

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำประปาและควันไอเสีย
โดยเทคนิคสเปกโตรเมตริก

**DETERMINATION OF FORMALDEHYDE IN WATER AND
EXHAUSTED FUME BY SPECTROMETRIC METHOD**



T108546

นางสาวตรีทิพย์ สุวรรณภานนท์
นางสาวจิราพร ยิ้มวิสัย
นางสาวณัฐกานต์ คงถาวร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....108546
วัน,เดือน,ปี.....-5 ก.ค. 2553

b.....1222311X
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DETERMINATION OF FORMALDEHYDE IN WATER AND
EXHAUSTED FUME BY SPECTROMETRIC METHOD**



**MISS TRITIP SUWANNAPANON
MISS JIRAPORN YIMWILAI
MISS NATTAKAN KHONGTHAWORN**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
INDUSTRIAL CHEMISTRY – ANALYTICAL INSTRUMENTATION
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2008**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำประปาและควันไอเสียโดยเทคนิคสเปกโตรเมตริก
Determination of formaldehyde in water and exhausted fume by spectrometric method

นักศึกษา นางสาวตรีทิพย์ สุวรรณภานนท์
นางสาวจิราพร ยิ้มวิสัย
นางสาวณัฐกานต์ คงถาวร

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชัน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้นับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ ประจำปีการศึกษา 2551

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
รศ. อรุณี กงศักดิ์ไพศาล	
ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชัน	
รศ.คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์	



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

ปฏิบัติหน้าที่ประธานสาขาวิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำประปาและควันไอเสียโดยเทคนิคสเปกโทรเมตริก		
นักศึกษา	นางสาวตรีทิพย์ สุวรรณภานนท์	รหัสนักศึกษา	48050491
	นางสาวจิราพร ยิ้มวิสัย	รหัสนักศึกษา	48050812
	นางสาวณัฐกานต์ คงถาวร	รหัสนักศึกษา	48050988
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์		
ปีการศึกษา	2551		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ณัฐวุฒิ เจริญพันธ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสียจากยานพาหนะ การวิเคราะห์จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับเมทิลอะซิโตะอะซิเตดในแอมโมเนียได้ผลิตภัณฑ์ 2,6-dimethyl-1,4-dihydropyridine-3,5-di(methylcarboxylate) ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สูงสุดที่ 375 นาโนเมตร ค่าความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นระหว่าง 2×10^{-4} M ถึง 10×10^{-4} M เท่ากับ $Abs_{375nm} = 615.39 [\text{ฟอร์มาลดีไฮด์}] + 0.0817$ และค่าสัมประสิทธิ์ตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9981 วิธีการวิเคราะห์นี้ทำซ้ำ 10 ครั้งที่ความเข้มข้น 6×10^{-4} M ของสารละลายมาตรฐานซึ่งมีค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 4.42% ค่าการวิเคราะห์ที่คืนกลับ (%Recovery) มีช่วงระหว่าง 71 ถึง 128% ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 2.65×10^{-4} M และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 1.19×10^{-4} M วิธีการวิเคราะห์นี้สามารถนำมาประยุกต์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสียจากพาหนะ

Title	Determination of formaldehyde in water and exhausted fume by spectrometric method	
Student	Miss Tritip	Suwannapanon
	Miss Jiraporn	Yimwilai
	Miss Nattakan	Khongthaworn
Degree	Bachelor of Science	
Major	Industrial Chemistry - Analytical Instrumentation	
Academic	2008	
Advisor	Dr. Nathawut Choengchan	

ABSTRACT

This work presents the spectrophotometric method for determination of formaldehyde in water and exhausted fume vehicle. Detection principle of the method is based on reaction of formaldehyde with methylacetoacetate in the presence of ammonia. A product, namely, 2,6-dimethyl-1,4-dihydropyridine-3,5-di(methylcarboxylate) is developed. Result shown that the product gave its maximum absorption wavelength at 375 nm. Linear calibration of standard formaldehyde was observed from the concentration range of 2×10^{-4} M to 10×10^{-4} M ($Abs_{375\text{ nm}} = 615.39 [\text{Formaldehyde}] + 0.0817, r^2 = 0.9981$). The method provided high precision (RSD = 4.42% from ten replicate measurement of 6×10^{-4} M). It was applied to determine the formaldehyde concentration in tap water samples and exhausted fume from a vehicle. Analytical recovery of the method was in the range from 71 to 128%. The limit of detection (LOD) of 2.65×10^{-4} M and the limit of quantitation (LOQ) of 1.19×10^{-3} M is achievable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความ
กรุณาของทุกๆ ท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐวุฒิ เริงชัย รวมทั้งท่านคณะกรรมการที่กรุณา
ติดตาม ตรวจสอบดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้
ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆ คนที่
กำลังใจและช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

นางสาวตรีทิพย์ สุวรรณภานนท์
นางสาวจิราพร ยิมวิสัย
นางสาวณัฐกานต์ คงถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	4
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	4
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและการดำเนินงาน	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับรีเอเจนต์	6
2.2 เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2 การเตรียมสารละลาย	21
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	22
3.3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์	22
3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ	22
ฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรสโกปี	
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	28
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น	28
4.2 ช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 คุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์	31
4.4 การประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำประปา และควีน ไอเสียร์รถจักรยานยนต์	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	38
5.1 สรุป	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ	29
4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่วัดจากสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์แต่ละความเข้มข้น	30
4.3 แสดงค่าความเที่ยงของการวัดซ้ำ 10 ครั้ง	31
4.4 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery) ตัวอย่างน้ำประปาจากห้องLAB	32
4.5 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery)	33
4.6 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery) น้ำประปาจากอพาร์ทเมนต์	34
4.7 แสดงค่าร้อยละการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery) ตัวอย่างไอเสียจากรถจักรยานยนต์	35
4.8 สรุปค่าวิเคราะห์การคืนกลับของ 4 ตัวอย่าง	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง	6
2.2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น	7
2.3 แสดง electron energy levels และ transitions	7
2.4 แสดงการวัดการดูดกลืนแสง	9
2.5 กราฟมาตรฐานทั่วไปที่ใช้หาปริมาณสาร	10
2.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องยูวี – วิสิเมตสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	11
2.7 แสดงลักษณะของหลอดควิเทอเรียม	12
2.8 แสดงลักษณะของหลอดทั้งสแตน	12
2.9 โมโนโครมาเตอร์	13
2.10 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์	15
2.11 เครื่องวัดแสงชนิดซีทีคอนไดโอด	15
2.12 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว	16
2.13 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ สองดิเทคเตอร์	17
2.14 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ ดิเทคเตอร์เดี่ยว	17
4.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนผลิตภัณฑ์ของฟอร์มัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียอะซีเตตและเมทิลอะซีโตอะซีเตต	28
4.2 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน Formaldehyd	29
ข.1 แสดงสเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	48
ข.2 แสดงสเปกตรัมค่าการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ซ้ำ 10 ครั้ง	48
ข.3 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spiked ของน้ำประปาห้องปฏิบัติการ ชั้น 5 (ตึกวิทย์ฯเก่า)	49
ข.4 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spiked ของน้ำประปาห้องปฏิบัติการ ชั้น 5 (ตึกวิทย์ฯเก่า)	49
ข.5 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spiked ของน้ำประปา The mall (บางกะปิ)	50
ข.6 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spiked ของน้ำประปา The mall (บางกะปิ)	50
ข.7 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spiked ของน้ำประปาพาร์ทเมนต์	51
ข.8 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spiked ของน้ำประปาพาร์ทเมนต์	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.9 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัดSpiked ของควัน ไอเสียจากแก๊สโซฮอล์	52
ข.10 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัดNon-Spiked ของควัน ไอเสียจากแก๊สโซฮอล์	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันมีสารประกอบอินทรีย์มากมายที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ รวมถึงฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารประกอบหมู่คาร์บอนิลที่พบบ่อยในชั้นบรรยากาศ การรับสารพิษจากฟอร์มาลดีไฮด์มีหลายทางไม่ว่าจะเป็นด้านอุปโภค บริโภค หรือมลพิษทางอากาศ

ดังนั้นโครงการพิเศษจึงสนใจการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสียซึ่งมาจากแก๊สโซฮอล์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี

1.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลีน

คุณสมบัติ (Properties)

ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุน ซึ่งทางการค้ามักอยู่ในรูปของสารละลายประกอบด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ ร้อยละ 37-50 โดยน้ำหนัก

ชื่ออื่นๆ (synonyms)

ฟอร์มิค อัลดีไฮด์ ออกโซมิโทน หรือ ฟอร์มาลีนซึ่งประกอบด้วย ฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 35-40 ละลายในน้ำ

การผลิต (production)

ฟอร์มาลดีไฮด์ ผลิตขึ้นโดยการออกซิเดชันของเมทานอลกับออกซิเจนในอากาศ หรือโดยการออกซิเดชันของมีเทน

พิษของฟอร์มาลดีไฮด์

1.ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ค่อนข้างคงสภาพในสิ่งแวดล้อม ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 20 องศาเซลเซียส จะคงสภาพเป็นเวลา 5 วัน ฟอร์มาลดีไฮด์อาจเกิดการออกซิเดชันด้วยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำไม่ก่อให้เกิดกระบวนการ Biological oxygen consumption ใดๆขึ้นเลย

2. ความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

พอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นสารพิษปานกลาง มีค่าความเป็นพิษ LD50 ต่อหนูขาว (Rat) ทางกระเพาะอาหารเท่ากับ 28.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณที่ทำให้คนตาย (lethal dose) อยู่ระหว่าง 0.5 - 5.25 กรัม

อาการที่เกิดจากความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันของพอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อสัตว์ทดลองโดยการฉีดเข้าในกระเพาะอาหาร (Intragastric administration) พบว่าหลังจากที่สัตว์ทดลองได้รับสารเข้าไป จะแสดงอาการตื่นตระหนก ตามด้วยอาการง่วงซึม อ่อนเพลีย หายใจขัดและจะตายภายใน 2-3 ชั่วโมงแรกที่ได้รับสาร

3. ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ปริมาณพอร์มัลดีไฮด์ที่ได้กลิ่น (Olfactory threshold) เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนปริมาณในน้ำที่เป็นพิษต่อมนุษย์เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาผู้ดื่มพอร์มาลินเข้มข้นร้อยละ 5 จำนวน 100 มิลลิตร พบว่าหลังจากดื่มพอร์มาลินเข้าไปจะเกิดอาเจียน จากนั้นเกิดการระคายเคืองและกระเพาะอาหารตอนบนและเกิดอาการคลื่นเหียน ผู้ป่วยจะเสียชีวิตภายใน 40 วัน ด้วยอาการเลือดออกในกระเพาะอาหารและลำไส้

1.1.2 ปริมาณพอร์มัลดีไฮด์ในน้ำประปา

น้ำประปา หรือ น้ำก๊อก (tap water) คือ น้ำที่ไหลออกมาจากก๊อกน้ำ โดยปกติ น้ำก๊อกนั้นไม่เหมาะสำหรับการดื่ม เพราะมีคลอรีนและหินปูนอยู่มาก ซึ่งหินปูนเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดโรคนี้ว่าได้ ดังนั้น น้ำก๊อกที่สามารถดื่มได้อย่างปลอดภัยจะต้องผ่านกระบวนการกรองให้เรียบร้อยเสียก่อน นอกจากนี้ น้ำประปายังมีส่วนผสมของคลอรีนซึ่งเป็นสารเคมีที่ทำให้น้ำดูใสสะอาดเท่านั้น ไม่ได้ทำให้น้ำผ่านการฆ่าเชื้อหรือกรองแต่อย่างใด คนส่วนมากบอกว่าการดื่มน้ำประปาที่ดื่มแล้วจะเป็นน้ำที่สะอาด เพราะความร้อนนั้นฆ่าเชื้อโรค เป็นความจริง แต่ต้องดื่มที่ 100 องศาเซลเซียสนานถึง 20 นาที จึงจะสะอาดจริง แต่เมื่อคลอรีนในน้ำประปาโดนความร้อน จะกลายเป็นสารตัวใหม่เรียกว่า คลอโรฟอร์ม ซึ่งเป็นสารเร่งการก่อมะเร็ง

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณลักษณะทางเคมีตามมาตรฐานในน้ำประปา

ที่มา : การประปานครหลวง

คุณลักษณะทางเคมี (หน่วย มก./ล.)	เกณฑ์กำหนดสูงสุด
ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total Solids)	500
เหล็ก (Fe)	0.5
แมงกานีส (Mn)	0.3
เหล็กและแมงกานีส (Fe & Mn)	0.5
ทองแดง (Cu)	1.0
สังกะสี (Zn)	5.0
แคลเซียม (Ca)	75
แมกนีเซียม (Mg)	50
ซัลเฟต (SO ₄)	200
คลอไรด์ (Cl)	250
ฟลูออไรด์ (F)	0.7
ไนเตรต (NO ₃)	45
อัลคิลเบนซิลโฟเนต (ABS)	0.5
ฟีนอลิกซบสแตนซ์ (Phenol)	0.001

ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำประปาทั่วไปมีสัดส่วนที่น้อยมาก และไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคตั้งนั้นการประปานครหลวง (กปน.) จึงไม่กำหนดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในมาตรฐานควบคุมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในไอเสียโดยใช้ตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นหมู่คาร์บอนิลซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในแก๊สโซฮอล์ โดยสารกลุ่มดังกล่าว ไม่ได้อยู่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ หรือเอทานอล แต่ในการเผาไหม้อาจเกิดขึ้นได้และปะปนออกมาพร้อมกับไอเสียของรถยนต์ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีสารฟอร์มาลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ ที่เกิดจากการหมักเอทานอลจริง หรือเกิดจากน้ำเสีย และขยะ แต่ขณะนี้กรมควบคุมมลพิษยังไม่ได้มีการประกาศให้สารทั้ง 2 ชนิดเป็นสารอันตรายต่อสุขภาพ และในต่างประเทศก็ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของสาร 2 ชนิดดังกล่าวเช่นกันเพราะสารฟอร์มาลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ เป็นสารที่ย่อยสลายง่ายทำให้ยังไม่สามารถระบุว่าจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้อย่างไร ฟอร์มาลดีไฮด์มีระดับความเข้มข้นเกินมาตรฐานเป้าหมายของหน่วยงานประเมินด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของสหรัฐ ซึ่งได้ประเมินความเสี่ยงของคนที่ได้รับสารชนิดนี้เพียง 1.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มกก./ลบ.ม.)

ส่วนประกอบหลักของไอเสีย

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)
- ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)
- ไนตริกออกไซด์ (NO_x) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)
- พวกอัลดีไฮด์ (Aldehyde)
- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำประปาและไอเสียจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำประปาและไอเสียจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี
- 2.นำวิธีที่พัฒนาได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำประปาและไอเสียจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและการดำเนินงาน

- 1.สืบค้นแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการพิเศษ
- 2.วางแผนการทดลอง โดยจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี สารตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
- 3.ดำเนินการทดลองโดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี
- 4.ดำเนินการทดลองโดยศึกษาหาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี
- 5.ประยุกต์ใช้กับตัวอย่างจริง
- 6.รวบรวมและเสนอผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี
- 2.สามารถนำวิธีที่พัฒนาได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและไอเสียจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์

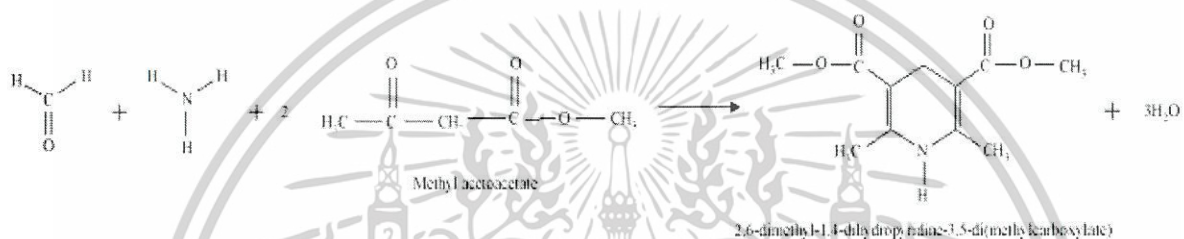
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

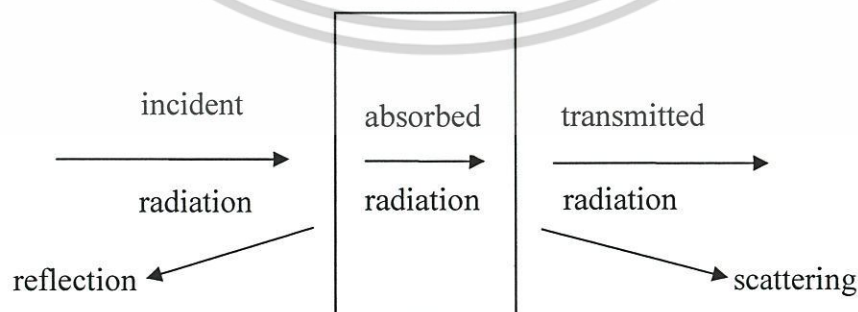
2.1 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับรีเอเจนต์

ปฏิกิริยาการเกิด มีสมการดังนี้



2.2 เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

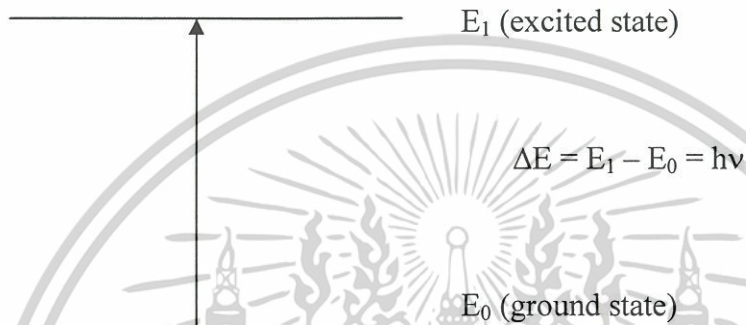
การดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 – 800 นาโนเมตร (nm) ส่วนใหญ่ได้แก่พวกสารอินทรีย์ (organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำดี และมีสภาพไว (sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปหรือโมเลกุลก็ได้ของธาตุ แต่ในกรณีที่จะนำไปพิสูจน์ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารอะไร มีโครงสร้างอย่างไร อาจต้องให้เทคนิคอื่นเข้าช่วยด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจ เช่น ใช้เทคนิคทาง IR หรือ NMR spectroscopy เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

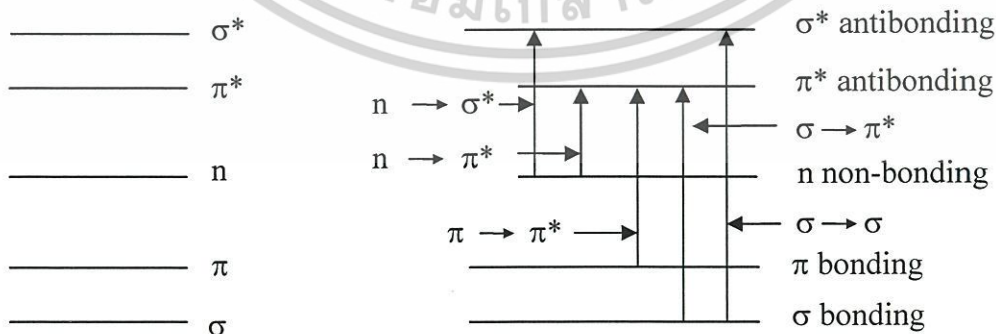
เมื่อให้ลำแสงเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (continuous beam of radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุ ใสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนผ่าน ทะลุออกไป ดังรูปที่ 2.1 ถ้าให้แสงที่ทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง เช่น ปริซึม หรือ เกรตติง จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปนี้เรียกว่า absorption spectrum พลังงาน ที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับของพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state)



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น

2.2.1 สาเหตุของการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิล (UV-VIS spectroscopy)

เมื่อแสงที่อยู่ในช่วงยูวี-วิสิเบิลผ่านเข้าไปใน โมเลกุลของสาร สารนั้นจะดูดกลืนแสงเฉพาะ บางช่วงทำให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electronic transition) ซึ่ง โดยมากจะใช้พลังงานประมาณ 30-150 kcal/cal และอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องคืออิเล็กตรอนวงนอก สุดหรืออิเล็กตรอนที่เกิดพันธะแล้ว หรืออิเล็กตรอนที่ยังไม่เกิดพันธะ (non-bonding electron) ซึ่ง แต่ละชนิดจะมีพลังงานแตกต่างกันอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานสูงขึ้นนี้เรียกว่า antibonding orbitals ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดง electron energy levels และ transitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์ใดที่มี unsaturated functional group สามารถดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลได้ ซึ่งแสดงลักษณะและสมบัติของมัน เรียกสารกลุ่มนั้นว่า โครโมฟอร์ (chromophore)

โครโมฟอร์อย่างง่าย มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. โครโมฟอร์ที่มี multiple bond ระหว่างอะตอม 2 อะตอมของธาตุ โดยไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

2. โครโมฟอร์ที่มี multiple bond ระหว่างอะตอม 2 อะตอมของธาตุ โดยที่อะตอมของธาตุหนึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

3. โครโมฟอร์ที่มีวงเบนซีน ได้แก่ สารประกอบพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ถ้าโครโมฟอร์อย่างง่ายเกิดคอนจูเกตกันเอง หรือกับโครโมฟอร์ชนิดอื่นจะทำให้เกิดแถบดูดกลืนใหม่ขึ้น และมักจะทำให้สเปกตรัมเปลี่ยนไปทางความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น และมีบางกลุ่มที่เข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนในในวงเบนซีน ซึ่งเรียกว่า ออกโซโครม (auxochrome)

ออกโซโครม (auxochrome) เป็นกลุ่มธาตุที่ไม่ดูดกลืนแสง หรือถ้าดูดกลืนได้ก็เป็นเพียงเล็กน้อยในช่วงยูวี หรือวิสิเบิล แต่สามารถมีผลต่อสเปกตรัม ของโครโมฟอร์ที่ออกโซโครมไปเกาะอยู่เปลี่ยนไป โดยอาจทำให้ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นหรือลดลง คือ

1. เกิด Bathochromic shift (red shift) จะทำให้สเปกตรัมเปลี่ยนไปในทางความยาวคลื่นมากขึ้น (λ_{max} เพิ่มขึ้น)

2. เกิด Hypsochromic shift (blue shift) ทำให้สเปกตรัมเปลี่ยนไปในทางความยาวคลื่นลดลง (λ_{max} ลดลง)

3. เกิด Hyperchromic effect ทำให้เกิดการเพิ่มความเข้ม หรือการดูดกลืนแสงมากขึ้น (ϵ_{max} เพิ่มขึ้น)

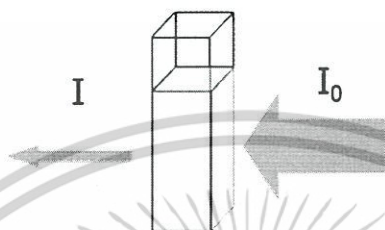
4. เกิด Hypochromic effect ทำให้เกิดการลดความเข้ม หรือการดูดกลืนแสงลดลง (ϵ_{max} ลดลง)

ออกโซโครมที่มีผลกระทบต่อโครโมฟอร์จริงๆ แล้วขึ้นอยู่กับความมีขั้วของออกโซโครม เช่น กลุ่มเมทิล เอทิล และฮาโลเจน มีผลเล็กน้อยโดยทำให้เกิด red shift

2.2.2 หลักในการหาปริมาณของสารกับการวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน

2.2.2.1 การวัดปริมาณของแสง

ในการวัดปริมาณของแสงหรือ radiation ที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่างนั้น เราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านสารตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณของแสงที่ผ่านทะลุออกมาโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.4 แสดงการวัดการดูดกลืนแสง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่เกิดจากการผ่านเข้าไปยังเซลล์ ซึ่งใส่ตัวทำละลายกับสารอื่นๆ ซึ่งไม่มีสารที่จะดูดกลืนแสงเรียกว่า สารละลายเบสลงค์ โดยให้ความเข้มแสงเริ่มต้นเท่ากับ I_0 และความเข้มแสงที่ผ่านออกมาจากเซลล์ เท่ากับ I

2.2.2.2 กฎการดูดกลืนแสง

1) กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) มีใจความว่า

“เมื่อมีแสงเดี่ยว (monochromatic light) ซึ่งคือแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของเนื้อเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้นและความเข้มของแสงจะถูกแต่ระดับของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

2) กฎของเบียร์ (Beer's law) มีใจความว่า

“เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปร โดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็นกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) และเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

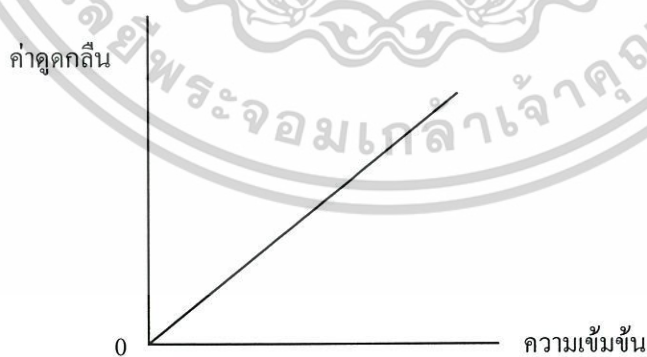
$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100$$

- โดย
- A = ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)
 - I และ I_0 = ความเข้มแสงเริ่มต้นและสุดท้ายตามลำดับ
 - ϵ = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (molar absorptivity)
 - b = ความกว้างของเซลล์ในหน่วยเซนติเมตร
 - c = ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยโมลาร์

2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเทคนิคทางยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

ในกรณีที่สารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์มีเพียงสารเดียว อาจทำโดยใช้กราฟมาตรฐาน โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันแล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} โดยเทียบกับสารละลายเบสค์ นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จะได้กราฟเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.5 เมื่อวัดค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างได้ ก็จะหาปริมาณวิเคราะห์ได้โดยอ่านจากกราฟมาตรฐาน



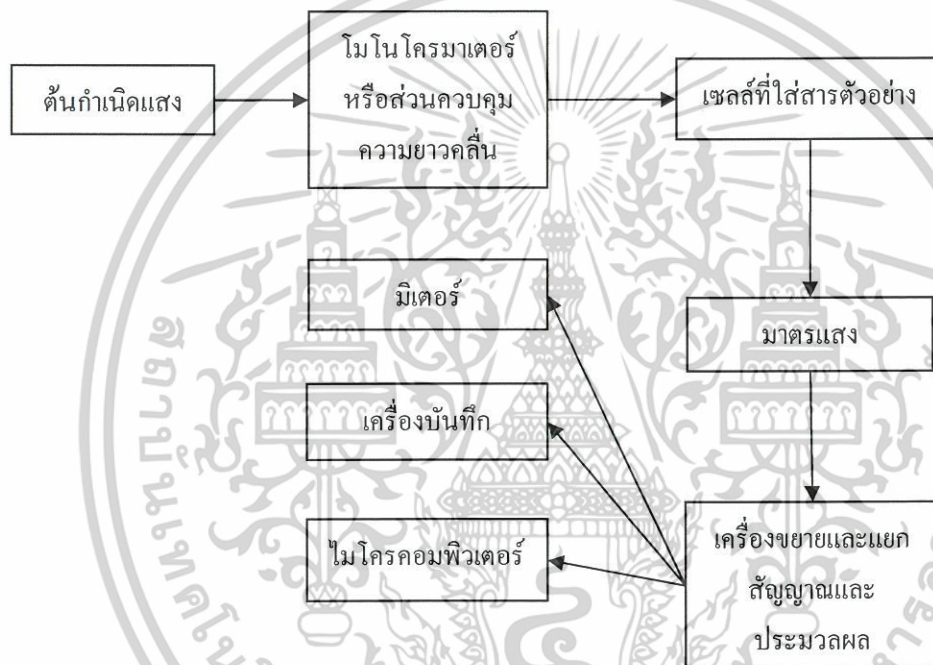
รูปที่ 2.5 กราฟมาตรฐานทั่วไปที่ใช้หาปริมาณสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดูดกลืนแสงควรจะอยู่ในช่วงที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง คือค่าดูดกลืนแสงควรอยู่ในช่วง 0.1 – 1.0 ถ้าสารละลายเจือจางเกินไป วัดค่าดูดกลืนแสงได้น้อย ก็อาจแก้ไขโดยการใส่เซลล์ให้กว้างขึ้น แต่ถ้าสารละลายเข้มข้นเกินไปก็ใช้วิธีเจือจางให้น้อยลง

2.2.4 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

องค์ประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทุกชนิดประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้คือ



รูปที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

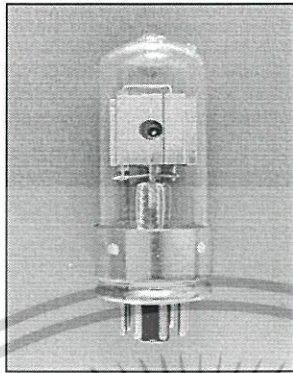
2.2.4.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงานทางสเปกโทรโฟโตเมตรีนั้น ควรจะต้องมีลักษณะดังนี้

- จะต้องให้ลำแสง (beam of radiation) ที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยดีเทคเตอร์
- จะต้องให้การแผ่รังสี (radiation) ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ
- จะต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา มิฉะนั้นแล้วผลของการวิเคราะห์จะไม่แม่นยำ

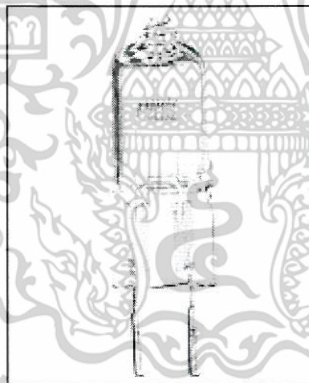
ก) หลอดไฮโดรเจน หรือหลอดควิเทอริยม ให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 185–375 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจน หรือควิเทอริยมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่จะให้แสงออกจากหลอดทำจากควออร์ทหรือ fused silica ทั้งหลอดไฮโดรเจนและหลอดควิเทอริยมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียม จะบรรจุด้วยแก๊สนั้นไว้ที่ความกดดันต่ำ (5 มม.ปรอท) และใช้ระบบไฟฟ้าชนิด D.C. ขนาด 40 โวลต์เท่านั้น



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของหลอดควิเทอเรียม

ข) หลอดทังสเตน (tungsten filament lamp) ซึ่งมีลักษณะคล้ายหลอดไฟธรรมดา โดยใช้ไส้หลอดเป็นโลหะทังสเตน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไป ลวดทังสเตนจะถูกเผาให้ร้อนและเปล่งแสงออกมาอยู่ในช่วง 320 – 2500 nm ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ลักษณะของสเปกตรัมจะเคลื่อนที่ไปทางความยาวคลื่นสั้นมากขึ้น แต่อายุของหลอดก็จะสั้นเข้าเช่นกัน



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของหลอดทังสเตน

2.2.4.2 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

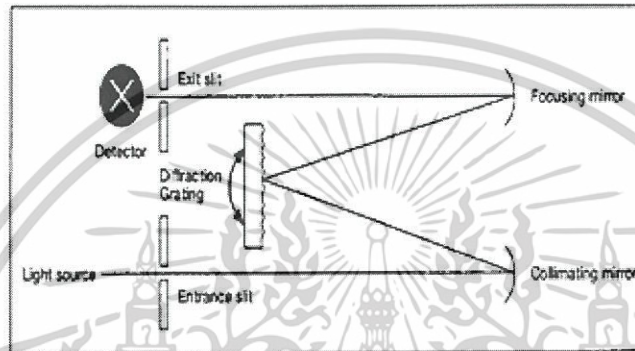
ส่วนประกอบนี้ถือว่าเป็นหัวใจของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพราะว่าเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (คือเป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมโนโครเมติกซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ โดยทั่วไปแล้วโมโนโครเมเตอร์ประกอบไปด้วย

- ช่องที่ปล่อยแสงให้เข้า (entrance slit) เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่างโดยคิดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิตจึงมีส่วนสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระจกและเลนส์ (mirror และ lens) เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมาในเครื่อง บางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมกัน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ให้เล็กลง และบางครั้งทำให้แสงกลายเป็นแสงขนาน

- ส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆกันเพื่อให้เหมาะแก่การเลือกใช้ หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงคลื่นแสงที่ต้องการ อุปกรณ์ส่วนนี้อาจจะประกอบด้วย



รูปที่ 2.9 โมโนโครมาเตอร์

ก) ฟิลเตอร์ (filters) จัดว่าเป็น โมโนโครมาเตอร์ที่ง่ายที่สุด ซึ่งอาจประกอบด้วยกระจกสีต่างๆทำเป็นแผ่นกลม ฟิลเตอร์ชนิดนี้จะให้ความกว้างของแถบคลื่นแสงขนาด 25 nm หรือมากกว่านี้ ฟิลเตอร์ที่ใช้กันมีอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า อินเทอร์เฟอเรนซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ที่ฉาบด้วยสารที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำและเป็นพวกไดอิเล็กทริก เช่น แมกนีเซียมฟลูออไรด์ แล้วฉาบด้วยเงินบางๆ เพื่อให้แสงผ่านได้บางส่วน และประกบด้วยกระจกเป็นแบบแซนวิชอีกครั้งหนึ่ง ฟิลเตอร์นี้ยอมให้แสงผ่านออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆกันตามความยาวของแผ่นประมาณ 50% เท่านั้น และความกว้างของแถบคลื่นแสงประมาณ 10 nm

ข) เกรตติง (grating) ในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สมัยใหม่นี้ส่วนใช้เกรตติงเป็นส่วนกระจายแสงทั้งสิ้น เกรตติงที่มีใช้กันอยู่มี 2 แบบ คือ

1. ทรานสมิซชันเกรตติง (transmission grating) ทำด้วยวัสดุโปร่งใสเพื่อให้แสงผ่านได้ เป็นกระจกแล้วนำมาขีดเป็นร่องขนานกัน จำนวนร่องต่อมิลลิเมตรมีมากน้อยได้แตกต่างกัน เกรตติงชนิดนี้ปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้ว

2. รีเฟล็กชันเกรตติง (reflection grating) หรือเกรตติงแบบสะท้อนแสง เป็นเกรตติงที่ใช้การสะท้อนแสง ดังนั้นผิวหน้าของร่องวัสดุจะต้องเรียบและสะท้อนแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัด (Cell compartment)

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบแล้วนำไปใส่ที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิดเพื่อกันแสงจากภายนอกจะเข้าไป และถูกกั้นออกจากส่วนที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบแสง

เซลล์ที่ใส่ตัวอย่าง (Sample cell) บางครั้งเรียกว่าคิวเวทท์ (cuvettes) มีด้วยกันหลายแบบ รูปร่างต่างๆกัน ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

-เซลล์ที่ทำจากแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

-เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (silica) และควอตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

2.2.4.4 เครื่องวัดแสง (Detector)

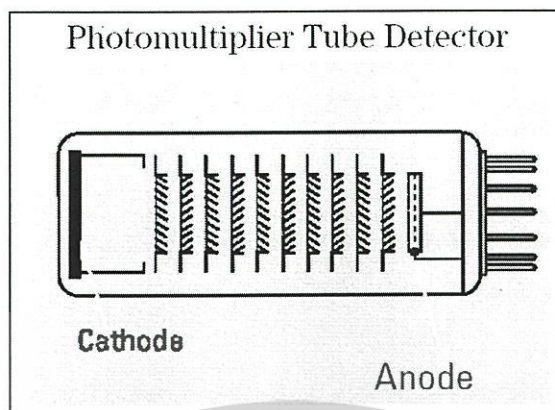
เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสงนั้นมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบอาจแตกต่างกันบ้างที่ความกว้างของช่วงคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วของการตอบสนองต่อแสง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนพลังงานแสง (radiation energy) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) เครื่องวัดแสงที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีดังนี้

ก) โฟโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell) เป็นเซลล์ที่ใช้ตรวจวัดในช่วงวิสิเบิล และให้สภาพไวสูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 550 nm แต่จะลดลงประมาณ 10% ที่ความยาวคลื่น 350 และ 750 nm ลักษณะของเซลล์นี้ประกอบด้วยขั้วบวก และขั้วลบ เป็นแผ่นทองแดงหรือเหล็กฉาบผิวด้านนอกเป็นฟิล์มบางๆ โปรงแสงด้วย ทอง เงิน หรือตะกั่ว ทั้งหมดนี้อยู่ภายในกล่องพลาสติกและมีส่วนรับแสงเป็นแผ่นกระจกใส อิเล็กตรอนที่เกิดจากแผ่นซิลิเนียมจะไปยังแผ่นเหล็ก แล้วเกิดกระแสซึ่งเป็นสัดส่วนกับแสงที่ตกกระทบ

ข) หลอดรับแสง (Phototube) เป็นหลอดที่ทำด้วยแก้วหรือซิลิกา ภายในหลอดเป็นสุญญากาศหรือเกือบเป็นสุญญากาศมีแคโทดฉาบด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกแสง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะวิ่งไปแอโนดแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า แคโทดมักทำเป็นรูปครึ่งวงกลม

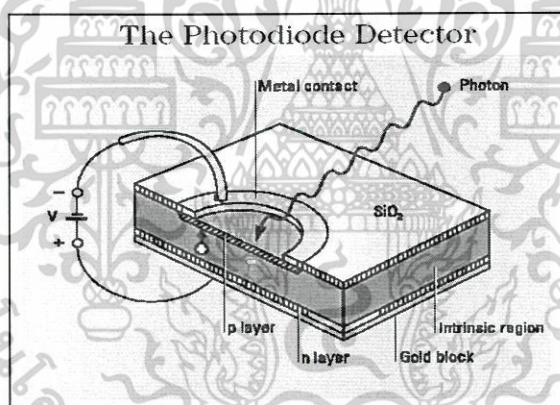
ค) หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube = PMT) หลอด PMT เป็นหลอดที่มีลักษณะคล้ายกับหลอดรับแสง ดังได้กล่าวมาแล้วแต่ PMT มีสภาพไวดีกว่าและสามารถใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 900 nm ดังนั้น PMT จึงนิยมใช้กัน ลักษณะของหลอด PMT ภายในหลอดประกอบด้วยแคโทดที่ฉาบผิวด้วยสารคล้ายกับหลอดรับแสง จำนวน 9 ชุดซึ่งเรียกว่าไดโนด นั่นคือปริมาณอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด เป็น 900 โวลต์ ดังนั้น หลอด PMT จึงเหมาะแก่การวัดแสงที่มีกำลังต่ำๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

ง) เครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector) หัววัดแสงชนิดนี้ประกอบด้วย reverse – biased on junction นี้ทำให้เกิด depletion layer ซึ่งไปลดการนำไฟฟ้าของ junction จนเกือบเป็นศูนย์ ถ้าให้แสงตกลงบน depletion layer หลุมและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าจะเป็นปฏิกิริยากับกำลังของแสงที่ได้รับ



รูปที่ 2.11 เครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด

2.2.4.5 แบบต่างๆ ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การออกแบบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นั้น สิ่งที่สำคัญที่เป็นตัวแปรมียู่ 2 อย่าง คือ ก) การออกแบบที่ให้เซลล์ใส่สารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ (สารละลายเบลงค์) อยู่ก่อนหรือหลังโมโนโครมาเตอร์

ถ้าตำแหน่งที่ใส่เซลล์อยู่ก่อนโมโนโครมาเตอร์ แสดงว่าแสงที่ออกจากต้นกำเนิดทั้งหมดผ่านสารตัวอย่างเลย ดังนั้นการเกิดการกระเจิงแสงมีผลน้อย เพราะสามารถตัดแสงเหล่านั้นก่อนเข้าเครื่องวัดแสง แต่ฟลูออเรสเซนซ์จะมีผลมาก เพราะช่วงแสงคลื่นสั้น สามารถทำให้เกิดฟลูออเรส

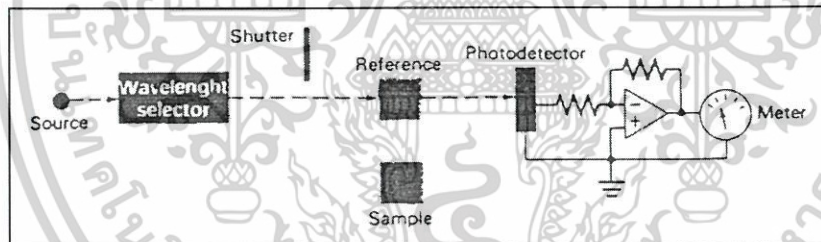
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนต์ออกมาได้มากกว่า และไปรบกวนการวัดค่าการดูดกลืนแสง และยังทำให้สารตัวอย่างมีโอกาสเกิดการสลายตัวได้

แต่ถ้าออกแบบให้สารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบไว้หลังโมโนโครมาเตอร์หรือก่อนมาตรวัดแสงการเกิดฟลูออเรสเซนซ์และการสลายตัวด้วยแสงมีน้อย เพราะแสงคลื่นสั้นถูกดูดกลืนไปหมดแล้ว แต่การกระเจิงแสงก็ยังคงอยู่

สำหรับวิธี-วิธีเบิลสเปกโทรสโกปีนั้น การเกิดกระเจิงแสงค่อนข้างจะมีผลน้อยกว่าเครื่องการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ หรือการสลายตัวด้วยแสง ดังนั้นโดยทั่วไปเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จึงนิยมวางเซลล์สารตัวอย่างและสารละลายเปรียบเทียบไว้หลังโมโนโครมาเตอร์

ข) เวลาของการวัด I_0 และ I หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นเครื่องลำแสงเดี่ยว (single beam) หรือใช้ลำแสงคู่ (double beam) สำหรับเครื่องที่ใช้ลำแสงเดี่ยว เป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดี่ยวจากต้นกำเนิดแสงผ่านโมโนโครเมเตอร์แล้วให้ผ่านสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างแล้วจึงไปยังมาตรวัดแสงนั้นในการอ่านค่าแอมป์โซร์แบนซ์ ให้ปรับเครื่องอ่านได้ 0 และ 100%T ด้วยเบลงค์ แล้วจึงวัดสารละลายตัวอย่างได้ และจะต้องทำอย่างนี้ทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนคลื่นแสงเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ลำแสงคู่ (double beam)



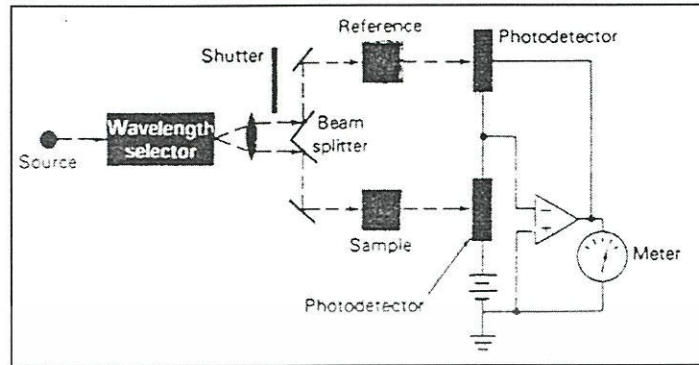
รูปที่ 2.12 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ลำแสงคู่ (double beam) เป็นเครื่องที่ใช้ลำแสง 2 ลำแสง ลำแสงหนึ่งผ่านสารละลายตัวอย่าง และอีกลำแสงหนึ่งผ่านสารละลายเบลงค์เครื่องแบบนี้ยังแบ่งออกได้อีก 2 ชนิด คือ

1. ชนิด double beam และ double detector แสงที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์แล้วจะถูกแยกออกเป็น 2 ลำแสง ด้วยกระจกรูปตัววี เรียกว่า beam splitter ลำแสงหนึ่งที่ผ่านเซลล์ใส่สารตัวอย่าง อีกลำแสงหนึ่งผ่านสารละลายเบลงค์ หลังจากผ่านแล้วจะไปยังเครื่องวัดแสง เครื่องวัดแสงทั้งคู่จะต้องเหมือนกัน ค่าที่วัดได้จะส่งเข้าเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เพื่อหาอัตราส่วน

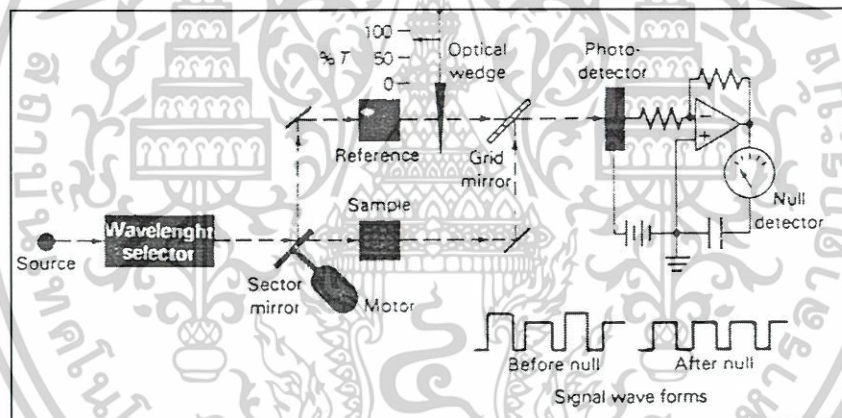
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ สองดีเทคเตอร์

2. ชนิด double beam และ single detector สำหรับเครื่องนี้แสงที่ผ่านออกมาโมโนโครมาเตอร์จะถูกเปลี่ยนออกเป็น 2 ลำแสงด้วย rotation mirror หรือ chopper แล้วจะผ่านสารละลายตัวอย่างและเบลนค์สลับกันไป



รูปที่ 2.14 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ดีเทคเตอร์เดียว

3. ชนิด dynode feedback system

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิด double beam ถ้านำมาผสมกับ dynode feedback จะทำให้เครื่องนั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้น ในเชิงของความเร็วและความถูกต้องดีมาก

108546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Qiong Li, Piyanete Sritharathikhum, Mitsuko Oshima, Shojj Motomizu [Ref.] ได้เสนอวิจัยที่เสนอแนวทางเลือกใหม่ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ด้วยเมทิลอะซิโตะอะซิเตตและแอมโมเนียด้วยเทคนิคโพลินเจกซ์ เครื่องตรวจวัดที่ใช้คือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ช่วงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ศึกษาระหว่าง 0.25 ถึง 20×10^{-6} M มีขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 5×10^{-8} M ($1.5 \mu\text{L}^{-1}$) และค่า %RSD มีค่าเท่ากับ 1.2% โดยเลือกวัดที่ความเข้มข้น 5×10^{-6} M ทำซ้ำ 12 ครั้ง จำนวนตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้มากที่สุดจากวิธีนี้เท่ากับ 21 ตัวอย่างต่อชั่วโมง สิ่งรบกวนในการวิเคราะห์นี้คือ โลหะ สารประกอบอินทรีย์ และอัลดีไฮด์อื่นๆ การวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยอะซิโตะอะซิโตน ที่ใช้การดูดกลืนแสงจากสเปกโตรโฟโตเมทรีเหมือนกัน วิธีนี้สามารถนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำได้เช่นกัน

Ashraf A. Mohamed, Ahmed T. Mubarak, Zakaria M.H. Marestani, Khaled F. Fawy [Ref.] งานวิจัยนี้ได้รับการพัฒนาวิธีให้มีสภาพไวและความเฉพาเจาะจงสูงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ ฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์โดยใช้เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่าง *N,N*-diethyl-*p*-phenylenediamine (DPD) กับไฮโดรเจนเพอร์ร็อกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีแดงตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 510 nm สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยามีดังนี้: DPD 20 mmol L⁻¹, H₂O₂ 250 mmol L⁻¹, phosphate 150 mmol L⁻¹, citrate 150 mmol L⁻¹ และ pH 6.60 ± 0.05 ที่อุณหภูมิ 25 °C ผลการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์และอะซีทัลดีไฮด์พบว่าได้กราฟเส้นตรงมาตรฐานที่ 0.5 และ 1.4 μgmL⁻¹ และให้ขีดจำกัดของการตรวจพบที่ได้เป็น 0.015 และ 0.035 μgmL⁻¹ ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์อัลดีไฮด์อีก 10 ตัว จะแสดงผลเช่นเดียวกัน วิธีที่เสนอนี้ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นน้ำฝน, เขม่าควัน และควันบุหรี่ การเตรียมสารตัวอย่างนั้น ส่วนที่หนึ่งใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารอัลดีไฮด์ที่สามารถละลายน้ำได้ ทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง ส่วนที่สองนำสารตัวอย่างให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่ให้สารอัลดีไฮด์ออกมา ปริมาณของอะซีทัลดีไฮด์หาโดยนำสัญญาณของส่วนที่หนึ่งหักลบกับสัญญาณของส่วนที่สอง ผลการวิเคราะห์นำไปเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน HPLC ที่อาศัยการเตรียมอนุพันธ์ด้วย 2,4-dinitrophenylhydrazine

S. Velikonja, I. Jarc, L. Zupan, I. Kralj, J. Marsel [Ref.] ได้เสนอการวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน 4 วิธี (ใช้วิธีทางสเปกโตรเมทรี 2 วิธี และ วิธีทางแก๊สโครมาโตกราฟี 2 วิธี) วิธีการวิเคราะห์ทางสเปกโตรเมทรีจะใช้กรดโครมาโทปิก และ 3-methyl-2-benzothiazolone hydrazone ส่วนวิธีการวิเคราะห์ทางแก๊สโครมาโตกราฟีจะใช้ตัวตรวจวัดคือ อิเล็กตรอนแคปทีฟ หรือเฟรมไอออนไนเซชัน และสำหรับการเตรียมตัวอย่างโดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดด้วย liquid-liquid extraction ในรูปของ solid – phase extraction ความเข้มข้นที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0.06 และ 20 mg/l กราฟมาตรฐานและค่า detection limit อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

Qiong Li, Mitsuko Oshima, Shoji Motomizu เทคนิควิธี fluorophotometric [Ref.] ได้พัฒนาสำหรับตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำตามสิ่งแวดล้อม วิธีการวิเคราะห์เทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมตริกโดยใช้ระบบโฟลโอินเจกชัน เพื่อตรวจวัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำโดยอาศัยปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์ทำกับ acetoacetanilide และ ammonia จุดประสงค์ของวิธีนี้แสดงให้เห็นค่าความเป็นเส้นตรงที่ดีที่สุดคือ $0.5-40 \times 10^{-7}$ M และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เป็น 3×10^{-9} M ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ ข้อดีของวิธีการวิเคราะห์นี้คือ ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ในอุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องใช้ความร้อนในการเร่งปฏิกิริยา และมีการศึกษาการรบกวนจากตัวรบกวนส่งผลกระทบต่อตัวอย่างน้ำที่ถูกตรวจวัด ส่วนใหญ่สารประกอบอินทรีย์จะไม่รบกวนการวิเคราะห์ วิธีที่ได้เสนอนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ ราคาถูก และมีความไวสูงในการตรวจวัด และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำตามสิ่งแวดล้อมทั่วไปได้ เช่น น้ำฝน น้ำประปา น้ำในแม่น้ำ ในระดับความเข้มข้นต่ำได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี

1. Formaldehyde Solution (Analytical grade)
2. Methyl acetoacetate (Analytical grade)
3. Ammonium acetate (Analytical grade)
4. Conc.Acetic acid (CH_3COOH)

สารตัวอย่าง

1. น้ำประปาจาก 3 แหล่ง
 - น้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทย์ฯเก่า)
 - น้ำประปาห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ (บางกะปิ)
 - น้ำประปาอพาร์ทเมนต์
2. คาร์บอนไอเสียจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์

อุปกรณ์

- | | | |
|---------------------|-------------|------------|
| 1. บีกเกอร์ | ขนาด 100 mL | 5 ใบ |
| | ขนาด 150 mL | 2 ใบ |
| | ขนาด 200 mL | 1 ใบ |
| | ขนาด 600 mL | 2 ใบ |
| 2. ปิเปต | ขนาด 1 mL | 1 อัน |
| | ขนาด 2 mL | 2 อัน |
| | ขนาด 5 mL | 3 อัน |
| 3. ขวดวัดปริมาตร | ขนาด 25 mL | 5 ขวด |
| | ขนาด 100 mL | 2 ขวด |
| 4. กระจกบอทดวง | ขนาด 100 mL | 1 อัน |
| 5. syringe | ขนาด 60 mL | 4 กระจกบอก |
| 6. กระจกบอกน้ำกลั่น | | 2 อัน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- | | |
|-------------------|-------|
| 7. ลูกยาง | 2 อัน |
| 8. ดรอปเปอร์ | 3 อัน |
| 9. แท่งแก้วคนสาร | 2 อัน |
| 10. Thermometer | |
| 11. นาฬิกาจับเวลา | |
| 12. Hot pad | |
| 13. pH meter | |
| 14. Water bath | |
| 15. สำลี | |

เครื่องมือ

เครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-630

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น

2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} , 10×10^{-4} M

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 38%(v/v) มาจำนวน 1.82 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 25.0 mL แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (น้ำDI) จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นจะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 1.0 M

จากนั้นทำสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 M ทำให้มีความเข้มข้น 1×10^{-2} M โดยการปิเปตใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL จำนวน 0.25 mL ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกริมาตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน

นำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1×10^{-2} M มาเตรียมให้มีความเข้มข้นที่ตรวจวัดตามที่ต้องการ 2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} , 10×10^{-4} M โดยทำการปิเปตมา 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.2.2 สารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตด ความเข้มข้น 0.2 M

ปิเปตสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตด 98%(v/v) มา 2.20 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50.0 mL แล้วเจือจางด้วยการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตดที่มีความเข้มข้น 0.2 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตความเข้มข้น 4.0 M

ซึ่งแอมโมเนียมอะซิเตตมา 30.80 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนและปรับ pH ให้เท่ากับ 7.2 โดยใช้กรดอะซิติกเข้มข้น (conc. CH_3COOH) หยดลงในสารละลายแอมโมเนียมแล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัด pH meter จากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.0 mL

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

3.3.1.1 การหาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม

1. ปิเปิดสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 4.0 M มา 5.00 mL ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปิดสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตตเข้มข้น 0.2 M มา 2.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 10 วินาที
3. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นที่ 2×10^{-4} M จำนวน 1.00 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลาอีก 10 วินาที
4. ปิเปิดน้ำที่ปราศจากไอออนมา 1.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 15 วินาที นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที
5. เมื่อครบ 10 นาที แล้ว นำหลอดทดลองมาแช่น้ำเย็น 5 นาที
6. นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร
7. ทำการทดลองในขั้นตอนที่ 1-6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} และ 10×10^{-4} M ตามลำดับ

3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรสโกปี

3.3.2.1 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปิดสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 4.0 M มา 5.00 mL ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปิดสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตตเข้มข้น 0.2 M มา 2.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 10 วินาที
3. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นที่ 2×10^{-4} M มา 1.00 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลาอีก 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปิดน้ำที่ปราศจากไอออนมา 1.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 15 วินาที นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที
5. เมื่อครบ 10 นาที แล้ว นำหลอดทดลองมาแช่น้ำเย็น 5 นาที
6. นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร
7. ทำการทดลองในขั้นตอนที่ 1- 6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} และ 10×10^{-4} M ตามลำดับ
8. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

3.3.2 การศึกษาความเที่ยงของวิธีการวัด

1. เปิดสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 4.0 M มา 5.00 mL ใส่หลอดทดลอง
2. เปิดสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตดเข้มข้น 0.2 M มา 2.50 mL ใส่หลอดทดลองแล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 10 วินาที
3. เลือกสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นที่ 6×10^{-4} M มาวัดโดยเปิดสารละลายสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นที่ 6×10^{-4} M มา 1.00 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลาอีก 10 วินาที
4. เปิดน้ำที่ปราศจากไอออน มา 1.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 15 วินาที นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที
5. เมื่อครบ 10 นาที แล้ว นำหลอดทดลองมาแช่น้ำเย็น 5 นาที
6. นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร โดยทำซ้ำ 10 ครั้ง
7. คำนวณหาค่า %RSD

3.3.2.3 การศึกษาค่า Limit of detection (LOD)

1. เปิดสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 4.0 M มา 5.00 mL ใส่หลอดทดลอง
2. เปิดสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตดเข้มข้น 0.2 M มา 2.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 10 วินาที
3. เปิดสารละลายสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นที่ 2×10^{-4} M มา 1.00 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลาอีก 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปิเปิดน้ำที่ปราศจากไอออนมา 1.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 15 วินาที นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน(water bath) ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที

5. เมื่อครบ 10 นาที แล้ว นำหลอดทดลองมาแช่น้ำเย็น 5 นาที

6. นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร

7. ทำการทดลองในขั้นตอนที่ 1-6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} และ 10×10^{-4} M ตามลำดับ

8. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

9. นำสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน มาคำนวณค่า LOD

3.3.2.4 การศึกษาค่า Limit of Quantitation (LOQ)

1. ปิเปิดสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 4.0 M มา 5.00 mL ใส่หลอดทดลอง

2. ปิเปิดสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตตเข้มข้น 0.2 M มา 2.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 10 วินาที

3. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นที่ 2×10^{-4} M มา 1.00 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลาอีก 10 วินาที

4. ปิเปิดน้ำที่ปราศจากไอออน มา 1.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 15 วินาที นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน(water bath) ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที

5. เมื่อครบ 10 นาทีแล้วนำหลอดทดลองมาแช่น้ำเย็น 5 นาที

6. นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร

7. ทำการทดลองในขั้นตอนที่ 1-6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เป็น 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} และ 10×10^{-4} M ตามลำดับ

8. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

9. นำสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน มาคำนวณค่า LOQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.5 การศึกษาค่าความแม่นยำ (Accuracy)

- เตรียมสารละลายขนาด Spiked sample และขนาด Non-spiked sample ของน้ำประปา 3 แหล่ง

Spiked sample

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 38%(v/v) มาจำนวน 1.82 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (น้ำDI) จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นจะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 1 M
2. จากนั้นทำสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 M ทำให้มีความเข้มข้น 1×10^{-2} M โดยการปิเปตใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL จำนวน 0.25 mL ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จนถึงขีดบอกปริมาตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน
3. ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1×10^{-2} M มา 1.50 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาตัวอย่างที่ 1 จนถึงขีดบอกปริมาตร
4. ทำตามข้อ 3 โดยเปลี่ยนตัวอย่างเป็นน้ำประปาตัวอย่างที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
5. จะได้ Spiked sample น้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยาศาสตร์เก่า)
 Spiked sample น้ำประปาห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ (บางกระปิ)
 Spiked sample น้ำประปาอาร์ทเมนต์

Non-spiked sample

1. ทำการปิเปตน้ำที่ปราศจากไอออนมา 1.50 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาตัวอย่างที่ 1 จนถึงขีดบอกปริมาตร
2. ทำตามข้อ 1 โดยเปลี่ยนตัวอย่างเป็นน้ำประปาตัวอย่างที่ 2 และ 3
3. จะได้ Non-Spiked sample น้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยาศาสตร์เก่า)
 Non-Spiked sample น้ำประปาห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ (บางกระปิ)
 Non-Spiked sample น้ำประปาอาร์ทเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวัด Spiked sample และ Non-Spiked sample

1. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 4.0 M มา 5.00 mL ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตสารละลายเมทิลอะซิโตะซิเตดเข้มข้น 0.2 M มา 2.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 10 วินาที
3. ปิเปต Spiked sample (หรือ Non-Spiked Sample) น้ำประปาที่ 1 มา 1.00 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลาอีก 10 วินาที
4. ปิเปตน้ำที่ปราศจากไอออนมา 1.50 mL ใส่หลอดทดลอง แล้วเขย่าหลอดทดลองพร้อมจับเวลา 15 วินาที นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที
5. เมื่อครบ 10 นาที แล้ว นำหลอดทดลองมาแช่น้ำเย็น 5 นาที
6. นำสารละลายที่เตรียมได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร
7. ทำตามขั้นตอนที่ 1-6 โดยเปลี่ยนตัวอย่างเป็น Spike sample (หรือ Non-Spiked Sample) น้ำประปาที่ 2 และ Spike sample (หรือ Non-Spiked Sample) น้ำประปาที่ 3
8. ทำการทดลองซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
9. นำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่า %Recovery

- เตรียมสารละลายขวด Spiked sample และขวด Non-spiked sample ของควีนไอเสีย

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างควีนไอเสีย

ใช้ไซริงค์ที่มีขนาด 60.0 mL ทำการดูดน้ำที่ปราศจากไอออนเป็นจำนวนครึ่งหลอดไซริงค์ หรือ 30.0 mL เตรียมไว้เพื่อไปเก็บควีนไอเสียตัวอย่างต่อ (ทำการสตาร์ทเครื่องรถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์) จากนั้นนำไซริงค์ที่บรรจุน้ำเก็บไว้แล้วครึ่งหลอด นำไปจ่อที่ท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ แล้วทำการดูดไซริงค์ต่อจากขีดบอกปริมาตร 30.0 mL จนมาถึงขีดสุดท้ายที่ 60.0 mL แล้วนำตัวอย่างที่ได้ ไปใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250.0 mL โดยทำการเก็บตัวอย่างซ้ำแบบเดิมเป็นจำนวน 8 ครั้ง (8หลอดไซริงค์) จะได้ตัวอย่างที่มีปริมาตร 250.0 mL

Spiked sample

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 38%(v/v) มาจำนวน 1.82 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 25.0 mL แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (น้ำ DI) จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นจะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 1.0 M
2. จากนั้นทำสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1M ทำให้มีความเข้มข้น 1×10^{-2} M โดยการปิเปตใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL จำนวน 0.25 mL ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จนถึงขีดบอกปริมาตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน
3. ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1×10^{-2} M มา 1.50 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำตัวอย่างที่มีไอเสียผสมอยู่ จนถึงขีดบอกปริมาตร
4. จะได้ Spiked sample คำนวณไอเสีย

Non-spiked sample

1. ทำการปิเปตน้ำที่ปราศจากไอออนมา 1.50 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.0 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำตัวอย่างที่มีไอเสียผสมอยู่ จนถึงขีดบอกปริมาตร
2. จะได้ Non-Spiked sample คำนวณไอเสีย

ขั้นตอนการวัด Spiked sample และ Non-spiked sample

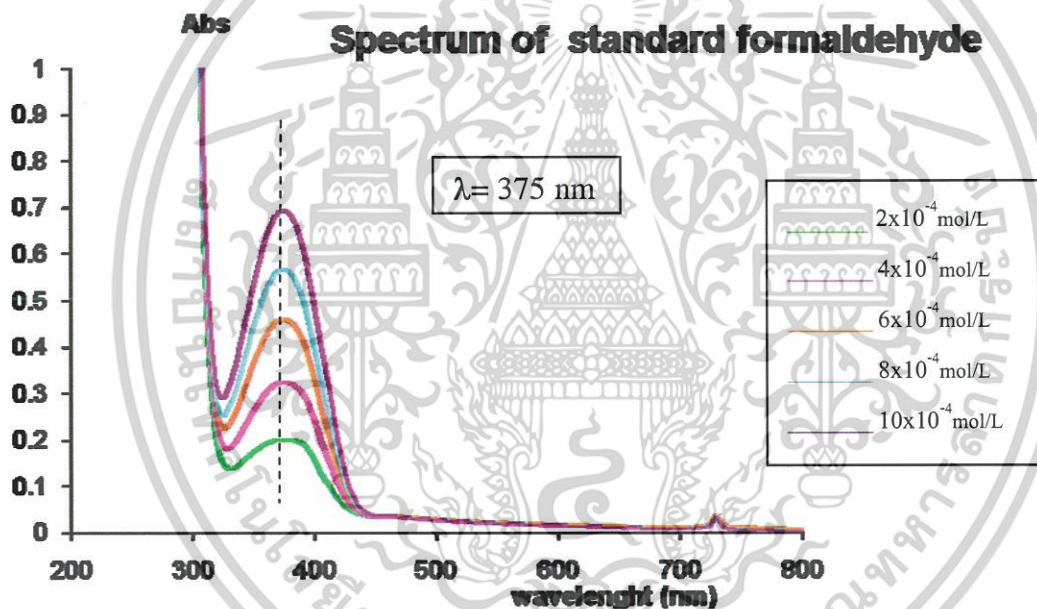
ทำวิธีเหมือนตัวอย่างนำประปา 1-3 โดยเปลี่ยนน้ำประปาเป็น น้ำตัวอย่างที่มีไอเสียผสมอยู่ โดยทำ 3 ซ้ำ เช่นกัน

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

ฟอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมอะซิเตตและเมทิลอะซิโตอะซิเตต เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ 2,6-dimethyl-1,4-dihydropyridine-3,5-di(methylcarboxylate) ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงช่วงยูวีได้ ดังแสดงด้วยรูป 4.1



รูป 4.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนผลิตภัณฑ์ของฟอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมอะซิเตตและเมทิลอะซิโตอะซิเตต

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ 375 นาโนเมตร ดังนั้น จึงใช้ความยาวคลื่นดังกล่าวในการตรวจวัด

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ

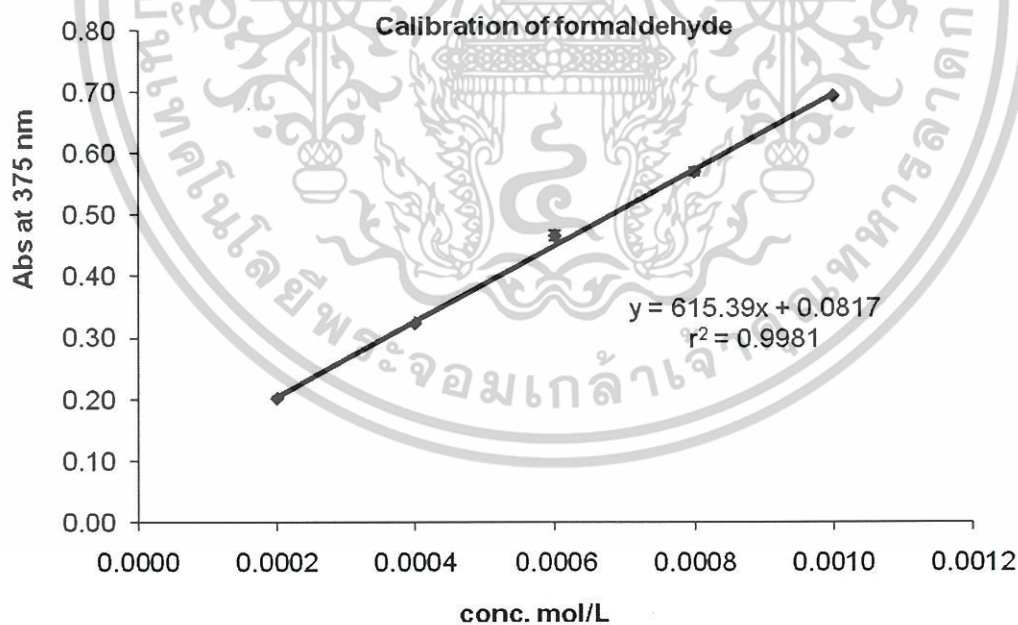
ความเข้มข้น (mol/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
2×10^{-4}	0.2006
4×10^{-4}	0.3233
6×10^{-4}	0.4597
8×10^{-4}	0.5661
10×10^{-4}	0.6929

4.2 ช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

แสดงดังรูป 4.2 จะเห็นว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ระหว่างความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ตั้งแต่ 2×10^{-4} ถึง 10×10^{-4} mol/L โดยมีสมการเส้นตรงเป็น

$$\text{Abs}_{375 \text{ nm}} = \text{Slope[formaldehyde]} + \text{intercept}$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9981



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน Formaldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่วัดจากสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์แต่ละความเข้มข้น

ความเข้มข้นสารมาตรฐาน ฟอร์มาลดีไฮด์(mol/L)	ทำซ้ำ ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน (SD)
2×10^{-4}	1	0.2001	0.2015	0.00
	2	0.2030		
4×10^{-4}	1	0.3234	0.3235	0.00
	2	0.3236		
6×10^{-4}	1	0.4597	0.4659	0.01
	2	0.4722		
8×10^{-4}	1	0.5660	0.5701	0.01
	2	0.5741		
10×10^{-4}	1	0.6929	0.6936	0.00
	2	0.6944		
สมการเส้นตรง		$y = 615.39x + 0.0817$		
r^2		0.9981		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์

4.3.1 ความเที่ยง (Precision)

จากการศึกษาความเที่ยงโดยพิจารณาค่า RSD(%) พบว่าได้ค่า RSD เท่ากับ 4.42 % เมื่อทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่า วิธีการวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงสูง การคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

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

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

เมื่อ X_i คือ ความเข้มข้นที่ทำได้
n คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเที่ยงของการทำซ้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.3944
2	0.3605
3	0.3517
4	0.3790
5	0.3877
6	0.3815
7	0.3601
8	0.3602
9	0.3713
10	0.4009
mean	0.3747
SD	0.017
%RSD	4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์นี้ ศึกษาจากค่าการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery) ผลการศึกษา แสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery)

ตัวอย่างน้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยุเก่า)

	ครั้งที่	Spike Sample		Non-Spike Sample	
		Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)	Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)
ตัวอย่างน้ำประปา ห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยุเก่า)	1	0.3379	4.4427×10^{-4}	n.d.	n.d.
	2	0.3656		n.d.	
	3	0.3619		n.d.	
	เฉลี่ย	0.3551		n.d.	

ค่า Recovery เท่ากับ 71.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery)

ตัวอย่างน้ำประปาห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ (บางกะปิ)

ตัวอย่างน้ำประปา ห้างสรรพสินค้า เดอะมอลล์ (บางกะปิ)	ครั้งที่	Spike Sample		Non-Spike Sample	
		Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)	Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)
เฉลี่ยว	1	0.5291	6.9695×10^{-4}	n.d.	n.d.
	2	0.4952		n.d.	
	3	0.5076		n.d.	
เฉลี่ย		0.5106		n.d.	

ค่า Recovery เท่ากับ 111.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery)

ตัวอย่างน้ำประปาอาร์ทเมนต์

ตัวอย่างน้ำประปา อาร์ทเมนต์	ครั้งที่	Spike Sample		Non-Spike Sample	
		Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)	Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)
	1	0.5714	7.9933×10^{-4}	n.d.	n.d.
	2	0.5778		n.d.	
	3	0.5718		n.d.	
เฉลี่ย		0.5736		n.d.	

ค่า Recovery เท่ากับ 128.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าร้อยละของการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery)

ตัวอย่างไอเสียจากรถจักรยานยนต์ที่ใช้แก๊สโซฮอล์

ตัวอย่างไอเสียจากรถจักรยานยนต์ที่ใช้แก๊สโซฮอล์	ครั้งที่	Spike Sample		Non-Spike Sample	
		Abs	ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)	Abs	ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ (mol/L)
เฉลี่ย	1	0.6215	8.8204×10^{-4}	0.1902	2.0599×10^{-4}
	2	0.6368		0.2158	
	3	0.6154		0.2194	
เฉลี่ย		0.6245		0.2084	

ค่า Recovery เท่ากับ 108.3%

ตารางที่ 4.8 แสดงสรุปค่าวิเคราะห์การคืนกลับของ 4 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ค่าการวิเคราะห์หาคืนกลับ (%Recovery)
น้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยุเก่า)	71.0
น้ำประปาห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์(บางกะปิ)	111.5
น้ำประปาอพาร์ทเมนต์	128.0
ควันไอเสียจากรถจักรยานยนต์ที่ใช้แก๊สโซฮอล์	108.3

พบว่า ค่าการวิเคราะห์หาคืนกลับ (Recovery) มีค่าอยู่ที่ช่วง 71.0-128.3 %

แสดงให้เห็นว่า วิธีนี้ไม่ถูกรบกวนด้วยองค์ประกอบอื่นที่อาจมีในตัวอย่าง วิธีนี้จึงมีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และขีดจำกัดของการหาเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ)

ขีดจำกัดในการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและกวนไอเสียที่ใช้แก๊ส

โซลล์ทำการคำนวณจากสมการ $Y_{\text{intercept}} + 3S_{y/x}$

โดย $S_{y/x} = [\text{SUM } (y_i - \hat{y})^2 / (n-2)]^{1/2}$

$S_{y/x}$ คือ Standard deviation ของ $Y_{\text{intercept}}$

y_i คือ ค่าสัญญาณที่อ่านจากเครื่องมือวัด

\hat{y} คือ ค่าสัญญาณที่ควรเป็น จำนวนโดยใช้ method of least square

$n-2$ คือ degree of freedom ของ linear regression line

ตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด

ความเข้มข้น มาตรฐาน	Y_i	\hat{Y}	$y_i - \hat{Y}$	$(y_i - \hat{Y})^2$
2×10^{-4}	0.2015	0.2048	-3.3×10^{-3}	1.09×10^{-5}
4×10^{-4}	0.3235	0.3279	-4.4×10^{-3}	1.94×10^{-5}
6×10^{-4}	0.4659	0.4509	1.5×10^{-2}	2.25×10^{-4}
8×10^{-4}	0.5701	0.5740	-3.9×10^{-3}	1.52×10^{-5}
10×10^{-4}	0.6936	0.6971	-3.5×10^{-3}	1.23×10^{-5}
SUM				2.83×10^{-4}
$S_{y/x} = 9.71 \times 10^{-3}$				

ขีดจำกัดการตรวจวัด : $LOD = 3S_{y/x} / b$

เพราะฉะนั้น

$$LOD = (3 \times 9.71 \times 10^{-3}) / 615.39$$

ปริมาณต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้

$$LOD \cong 4.73 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

ขีดจำกัดของการหาเชิงปริมาณ : $LOQ = 10/3 LOD$

เพราะฉะนั้น

$$LOQ = 10/3 \times 4.73 \times 10^{-5}$$

$$LOQ \cong 1.57 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การประยุกต์ใช้ สำหรับวิเคราะห์ Formaldehyde ในน้ำประปาและควันไอเสีย จักรยานยนต์

ได้ประยุกต์ใช้วิธีเพื่อวิเคราะห์หา Formaldehyde ในน้ำประปาจำนวน 3 ตัวอย่าง แต่พบว่าไม่สามารถตรวจวัดปริมาณ Formaldehyde ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ขีดจำกัดต่ำสุดการวิเคราะห์ยังต่ำไม่เพียงพอ

สำหรับการตรวจวัด Formaldehyde ในควันไอเสียจำนวน 1 ตัวอย่าง และพบว่าสามารถตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ได้ อาจเนื่องมาจากปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในไอเสียรถยนต์และจักรยานยนต์ มีปริมาณมากกว่า ฟอร์มาลดีไฮด์ที่อยู่ในน้ำประปาอยู่มาก จึงทำให้วิธีนี้มีความสามารถในการมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในควันไอเสียได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสีย โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับรีเอเจนต์ได้แก่ เมทิลอะซิโตะซิติเตตและสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต โดยควบคุมสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม 60 องศาเซลเซียส เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ 2,6-dimethyl-1,4-dihydropyridine-3,5-di(methyl carboxylate) ซึ่งนำไปตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตริก ที่ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงยูวี และสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การศึกษาหาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ เมื่อสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร
2. การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสีย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจ (r^2) ได้เท่ากับ 0.9981 และช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานอยู่ในช่วงความเข้มข้น 2×10^{-4} M ถึง 10×10^{-4} M (%v/v)
3. การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสีย เมื่อทำการทดลองด้วยสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 6×10^{-4} M โดยทำซ้ำตัวอย่างละ 10 ครั้ง คำนวณหาค่า %RSD ได้เท่ากับ 4.42
4. ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์นี้ศึกษาจากค่าการวิเคราะห์คืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่างน้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยุเก่า), น้ำประปาเดอะมอลล์(บางกะปิ), น้ำประปาอพาร์ทเมนต์ และควันไอเสียจากแก๊สโซฮอล์ ได้เท่ากับ 71.0 , 111.5 , 128.0 และ 108.3% ตามลำดับ
5. ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด(Limit of detection,LOD) ได้เท่ากับ 0.3565 mol/L
6. ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์(Limit of quantitation,LOQ) ได้เท่ากับ 1.1883 mol/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมบัฟเฟอร์ pH 7.2 ของแอมโมเนียมอะซิเตต ควรเตรียมด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากถ้า pH ต่ำกว่า 7.2 การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างจะปรากฏพีคที่ต่ำกว่าปกติ
2. การควบคุมอุณหภูมิขณะให้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาไม่ควรสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เพราะจะเกิดฟองอากาศ ส่งผลรบกวนต่อการดูดกลืนแสง
3. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่เสถียร จึงทำให้สีของผลิตภัณฑ์จางหายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นควรมีความแม่นยำในการจับเวลาตลอดการทดลอง
4. ถ้าตัวอย่างควั่นไอเสียมีสีดำมากเกินไป ควรทำ Whitening เสียก่อน โดยใช้การกรองกรองด้วยสำลี
5. ก่อนการเก็บตัวอย่างน้ำประปา ควรเปิดก๊อกปล่อยน้ำทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที เพื่อลดการปนเปื้อนที่เกิดมาจากก๊อก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ashraf A. Mohameda, Ahmed T. Mubarak, Zakaria M.H. Marestania and Khaled F. Fawya. (2007). Highly sensitive and selective catalytic determination of formaldehyde and Acetaldehyde. *Talanta* 74 (2008) 578–585
- [2] Qiong Lia, Piyanete Sritharathikhuma, Mitsuko Oshimaa and Shoji Motomizu.(2008). Development of novel detection reagent for simple and sensitive determination of trace amounts of formaldehyde and its application to flow injection spectrophotometric analysis. *Analytica Chimica Acta* 612(2008) 165-172
- [3] Ziwei Li , Hongbing Ma , Huihui Lu , Guanhong Tao. (2007). Determination of formaldehyde in foodstuffs by flow injection spectrophotometry using Phloroglucinol as chromogenic agent. *Talanta* 74 (2008) 788-792
- [4] ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับฟอร์มาลดีไฮด์, ค้นข้อมูล 12 ตุลาคม 2551, จาก <http://www.chemtrack.org>
- [5] ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับน้ำประปา, ค้นข้อมูล 15 มีนาคม 2552, จาก <http://www.mwa.co.th>
- [6] แก๊สโซฮอล์, ค้นข้อมูล 15 มีนาคม 2552, จาก <http://www.kroobannok.com> , <http://www.energy.go.th> และ <http://th.wikipedia.org>
- [7] เทคนิควิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์, ค้นข้อมูล 15 มีนาคม 2552, จาก <http://www.sciencedirect.com> , <http://share.psu.ac.th> และ <http://www.tkc.go.th>
- [8] เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี. เย็นหทัย แน่นหนา. (2549). สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 75-107.
- [9] เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี , ค้นข้อมูล 15 ตุลาคม 2551, จาก <http://cyberlab.lh1.ku.ac.th> , <http://www.thaiscience.com> และ <http://share.psu.ac.th>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

(ก)

1. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ 2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} และ 10×10^{-4} M

จาก 38%(v/v), $d = 1.083$, $MW(CH_2O) = 30$

วิธีคิด

$$\frac{10(38)(1.083)}{30} = 13.7 \text{ M}$$

30

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(13.7) V_1 = (1)(25)$$

$$V_1 = 1.8248 \text{ mL}$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(1) V_1 = (0.01)(25)$$

$$V_1 = 25 \times 10^{-2}$$

$$V_1 = 0.25 \text{ mL}$$

ความเข้มข้น 2×10^{-4} M

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(0.01) V_1 = (2 \times 10^{-4})(25)$$

$$V_1 = 0.50 \text{ mL}$$

ความเข้มข้น 4×10^{-4} M

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(0.01) V_1 = (4 \times 10^{-4})(25)$$

$$V_1 = 1.00 \text{ mL}$$

ความเข้มข้น 6×10^{-4} M

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(0.01) V_1 = (6 \times 10^{-4})(25)$$

$$V_1 = 1.50 \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น 8×10^{-4} M

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(0.01) V_1 = (8 \times 10^{-4})(25)$$

$$V_1 = 2.00 \text{ mL}$$

ความเข้มข้น 10×10^{-4} M

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(0.01) V_1 = (10 \times 10^{-4})(25)$$

$$V_1 = 2.50 \text{ mL}$$

2. การเตรียม 4.0 M Ammonium acetate ที่ pH 7.2 ปริมาตร 100 mL

จาก $MW(\text{CH}_3\text{COONH}_4) = 77$

วิธีคิด

$$\frac{100 \times 4}{1000} = 0.40$$

น้ำหนักสารที่ต้องชั่ง $0.4 \times 77 = 30.80$ กรัม

3. การเตรียม 0.2M เมทิลอะซิโตนอะซิเตต

จาก 98%(v/v), $d = 1.077$, $MW(\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COOCH}_3) = 116.12$

วิธีคิด

$$\frac{10(98)(1.077)}{116.12} = 9.09 \text{ M}$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$(9.09) V_1 = (0.2)(100)$$

$$V_1 = \frac{20}{9.09}$$

$$= 2.20 \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การคำนวณหา %RSD

จากสูตร

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

เมื่อ X_i คือ ความเข้มข้นที่ทำได้

n คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ

จะได้
$$\bar{X} = \frac{0.3944+0.3605+\dots+0.4009}{10}$$

$$\bar{X} = 0.3747$$

จากสูตร

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

$$SD = 0.017$$

จากนั้นนำไปหาค่า %RSD

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 = 4.42$$

ตารางแสดงค่าความเที่ยงของการทำซ้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.3944
2	0.3605
3	0.3517
4	0.3790
5	0.3877
6	0.3815
7	0.3601
8	0.3602
9	0.3713
10	0.4009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ค่าการคืนกลับ(%Recovery)

	ครั้งที่	Spike Sample		Non-Spike Sample	
		Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มัลดีไฮด์ (mol/L)	Abs	ความเข้มข้น ฟอร์มัลดีไฮด์ (mol/L)
ตัวอย่างน้ำประปา ห้องปฏิบัติการชั้น5 (ตึกวิทย์ฯเก่า)	1	0.3379	4.4427×10^{-4}	n.d.	n.d.
	2	0.3656		n.d.	
	3	0.3619		n.d.	
เฉลี่ย		0.3551		n.d.	

คำนวณ

-สารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์(Std)ที่ความเข้มข้น 6×10^{-4} M วัดค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.4659
สมการเส้นตรง

$$Y=AX \times B$$

$$0.4659=615.39X + 0.0817$$

$$X= 6.243 \times 10^{-4} \text{ M}$$

-Spike Sample วัดค่าดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.3551

สมการเส้นตรง

$$Y=AX \times B$$

$$0.3551=615.39X + 0.0817$$

$$X= 4.4427 \times 10^{-4} \text{ M}$$

-Non-Spike Sample วัดค่าดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ n.d. (non detectable)

$$\% \text{Recovery} = \frac{\text{Spike Sample} - (\text{Non-Spike Sample}) \times 100}{\text{Std}}$$

$$= \frac{(4.4427 \times 10^{-4}) \times 100}{(6.243 \times 10^{-4})}$$

$$= 71.0\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และขีดจำกัดของการหาเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ)

ขีดจำกัดในการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างน้ำประปาและควันไอเสียที่ใช้แก๊ส

โซซอล์ทำการคำนวณจากสมการ $Y_{\text{intercept}} + 3S_{y/x}$

โดย $S_{y/x} = [\text{SUM } (y_i - \hat{y})^2 / (n-2)]^{1/2}$

$S_{y/x}$ คือ Standard deviation ของ $Y_{\text{intercept}}$

y_i คือ ค่าสัญญาณที่อ่านจากเครื่องมือวัด

\hat{y} คือ ค่าสัญญาณที่ควรเป็น จำนวน โดยใช้ method of least square

$n-2$ คือ degree of freedom ของ linear regression line

จากข้อมูลตารางที่ 4.2 แสดงค่าการคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัดสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ แต่ละความเข้มข้น ทำให้ทราบค่า (y_i) และ (\hat{y})

แสดงการคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด

ความเข้มข้นมาตรฐาน	y_i	\hat{y}	$y_i - \hat{y}$	$(y_i - \hat{y})^2$
2×10^{-4}	0.2015	0.2048	-3.3×10^{-3}	1.09×10^{-5}
4×10^{-4}	0.3235	0.3279	-4.4×10^{-3}	1.94×10^{-5}
6×10^{-4}	0.4659	0.4509	1.5×10^{-2}	2.25×10^{-4}
8×10^{-4}	0.5701	0.5740	-3.9×10^{-3}	1.52×10^{-5}
10×10^{-4}	0.6936	0.6971	-3.5×10^{-3}	1.23×10^{-5}
SUM				2.83×10^{-4}
$S_{y/x} = 9.71 \times 10^{-3}$				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขีดจำกัดการตรวจวัด : $LOD = 3S_{y/x} / b$

เพราะฉะนั้น

$$LOD = (3 \times 9.71 \times 10^{-3}) / 615.39$$

ปริมาณต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้

$$LOD \cong 4.73 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

ขีดจำกัดของการหาเชิงปริมาณ : $LOQ = 10/3 LOD$

เพราะฉะนั้น

$$LOQ = 10/3 \times 4.73 \times 10^{-5}$$

$$LOQ \cong 1.57 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

แนวทางแนะนำในการหาปริมาณฟอรั่มลดีไฮด์ สามารถหาได้จากการใช้ Phloroglucinol

เป็นรีเอเจนต์

ขั้นตอนการดำเนิน

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ความเข้มข้น 2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} , 10×10^{-4} M เช่นเดียวกับงานวิจัยที่นำเสนอมา

1.2 เตรียมสารละลาย Phloroglucinol (2% wt/v)

ซึ่ง phloroglucinol มาจำนวน 1.0 กรัม นำมาละลายน้ำ แล้วปรับปริมาตรเป็น 50.0 mL (โดยให้เตรียมในวันที่จะทำการทดลอง) เมื่อเตรียมเสร็จแล้วเก็บสารละลาย phloroglucinol 2% ไว้ในขวดสีชา

1.3 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2M

ซึ่ง KOH มาจำนวน 5.6 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำปรับปริมาตรเป็น 50.0 mL

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 การวัดสเปกตรัมของรีเอเจนต์

ทำการ Auto Zero ด้วยน้ำกลั่นก่อน จากนั้นทำการวัดสเปกตรัมรีเอเจนต์ โดยปิเปตน้ำมา 1.00 mL ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิเปตสารละลาย KOH 2M จำนวน 2.00 mL พร้อมเขย่าเป็นเวลา 1 นาที เมื่อครบแล้วปิเปตสารละลาย phloroglucinol 2% จำนวน 1.00 mL เขย่า 1 นาที เติมน้ำกลั่นอีกจำนวน 6.00 mL เขย่าอีก 1 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำสารละลายที่ได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} , 10×10^{-4} M

ทำการ Auto Zero ด้วยรีเอเจนต์ จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (2×10^{-4} , 4×10^{-4} , 6×10^{-4} , 8×10^{-4} , 10×10^{-4} M) มาจำนวน 1.00 mL ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเปิดสารละลาย KOH มาจำนวน 2.00 mL เขย่านาน 1 นาที จากนั้นเปิดสารละลาย phloroglucinol มาจำนวน 1.00 mL พร้อมเขย่านาน 1 นาที แล้วเติมน้ำกลั่นอีกจำนวน 6.00 mL เขย่าต่อานาน 1 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้เทใส่ cuvette แล้วนำไปสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร

ทำเช่นนี้จนครบทุกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอรั่มัลดีไฮด์

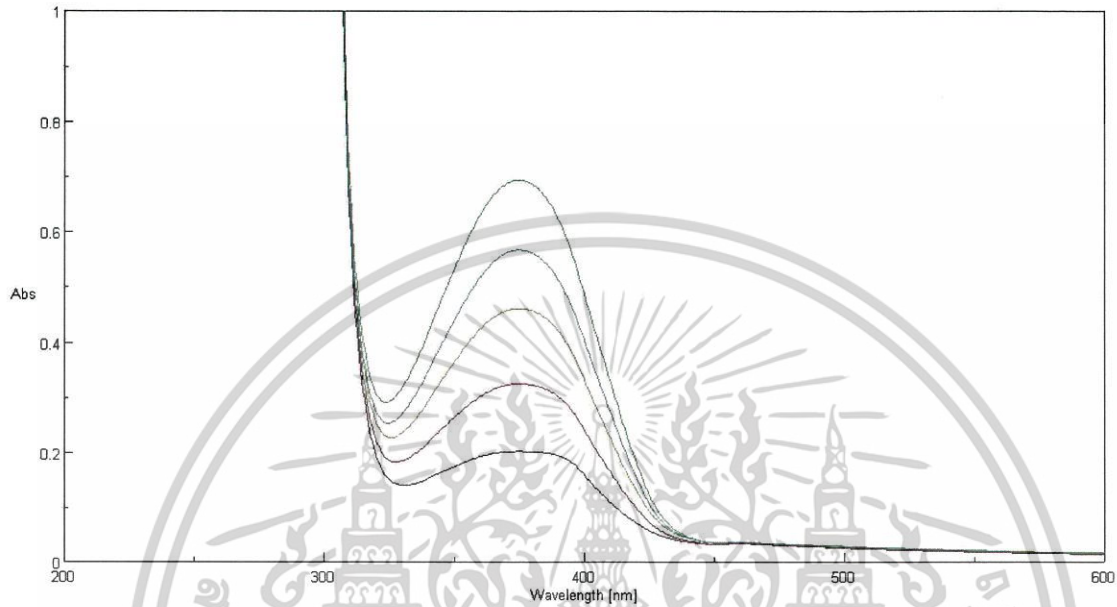
ผลการทดลอง

เนื่องจากผลการทดลองที่ได้นั้น ยังไม่ดีพอที่จะนำมาเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ จึงได้แนะแนวทางการทดลองนี้ ในการหาปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ เพื่อให้เป็นประโยชน์กับนักศึกษาที่สนใจ แล้วนำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองต่อไปในอนาคต

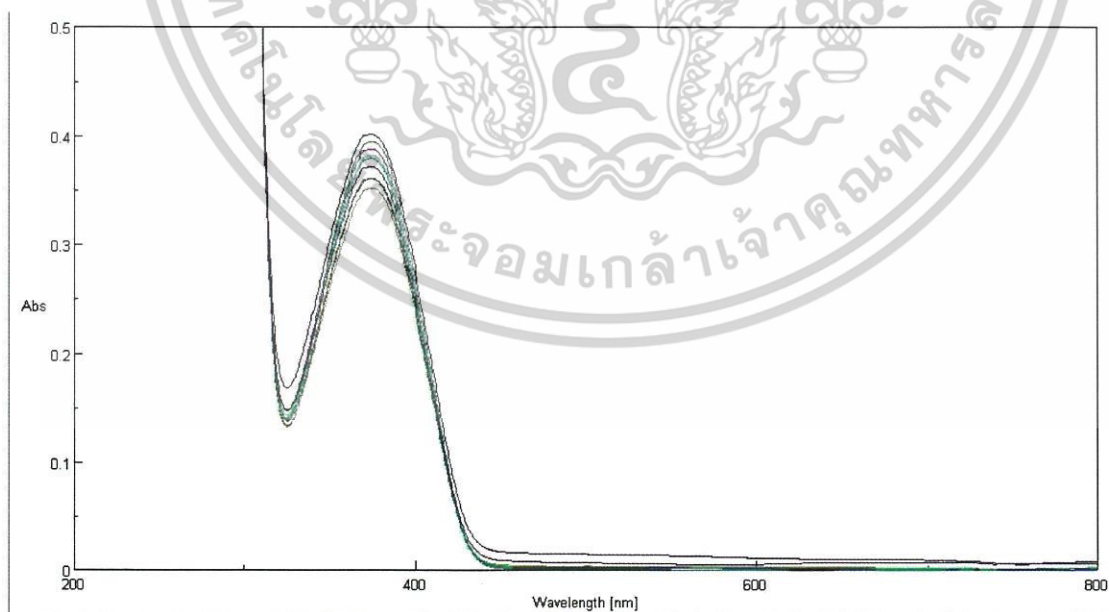
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

(ข)

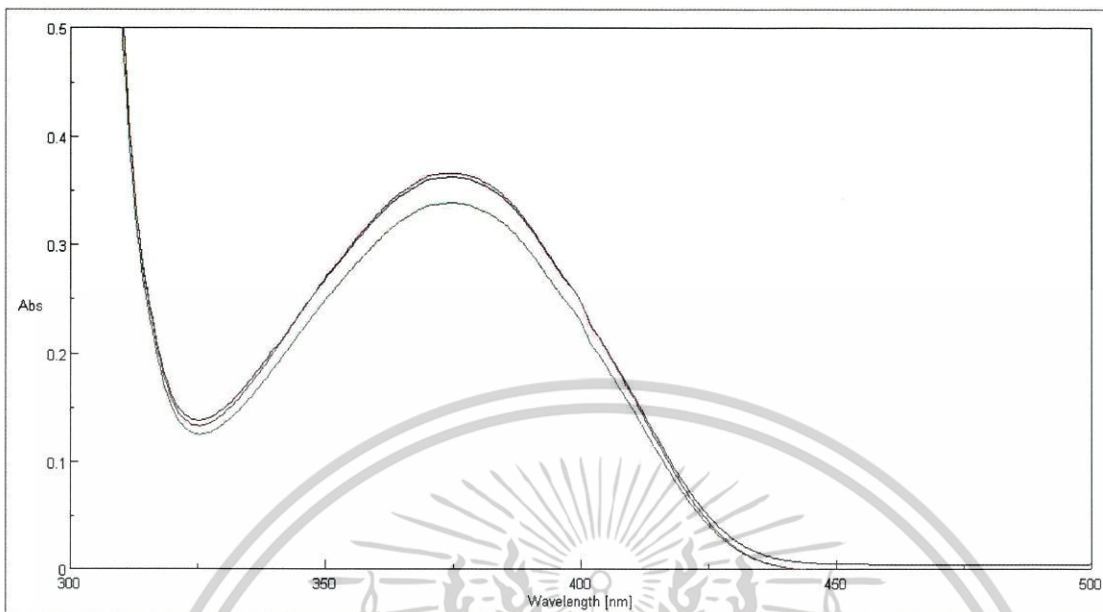


รูปที่ ข.1 แสดงสเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานพอร์มิลดีไฮด์
ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

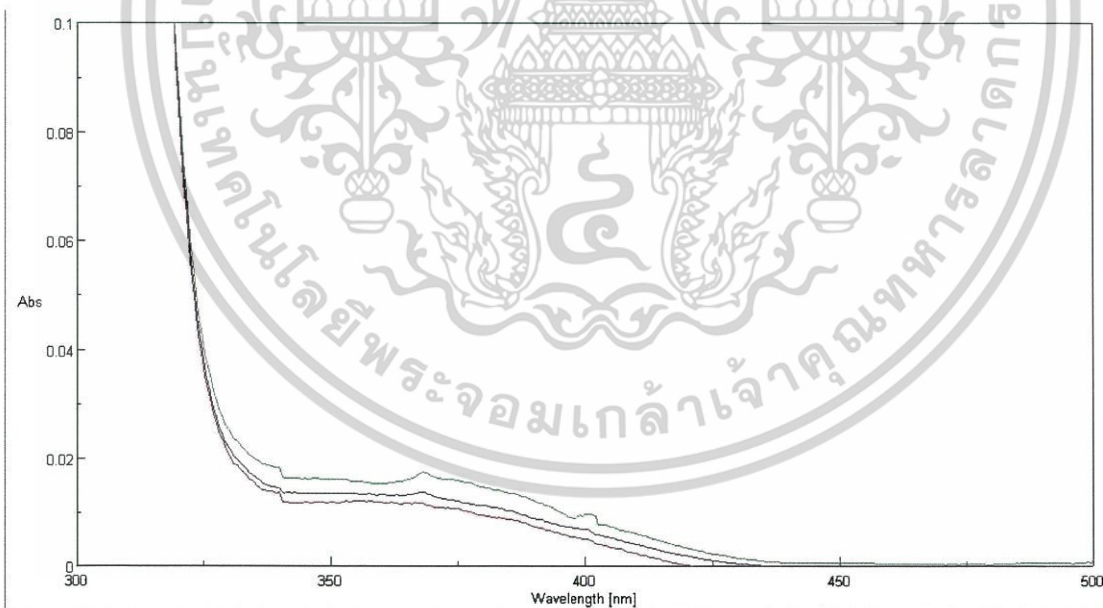


รูปที่ ข.2 แสดงสเปกตรัมค่าการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานพอร์มิลดีไฮด์ทำซ้ำ 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

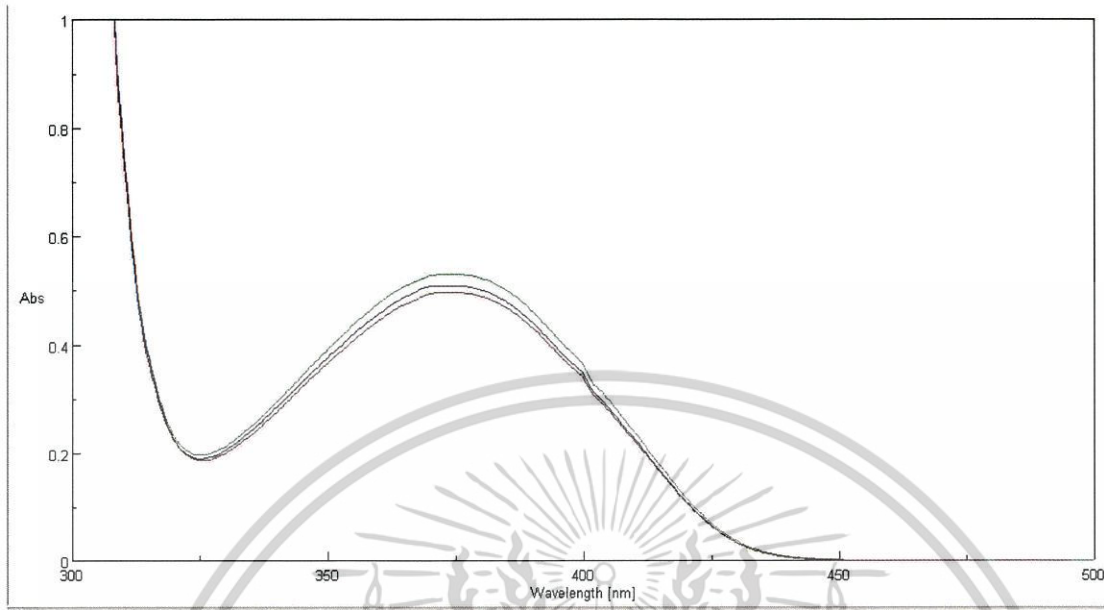


รูปที่ ข.3 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spike ของน้ำประปาห้องปฏิบัติการชั้น 5 (ตึกวิทยุเก่า)

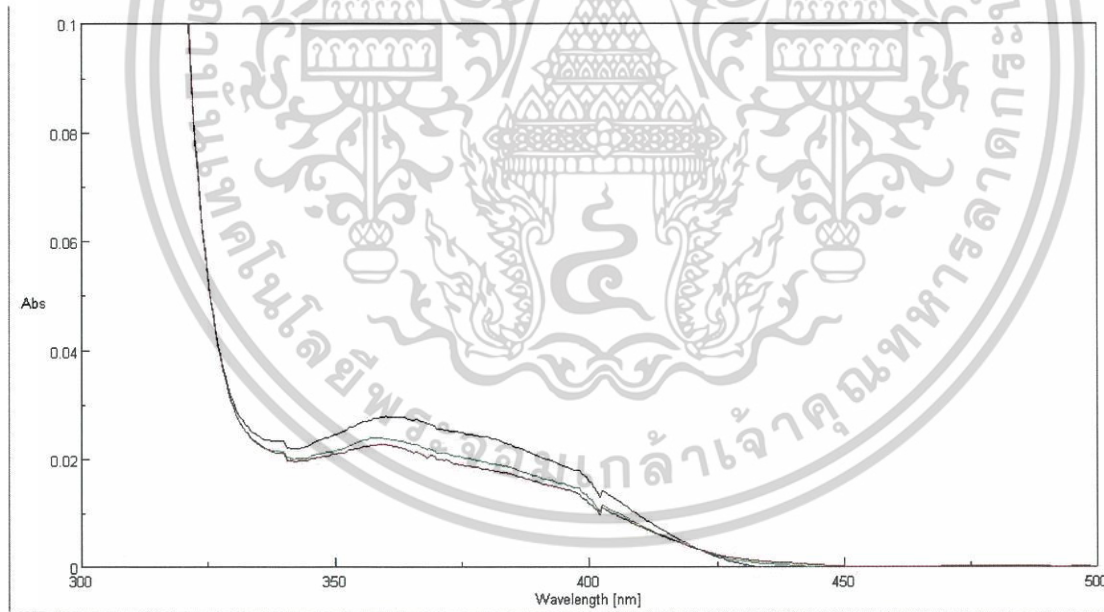


รูปที่ ข.4 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spike Sample ของน้ำประปาห้องปฏิบัติการ ชั้น 5 (ตึกวิทยุเก่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

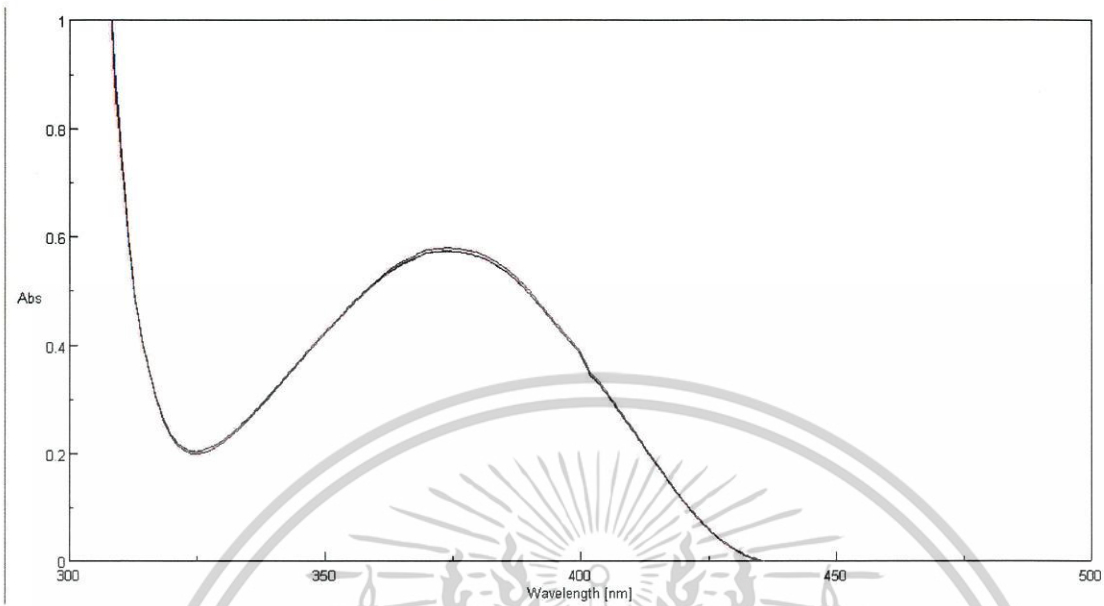


รูปที่ ข.5 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spike ของน้ำประปาเคอะมอลล์ (บางกะปิ)

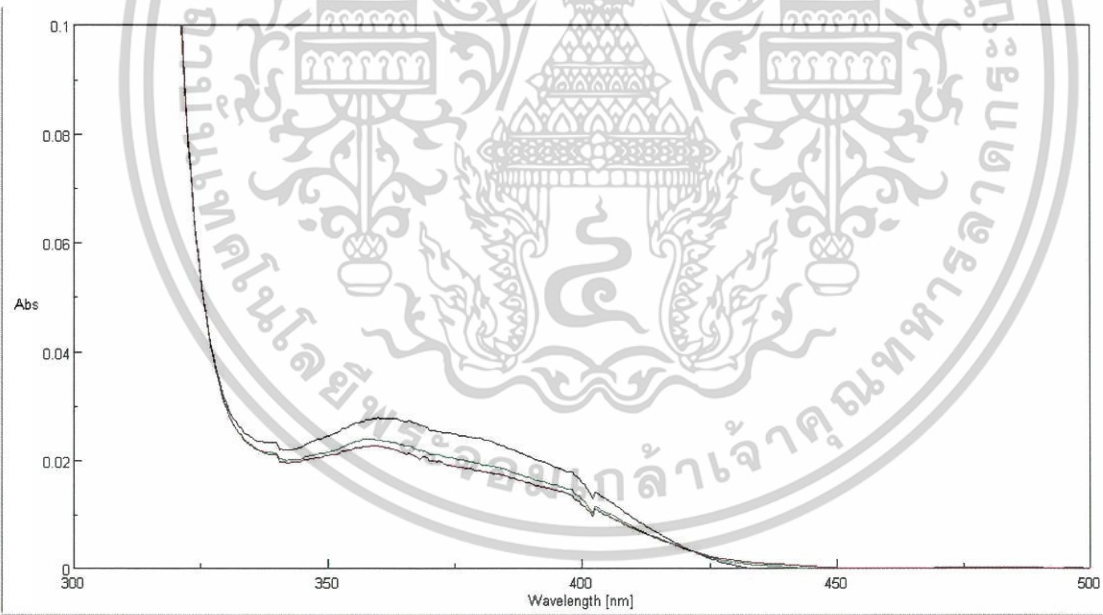


รูปที่ ข.6 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spike Sample ของน้ำประปาเคอะมอลล์ (บางกะปิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

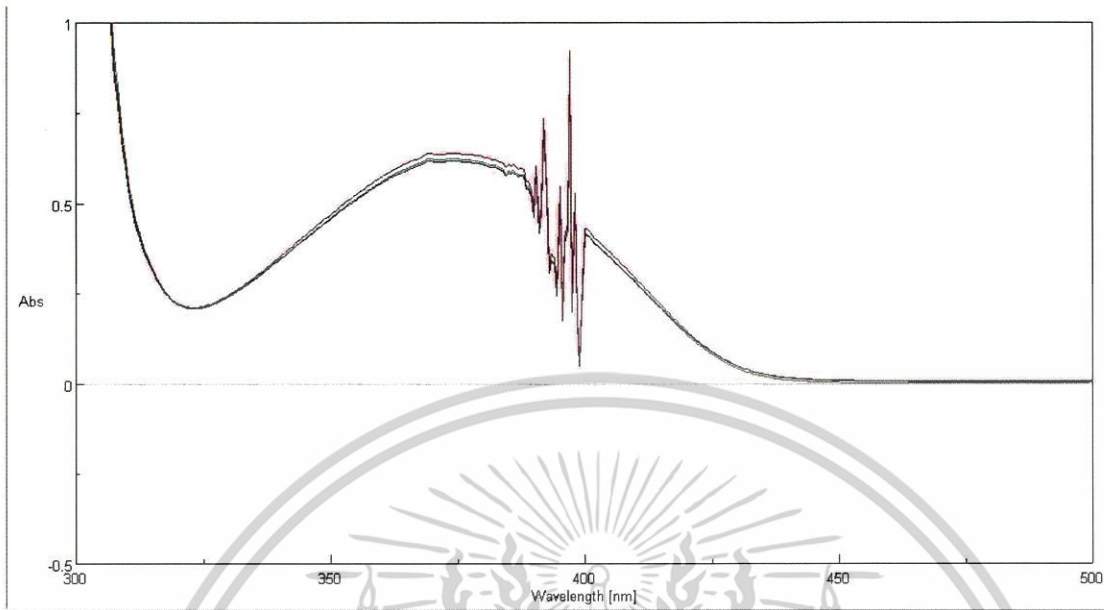


รูปที่ ข.7 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spike ของน้ำประปาพาร์ทเมนต์

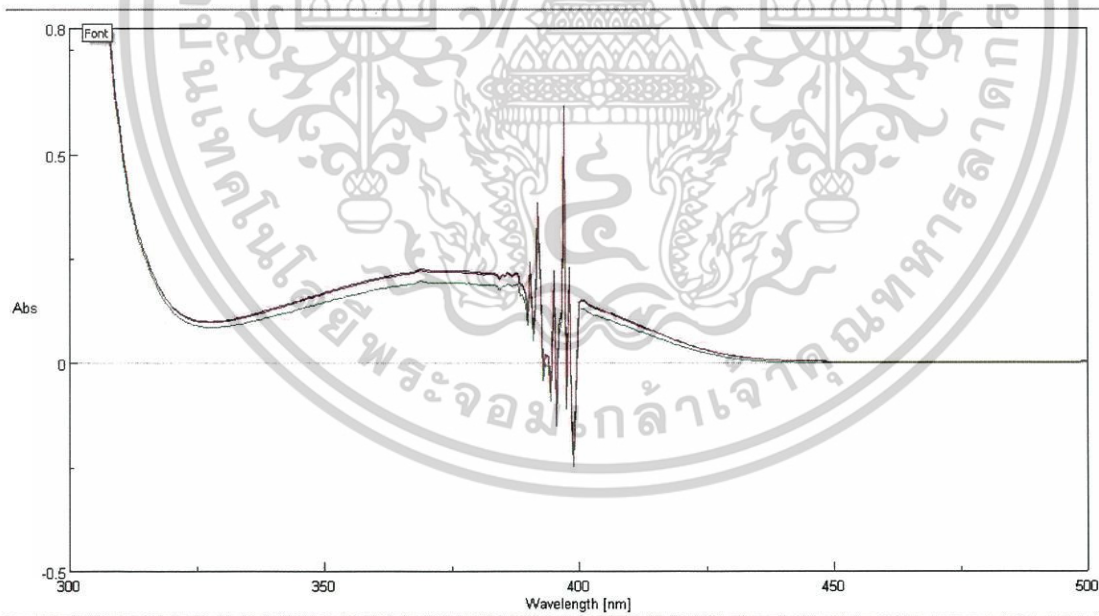


รูปที่ ข.8 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spike Sample ของน้ำประปาพาร์ทเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Spike ของควีนไอเสียจากแก๊สโซฮอล์



รูปที่ ข.10 แสดงสเปกตรัมการตรวจวัด Non-Spike Sample ของควีนไอเสียจากแก๊สโซฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้