่องอุณหภูมิวิทยา Vanyage Pro

6. รถยนต์ที่มีปริมาตรลูกสูบน้อยกว่า 1500 ซีซี จำนวน 3 ยี่ห้อ

7. เครื่องวัด pH และค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort รุ่น C 860

8. เครื่อง water bath isotherm

9. Thermometer แบบดิจิตอล

10. เตาให้ความร้อน ยี่ห้อ Fisher Scientific

11. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shinmadzu รุ่น AUX220

12. ชามระเหย

13. ชุดเครื่องแก้วสำหรับไทเทรต และวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2 วัสดุและสารเคมี

1. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) เข้มข้น 40% เกรดวิเคราะห์

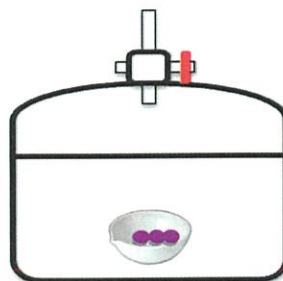
บริษัท Mallinckrodt Baker, USA

2. โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO₃) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt Baker, USA
3. โซเดียมซัลไฟต์ (Na₂SO₃) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt Baker, USA
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB-SCAN, Ireland
5. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHC₂H₄O₂) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
6. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO₄) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
7. ฟีนอล์ฟทาลีน เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
8. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 96% (96% H₂SO₄) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
9. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% (98% H₂SO₄) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
10. น้ำปราศจากไอออน

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1. การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

1. สร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ โดยใช้เดซิเคเตอร์ขนาด 12.5 L จำลองเป็นห้องทดสอบ ทำการทาวาสลินเพื่อให้เกิดความชื้นระหว่างโถแก้วและฝาครอบ และเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างที่อากาศสามารถเข้าออกได้ ทำการชั่ง KMnO₄ จำนวน 0.05 g ใส่ชามระเหย นำชามระเหยดังกล่าวใส่ในเดซิเคเตอร์ และเติมสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 1,000 mg/L ปริมาตร 0.5 ด้วยไมโครปิเปต ไม่บรรจุสิ่งใดๆนอกจากที่ระบุไว้ ดังรูปที่ 3.1 และปิด Stopcock



รูปที่ 3.1 การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองภายในเดซิเคเตอร์ให้มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

2. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์เกิดการฟุ้งกระจายทั่วห้องทดสอบ
3. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.4 L/min โดยใช้ NaHSO_3 เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม ดังรูปที่ 3.2
4. ปิเปตสารดูดซึมที่ได้ ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL
5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH 3500
6. ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
7. กำหนดความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ



รูปที่ 3. 2 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในเดซิเคเตอร์ที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

3.3.2. สถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างอากาศจะเก็บอากาศภายในรถยนต์ส่วนบุคคล 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C ซึ่งจอดอยู่บริเวณลานจอดรถกลางแจ้งหน้าศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะ และได้อาคารปฏิบัติการหลังใหม่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 9.00-12.00 น.

แหล่งกำเนิดฟอร์มัลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลมาจากยางขึ้นบริเวณขอบกระจกยางปูพื้นภายในรถยนต์ ฉนวนกันความร้อน กาวจากการติดตั้งเบาะหนัง อากาศที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในรถยนต์

3.3.3. เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างรถยนต์

สอบถามจากอาสาสมัครที่ต้องการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์ และทำการคัดเลือกตามเกณฑ์ ดังนี้

- รถยนต์ส่วนบุคคลที่มีขนาดความจุลูกสูบน้อยกว่า 1,500 CC
- รถยนต์ส่วนบุคคลที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี
- รถยนต์ที่มียี่ห้อแตกต่างกัน 3 ยี่ห้อ
-

3.3.4. ผลของแสงแดดต่อการระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์

1. ทำการเซตอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 180 นาที ตรวจสอบอัตราการไหลที่ 0.4 L/min โดยใช้ NaHSO_3 เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม
2. นำเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคลตั้งภายในรถยนต์ ทำการเก็บอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง
3. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ที่จอดในที่ร่ม จำนวน 7 ครั้งและรถยนต์ที่จอดกลางแจ้ง จำนวน 7 ครั้ง
4. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีของ NIOSH 3500
5. คำนวณความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่เก็บได้จากการทดลอง



รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ส่วนบุคคล

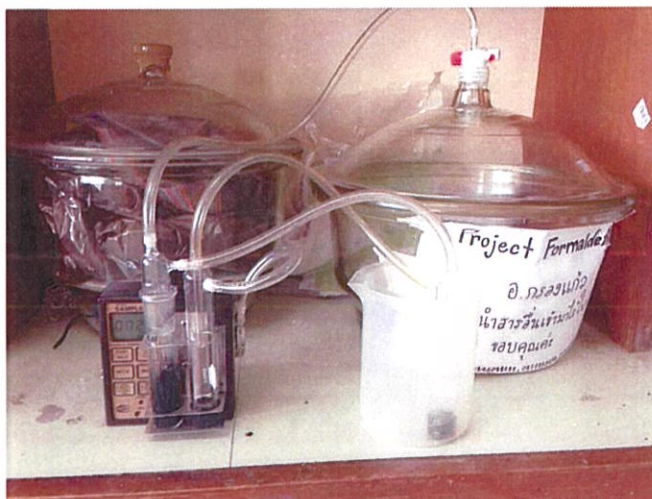
3.3.5. การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

3.3.5.1 การเก็บตัวอย่างอากาศ

1. ในการเก็บอากาศต้องทำการปรับและวัดอัตราการไหลเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ที่อัตราการไหล 0.4 L/min จำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาอัตราการไหลเฉลี่ยจากอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยจะต้องมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 % จึงถือว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศมีอัตราไหลคงที่ตลอดการทดลอง

2. ต้องทำความสะอาดห้องทดสอบทุกครั้งหลังทำการเก็บตัวอย่าง โดยใช้ Activated carbon ทำการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เพื่อทำการทดสอบให้แน่ใจว่าไม่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์หลงเหลืออยู่ในห้องทดสอบในการทำการทดลองครั้งต่อไป จะต้องทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 0.4 L/min นาน 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ตามวิธีของ NIOSH 3500

3. ในการเก็บตัวอย่างอากาศต้องมีการตรวจสอบการเกิด Break through ซึ่งหมายถึง บั้มเก็บตัวอย่างอากาศผ่านเข้ามายังอิมพิงเจอร์ที่มีสารดูดซึม NaHSO_3 เข้มข้น 1 % จำนวน 20 mL บรรจุอยู่ และละลายในสารดูดซึมได้หมดโดยไม่ผ่านออกไปจากสารดูดซึมขณะทำการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้อิมพิงเจอร์ 2 ชุด คือ ชุดหน้า (Front impinger) ซึ่งใช้เก็บอากาศในห้องทดสอบ และใช้ชุดหลัง (Back impinger) เก็บอากาศจากชุดหน้าเพื่อตรวจสอบอากาศที่ผ่านออกมาจากอิมพิงเจอร์ชุดหน้าว่าในอากาศไม่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านออกมาด้วย โดยนำสารดูดซึมในอิมพิงเจอร์ทั้ง 2 ชุดไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ตามวิธีของ NIOSH 3500



รูปที่ 3.4 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในเครื่องเคเตอร์ที่มีการตรวจสอบการเกิด Break through

3.3.5.2 สารรบกวนการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์

โดยส่วนหนึ่งของสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์มีหมู่ $C=O$ เหมือนกับสารประกอบคีโตนและอะซิดิก ซึ่งมีผลต่อการรบกวนการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองว่า สารดูดซึมโซเดียมไบซัลไฟต์ ไม่มีผลต่อปฏิกิริยากับสารประกอบคีโตนและอะซิดิก เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนขณะทำการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนี้

1. ใช้เครื่องเคเตอร์ขนาด 12.5 L จำลองเป็นห้องทดสอบ ทำการทาวาสลินเพื่อให้เกิดความหนึ่ระหว่างโถแก้วและฝาครอบ และเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างที่อากาศสามารถเข้าออกได้
2. เติมสารละลายกรดอะซิดิกและอะซิโตน ความเข้มข้น 1,000 mg/L ปริมาตร 0.5 ด้วยไมโครปิเปต ปิด Stopcock
3. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้สารละลายกรดอะซิดิกและอะซิโตน เกิดการฟุ้งกระจายทั่วห้องทดสอบ
4. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.4 L/min โดยใช้ $NaHSO_3$ เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม
5. ปิเปตสารดูดซึมที่ได้ ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL
6. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีของ NIOSH 3500
7. ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
8. คำนวณความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

3.3.5.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลแต่ละยี่ห้อขณะจอดนิ่ง ในสภาวะจอดรถในที่ร่มและสภาวะจอดรถกลางแจ้ง ว่ามีความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์แตกต่างกันหรือไม่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เลือกใช้โปรแกรม SPSS ในการประมวลผลเพื่อหาค่าสถิติทดสอบสมมติฐาน ทำการตั้งสมมติฐาน 2 ประการ เช่น สมมติฐานที่ 1 (H_0 = ความเข้มข้นของHCHO ในรถยนต์ทุกยี่ห้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) และสมมติฐานที่ 2 (H_1 = ความเข้มข้นของHCHO ในรถยนต์อย่างน้อย 2 ยี่ห้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว หรือ ONE WAY ANOVA ถ้าค่านัยสำคัญในตาราง ANOVA มีค่าต่ำกว่า 0.05 ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.05 ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างตำรับทดลอง (Treatment) ด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) รายละเอียดผลการวิเคราะห์ทั้งหมดดังภาคผนวก จ

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ ได้แก่ การจอดรถยนต์ในที่ร่ม และการจอดรถยนต์กลางแจ้ง สถานที่เก็บตัวอย่าง คือ ลานจอดรถใต้ตึกปฏิบัติการหลังใหม่และลานจอดรถหน้าศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะและน้ำเสียชุมชน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ รวมทั้งทำการศึกษาสภาวะการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศอย่างง่าย ดังนั้นผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ผลการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล สภาวะในที่ร่มและกลางแจ้ง ส่วนที่ 2 ผลการเก็บตัวอย่างฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อ และส่วนที่ 3 ผลการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

4.1 การประกันคุณภาพ

4.1.1 การประกันคุณภาพในการเก็บตัวอย่าง

1. การเปรียบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล

ทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำไปหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(%RSD) โดยต้องมีค่าไม่เกิน 10 เนื่องจากมีผลต่อการคำนวณปริมาณอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ จากการคำนวณพบว่า มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 0.2-2.0 จึงถือได้ว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลมีอัตราการไหลคงที่ สามารถใช้ในการคำนวณปริมาณอากาศได้ถูกต้อง ดูรายละเอียดดังภาคผนวก ข.

2. ความสามารถในการเก็บสารฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศ โดยไม่หลุดลอดออกไป (Breakthrough test)

ในการตรวจสอบนี้ใช้อิมพิงเจอร์ 2 ชุด คือ ชุดหน้า (Front impinger) และชุดหลัง (Back impinger) ภายในอิมพิงเจอร์ทั้ง 2 ชุด ใส่สารดูดซับ NaHSO_3 จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างอากาศ

ผ่านอิมพิงเจอร์ชุดหน้า นำสารที่อยู่ในชุดหน้าและชุดหลังมาวิเคราะห์หาฟอร์มัลดีไฮด์ จากการตรวจวัดพบฟอร์มัลดีไฮด์ในอิมพิงเจอร์ชุดหน้าเท่านั้น แสดงว่าไม่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านจากอิมพิงเจอร์ชุดหน้ามายังอิมพิงเจอร์ชุดหลัง จึงถือได้ว่าสามารถจับฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศได้หมดและการเก็บตัวอย่างอากาศในแต่ละครั้งไม่เกิดสถานะ Breakthrough แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การตรวจวัด HCHO ในอิมพิงเจอร์ชุดหน้า (Front impinger) และชุดหลัง (Back impinger)

ครั้งที่	[HCHO] ที่ตรวจวัดได้ (ppb)		อุณหภูมิ (°C) ในห้องทดสอบ
	ชุดหน้า (Front impinger)	ชุดหลัง (Back impinger)	
1	3.12	0.01	28.60
2	2.75	0.00	28.80
3	3.04	0.00	29.10
เฉลี่ย	2.97	0.00	28.83

4.1.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

1. การทำกราฟมาตรฐานความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์

จากการทำกราฟมาตรฐานความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ ค่า R^2 ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.99935 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสามารถใช้เป็นกราฟมาตรฐานในการเทียบความเข้มข้นได้ดี ดังภาคผนวก ข.

2. การตรวจสอบสารรบกวนในการวิเคราะห์

สารจำพวกกรดอินทรีย์และสารประกอบคีโตน อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากโครงสร้างมีหมู่คาร์บอนิล (C=O) เป็นองค์ประกอบ จึงทำการตรวจสอบโดยใช้ Acetic acid ซึ่งเป็นสารจำพวกกรดอินทรีย์ และ Acetone ซึ่งเป็นสารจำพวกสารประกอบคีโตนในการวิเคราะห์ จากการตรวจวัดไม่พบ Acetic acid และ Acetone เนื่องจากมีค่า

ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดจึงถือได้ว่าสารทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์

3. การทำความสะอาดห้องทดสอบหลังการเก็บตัวอย่างอากาศ

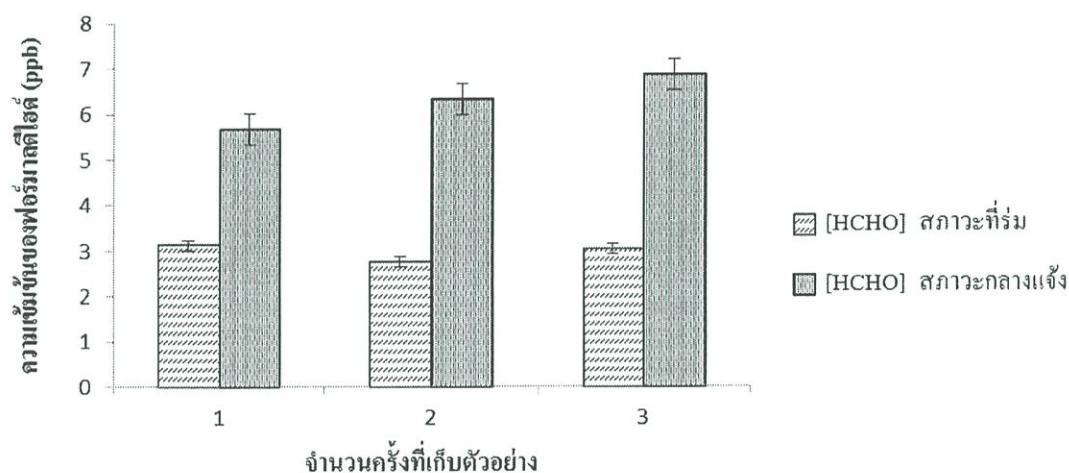
หลังการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบแต่ละครั้ง เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าไม่มีสารฟอร์มัลดีไฮด์ตกค้างภายในห้องทดสอบก่อนเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป จึงทำความสะอาดห้องทดสอบโดยใช้ Activated carbon ใส่ในอิมพิงเจอร์ และทำการเก็บอากาศเป็นเวลา 30 นาที อากาศภายในห้องทดสอบจะถูกดูดมายังอิมพิงเจอร์ที่มีถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างอากาศภายในห้องทดสอบหลังจากใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับแล้ว จากการตรวจวัดหาฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่า ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด จึงถือได้ว่าไม่มีการตกค้างของฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การตรวจวัด HCHO ภายในห้องทดสอบหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	[HCHO] ที่ตรวจวัดได้ (ppb)	อุณหภูมิ (°C)
1	0.028	29.90
2	0.010	30.20
3	0.015	30.40
เฉลี่ย	0.018	30.17

4.2 การตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศ (Ambient air) ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ 2 จุด จุดที่ 1 คือ บริเวณลานจอดรถใต้ตึกปฏิบัติการหลังใหม่ และจุดที่ 2 คือ บริเวณลานจอดรถหน้าศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะและน้ำเสียชุมชน โดยทั้ง 2 จุดเก็บตัวอย่างมีสถานะแตกต่างกัน ได้แก่ สถานะในร่มและสถานะกลางแจ้ง ตามลำดับ เก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 180 นาที ผลการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศทั้ง 2 จุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของ HCHO บริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (สถานะที่ร่ม) และจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 (สถานะกลางแจ้ง)

ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้บริเวณจุดที่ 1 ซึ่งเป็นสถานะที่ร่ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.97 ± 0.19 ppb และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.7 องศาเซลเซียส ส่วนจุดที่ 2 ซึ่งเป็นสถานะกลางแจ้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.29 ± 0.60 ppb และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 39.1 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าในสถานะกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงกว่าสถานะที่ร่ม เนื่องจากบริเวณดังกล่าวอยู่ใกล้กับถนนที่มีการจราจรทุกช่วงเวลา และยังเป็นบริเวณที่มีกิจกรรมเกี่ยวกับการหมักผลไม้และเศษอาหาร ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้อาจส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศ เพราะไอ

ระเหยของก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักและควันเสียของรถยนต์ที่ติดตั้งก๊าซ NGV สามารถเกิดปฏิกิริยากลายเป็นฟอร์มัลดีไฮด์ได้ นอกจากนี้บริเวณจุดเก็บตัวอย่างเป็นสภาวะกลางแจ้งที่มีอุณหภูมิสูงและมีแสงแดด ส่งผลให้เกิดการออกซิไดซ์มีเทนในบรรยากาศกลายเป็นฟอร์มัลดีไฮด์ได้มากกว่าในสภาวะที่ร่ม

ตารางที่ 4.3 การตรวจวัด HCHO เทียบกับแหล่งอื่น

สถานที่ตรวจวัด	[HCHO] (ppb)	หมายเหตุ
KMITL - จุดที่ 1 สภาวะที่ร่ม - จุดที่ 2 สภาวะกลางแจ้ง	2.97 ± 0.19 6.29 ± 0.60	ตรวจวัดเองในช่วงเดือนมิ.ย.– ก.ค. 2556 ตั้งแต่เวลา 9.00-12.00
อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ สนามกีฬาแห่งชาติปทุมวัน	1.28 ± 0.50 0.85 ± 0.50	อ้างอิงจากจากรูวรรณ (2553) โดยตรวจวัด ในช่วงเดือน ธ.ค. – ม.ค. 2553 ตั้งแต่เวลา 9.00–12.00
KMITL - ห้องเก็บสารเคมี - ห้องปฏิบัติการเคมี - ห้องปฏิบัติการชีววิทยา	182.8 ± 9.47 8.32 ± 3.18 35.83 ± 8.69	อ้างอิงจากคมกริช (2551) โดยตรวจวัด จากแหล่งกำเนิดในปี 2551
หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สี่แยกซอยจินดา	4.24 ± 1.10 7.22 ± 1.30	อ้างอิงจากปรางทิพย์ (2550) โดยตรวจวัด ในปี 2550

จากตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้เมื่อเทียบกับแหล่งอื่น พบว่าจุดที่ 2 สภาวะกลางแจ้งมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ใกล้เคียงกับบริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์และสี่แยกซอยจินดา ซึ่งทั้ง 2 จุดเป็นบริเวณที่มีการจราจรทุกช่วงเวลาหากเป็นการตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ห้องปฏิบัติการที่มีการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ จะพบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในระดับที่สูง ส่วนบริเวณที่เป็นที่โล่งและมีลมพัดผ่านตลอดเวลาอย่างเช่นสนามกีฬา จะพบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในระดับที่ต่ำ นอกจากนั้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคมที่ทำการเก็บตัวอย่าง

อากาศมีฝนตกบ่อยครั้ง อาจเป็นไปได้ว่าก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศละลายไปพร้อมกับน้ำฝน หรือเกิดการรวมตัวกับไอน้ำในอากาศกลายเป็นละอองไอ เนื่องจากโครงสร้างของสารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นประเภทมีขั้ว ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำสูงส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ขึ้นอยู่กับแหล่งที่ทำการตรวจวัดและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณนั้น

4.3 การตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่นำมาเป็นตัวอย่างศึกษานี้ ได้จากการสุ่มเลือกรถยนต์ของบุคลากรและนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยจำกัดให้มีปริมาตรลูกสูบเท่ากับ 1,500 CC. และจำกัดอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2556 ตั้งแต่เวลา 9.00-12.00 น.

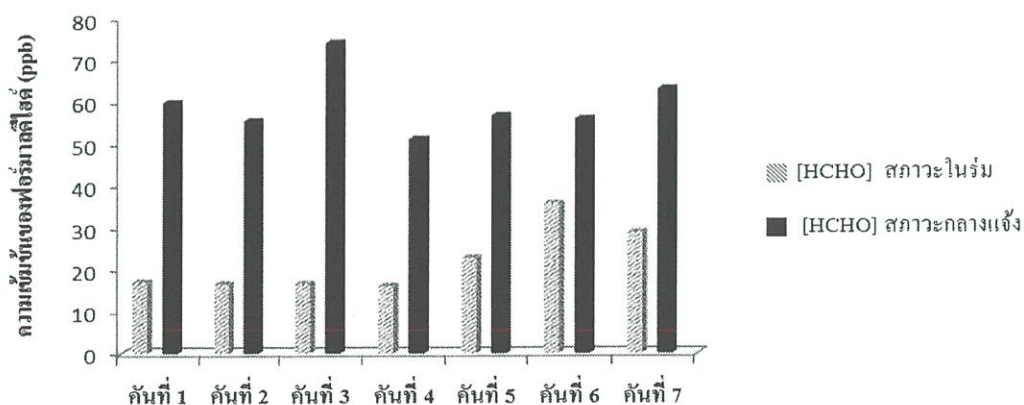
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่จอดนิ่ง ภายใต้สภาวะที่ร้อนและกลางแจ้ง

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล โดยการสุ่มเลือกรถยนต์ยี่ห้อ A จำนวน 7 คัน จากการสังเกตเบื้องต้น พบว่า รถยนต์ทุกคันมีสภาพการใช้งานปกติ ไม่เคยประสบอุบัติเหตุที่อาจทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวของเครื่องยนต์ บางคันอาจมีการตกแต่งอุปกรณ์ภายในเพิ่มเติมบ้างซึ่งข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของรถยนต์ทั้ง 7 คัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 ข้อมูลรายละเอียดของรถยนต์ตัวอย่างทั้ง 7 คัน

คันที่	อุปกรณ์ตกแต่งภายใน		การทำความสะอาดภายในรถ		หมายเหตุ
	ดั้งเดิม	เพิ่มเติม	ประจำ	นานครั้ง	
2	✓		✓		
3		✓		✓	มีลามิเนตตกแต่ง
4	✓		✓		
5	✓			✓	
6	✓			✓	ลงน้ำยาขัดเงาในวันที่ เก็บตัวอย่าง, มีน้ำหอม ปรับอากาศ
7		✓		✓	มีการติดพรม คอนโซล หน้า

ดำเนินการเก็บตัวอย่างภายใต้สภาวะ 2 สภาวะ ได้แก่ จอครถในที่ร่ม และจอครถกลางแจ้ง อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 180 นาที ผลการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์ทั้ง 7 คัน แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 2 ความเข้มข้นของ HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A ที่จอดนิ่ง ภายใต้สภาวะที่ร่มและกลางแจ้ง

ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยในรถยนต์ที่จอดในที่ร่มมีค่าเท่ากับ 22.06 ± 7.67 ppb และมีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารเฉลี่ย 30.45 องศาเซลเซียส ส่วนรถยนต์ที่จอดกลางแจ้งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 59.36 ± 7.46 ppb และมีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารเฉลี่ย 36.85 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า รถยนต์ที่จอดกลางแจ้งมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่ารถยนต์ที่จอดในที่ร่ม เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องโดยสารที่สูงกว่าส่งผลให้ฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมายังห้องโดยสารของรถยนต์ได้มากยิ่งขึ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธีวิเคราะห์ T-test พบว่า ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานะที่ร่มและกลางแจ้งของรถยนต์ยี่ห้อ A แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ในสถานะที่ร่ม พบว่า รถยนต์คันที่ 6 มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า รถยนต์คันที่ 6 มีน้ำหอมปรับอากาศและมีการใช้น้ำยาขัดเงาเบาะรถยนต์ ภายหลังจากการทำความสะอาดในวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งน้ำหอมปรับอากาศและน้ำยาขัดเงาเหล่านี้มีส่วนผสมของฟอร์มาลดีไฮด์ ทำให้รถยนต์คันที่ 6 มีไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร อาจถือได้ว่าน้ำหอมปรับอากาศและการใช้น้ำยาขัดเงาเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารรถยนต์เพิ่มสูงขึ้นแม้จะอยู่ในสถานะที่ร่ม ส่วนในสถานะกลางแจ้งนั้น พบว่า รถยนต์คันที่ 3 มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า รถยนต์คันที่ 3 มีอุปกรณ์ตกแต่งภายในเพิ่มเติมจากที่โรงงานผลิต นั่นคือ มีการใช้ลามิเนตตกแต่งในส่วนของพวงมาลัยรถยนต์ ซึ่งลามิเนตมีส่วนผสมของ Melamine formaldehyde resins (MF) จึงอาจถือได้ว่าลามิเนตที่ใช้ตกแต่งนี้เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องโดยสารรถยนต์คันที่ 3 เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรถยนต์จอดอยู่ในสถานะกลางแจ้ง ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ตัวแปรที่สามารถส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารรถยนต์นอกจากอุณหภูมิที่สูงแล้ว การใช้น้ำหอมปรับอากาศ, การใช้น้ำยาขัดเงา และอุปกรณ์ตกแต่งเพิ่มเติมอย่างเช่น ลามิเนต มีผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ภายในห้องโดยสารรถยนต์

จากข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยา วันที่ตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานะกลางแจ้ง พบว่า บริเวณที่เก็บตัวอย่างมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 24.94 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.76 องศาเซลเซียส ดังภาคผนวก ค ในวันที่มีความเร็วลมต่ำ อุณหภูมิบริเวณนั้นจะสูง เนื่องจากมีลมพัดผ่านน้อยทำให้อากาศไม่เกิดการผสมกัน จึงเกิดการสะสมความร้อนขึ้นในบริเวณดังกล่าว และเมื่อ

อุณหภูมิภายนอกสูงจะเกิดการสะสมความร้อนภายในรถยนต์ด้วย ทำให้เป็นการเร่งอัตราการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร จากการที่รถยนต์จอดนิ่งในลักษณะที่เป็นระบบปิดและไม่มี การเปิดระบบการทำงานใดๆ ลมที่พัดผ่านบริเวณจุดเก็บตัวอย่างจึง ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วลมมีผลต่ออุณหภูมิภายในห้องโดยสารเท่านั้น

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A ขณะเคลื่อนที่

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A จำนวน 1 คัน จากอาสาสมัครที่ต้องการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร เมื่อรถยนต์เริ่มเคลื่อนที่จะเริ่มเก็บตัวอย่างโดยขับไปในเส้นทางเดิมและเก็บตัวอย่างตลอดระยะเส้นทางที่เคลื่อนที่ไป อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ผลการตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์แสดงได้ดังตารางที่ 4.5 (n=3)

ตารางที่ 4.5 การตรวจวัด HCHO ในรถยนต์ยี่ห้อ A

ครั้งที่	สภาพการจราจร	ระยะเวลาในการวิ่ง (min)	อุณหภูมิภายใน (°C)	[HCHO] ที่ตรวจวัดได้ (ppb)
1	คล่องตัว	45	26.53	21.83
2	ค่อนข้างหนาแน่น	47	26.03	32.97
3	ค่อนข้างหนาแน่น	47	25.33	29.18
เฉลี่ย		46.33	25.96	27.99 ± 5.7

จากการตรวจวัด พบว่า ค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ขณะเคลื่อนที่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.99 ± 5.7 ppb และมีอุณหภูมิภายในห้องโดยสารเฉลี่ย 25.96 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในห้องโดยสารค่อนข้างต่ำ ทั้งที่รถเคลื่อนที่ในสภาวะกลางแจ้ง ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างที่เก็บตัวอย่าง มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ทำให้อุณหภูมิภายในห้องโดยสารต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารไม่สูง

มากนัก สภาพการจราจรเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า สภาพการจราจรที่ค่อนข้างหนาแน่นสามารถตรวจพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารได้มากกว่าสภาพการจราจรที่คล่องตัว การปล่อยไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์บริเวณรอบๆ ส่งผลให้มีสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) อยู่ในบรรยากาศภายนอก รวมถึงฟอร์มาลดีไฮด์ จากผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ 2550 พบว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์มีส่วนผสมของเอทานอลที่มีความดันไอสูงกว่าน้ำมันเบนซิน ทำให้มีปริมาณไอระเหยสูงกว่าน้ำมันเบนซิน จากการศึกษาภายในรถยนต์มีระบบหมุนเวียนอากาศจึงเกิดการแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอก โดยอากาศภายในห้องโดยสารที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนอยู่สามารถระบายออกสู่อากาศภายนอกได้และในทางกลับกันอากาศภายนอกสามารถเข้ามาภายในห้องโดยสารได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ในสภาวะที่รถยนต์มีการเคลื่อนที่ ระบบปรับอากาศระบบหมุนเวียนอากาศ และสภาพการจราจรขณะนั้น มีผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร

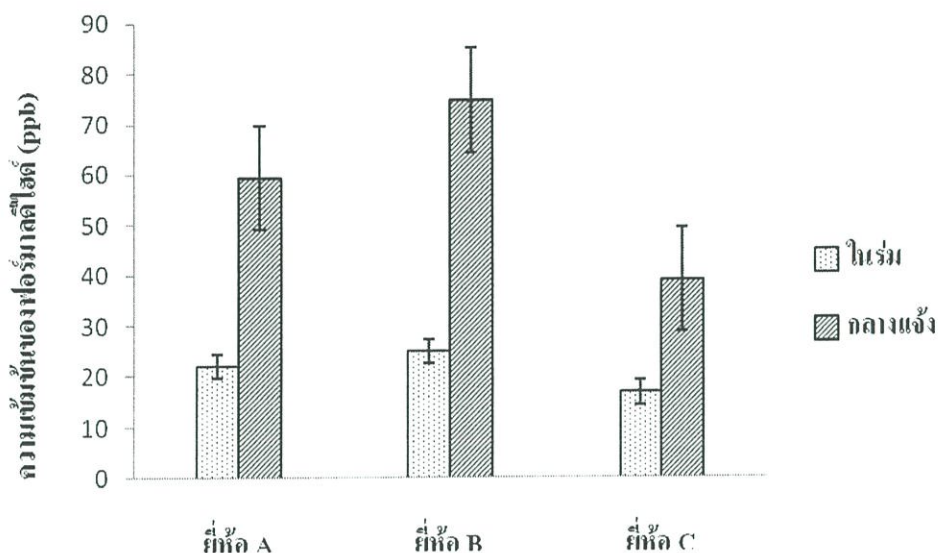
4.4 ยี่ห้อรถยนต์กับการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกมาภายในห้องโดยสาร

รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่นำมาเป็นตัวอย่างศึกษานี้ ได้จากการสุ่มเลือกรถยนต์ของบุคลากรและนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยสุ่มเลือกมาจำนวน 3 ยี่ห้อ จำกัดให้มีปริมาตรลูกสูบเท่ากับ 1,500 CC. และจำกัดอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลจำนวน 3 ยี่ห้อ ที่จอดนิ่งภายใต้สภาวะในร่มและกลางแจ้ง

ทำการเก็บตัวอย่างในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A, B และ C ยี่ห้อละ 1 คัน จากอาสาสมัครที่ต้องการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร จากการสังเกตเบื้องต้น พบว่า รถยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีสภาพการใช้งานที่ปกติ ไม่เคยประสบอุบัติเหตุที่อาจทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวของเครื่องยนต์ โดยรถยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อใช้อุปกรณ์ตกแต่งดั้งเดิมจากโรงงานที่ผลิต

ใช้อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาทีระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 180 นาที ผลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดในที่ร่มและกลางแจ้ง (n=7) แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของ HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดในที่ร่มและกลางแจ้ง

จากการตรวจวัด พบว่า รถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดในที่ร่ม มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 22.06 ± 7.7 ppb, 24.99 ± 9.8 ppb และ 16.77 ± 6.3 ppb ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way Anova) พบว่า รถยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ขณะที่จอดกลางแจ้งของรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.36 ± 7.5 ppb, 74.69 ± 19.6 ppb และ 39.09 ± 11.4 ppb ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่า รถยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อย่างน้อย 1 คู่ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD พบว่า รถยนต์ยี่ห้อ A และ B มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ส่วนรถยนต์ยี่ห้อ C เมื่อเทียบกับยี่ห้อ A และ B พบว่ามีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยแตกต่างกับยี่ห้อ A และ B อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากรูปที่ 4.4 พบว่า ในสถานะที่ร่มและกลางแจ้ง รถยนต์ยี่ห้อ B มีค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสาร

สูงที่สุด จึงอาจสันนิษฐานได้ว่า อุปกรณ์ตกแต่งต่างๆ ภายในห้องโดยสารรถยนต์ยี่ห้อ B มีฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่สูงกว่ายี่ห้อ A และ C โดยอุปกรณ์ตกแต่งเหล่านี้มักใช้สารที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนผสม เช่น Melamine formaldehyde resins (MF), Phenol formaldehyde resins (PF) หรือ Methylene bis (dephenyl di-isocyanate) (MDI) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอุปกรณ์ตกแต่งเหล่านี้อาจมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่แตกต่างกันในแต่ละยี่ห้อ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นๆ นอกจากนี้กาวที่ใช้สำหรับติดอุปกรณ์ภายในห้องโดยสาร เช่น คอนโซลหน้า เบาะนั่ง ยางขึ้นขอบประตูและกระจก อาจมีการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ เนื่องจากมี Urea formaldehyde (UF) เป็นส่วนผสม ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า อุปกรณ์ตกแต่งภายในห้องโดยสารรวมทั้งกาวที่ใช้ในการติดอุปกรณ์เหล่านี้ ส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกมาภายในห้องโดยสารรถยนต์แต่ละยี่ห้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรถยนต์จอดอยู่ในสภาวะกลางแจ้ง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงนี้จะช่วยเร่งอัตราการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในกาวและอุปกรณ์ตกแต่งต่างๆ

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลจำนวน 3 ยี่ห้อ ขณะที่เคลื่อนที่

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 1 คัน โดยเป็นคันเดียวกันกับที่ทำการตรวจวัดขณะจอดนิ่ง เมื่อรถยนต์เริ่มเคลื่อนที่จะเริ่มเก็บตัวอย่างพร้อมกันทั้ง 3 ยี่ห้อ โดยขับไปในเส้นทางเดียวกัน และเก็บตัวอย่างตลอดระยะเส้นทางที่เคลื่อนที่ไป อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ผลการตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C ขณะที่เคลื่อนที่ แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.6 (n=3)

ตารางที่ 4.6 การตรวจวัด HCHO ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลยี่ห้อ A, B และ C ขณะที่เคลื่อนที่

ครั้งที่	ยี่ห้อ A		ยี่ห้อ B		ยี่ห้อ C	
	อุณหภูมิภายใน (°C)	[HCHO] (ppb)	อุณหภูมิภายใน (°C)	[HCHO] (ppb)	อุณหภูมิภายใน (°C)	[HCHO] (ppb)
1	26.53	21.83	26.31	25.00	25.67	17.96
2	26.03	32.97	25.43	40.21	26.43	15.93
3	25.33	29.18	25.77	22.42	26.50	24.10
เฉลี่ย	25.96	27.99 ± 5.7	25.84	29.21 ± 9.6	26.20	19.33 ± 4.3

ในขณะที่รถเคลื่อนที่สภาพการจราจรในขณะนั้นค่อนข้างหนาแน่น ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ในรถยนต์ยี่ห้อ A , B และ C มีค่าเท่ากับ 27.99 ± 5.7 ppb , 29.21 ± 9.6 ppb และ 19.33 ± 4.3 ppb ตามลำดับ โดยขณะที่เก็บตัวอย่าง รถยนต์มีการใช้งานระบบปรับอากาศและระบบหมุนเวียนอากาศเช่นเดียวกันทั้ง 3 ยี่ห้อ จากตารางที่ 4.6 ภายในห้องโดยสารของรถยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน พบว่า ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องโดยสารของรถยนต์ยี่ห้อ B มีค่าโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในขณะที่รถยนต์ยี่ห้อ B จอดนิ่ง

จากการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ทั้งในสภาวะที่ร่วม สภาวะกลางแจ้ง และขณะที่เคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่า ทุกสภาวะมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาภายในห้องโดยสารในระดับที่ต่ำกว่า 0.1 ppm จึงถือว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ขับขี่รถยนต์ แต่หากได้รับการสัมผัสอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวเนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์อาจเป็นสารก่อมะเร็งได้ถ้าความเข้มข้นเกิน 0.003 ppm ตามมาตรฐานของ Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ เพื่อลดระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งได้

4.5 การศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์

ในการศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ ทำได้โดยการสร้างสภาวะจำลองในห้องทดสอบที่มีปริมาตรเท่ากับ 12.5 ลิตร ใส่สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงไปในห้องทดสอบ โดยมีสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารช่วยเร่งการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ จากข้อมูลของ Material safety data sheet (MSDS) พบว่าฟอร์มาลดีไฮด์เป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และเกิดการดูดซึมได้ดีกับสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ในการศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ นอกจากนี้สารละลายทั้งสองชนิดสามารถหาได้ง่ายและมีความเหมาะสมในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มการละลายของฟอร์มาลดีไฮด์ โดยทำการศึกษาใน 2 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่มีการดึงอากาศ (พ่นอากาศ) ลงในของเหลว และสภาวะที่ไม่มี การดึงอากาศภายในห้องทดสอบเข้าสู่

สารละลายทั้งสองชนิดทำการเก็บตัวอย่างอากาศในห้องทดสอบเป็นเวลา 30 นาที อัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที

ตารางที่ 4.7 การตรวจวัด HCHO ภายในห้องทดสอบ

ครั้งที่ 1	อุณหภูมิ (°C)	[HCHO] (ppb)
1	28.6	700.96
2	28.4	627.61
3	29.0	756.79
เฉลี่ย	28.7	695.12 ± 64.7

ตารางที่ 4.8 การบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายในห้องทดสอบ

สถานะที่ศึกษา	[HCHO] โดยเฉลี่ย (ppb)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
	ในสารละลาย	ในห้องทดสอบ	
น้ำกลั่นที่ไม่มีการพ่นอากาศ	79.4 ± 28.84	237.64 ± 81.65	29.5
น้ำกลั่นที่มีการพ่นอากาศ	438.43 ± 17.23	85.96 ± 58.49	29.6
NaHSO ₃ ที่ไม่มีการพ่นอากาศ	98.27 ± 25.20	145.81 ± 26.41	29.4
NaHSO ₃ ที่มีการพ่นอากาศ	145.91 ± 84.52	91.19 ± 44.26	29.5

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าในสถานะน้ำกลั่นที่ไม่มีการพ่นอากาศมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายต่ำกว่าสถานะที่มีการพ่นอากาศ และในสถานะที่ใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ไม่มีการพ่นอากาศพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายต่ำกว่าสถานะที่มีการพ่นอากาศเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า การดึงอากาศภายในห้องทดสอบเข้าสู่สารละลายทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ละลายลงสู่สารละลายได้มากขึ้น สืบเนื่องจากปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่หลงเหลือภายในห้องทดสอบ หากพิจารณาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายทั้งสองชนิดที่ไม่มีการพ่นอากาศ จะ

พบว่าสถานะที่ใช้ น้ำกลั่น มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายต่ำกว่าสถานะที่ใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ถูกจับอยู่บนผิวหน้าของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้มากกว่าน้ำกลั่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในสถานะที่ไม่มี การพ่นอากาศ สารละลายทั้งสองชนิดสามารถบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ในระดับหนึ่ง โดยที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถจับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผิวหน้าได้ดีกว่า ในสถานะที่มีการพ่นอากาศของสารละลายทั้งสองชนิด พบว่า ในน้ำกลั่นมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากข้อมูล MSDS ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถละลายในน้ำได้ดี และมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.62 ซึ่งน้อยกว่าอากาศทำให้สามารถระเหยจากสารละลายไปสู่อากาศได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในสถานะที่มีการพ่นอากาศ ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถละลายลงสู่น้ำกลั่นได้ดียิ่งขึ้น และสามารถละลายลงสู่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้บ้าง แต่ในขณะเดียวกันฟอร์มาลดีไฮด์มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศจึงสามารถระเหยออกจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เช่นเดียวกัน ทำให้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่าในน้ำกลั่น

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สถานะที่มีการดึงอากาศภายในห้องทดสอบเข้าสู่ สารละลายทั้งสองชนิดสามารถบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีกว่าสถานะที่ไม่มี การดึงอากาศ ซึ่งเป็นไปตามสมบัติของการละลาย นั่นคือ เมื่อมีการดึงอากาศลงในสารละลายจะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เจือปนกับสารละลาย ดังนั้น การดึงอากาศลงในสารละลายที่มีคุณสมบัติในการจับฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศและสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ โดยการใช้ น้ำที่สามารถหาได้ง่ายและมีความสะดวกในการใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ จากตัวอย่างรถยนต์ที่สุ่มเลือกมาจำนวน 7 คัน ได้ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ที่จอดนิ่งในที่ร่มอยู่ระหว่าง 16.0-35.2 ppb อุณหภูมิภายในรถยนต์เฉลี่ย 30.45 องศาเซลเซียส และผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ที่จอดนิ่งกลางแจ้งมีค่าอยู่ระหว่าง 51.0-74.3 ppb อุณหภูมิภายในรถยนต์เฉลี่ย 36.85 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ที่จอดในที่ร่มและกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ส่วนผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ที่เคลื่อนที่ มีค่าอยู่ระหว่าง 22.0-43.0 ppb อุณหภูมิภายในรถยนต์เฉลี่ย 29.75 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าความเข้มข้นและอุณหภูมิใกล้เคียงกับรถยนต์ที่จอดนิ่งในที่ร่ม

5.2 การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคล จำนวน 3 ยี่ห้อ ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ จากตัวอย่างรถยนต์ที่สุ่มเลือกมาจำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A, B และ C ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดในที่ร่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.06 ± 7.7 ppb, 24.99 ± 9.8 ppb และ 16.77 ± 6.3 ppb ตามลำดับ ส่วนผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C ที่จอดกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.36 ± 7.5 ppb, 74.69 ± 19.6 ppb และ 39.09 ± 11.4 ppb ตามลำดับ รถยนต์ยี่ห้อ A และยี่ห้อ B มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ส่วนรถยนต์ยี่ห้อ C เมื่อเทียบกับยี่ห้อ A และยี่ห้อ B พบว่ามีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์โดยเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ส่วนผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ขณะที่รถเคลื่อนที่ ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.87 ± 5.1 ppb, 34.62 ± 2.6 ppb และ 32.94 ± 2.7 ppb ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นไม่แตกต่างกันมากนัก

5.3 การศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานะที่ใช้น้ำกลั่นที่ไม่มีการพ่นอากาศ พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายเท่ากับ 79.4 ± 28.84 ppb , ในสถานะที่ใช้น้ำกลั่นที่มีการพ่นอากาศ พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายเท่ากับ 438.43 ± 17.23 ppb, ในสถานะที่ใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ไม่มีการพ่นอากาศ พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายเท่ากับ 98.27 ± 25.20 ppb, และในสถานะที่ใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ที่มีการพ่นอากาศ พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายเท่ากับ 145.91 ± 84.52 ppb จากผลการทดลอง พบว่า ในสถานะที่มีการดึงอากาศ (พ่นอากาศ) ภายในห้องทดสอบเข้าสู่สารละลายสามารถบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีกว่า เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์สามารถละลายลงในสารละลายได้ดียิ่งขึ้น การพ่นอากาศจะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เจือปนกับสารละลาย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การพ่นอากาศลงในสารละลายที่มีคุณสมบัติในการจับฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศและสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

1. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ทำให้บางช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอากาศไม่ได้ ส่งผลให้การทดลองล่าช้าออกไป
2. การเก็บตัวอย่างในรถยนต์ค่อนข้างมีอุปสรรคมาก เนื่องจากต้องเก็บตัวอย่างในวันที่เจ้าของรถยนต์มีความสะดวกที่จะให้เก็บตัวอย่าง
3. การเก็บตัวอย่างในรถยนต์ที่เคลื่อนที่ค่อนข้างมีข้อจำกัด เนื่องจากในวันที่เก็บตัวอย่างต้องนั่งไปกับเจ้าของรถยนต์ด้วย เพื่อดูแลรักษาอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่าง และต้องนำตัวอย่างกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. จากปริมาณความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่ตรวจวัดได้ ผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์และอุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์ต่างๆ ควรเลือกใช้วัสดุ พอลิเมอร์ หรือสารตัวอื่นแทนการใช้วัสดุที่มีส่วนผสมของฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์
2. เจ้าของรถยนต์หรือผู้ที่ขับขี่รถยนต์เป็นประจำ ควรมีการเปิดประตูหรือกระจกทิ้งไว้สักพักก่อนเข้าไปนั่งในรถยนต์ เพื่อเป็นการระบายไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์
3. หากเลือกได้ควรนำรถไปจอดไว้ในที่ร่ม เพราะการจอดกลางแจ้งเป็นเวลานานจะเป็นการเร่งอัตราการปล่อยสารฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์
4. ควรทำการทดลองหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในชิ้นส่วนของรถยนต์ที่เป็นอุปกรณ์ตกแต่งภายในห้องโดยสารแต่ละชิ้น เพื่อทราบอัตราการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ในชิ้นส่วนต่างๆ
5. ควรมีการศึกษาวิจัยการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นภายในรถยนต์ เพื่อลดปัญหาของผู้ขับขี่

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก :

<http://msds.pcd.go.th/index.asp> (วันที่ค้นข้อมูล: 8 กันยายน 2556)

กรมควบคุมมลพิษ. 2543.ฟอร์มาลดีไฮด์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรตเต็ด โพรโมชัน เทคโนโลยี.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูง ฟอร์มาลดีไฮด์

(Formaldehyde). กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอ็ม ซี ซิลลาบัส จำกัด

กรมศุลกากร. 2550. สถิติการนำเข้า-ส่งออกถ่านกัมมันต์. เข้าถึงได้จาก :

<http://www.customs.go.th/statistic/statisticindex.jsp> (วันที่ค้นข้อมูล: 8 กันยายน 2556)

การหาฟอร์มาลีนในอาหารทะเลโดยวิธีสเปกโตรเมทรี.(ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก :

<http://kb.tsu.ac.th/jspui/bitstream/123456789/1332/1/105255.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2556).

แก้ว ขจรไชยกุล. 2543. การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล. สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คมกริช ชันก้อน, ธนากร สารทไทย และ ปาจารย์ พุทธขาว . 2551. การตรวจวัดปริมาณ ฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรบัณฑิต สาขาเคมี สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จารูวรรณ เพ็ชรเจริญผล ,ปริดารัตน์ พลละเอียด และ ภัทธา กลมอ่อน. 2552. การตรวจวัด ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ จากการจราจร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉลาดใช้ผลิตภัณฑ์ : เกี่ยวกับสารเคมี. 2553. น้ำหอมปรับอากาศ (Air Freshener). เข้าถึงได้จาก :

<http://www.chemtrack.org> (วันที่ค้นข้อมูล : 15 สิงหาคม 2556).

- ณรงค์ คชภักดี, สมพร จันทระ และ เพรศพิชญ์ คุณาธารณา. 2548. การพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสตีฟและเอกซ์พอแซมเบอร์สำหรับการหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ภายในอาคาร. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ดร.ถาวร วัชรภักย์. 2535. การตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคารโดยใช้ท่อบรรจุตัวดูดซับชนิดของแข็ง. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.thaithesis.org/detail.php?id=1082540000428> (วันที่ค้นข้อมูล : 15 สิงหาคม 2556)
- ดร. สุเทพ เรืองวิเศษ. 2551. Risk Assessment เพื่อการจัดการสารเคมีของประเทศ. คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดิยพร ชูโณม , ธัญวรรณ ตันตรีบุรณ์ , เสาวลักษณ์ ดิลกสิริพานิช และ อนันตญา ณ ตะกั่วทุ่ง. กาวและสารเคลือบผิว. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก : http://www.slideshare.net/pack_agro_33/pptx-8720447 (วันที่ค้นข้อมูล: 5 กรกฎาคม 2556)
- นพดล เวชวิฐาน. 2550. เครื่องยนต์แก๊สโซลีน. สำนักพิมพ์ส่งเสริมสมาคมไทยญี่ปุ่น. หน้า 189-208.
- เบญญาภา เมธาวราพร. 2556. ฟอร์มาลีน ภัยเงียบในความหอมจากพวงมาลัย. ศูนย์เฝ้าระวังและพิสูจน์สินค้าที่ไม่ปลอดภัย. กองเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค.
- ปรารงค์ทิพย์ แก้วเพ็งกรอ, วัลลวี นัฐสถาพร. 2550. การศึกษาความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ. ปริญญาโท วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พฤกษ์ พงศ์พุกษา. 2544. ฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดสารไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พรรณวดี สุวิฒิกะ. 2547. การระบุสัดส่วนแหล่งที่มาของสารอินทรีย์หยาบได้ในบรรยากาศ กรุงเทพมหานคร. หลักสูตรสหสาขาวิชาการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (นานาชาติ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พัฒนัทนันท์ พรหมพงษ์, ภัทธนิดา แถวเพ็ญ และ อาทิตยา สุทธิไชยา. 2555. การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก : http://home.kku.ac.th/scenv/senior_Turenjai_thai.pdf (วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2556).
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. **ฟอร์มัลดีไฮด์**. (ม.ป.ป.). การตรวจวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศในเขตเทศบาลนครขอนแก่น โดยเทคนิค Passive Sampling: <http://th.wikipedia.org/wiki/> (วันที่ค้นข้อมูล : 15 สิงหาคม 2556).
- วรรณิ เลาวกุล. 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์การประยุกต์ใช้รีเซพเตอร์โมเดลเพื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศในเขตเมือง. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด, สาวิตรี การ์เวทย์ และพนัญช์ ขุนมงคล. 2548. อิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์และอะซีตัลดีไฮด์ในเขตชุมชนเมือง. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อนามัย (ธีรวิโรจน์) เทศกะทีก. 2555. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อันตราจากน้ำหอมปรับอากาศเข้าถึงได้จาก. 2555. เข้าถึงได้จาก : <http://www.womanandkid.com> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2556)
- Bloemen H.J.TH and Burn J. 1993. **Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment**. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall.
- Boonamnuayvitaya, V., B., Sae-ung, S. and Wiwut, T. **Preparation of activated carbon from coffee residue for the adsorption of formaldehyde**. Separation and Purification Technology. 42 (July 2005):159-168
- California Environmental Protection Agency. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก : http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/50000.pdf (วันที่ค้นข้อมูล: 10 กรกฎาคม 2556)
- Fagnani E., Melions, C.B., Pezza, L. and Pezza. HR. **Chromotropic acid- formaldehyde reaction in strongly acidic media**. The role of dissolved oxygen and replacement of concentrated sulphuric acid. *Talanta*. 60 (2003):171-176

- Flavio R. Rocha, Lucia H.G. Coelho, Marcelo L.A. Lopesa ,Lilian R.F. Carvalho, Jose A. Fracassi da Silva, Claudimir L.do Lagoa, Ivano G.R. Gutza. **Environmental formaldehyde analysis by active diffusive sampling with a bundle of polypropylene porous capillary followed by capillary zone electrophoretic separation and contactless conductivity detection.** *Talanta*. 76 (2008) 271–275
- Jing, L., Zhong, L., Bing, L., Qibin, X., Hongxia, X. **Effect of relative humidity on adsorption of formaldehyde on modified activated Carbon.** *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 16(2008):871-873
- Kumagai, S., Sasaki, K., Shimizu, Y., Takeda, K. **Formaldehyde and acetaldehyde adsorption properties of heat-treated rice husks.** *Separation and purification technology*. 61(2007):398-403
- NIOSH Manual of Analytical Method. 1994. **Method No 3500**. Fourth Edition. (Online), Available from: <http://www.cdc.gov/Niosh/nman/pdfs/3500.pdf>
- Peipei Dai, Yunshan Ge, Yongming Lin, Sheng Su, Bin Liang. Investigation on characteristics of exhaust and evaporative emissions from passenger cars fueled with gasoline/methanol blends. *Fuel*. 113 (2013) 10–16.
- Rong, H., Z., Zheng, J. and Zheng, Y. Effect of air oxidation of rayon-based activated carbon fibers on the adsorption behavior for formaldehyde. *Carbon*. 40 (March 2002):2291-2300.
- Rong, H., Z., Zheng, J. and Zheng, Y. Influence of heat treatment of rayon-based activated Carbon fiber on the adsorption behavior for formaldehyde. *Journal of colloid and Interface Science*. 261 (January 2003):207-212
- Sergio, M.C., Eduardo, M.M and Graciela A. 2002. **Formaldehyde and acetaldehyde in a high traffic street of Rio de Janeiro, Brazil.** *Atmospheric Environment* .37,23-29
- SKC Air Sampling Pump. 2008. **Personal Sampling Pumps**. USA, SKC Inc., Available from: <http://www.skcinc.com/index.asp>
- Sanook auto. **กลิ่นใหม่ อันตรายของความห่อ.** 2013. เข้าถึงได้จาก : <http://auto.sanook.com/3522m> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2556)

Toyota Motor Sales, U.S.A. เข้าถึงได้จาก : <http://www.autoshop101.com/forms/h62.pdf>.
(วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2556)

World Health Organization. 1989. **Environmental Health Criteria for Formaldehyde 89.**

ภาคผนวก ก

การคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารเคมี
ที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ก

การคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, $\text{KHC}_2\text{H}_3\text{O}_4$) ($M_w = 204.23$ กรัมต่อโมล) เข้มข้น 0.01 นอร์มัล

- นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตชนิดรีเอเจนต์เกรด ไปอบที่อุณหภูมิ $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งมา 0.2072 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ($M_w = 40$ กรัมต่อโมล) เข้มข้น 0.01 นอร์มัล

- เตรียมสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10% โดยทำการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ในขณะที่ละลายจะเกิดความร้อนขึ้น ให้แช่บีกเกอร์ลงในน้ำเพื่อถ่ายเทความร้อน จากนั้นบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ลงในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีน

- ทำการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 นอร์มัล ที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยทำการต้มน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร (ใส่ให้เกิน 1000 มิลลิลิตรเล็กน้อย) ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ใช้กระดาษฟิคาปิดปากบีกเกอร์ นำสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% มา 4 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์แล้วใช้แท่งแก้วค่อยๆคน ไม่ให้เกิดฟอง ถ่ายสารละลายลงในขวดพอลิเอทิลีนที่มีจุกเกลียวปิด

3. การเตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน (phenolphthalein)

- ละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน 0.10 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 96% ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

4. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 นอร์มัล

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มิลลิลิตร แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนบันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ครั้ง (ปริมาตรที่ใช้ต่างกันไม่เกิน 0.10 มิลลิลิตร) คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วคิดผลจากความเข้มข้นที่แน่นอน

ผลการทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N ด้วยสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต

ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ (KHP)	0.2072	g
ละลายในน้ำกลั่น	100	mL
ปริมาตรที่ใช้ครั้งละ	10	mL

ตาราง ก- 1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้
1	0	7.3	7.3
2	7.3	14.6	7.3
3	14.6	22	7.4
เฉลี่ย			7.33

การคำนวณ

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

$$\begin{aligned}
 2. \text{ การคำนวณหา[NaOH]} \quad \text{จาก} \quad N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 &0.0101 \times 10.00 &= N_2 \times 7.33 \\
 N_2 &= 0.0138 \text{ N} \\
 \text{ดังนั้น} \quad [\text{NaOH}] &= 0.0138 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ก.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก

1. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 นอร์มัล

- ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริก 98% มา 27.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 นอร์มัล

2. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล

- ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 นอร์มัล มา 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล

3. การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก 0.02 นอร์มัล

- ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล มา 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาเลอิน 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจนนีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ปริมาตรที่ใช้แตกต่างกันไม่เกิน 0.10 มิลลิลิตร คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก แล้วติดฉลากความเข้มข้นที่แน่นอนไว้

ผลการทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.0136 N
ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ครั้งละ	10.00 mL

ตาราง ก- 2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรสิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้
1	0.00	20.30	20.30
2	20.30	40.70	20.40
3	0.00	20.30	20.30
เฉลี่ย			20.33

การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 1. \text{ การคำนวณหา } [H_2SO_4] \quad \text{จาก} \quad N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 &0.0136 \times 20.33 = N_2 \times 10.00 \\
 N_2 &= 0.0276 \text{ N} \\
 \text{ดังนั้น } [H_2SO_4] &= 0.0276 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ก.3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- เจือจางสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ 40% w/v โดยปิเปตมา 2.5 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร (สารละลายนี้อยู่ได้นาน 3 เดือน)

2. เตรียมสารละลาย Sodium sulfite 1.13 โมลาร์ (เตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง)

- ชั่ง Na_2SO_3 มา 3.5606 กรัม ละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- ปิเปตสารละลาย Na_2SO_3 1.13 โมลาร์ มา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก ปรับ pH ของสารละลายเป็น 8.5-10 ด้วยสารละลายกรดหรือ

- เบส จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มา 10 มิลลิลิตร จะได้ pH เท่ากับ 11 แล้วนำมาไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02 N ให้ pH กลับมาเท่าเดิมประมาณ 8.5-10 บันทึกปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรต

** ถ้าหาก pH เกินจุดยุติ ให้ทำ back titration กลับไปจุดยุติด้วย NaOH 0.01 นอร์มัล

ตาราง ก- 3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/ml

ครั้งที่	ปริมาตร H ₂ SO ₄ เริ่มต้น	pH เริ่มต้น	ปริมาตร H ₂ SO ₄ สิ้นสุด	pH สิ้นสุด	ปริมาตร H ₂ SO ₄ ที่ใช้
1	0.00	9.00	19.40	9.00	19.40
2	0.00	9.00	19.30	9.00	19.30
3	0.00	9.00	19.40	9.00	19.40
4	0.00	9.00	19.40	9.00	19.40
5	0.00	9.00	19.40	9.00	19.40
เฉลี่ย					19.38

ผลการทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ชั่งสารโซเดียมซัลไฟต์			3.5607	g	
ละลายในน้ำกลั่น	25	mL	จะได้ความเข้มข้น	1.13	M
ปริมาตรสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้ ครั้งละ			5	mL	
ปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 mg/mL ที่ใช้ครั้งละ			10	mL	

การคำนวณหา [HCHO]

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } C_s &= \frac{30.00 (N_A \times V_A - N_B \times V_B)}{V_s} \\
 &= \frac{30.00 (0.0276 \times 19.38 - 0)}{10.00} \\
 &= 1.6047 \text{ mg/mL}
 \end{aligned}$$

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเตรียมสารโซเดียมซัลไฟต์ 1.13 M ควรเตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้ง ไม่ควรเตรียมทิ้งไว้นาน
2. การวัด pH ควรจุ่มหัวโพรบไว้ในสารละลายที่จะวัดตลอดเวลา และควรบั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กไปพร้อมกัน
3. ควรปรับ pH เริ่มต้นให้มีค่าเท่ากันในแต่ละครั้ง

ภาคผนวก ข

วิธีเก็บตัวอย่างอากาศและการสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

ภาคผนวก ข

วิธีเก็บตัวอย่างอากาศและการสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

ข.1 วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบแอคทีฟด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างส่วนบุคคล

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

1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

1.1.1 ตั้งอัตราการไหลประมาณ 400 มิลลิลิตรต่อนาที นำมาหาอัตราการไหลเฉลี่ย โดยทำการอ่านค่าอัตราการไหล 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (RSD) ประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่างอากาศตามปริมาตรที่ต้องการ ใช้การพิจารณาจากค่า %RSD ของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศโดยค่าที่ได้ควรน้อยกว่า 10% และอัตราการไหลของบีก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศไม่ควรต่างกันเกิน 10% เช่นกัน ถ้าค่าที่ได้มากกว่าค่าที่กำหนดต้องตรวจสอบอุปกรณ์ ค่าต่างๆสามารถหาได้ดังสมการ

$$X = \frac{\sum_0^n X_i}{N}$$

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

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

ตาราง ข- 1 การเปรียบเทียบอัตราการไหลการเก็บตัวอย่างในรถยนต์ส่วนบุคคล

ครั้งที่		อัตราการไหล (mL/min)										เฉลี่ย	SD	%RSD
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	ก่อน	400.99	400.9	401.32	401.37	404.24	401.33	401.75	403.91	402.07	401.25	401.91	1.19	0.29
	หลัง	384.12	385.24	389.87	384.01	385.05	386.12	386.48	387.7	387.56	387.82	386.39	1.86	0.48
2	ก่อน	400.31	402.14	403.26	402.6	403.65	403.21	399.4	404.56	399.67	405.56	402.43	2.07	0.51
	หลัง	390.21	394.75	396.63	393.87	392.87	393.3	394.29	390.23	397.87	394.2	393.82	2.42	0.61
3	ก่อน	409.81	406.26	402.45	408.52	406.32	402.51	403.24	402.31	401.31	400.5	404.32	3.18	0.79
	หลัง	395.39	394.48	397.44	397.58	398.27	396.78	398.04	395.78	397.23	398.14	396.91	1.29	0.33
4	ก่อน	405.06	407.19	404.75	405.93	405.87	405.99	406.01	406.57	409.95	409.72	406.70	1.79	0.44
	หลัง	402.26	404.77	404.66	404.48	405.34	404.19	404.89	406.63	406	407.01	405.02	1.35	0.33
5	ก่อน	396.02	396.12	401.1	406.14	405.66	407.28	404.63	404.49	409.59	406.83	403.78	4.62	1.14
	หลัง	395.54	397.07	394.96	393.91	395.01	395.49	396	398.4	398.6	396.66	396.16	1.52	0.38
6	ก่อน	402.96	403.87	403.89	404.53	406.29	406.41	406.56	407.38	406.02	407.34	405.53	1.58	0.39
	หลัง	402.45	404.06	406.78	401.95	403.35	403.34	402.51	403.04	404.34	405.3	403.71	1.46	0.36
7	ก่อน	403.85	402.51	401.2	402.32	401.36	401.99	402.62	402.53	405.59	402.94	402.69	1.27	0.32
	หลัง	378.64	384.86	386.6	387.47	387.46	391.97	392.16	391.78	393.88	394.74	388.96	4.92	1.27

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณของการเปรียบเทียบอัตราการไหลการเก็บตัวอย่างในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A ขณะจอด
ในร่ม ครั้งที่ 1

1. การหาอัตราการไหลเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum_0^n X_i}{N}$$

$$= \frac{(400.99 + 400.9 + 401.32 + 401.37 + 404.24 + 401.33 + 401.75 + 403.91 + 402.07 + 401.25)}{10}$$

$$\bar{X} = 401.913$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

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

$$SD = \sqrt{\frac{(12.75821)^2}{10-1}}$$

$$SD = 1.190621$$

3. การหาค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (%RSD)

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

$$\%RSD = \frac{1.190621 \times 100}{401.913}$$

$$\%RSD = 0.296239$$

ข.2 การสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

1. เตรียมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1%

- ชั่งสารโซเดียมไบซัลไฟต์ มาจำนวน 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. เตรียมสารละลายกรดโครโมโทรปิก

- ชั่งสาร 4,5-dihydroxy-2,7-naphthalenedisulfonic acid disodium salt มาจำนวน 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 10 มิลลิลิตร (กรองถ้าจำเป็น และควรเก็บไว้ในขวดสีชา)

3. การสร้างกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (หาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว) มา 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1% จะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มา 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 และ 2.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1%

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่เตรียมได้ข้างต้นมาอย่างละ 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด จากนั้นเติมสารละลายกรดโครโมโทรปิก จำนวน 0.1 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% จำนวน 6 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ 1% เป็นรีเอเจนต์แบลนด์

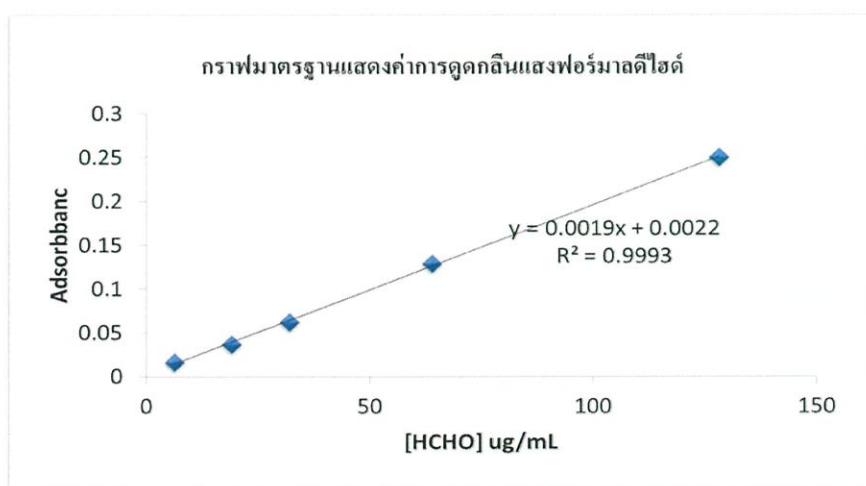
ผลการทดลอง

ตารางที่ ข- 2 ค่าการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นต่างๆ
ของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน ฟอร์มาลดีไฮด์($\mu\text{g/ml}$)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000351
0.1	0.002132
0.5	0.044935
0.7	0.063683
1.0	0.106283
2.0	0.211303

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ในขณะที่ต้มสารใน water bath จุกยางของหลอดทดลองที่ความเข้มข้น 0.3 $\mu\text{g/ml}$ หลุดออกจากหลอดทดลอง อาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน
2. ควรตั้งอุณหภูมิของ water bath ให้คงที่ที่ 95°C และควรนำสารไปต้มใน water bath ทันทีหลังจากที่เตรียมสารเสร็จ



รูปที่ ข- 1 กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ย
ของฟอร์มาลดีไฮด์

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์และตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอร์มัลดีไฮด์

ตาราง ก-1 การตรวจวัด HCHO ในบรรยากาศบริเวณที่ร่มและกลางแจ้ง

ครั้งที่	สภาวะที่ร่ม		สภาวะกลางแจ้ง	
	[HCHO] ที่ตรวจวัดได้ (ppb)	อุณหภูมิ (°C)	[HCHO] ที่ตรวจวัดได้ (ppb)	อุณหภูมิ (°C)
1	3.12	30.2	5.68	36.9
2	2.75	30.6	6.32	41.8
3	3.04	31.3	6.87	38.6
เฉลี่ย	2.97 ± 0.19	30.7	6.29 ± 0.60	39.1

ตาราง ก-2 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A
ขณะจอดในร่ม

ครั้งที่	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	[HCHO] จากกราฟ (µg/mL)	ปริมาตรอากาศที่ std. (L)	[HCHO] (mg/m ³)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] (ppb)
1	302.68	1009	0.402	180	7.42	71.00	0.0209	0.0170	17.05
2	300.28	1009	0.402	180	7.32	71.56	0.0205	0.0167	16.69
3	304.68	1012	0.404	180	7.32	71.09	0.0206	0.0168	16.80
4	304.28	1010	0.407	180	7.13	71.57	0.0199	0.0162	16.25
5	304.52	1011	0.404	180	9.98	71.06	0.0281	0.0229	22.91
6	304.28	1010	0.406	180	15.69	71.40	0.0440	0.0358	35.85
7	304.48	1011	0.403	180	12.55	70.89	0.0354	0.0289	28.88
ค่าเฉลี่ย									22.06
S.D.									7.7

ตาราง ก-3 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B

ขณะจอดในร่ม

ครั้งที่	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	[HCHO] จากกราฟ ($\mu\text{g/mL}$)	ปริมาตรอากาศที่ std. (L)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] (ppb)
1	304.92	1010	0.406	180	13.64	71.25	0.0383	0.0312	31.23
2	305.58	1008	0.406	180	16.83	70.95	0.0474	0.0387	38.69
3	305.92	1009	0.406	180	3.05	70.94	0.0086	0.0070	7.01
4	301.68	1010	0.401	180	8.80	71.12	0.0247	0.0202	20.18
5	304.75	1012	0.403	180	12.13	70.90	0.0342	0.0279	27.91
6	303.62	1010	0.404	180	10.67	71.20	0.0300	0.0244	24.45
7	302.65	1009	0.399	180	11.01	70.47	0.0312	0.0255	25.48
ค่าเฉลี่ย									24.99
S.D.									9.8

ตาราง ก-4 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ C

ขณะจอดในร่ม

ครั้งที่	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	[HCHO] จากกราฟ ($\mu\text{g/mL}$)	ปริมาตรอากาศที่ std. (L)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] (ppb)
1	303.12	1012	0.402	180	10.61	71.10	0.0298	0.0243	24.34
2	303.58	1012	0.407	180	5.34	71.88	0.0149	0.0121	12.12
3	303.65	1011	0.404	180	7.51	71.26	0.0211	0.0172	17.19
4	302.38	1011	0.401	180	8.56	71.03	0.0241	0.0196	19.66
5	304.88	1011	0.407	180	4.78	71.50	0.0134	0.0109	10.90
6	302.92	1010	0.399	180	3.85	70.48	0.0109	0.0089	8.91
7	302.42	1011	0.394	180	10.38	69.78	0.0298	0.0242	24.26
ค่าเฉลี่ย									16.77
S.D.									6.3

ตาราง ก-5 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A
ขณะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	[HCHO] จากกราฟ ($\mu\text{g/mL}$)	ปริมาตรอากาศที่ std. (L)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] (ppb)
1	309.85	1010	0.414	180	26.18	71.49	0.0732	0.0597	59.73
2	305.05	1010	0.446	180	26.53	78.23	0.0678	0.0553	55.32
3	309.82	1012	0.403	180	31.65	69.74	0.0908	0.0740	74.03
4	310.85	1012	0.422	180	22.79	72.78	0.0626	0.0510	51.08
5	313.78	1011	0.418	180	24.73	71.35	0.0693	0.0565	56.54
6	312.62	1011	0.404	180	23.69	69.22	0.0685	0.0558	55.83
7	308.02	1009	0.411	180	27.54	71.33	0.0772	0.0629	62.98
ค่าเฉลี่ย									59.36
S.D.									7.5

ตาราง ก-6 ข้อมูลทางอุณหภูมิตามเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ A
ขณะจอดกลางแจ้ง

ตัวอย่างรถยนต์ที่ศึกษา	รถยนต์จอดนิ่งในสถานะกลางแจ้ง		ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
	อุณหภูมิภายใน ($^{\circ}\text{C}$)	[HCHO] (ppb)		
1	36.70	59.73	25.50	33.6
2	31.90	55.32	25.10	38.8
3	36.67	74.03	24.80	31.6
4	37.70	51.08	24.40	31.9
5	40.63	56.54	25.10	34.4
6	39.47	55.83	24.70	33.3
7	34.87	62.98	24.40	32.7
เฉลี่ย	36.85	59.36 ± 7.46	24.86	33.76

ตาราง ก-7 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B
ขณะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	[HCHO] จากกราฟ ($\mu\text{g/mL}$)	ปริมาตรอากาศที่ std. (L)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] (ppb)
1	312.82	1012	0.406	180	22.49	69.58	0.0646	0.0527	52.72
2	308.78	1011	0.402	180	17.94	69.73	0.0515	0.0419	41.97
3	305.28	1012	0.403	180	34.68	70.78	0.0980	0.0799	79.93
4	309.08	1010	0.407	180	36.80	70.46	0.1045	0.0851	85.19
5	311.98	1012	0.410	180	35.03	70.46	0.0994	0.0810	81.10
6	314.98	1011	0.417	180	37.72	70.91	0.1064	0.0867	86.77
7	315.65	1012	0.408	180	40.41	69.30	0.1166	0.0950	95.12
ค่าเฉลี่ย									74.69
S.D.									19.6

ตาราง ก-8 ข้อมูลทางอุณหภูมิตั้งแต่เวลาขณะเก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ B
ขณะจอดกลางแจ้ง

ตัวอย่างรถยนต์ที่ศึกษา	รถยนต์จอดนิ่งในสภาวะกลางแจ้ง		ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
	อุณหภูมิภายใน ($^{\circ}\text{C}$)	[HCHO] (ppb)		
1	39.67	52.72	25.50	33.6
2	35.63	41.97	25.10	38.8
3	32.13	79.93	24.80	31.6
4	35.93	85.19	24.40	31.9
5	38.83	81.1	25.10	34.4
6	41.83	86.77	24.70	33.3
7	42.5	95.12	24.40	32.7
เฉลี่ย	38.07	74.69 \pm 19.56	24.86	33.76

ตาราง ค-9 ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ของตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ C
ขณะจอดกลางแจ้ง

ครั้งที่	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	[HCHO] จากกราฟ ($\mu\text{g/mL}$)	ปริมาตร อากาศที่ std. (L)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] (ppb)
1	310.02	1010	0.406	180	10.72	70.07	0.0306	0.0249	24.95
2	304.42	1013	0.407	180	14.62	71.75	0.0408	0.0332	33.24
3	315.95	1012	0.404	180	20.29	68.56	0.0592	0.0482	48.28
4	315.58	1011	0.409	180	10.57	69.42	0.0305	0.0248	24.84
5	320.35	1010	0.404	180	21.60	67.61	0.0639	0.0521	52.11
6	310.78	1010	0.406	180	20.31	69.90	0.0581	0.0474	47.39
7	305.48	1010	0.401	180	18.44	70.24	0.0525	0.0428	42.82
ค่าเฉลี่ย									39.09
S.D.									11.4

ตาราง ค-10 ข้อมูลทางอุณหภูมิตามเวลาที่เก็บตัวอย่างอากาศภายในรถยนต์ยี่ห้อ C
ขณะจอดกลางแจ้ง

ตัวอย่างรถยนต์ที่ศึกษา	รถยนต์จอดนิ่งในสภาวะกลางแจ้ง		ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
	อุณหภูมิภายใน ($^{\circ}\text{C}$)	[HCHO] (ppb)		
1	36.87	24.95	25.50	33.6
2	31.27	33.24	25.10	38.8
3	42.8	48.28	24.80	31.6
4	42.43	24.84	24.40	31.9
5	47.2	52.11	25.10	34.4
6	37.63	47.39	24.70	33.3
7	32.33	42.82	24.40	32.7
เฉลี่ย	38.65	39.09 \pm 11.36	24.86	33.76

ตาราง ค-11 ผลการทดลองการจำลองการบำบัด

ครั้งที่	สถานะที่ทดลอง	Temp (K)	Pressure (hPa)	Flow rate (L/min)	Time (min)	ปริมาตรอากาศที่ std. (L)	[HCHO] จากกราฟ ($\mu\text{g/mL}$)		[HCHO] (mg/m^3)		[HCHO] (ppm)		[HCHO] (ppb)	
							Impinger	Beaker	Impinger	Beaker	Impinger	Beaker	Impinger	Beaker
1	น้ำกลั่น+ไม่พ่น	302.3	1010	0.404	30	11.92	10.71	2.04	0.18	0.09	0.15	0.07	146.58	69.8
2	น้ำกลั่น+ไม่พ่น	302.9	1010	0.399	30	11.75	18.87	1.63	0.32	0.07	0.26	0.06	262.02	56.58
3	น้ำกลั่น+ไม่พ่น	302.75	1009	0.404	30	11.89	22.18	3.26	0.37	0.14	0.3	0.11	304.32	111.82
1	น้ำกลั่น+พ่น	303.05	1010	0.403	30	11.86	1.68	13.31	0.03	0.56	0.02	0.46	23.11	457.69
2	น้ำกลั่น+พ่น	302.8	1010	0.411	30	12.1	10.3	12.6	0.17	0.52	0.14	0.42	138.8	424.49
3	น้ำกลั่น+พ่น	302.35	1009	0.409	30	12.05	7.09	12.8	0.12	0.53	0.1	0.43	95.96	433.12
1	NaHSO ₃ +ไม่พ่น	302.85	1010	0.407	30	11.98	12.6	3.57	0.21	0.15	0.17	0.12	171.49	121.47
2	NaHSO ₃ +ไม่พ่น	302.7	1010	0.409	30	12.05	8.77	3.01	0.15	0.12	0.12	0.1	118.72	101.87
3	NaHSO ₃ +ไม่พ่น	302.05	1009	0.414	30	12.21	11.02	2.14	0.18	0.09	0.15	0.07	147.21	71.47
1	NaHSO ₃ +พ่น	303.25	1010	0.405	30	11.91	6.78	7.5	0.11	0.31	0.09	0.26	92.86	256.8
2	NaHSO ₃ +พ่น	302.8	1010	0.407	30	11.99	9.89	7.19	0.17	0.3	0.13	0.24	134.59	244.61
3	NaHSO ₃ +พ่น	301.95	1009	0.404	30	11.92	3.37	3.06	0.06	0.13	0.05	0.1	46.12	104.69

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟอรัสไดออกไซด์ที่เก็บตัวอย่างแบบวิธีแอกทีฟภายในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A ขณะจอดในร่ม ครั้งที่ 1

ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง

- อุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง 302.68 K
- ความดันบรรยากาศเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง 1009 hPa
- อัตราการไหลเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง 0.402 L/min
- เวลาในการเก็บตัวอย่าง 180 min

1. ปริมาตรอากาศที่สภาวะการทดลอง

จาก		$Q = \frac{V}{T}$	
	เมื่อ	Q	= อัตราการไหลที่ใช้เก็บตัวอย่าง (L/min)
		T	= เวลาในการเก็บตัวอย่าง (min)
		V	= ปริมาตรอากาศในสภาวะการทดลอง

แทนค่า	V	=	$0.402 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 180 \text{ min}$
	V	=	72.36 L

ดังนั้นปริมาตรอากาศที่เก็บได้ เท่ากับ 72.36 L

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 = 1009 hPa

$$V_2 = \text{ปริมาตรบรรยากาศที่สภาวะเก็บตัวอย่าง} = 72.36 \text{ L}$$

$$T_2 = \text{อุณหภูมิที่สภาวะเก็บตัวอย่าง} = 302.68 \text{ K}$$

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

$$V_{std.} = \frac{1009 \text{ hPa} \times 72.36 \text{ L} \times 298.15 \text{ K}}{1013.25 \text{ hPa} \times 302.415 \text{ K}}$$

$$V_{std.} = 71.00 \text{ L}$$

3. การหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วย mg/m^3

จากกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรง $y = 0.108x - 0.006$

เส้นแนวโน้มมีค่าเท่ากับ $R^2 = 0.996$

หาค่า x จาก $x = \left(\frac{y+0.006}{0.108} \right)$

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

เมื่อ $M_f =$ ปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (front) (μg)

$M_b =$ ปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ (Back) (μg)

$M_B =$ ปริมาณก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้เป็นแบลนด์ (μg)

$V_{std.} =$ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)

$$C_{\text{HCHO}} = \frac{(7.42 \times 20) + 0 - 2(0)}{71.00}$$

$$= 0.0209 \text{ mg/m}^3$$

4. การหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วย ppm

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad \text{ppm} &= \frac{24.45}{MW_{HCHO}} \times \text{ความเข้มข้นในหน่วย mg/m}^3 \\
 \text{ppm} &= \frac{24.45}{30.03} \times 0.0209 \\
 &= 0.0170 \quad \text{ppm}
 \end{aligned}$$

5. การหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วย ppb

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad \text{ppb} &= \frac{24.45}{MW_{HCHO}} \times \text{ความเข้มข้นในหน่วย mg/m}^3 \times 1000 \\
 \text{ppb} &= \frac{24.45}{30.03} \times 0.0209 \times 1000 \\
 &= 17.05 \quad \text{ppb}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ง.1 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอดนิ่งในร่มและกลางแจ้ง

ตาราง ง- 1 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C สภาวะจอดครูดในที่ร่ม

ครั้งที่	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C
1	17.05	31.23	24.34
2	16.69	38.69	12.12
3	16.80	7.01	17.19
4	16.25	20.18	19.66
5	22.91	27.91	10.90
6	35.85	24.45	8.91
7	28.88	25.48	24.26
ค่าเฉลี่ย	22.06	24.99	16.77
S.D	7.7	9.8	6.3

สมมติฐานทางสถิติ

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

H_1 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่, not H_0

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ง-2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ที่สภาวะจอดในที่ร่ม

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
Factor	2	243.242	121.621	1.864	0.184
Error	18	1174.654	65.259		
Total	20	1417.896			

กำหนดระดับนัยสำคัญกำหนดให้ $\alpha = 0.05$

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA ดังตาราง ง-2 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.184 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_1 ยอมรับ H_0 คือ ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง ง-3 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A, B และ C สภาวะจอดรถกลางแจ้ง

ครั้งที่	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C
1	59.73	52.72	24.95
2	55.32	41.97	33.24
3	74.03	79.93	48.28
4	51.08	85.19	24.84
5	56.54	81.10	52.11
6	55.83	86.77	47.39
7	62.98	95.12	42.82
ค่าเฉลี่ย	59.36	74.69	39.09
S.D	7.46	19.56	11.40

สมมติฐานทางสถิติ

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

H_1 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่, not H_0

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ง- 4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ที่
สภาวะจอดรถกลางแจ้ง

ANOVA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Factor	2	4463.179	2231.590	11.803	0.001
Error	18	3403.134	189.063		
Total	20	7866.313			

กำหนดระดับนัยสำคัญกำหนดให้ $\alpha = 0.05$

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA ดังตาราง ง-4 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

พบว่ามีความแตกต่างของความเข้มข้นแตกต่างกัน แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD และอธิบายผลการเปรียบเทียบจากตาราง Post Hoc Tests

ตาราง ง- 5 ตาราง Post Hoc Testsเปรียบเทียบความแตกต่าง ด้วยวิธี LSD

Multiple Comparisons

Concen

LSD

(I) Brand	(J) Brand	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A	B	-15.32714	7.34969	.052	-30.7683	.1140
	C	20.26857*	7.34969	.013	4.8274	35.7097
B	A	15.32714	7.34969	.052	-.1140	30.7683
	C	35.59571*	7.34969	.000	20.1546	51.0368
C	A	-20.26857*	7.34969	.013	-35.7097	-4.8274
	B	-35.59571*	7.34969	.000	-51.0368	-20.1546

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตาราง ง-5 วิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS สรุปได้ว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ 3 ยี่ห้อ ที่สภาวะจอดรถกลางแจ้ง มีความแตกต่างกันดังนี้

- Brand A และ Brand B มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ ที่สภาวะจอดรถกลางแจ้งไม่แตกต่างกัน

- Brand B และ Brand C มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ ที่สภาวะจอดรถกลางแจ้งแตกต่างกัน

- Brand A และ Brand C มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ ที่สภาวะจอดรถกลางแจ้งแตกต่างกัน

ง.2 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคลที่จอดนิ่งในร่มและกลางแจ้งของยี่ห้อ A B และ C

ตาราง ง- 6 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ A

ในร่ม	กลางแจ้ง
ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)
17.05	59.73
16.69	55.32
16.80	74.03
16.25	51.08
22.91	56.54
35.85	55.83
28.88	62.98

ค่าเฉลี่ย	22.06	59.36
S.D	7.06	7.46

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่สภาวะจอดในร่มและกลางแจ้ง

ไม่แตกต่างกัน, $\mu_A = \mu_B$

H_1 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่จอดในร่มและกลางแจ้ง

แตกต่างกัน, $\mu_A \neq \mu_B$

ตาราง ง-7 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่สภาวะจอดรถในร่มและกลางแจ้ง

Tests of Normality

air		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
concen	Indoor	.315	7	.035	.797	7	.038
	Outdoor	.219	7	.200*	.884	7	.243

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-7 โดยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Shapiro – Wilk ได้ sig (Indoor)= 0.038 และ sig (Outdoor) = 0.243 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig ทั้งสองนี้ ที่ Outdoor มีค่ามากกว่า α จึงสรุปผลตรงกันว่า ข้อมูลทั้งสองชุดมีการแจกแจงปกติ

ตาราง ง-8 ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่สภาวะจอดรถในร่มและกลางแจ้ง

Independent Samples Test

		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	.119	.736	-9.225	12	.000	-37.29714	4.04293	-46.10594	-28.48835	
	Equal variances not assumed			-9.225	11.991	.000	-37.29714	4.04293	-46.10669	-28.48760	

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-8 โดยโปรแกรม SPSSพบว่า ด้วยวิธี Levene ได้ sig =0.736 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig มากกว่า α สรุปว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

โดยใช้ Independent Samples T -Test ได้ $t = -9.225$ และ sig = 0.000 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig น้อยกว่า α สรุปว่า จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ A ที่จอดในร่มและกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง ง- 9 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ B

	ในร่ม	กลางแจ้ง
	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)
	31.23	52.72
	38.69	41.97
	7.01	79.93
	20.18	85.19
	27.91	81.10
	24.45	86.77
	25.48	95.12
ค่าเฉลี่ย	24.99	74.69
S.D	9.85	19.5

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่สภาวะจอดในร่มและกลางแจ้ง

ไม่แตกต่างกัน, $\mu_A = \mu_B$

H_1 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่จอดในร่มและกลางแจ้ง

แตกต่างกัน, $\mu_A \neq \mu_B$

ตาราง ง- 10 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่สภาวะจราจรในร่มและกลางแจ้ง

air		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
concen	Indoor	.192	7	.200*	.955	7	.774
	Outdoor	.320	7	.029	.850	7	.124

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-10 โดยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Shapiro - Wilk ได้ sig (Indoor) = 0.774 และ sig (Outdoor) = 0.124 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig ทั้งสองนี้มีค่ามากกว่า α จึงสรุปผลตรงกันว่า ข้อมูลทั้งสองชุดมีการแจกแจงปกติ

ตาราง ง- 11 ตารางตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่สภาวะจราจรในร่มและกลางแจ้ง

		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	3.927	.071	-6.004	12	.000	-49.69286	8.27718	-67.72727	-31.65844
	Equal variances not assumed			-6.004	8.859	.000	-49.69286	8.27718	-68.46256	-30.92315

ผลการวิเคราะห์ตารางที่ ง-11 โดยโปรแกรม SPSS พบว่า ด้วยวิธี Levene ได้ sig = 0.071 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig มากกว่า α สรุปว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

โดยใช้ Independent Samples T-Test ได้ $t = -6.004$ และ sig = 0.000 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig น้อยกว่า α สรุปว่า จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่จอดในร่มและกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง ง- 12 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ C

	ในร่ม	กลางแจ้ง
	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)	ความเข้มข้นของ HCHO (ppb)
	24.34	24.95
	12.12	33.24
	17.19	48.28
	19.66	24.84
	10.9	52.11
	8.91	47.39
	24.26	42.82
ค่าเฉลี่ย	16.77	39.09
S.D	6.32	11.36

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ C ที่สภาวะจอดในร่มและกลางแจ้ง ไม่แตกต่างกัน, $\mu_A = \mu_B$

H_1 = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ C ที่จอดในร่มและกลางแจ้ง แตกต่างกัน, $\mu_A \neq \mu_B$

ตาราง ง- 13 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ C ที่สภาวะจราจรในร่มและกลางแจ้ง

air		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
concen	Indoor	.197	7	.200*	.904	7	.359
	Outdoor	.200	7	.200*	.877	7	.215

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-13 โดยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Shapiro – Wilk ได้ sig (Indoor)= 0.359 และ sig (Outdoor) = 0.215 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig ทั้งสองนี้มีค่ามากกว่า α จึงสรุปผลตรงกันว่า ข้อมูลทั้งสองชุดมีการแจกแจงปกติ

ตาราง ง- 14 การตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ B ที่สภาวะจราจรในร่มและกลางแจ้ง

		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	5.718	.034	-4.543	12	.001	-22.32143	4.91305	-33.02603	-11.61682
	Equal variances not assumed			-4.543	9.392	.001	-22.32143	4.91305	-33.36518	-11.27768

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ ง-14 โดยโปรแกรม SPSS พบว่า ด้วยวิธี Levene ได้ sig = 0.034 ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig มากกว่า α สรุปว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดแตกต่างกัน

โดยใช้ Independent Samples T -Test ได้ $t = -4.543$ และ $sig = 0.001$ ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า sig น้อยกว่า α สรุปว่า จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 คือ = ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในรถยนต์ยี่ห้อ C ที่จอดในร่มและกลางแจ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05