

การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์
ด้วยเทคนิคการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

DEVELOPMENT OF MEMBRANELESS GAS-DIFFUSION UNIT
FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION OF TWO VOLATILE
ANALYTES BY FLOW-BASED TECHNIQUE

ปัทมาภรณ์ พูนทอง
BANKRUAT POONTONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่สนับสนุนโดยโครงการทุนวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาบัณฑิต
ปริญญาโท

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2555

ISBN-978-974-01-9218-2

การพัฒนาแก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านเพื่อตรวจวัดไอระเหยของ
สารสองชนิดในคราวเดียวกันโดยใช้ระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล

DEVELOPMENT OF MEMBRANELESS GAS-DIFFUSION UNIT
FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION OF TWO VOLATILE
ANALYTES BY FLOW-BASED TECHNIQUE

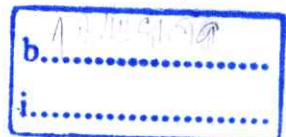


T123706

บรรเจิดศึกษ์ พูนทอง

BANJERDSUK POONTONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....123706
วัน, เดือน, ปี 23 11 2555



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

**DEVELOPMENT OF MEMBRANELESS GAS-DIFFUSION UNIT
FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION OF TWO VOLATILE
ANALYTES BY FLOW-BASED TECHNIQUE**

BANJERDSUK POONTONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2012

KMITL-2012-SC-M-012-024

COPYRIGHT 2012

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาแก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านเพื่อตรวจวัด
 ไอระเหยของสารสองชนิดในคราวเดียวกันโดยใช้ระบบวิเคราะห์
 ที่อาศัยการไหล

Development of Membraneless Gas-Diffusion Unit for
 Simultaneous Determination of Two Volatile Analytes
 by Flow-Based Technique

นักศึกษา
 รหัสประจำตัว
 ปริญญา
 สาขาวิชา
 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

นายบรรเจด็จศิษย์ พูนทอง
 52651105
 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
 เคมี
 ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วิบูลย์	ประดิษฐ์เวียงคำ	
ดร.เสาวภาคย์	ธีราทรง	
ดร.นवलละอ	รัตนวิมานวงศ์	นวลละอ โคนวิมานวงศ์
ดร.ณัฐวุฒิ	เชิงชั้น	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 เวลา 10.00 – 12.00 น.
 สถานที่สอบ ณ ห้อง 316 ชั้น 3 อาคารปฏิบัติการใหม่

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ตชณิ ณะบริพัฒน์)
 หนบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 29 เดือน พ.ศ. 55

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านเพื่อตรวจวัดไอระเหยของสารสองชนิดในคราวเดียวกันโดยใช้ระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล
นักศึกษา	นายบรรเจ็ดศึกษ์ พูนทอง
รหัสนักศึกษา	52651105
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมี (เคมีวิเคราะห์)
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. ณัฐวุฒิ เริงชัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์ “แก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่าน” (membraneless gas-diffusion unit: MGD unit) แบบใหม่เพื่อใช้ร่วมกับระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลสำหรับวิเคราะห์ไอระเหยของสารสองชนิดภายในคราวเดียวกัน MGD unit ประกอบด้วยช่องทางไหลของของเหลว 3 ช่องทางที่ขนานกัน ช่องกลางเป็นช่องทางไหลสำหรับสารตัวอย่าง อีกสองช่องเป็นช่องทางไหลสำหรับสารละลายดูดซับ ระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นจะใช้เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์เป็นแบบจำลองสารที่สนใจ เมื่อตัวอย่างระเหยไอของสารวิเคราะห์จะแพร่ไปยังบริเวณช่องอากาศเหนือของเหลว (head-space) ที่อยู่บนช่องทางไหล ไอของสารวิเคราะห์จะถูกดูดซับอยู่บนผิวหน้าของสารละลายดูดซับ คือ สารละลายโคโครเมตในสภาวะกรด (สำหรับวิเคราะห์เอทานอล) และ สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์-มอร์โฟลีน (สำหรับวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์) ซึ่งโซนของผลิตภัณฑ์ทั้งสองที่เกิดขึ้นมีสีฟ้าและแยกโซนผลิตภัณฑ์ทั้งสองด้วย delay coil เพื่อใช้เครื่องตรวจวัดเพียงเครื่องเดียว

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์มีช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน (linearity range) 1-40 เฟอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ $0.5 - 9 \times 10^{-3}$ โมลต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) 3.85 และ 4.70 ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืน (%recovery) อยู่ในช่วง 80 - 111% นำระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำสมุนไพรที่จำหน่ายในประเทศไทย พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้ข้างฉลาก ระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นประสบความสำเร็จในการหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และนอกจากนี้ MGD unit ที่ออกแบบใหม่สามารถแก้ไขอิทธิพลของ baseline shift และ tailing effect ได้โดยการเปิดฝา MGD unit อย่างอัตโนมัติเพื่อไล่ไอของสารวิเคราะห์ที่ตกค้าง

คำสำคัญ : แก๊สดีฟฟิวชันเทคนิค ไร้เชื้อเพลิงผ่าน, เอทานอล, อะซิทัลดีไฮด์, โพลีเอทิลีน

Thesis Title	Development of membranless gas-diffusion unit for simultaneous determination of two volatile analytes by flow-based technique
Student	Banjerdsuk Poontong
Student ID	52651105
Degree	Master of Science
Program	Chemistry (Analytical Chemistry)
Year	2012
Thesis Advisor	Dr. Nathawut Choengchan

ABSTRACT

This work describes a newly designed membraneless gas-diffusion (MGD) unit and its application to flow injection (FI) system for simultaneous analysis of two volatile analytes. The unit is composed of three paralleled channels. The central channel is exploited for delivering standard/sample solution while the other two channels are employed for acceptor solutions. The MGD-FI system was verified by applying to analyze ethanol and acetaldehyde. After aspiration, the volatile species from sample stream diffuse to head-space above the channels. Gaseous analytes absorb onto surface of the acceptor streams of acidic dichromate (for ethanol) and sodium nitroprusside-morpholine (for acetaldehyde). The reacted zones were propelled through a delay coil (for separating two chasing zone) toward a single detector where blue-colored product zones were monitored.

Under the optimized condition, the following characteristics are achieved: Linearity range of 1 to 40 % ethanol/ 0.5 to 9.0×10^{-3} M acetaldehyde, RSD of 3.85 % (for ethanol) and 4.70 % (for acetaldehyde) and analytical recovery varies from 80 to 111 %. The developed system was applied to alcoholic beverages and herb juices commercially available in Thailand. The determined concentrations of ethanol were agreed very well with the tag value. This implies that the MGD-FI system was successfully developed. In addition, baseline shift and tailing effect can be simply eliminated by means of the novel MGD unit, where its lid can be automatically open to release non absorbed gaseous molecules.

Keywords: Membraneless Gas-diffusion unit, Ethanol, Acetaldehyde, Flow injection

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐวุฒิ เจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็น ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.เสาวภาคย์ ชีราทรง และ ดร.นवलละออ รัตนวิมานวงศ์ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขพร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร. นพดล มณีรัตน์ ในการช่วยพัฒนาอุปกรณ์ และ โปรแกรมควบคุมการทำงานของปั๊ม

ขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านของสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาเคมี (เคมีวิเคราะห์) ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

บรรเจิดศิษฐ์ พูนทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 หลักการของโพลินเจกชันอะนาลิซิส.....	7
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ FIA.....	10
2.3 เทคนิคที่อาศัยการไหลสำหรับวิเคราะห์ไอระเหยอย่างจำเพาะเจาะจง.....	13
2.3.1 เทคนิคที่อาศัยการไหลร่วมกับอุปกรณ์ที่มีเชื้อเลือกผ่าน.....	13
2.3.2 เทคนิคที่อาศัยการไหลร่วมกับอุปกรณ์ที่ไม่มีเชื้อเลือกผ่าน.....	19
2.4 ยูวี – วิสิเบิลสเปคโทรสโกปี.....	21
2.5 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานอัตโนมัติ.....	22
2.5.1 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของฝา MGD unit	22
2.5.2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของปั๊ม.....	23
2.6 เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	27
2.6.1 เอทานอล.....	27
2.6.2 อะซีทัลดีไฮด์.....	28
2.6.3 การควบคุมปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 หลักการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์.....	29
2.7.1 หลักการตรวจวัดหาปริมาณเอทานอล.....	29
2.7.2 หลักการตรวจวัดหาปริมาณอะซีทัลดีไฮด์.....	29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์.....	30
2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการไหลร่วมกับอุปกรณ์ที่ไร้เชื้อเลือกผ่าน...32	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	35
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	35
3.1.1 สารเคมี.....	35
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	35
3.2 การเตรียมสารละลาย.....	36
3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล.....	36
3.2.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณอะซีทัลดีไฮด์.....	36
3.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์...37	
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	38
3.3.1 การศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเอทานอล และอะซีทัลดีไฮด์.....	38
3.3.2 การศึกษาการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะ ซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกัน.....	39
3.3.3 การออกแบบแก๊สคิฟิวชันชนิด ไร้เชื้อเลือกผ่านที่เหมาะสมสำหรับการ ตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์.....	43
3.3.4 การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์.....	46
3.3.5 การศึกษาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์.....	48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.6 การนำระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่ม แอลกอฮอล์สำหรับตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกัน...50	50
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....51	51
4.1 ผลการศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเอทานอลและอะ ซีทัลดีไฮด์.....51	51
4.1.1 ผลการศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นสูงสุดสำหรับการตรวจวัดเอทานอล.....51	51
4.1.2 ผลการศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นสูงสุดสำหรับการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์.....52	52
4.2 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดี ไฮด์ในคราวเดียวกัน.....53	53
4.2.1 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่ 1 : ใช้ป้อนคูคสารละลายคูคซับ.....53	53
4.2.2 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่ 2 : ฉีดสารละลายคูคซับโดยใช้อินเจกชัน วาล์ว.....54	54
4.2.3 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่ 3: ฉีดสารละลายคูคซับโดยไม่ใช้อินเจก ชันวาล์ว.....56	56
4.3 ผลการศึกษาการออกแบบแก๊สดีฟิวชันยูนิต (MGD unit) ชนิดไร้เชื้อเพลิงผ่านแบบ ต่างๆ.....57	57
4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างช่องแต่ละช่อง.....58	58
4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัญญาณค้ำและการแก้ปัญหา.....58	58
4.4 ผลการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์.....59	59
4.4.1 ผลการศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีต่อการวิเคราะห์เอทานอล.....59	59
4.4.2 ผลการศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีต่อการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์.....61	61
4.4.3 ผลการศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อระบบวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดี ไฮด์ในคราวเดียว.....63	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลการศึกษาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์.....	73
4.5.1 สรุปผลการศึกษาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์.....	73
4.5.2 ผลการคำนวณหาค่าความแม่นยำของระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลสำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว.....	74
4.6 ผลการนำระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลสำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	76
4.7 การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้วิเคราะห์เอทานอลที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	79
เอกสารอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของปั๊ม.....	88
ภาคผนวก ข. ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดฟลิวอิดโนมิตี.....	92
ภาคผนวก ค. วิธีมาตรฐานของ AOAC ข้อ 47.1.13 สำหรับการหาปริมาณเอทานอล.....	93
ภาคผนวก ง. วิธีมาตรฐานของ AOAC ข้อ 972.08 สำหรับการหาปริมาณอะซีทัลดีไฮด์.....	94
ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.....	96
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองการหาสถานะที่เหมาะสม.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางการสรุปรงานวิจัยของเทคนิคที่อาศัยการไหลของของเหลวร่วมกับอุปกรณ์ที่ไร้เชื้อเลือกผ่าน.....	33
3.1 แสดงวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	38
3.2 แสดงตัวแปรทางเคมีในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์เอทานอล..	46
3.3 แสดงตัวแปรทางเคมีในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์.....	47
3.4 แสดงตัวแปรทางกายภาพในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์.....	47
4.1 แสดงขนาดของ MGD unit ที่ใช้ในการศึกษา.....	57
4.2 แสดงการเปรียบเทียบสภาพไวในการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์.....	58
4.3 แสดงอัตราการไหลและปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา.....	63
4.4 แสดงผลการศึกษาปัจจัยทางเคมีและปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์.....	73
4.5 แสดงค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ในการวิเคราะห์เอทานอล.....	75
4.6 แสดงค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ในการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์.....	75
4.7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.....	77
จ.1 แสดงวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	96
จ.2 แสดงวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมและสารละลาย internal standard ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	97
ฉ.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต.....	100
ฉ.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก.....	100
ฉ.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายเมอร์โฟลีน.....	101
ฉ.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์.....	101
ฉ.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของปั๊ม P1.....	101
ฉ.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของปั๊ม P3.....	102
ฉ.7 ผลการศึกษาอิทธิพลของขนาดท่อผสม.....	102
ฉ.8 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาตรของสารตัวอย่าง.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ฉ.9 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการระเหย.....	103
ฉ.10 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มความเข้มข้น.....	103

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงระบบ FIA.....	7
2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก่อนของตัวอย่าง ในกระแสตัวพาที่กำลังไหลเป็นฟังก์ชันของเวลาและรูปร่างของสัญญาณจากการวิเคราะห์ที่ได้แต่ละแบบ.....	8
2.3 ลักษณะของ Peristaltic pump.....	10
2.4 แสดงถึงการทำงานของ Peristaltic pump	10
2.5 แสดง Tubing, Connector และ fitting.....	11
2.6 แสดง Injection port.....	12
2.7 แสดง Flow through cellที่ใช้กับเครื่อง UV – Vis spectrophotometer	12
2.8 แสดงเทคนิค FIA ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่มีเยื่อเลือกผ่าน.....	13
2.9 กระบวนการถ่ายโอนมวลของสารตัวอย่างใน GD.....	14
2.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของเยื่อเลือกผ่าน PTFE	14
2.11 ลักษณะของ GD unit แบบ sandwich.....	15
2.12 ลักษณะ GD unit ชนิดที่เป็นแบบ tubular.....	16
2.13 เป็นลักษณะของ GD unit แบบ sandwich	17
2.14 แสดง Conventional pervaporation module.....	18
2.15 แสดงแสดงรูปถ่ายของ MGD unit.....	19
2.16 แสดงขนาดของ MGD unit.....	20
2.17 แสดงรูปวาดของ MBL-VP unit.....	21
2.18 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมปั๊ม.....	24
2.19 โครงสร้างภายในของ PLC	25
2.20 หน้าจอโปรแกรม Visual Basic 6.0.....	26
2.21 รีเลย์และสัญลักษณ์ของรีเลย์.....	26
3.1 แสดงระบบที่ 1 : ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับ.....	39
3.2 แสดงระบบที่ 2: ถัดสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์ว.....	41
3.3 แสดงระบบที่ 3: ถัดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์ว.....	42
3.4 แสดงขนาดของ MGD unit แบบที่หนึ่ง.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แสดงขนาดของ MGD unit แบบที่สอง.....	45
4.1 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เอทานอล.....	52
4.2 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์.....	52
4.3 แสดงระบบที่ 1 : ใช้ป้อนคุณสารละลายดูดซับสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว.....	53
4.4 แสดงระบบที่ 2: นิตสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์วสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว.....	55
4.5 แสดงระบบที่ 3: นิตสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์วสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว.....	56
4.6 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อปิดฝา และเปิดฝา.....	59
4.7 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	60
4.8 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	61
4.9 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายมอร์โฟลีนที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	62
4.10 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	62
4.11 แสดงผลของอัตราการไหลของป้อน P1 ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์และอัตราเร็วในการวิเคราะห์.....	64
4.12 แสดงผลของอัตราการไหลของป้อน P2 ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	65
4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์และเอทานอลเมื่อใช้ delay coil ความยาวต่าง ๆ กัน.....	67
4.14 แสดงผลของ delay coil ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	68
4.15 แสดงผลของปริมาตรสารตัวรับที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	69
4.16 แสดงผลของเวลาในการระเหยที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 แสดงผลของเวลาในการระเหยที่ส่งต่ออัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	71
4.18 แสดงผลของการเพิ่มความเข้มข้นที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์.....	72
4.19 แสดงผลของการเพิ่มความเข้มข้นที่ส่งผลต่ออัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	72
ก.1 แสดงหน้าจอ GUI เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา.....	88
ก.2 การตั้งค่าต่างๆในการควบคุมปั๊ม.....	89
ก.3 การกำหนดสถานะในแต่ละขั้นตอน.....	89
ก.4 การป้อนค่าเวลาให้กับปั๊ม.....	90
ก.5 การสั่งการทำงานของกระบวนการ.....	91
ข.1 แสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัลสีตำแหน่งเมื่อทำการกดปุ่มตัวเลข.....	92
ข.2 แสดงการป้อนเวลาผิด.....	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

1.1.1 การวิเคราะห์ที่ไอระเหยด้วยแก๊สดีฟฟิวชันยูนิตร่วมกับระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล:
ข้อดี – ข้อเสีย?

เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์บางเทคนิคอาจถูกรบกวนจากตัวรบกวน (Interference) หรือองค์ประกอบเดิมที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Matrix) [1] ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ดังนั้นต้องแยกตัวรบกวนเหล่านี้ออกไป ในระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลมีการนำอุปกรณ์ขนาดเล็กมาใช้เพื่อเพิ่มความจำเพาะเจาะจงสำหรับการตรวจวัด เรียกว่า แก๊สดีฟฟิวชันยูนิต (Gas - diffusion unit, GD unit) ซึ่งอุปกรณ์นี้มีข้อดี คือ ภายในมีเยื่อเลือกผ่าน (Hydrophobic Membrane) ชนิดที่ยอมให้สารวิเคราะห์ที่เป็นแก๊สเท่านั้นแพร่ผ่านได้ ขณะที่ตัวรบกวนอื่น ๆ ที่ละลายน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านได้

อย่างไรก็ตาม GD unit ยังมีข้อเสียอยู่ คือ ต้องเปลี่ยนแผ่นเยื่อเลือกผ่านเนื่องจากการเสื่อมสภาพ เพราะ เกิดการอุดตันจากตัวอย่างที่มีความสกปรก ซึ่งแผ่นเยื่อเลือกผ่านมีราคาแพงหากเปลี่ยนบ่อยทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายได้

1.1.2 การวิเคราะห์ที่ไอระเหย (อย่างจำเพาะเจาะจง) ด้วยแก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านร่วมกับระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล: ข้อดี – ข้อเสีย?

แก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่าน (Membraneless gas-diffusion unit, MGD unit) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อเสียของ GD unit คือ MGD unit ไม่มีการใช้เยื่อเลือกผ่านและ MGD unit สามารถเปิดฝาได้เพื่อระบายแก๊สตกค้าง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการเปิดฝา MGD unit ไม่เป็นแบบอัตโนมัติทำให้เพิ่มขั้นตอนการทำงานโดยไม่จำเป็น และบางครั้งการตรวจวัดอาจมีความต้องการตรวจวัดสารที่สนใจมากกว่าหนึ่งชนิดในคราวเดียวกันซึ่งยังไม่สามารถทำได้ด้วย MGD unit แบบเดิม ทำให้การใช้ MGD unit ไม่ค่อยสะดวกและแพร่หลายเท่าที่ควร

1.1.3 แก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านแบบใหม่

จากที่กล่าวมาในหัวข้อ 1.1.1 และ 1.1.2 ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบและพัฒนา MGD unit ให้สามารถวิเคราะห์สารที่สนใจได้สองชนิดพร้อมกัน โดยใช้ระบบที่อาศัยการไหลของเหลว และเป็นระบบอัตโนมัติแบบใหม่ที่สามารถเปิดและปิดฝาได้ด้วยการตั้งเวลา ในขั้นตอนการวิเคราะห์ สารละลายตัวอย่างและรีเอเจนต์ถูกดูดเข้าสู่ระบบโดยพร้อมกันอย่างอัตโนมัติภายใต้

การทำงานของปั๊มที่ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ MGD unit ที่ออกแบบขึ้นจะประกอบด้วย 3 ช่องที่ขนานกันตามแนวยาว โดยสารตัวอย่างของเหลวจะไหลเข้าสู่ช่องตรงกลาง ที่เรียกว่า donor channel ส่วนอีกสองช่องที่ขนานข้าง donor channel จะเรียกว่า acceptor channel ซึ่งเป็นช่องทางไหลของรีเอเจนต์ที่ทำปฏิกิริยาจำเพาะเจาะจงต่อสารวิเคราะห์นั้น ๆ ภายใน MGD unit สารวิเคราะห์ที่ระเหยได้สองชนิดจะระเหยไปยังบริเวณอากาศเหนือของเหลว (headspace) ในขณะที่ตัวรบกวนอื่น ๆ ในตัวอย่างที่เป็นของเหลวถูกแยกออกไป สารวิเคราะห์จะถูกดูดซับอยู่บนผิวหน้าของรีเอเจนต์เกิดผลิตภัณฑ์ขึ้นและนำสู่เครื่องตรวจวัด ไอของสารวิเคราะห์ที่ตกค้างอยู่จะถูกปล่อยออกโดยการเปิดฝา MGD unit ด้วยระบบอัตโนมัติ

เมื่อเทียบกับเทคนิคแบบเดิม เทคนิคนี้มีความอัตโนมัติและสามารถวิเคราะห์สารที่ระเหยได้สองชนิด ภายในคราวเดียวกัน เป็นระบบที่ง่าย ลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแผ่นเชื้อเลือกผ่านจากข้อดีต่าง ๆ จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้ MGD unit แบบใหม่กับเทคนิคที่อาศัยการไหลของเหลวนี้เป็นทางเลือกใหม่สำหรับหาปริมาณสารที่ระเหยได้สองชนิดภายในคราวเดียวกันอย่างจำเพาะเจาะจง ในงานวิจัยนี้จะนำวิธีนี้มาประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ซึ่งเลือกใช้เป็นสารต้นแบบ โดยจะวิเคราะห์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เพื่อทดสอบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบแก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเลือกผ่านแบบใหม่ ที่สามารถวิเคราะห์สารสองชนิดได้ในคราวเดียวกันและสามารถเปิดฝาเพื่อระบายแก๊สตกค้างได้อย่างอัตโนมัติ
2. เพื่อนำแก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเลือกผ่านแบบใหม่มาใช้กับเทคนิคที่อาศัยการไหลของของเหลวเพื่อวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ซึ่งเป็นแบบจำลองสารที่สนใจ
3. เพื่อทดสอบการนำไปใช้งานและความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาการออกแบบแก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเลือกผ่านแบบใหม่ สำหรับวิเคราะห์สารที่สนใจสองชนิดร่วมกับระบบอัตโนมัติในการเปิดฝา โดยใช้เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์เป็นแบบจำลองสารที่สนใจ นำแก๊สดีฟิวชันยูนิตต่อเข้ากับระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล ซึ่งการไหลของสารละลายจะอาศัยปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของปั๊ม นำระบบที่พัฒนาขึ้นมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระบบและคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

การใช้แก๊สไฟฟ้าชั้นยูนิตชนิดไร้เชื้อเลือกผ่านร่วมกับระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลทำให้วิธีวิเคราะห์มีความจำเพาะเจาะจงสูง จึงต้องทดสอบการนำไปใช้ได้จริงโดยการหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์



1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1.4.1 ค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 ออกแบบแก๊สคิฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเลือกผ่านและพัฒนาระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล

1.4.3 นำระบบที่พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับวิเคราะห์หาเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ ศึกษาหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ ทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ

1.4.4 หาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

1.4.5 ทดสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นกับที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัย	2554												2555					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
เดือน																		
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↓																	↑
2. ออกแบบแกตัสไฟฟ้าชุมชนใดหรือเลือกผ่าน				↔														
3. สร้างอุปกรณ์เปิดไฟอัตโนมัติ																		
- ออกแบบโปรแกรมสำหรับใช้ควบคุมอุปกรณ์เปิดไฟอัตโนมัติ	↔		↔															
- สร้างอุปกรณ์เปิดไฟอัตโนมัติและนำมาประยุกต์ใช้กับแกตัสไฟฟ้าชุมชนใดหรือเลือกผ่าน				↔														
4. พัฒนาระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล																		
- การศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม	↔																	
- การศึกษาการรบกวนของปฏิกิริยา			↔															
- การศึกษาเพื่อหาสถานะที่เหมาะสม				↔														
5. หาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์																		↔
6. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีมาตรฐานแกตัสโครมาโทกราฟี																		↔
7. เขียนวิทยานิพนธ์	↓																	↑

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 พัฒนาแก๊สดีฟิวชันชนิดไร้เชื้อเพลิงผ่านแบบใหม่ที่สามารถวิเคราะห์แก๊ส/ไอระเหยได้สองชนิดในคราวเดียวกัน โดยเป็นอุปกรณ์ที่เปิดฝาเพื่อระบายแก๊สตกค้างได้อย่างอัตโนมัติและมีความจำเพาะเจาะจง

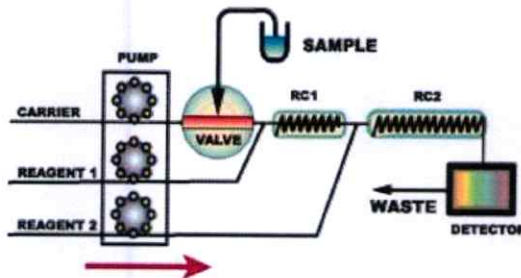
1.5.2 วิเคราะห์แบบใหม่เพื่อใช้ควบคุมคุณภาพปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของโฟลอินเจกชันอะนาไลซิส [2]

โฟลอินเจกชันอะนาไลซิส (Flow Injection Analysis, FIA) เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติซึ่งอาศัยหลักการพื้นฐาน คือ มีการฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาณน้อยๆ (30-200 ไมโครลิตร) ผ่านทางวาล์วของระบบ FIA เข้าสู่กระแสตัวพา ซึ่งอาจเป็นรีเอเจนต์หรือตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องเข้ามาในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก ประมาณ 1 มิลลิเมตร (โดยปราศจากอากาศัน) ด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมและคงที่ตลอด ซึ่งควบคุมได้โดยการใช้เพอริสแตติกปั๊ม (peristaltic pump) สารตัวอย่างจะผสมกับกระแสตัวพา แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เช่น เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช และสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น แล้วติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสม ระบบ FIA ง่าย แสดงดังรูปที่ 2.1

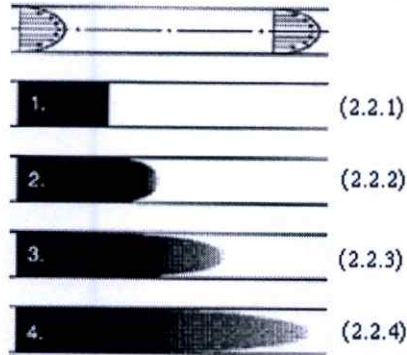


รูปที่ 2.1 ระบบ FIA , RC: reaction coil [3]

หลังจากฉีดสารตัวอย่างก่อนของตัวอย่าง (sample zone) จะผสมกับสารตัวพา และ/หรือรีเอเจนต์ แล้วเกิดการกระจายตัว (dispersion) และการแพร่บางส่วน การแพร่จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการไหล เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ความยาวของท่อ และสัมประสิทธิ์การแพร่ [2] ดังนั้นการกระจายตัวหรือการเจือจางก่อนของตัวอย่างสามารถควบคุมและปรับให้เหมาะสมตามความต้องการของการวิเคราะห์นั้นๆ โดยเลือกปริมาตรของการฉีดตัวอย่าง อัตราการไหลของกระแสตัวพา ความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ รูปร่างก่อนของตัวอย่างในกระแสตัวพาที่กำลังไหล ที่เวลาต่างๆ กันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าทันทีที่ฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA นั้น ท่อนของตัวอย่างจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังรูป 2.2.1 ขณะที่ ท่อนของตัวอย่าง เคลื่อนที่ไปภายในท่อจะเกิด การยืดขยายตัว (band broadening) หรือการกระจายตัวขึ้น รูปร่างก่อนของตัวอย่าง นี้เกิดจากปรากฏการณ์ 2 อย่าง คือ

1. การพา (convection) เกิดจากการไหลเนื่องจากมีแรงเสียดทานต้านการไหลไว้แบบ ลามินาร์ (laminar) เนื่องจากเมื่อของเหลวไหลผ่านท่อ ความเร็วที่ผนังท่อจะมีค่าเป็นศูนย์ และที่จุดศูนย์กลางของท่อจะมีความเร็วสูงสุด ดังนั้นเมื่อมีท่อของตัวอย่างอยู่ในกระแสตัวพา ท่อนของตัวอย่างนั้นจะมีลักษณะเป็นพาราโบลาคงรูป 2.2.2

2. การแพร่ (diffusion) มี 2 แบบ คือ การแพร่ตามแนวรัศมีท่อ (radial diffusion) ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลของสารละลาย และ การแพร่ตามแนวยาวของท่อ (longitudinal diffusion) ซึ่งมีทิศทางการไหลขนานทิศทางการไหลของสารละลาย



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นท่อนของตัวอย่าง ในกระแสตัวพาที่กำลังไหลเป็นฟังก์ชันของเวลาและรูปร่างของสัญญาณจากการวิเคราะห์ที่ได้แต่ละแบบ

1. ไม่เกิดการแพร่กระจาย
2. การแพร่กระจายเนื่องจากการพา
3. การแพร่กระจายโดยการพา และการแพร่ตั้งฉากกับการไหล
4. การแพร่กระจายเนื่องจากการแพร่

2.1.1 การกระจายตัว (dispersion)

ขณะที่ท่อนของตัวอย่างเคลื่อนที่ผ่านท่อเล็กๆ ในระบบ FIA นั้นการกระจายตัวของท่อนของตัวอย่าง [4] จะเพิ่มขึ้น นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจะมีค่ามาก สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายได้ดังต่อไปนี้

$$D = \frac{C^\circ}{C}$$

D คือสัมประสิทธิ์การกระจาย

C° คือความเข้มข้นเริ่มต้นขององค์ประกอบก่อนการกระจายตัว

C คือความเข้มข้นที่จุดสูงสุดของการกระจายตัว

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (D) สามารถหาได้โดยการฉีดสารละลายที่ทราบความเข้มข้น C เข้าไปในระบบ FIA วัดค่าการดูดกลืนแสงใน โพลทรูเซลล์ (flow-through cell) หลังจากทำการฟมาตรฐาน คำนวณหาค่า C จาก Beer's law

สัมประสิทธิ์การกระจาย (D) เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับอัตราการใช้ ความยาวของท่อ และขนาดหรือปริมาตรของสารตัวอย่าง เมื่อฉีดสารตัวอย่างปริมาณมาก สัมประสิทธิ์การกระจายจะมีค่าเป็น 1 ภายใต้สภาวะเช่นนี้จะไม่มีการผสมของสารตัวอย่างกับสารในกระแสตัวพาเกิดขึ้นจึงไม่มีการแพร่ของสารตัวอย่างเกิดขึ้นด้วย ในการวิเคราะห์โดยวิธี FIA ส่วนมากต้องการให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับกระแสตัวพาซึ่งในกรณีนี้สัมประสิทธิ์การกระจาย จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ

2.1.2 การกระจายที่ถูกควบคุม

พบว่าเทคนิค FIA จะมีการกระจายตัว 3 แบบ คือ การกระจายตัวแบบจำกัด การกระจายตัวแบบปานกลาง และการกระจายตัวอย่างมาก ซึ่งมีค่าการกระจายอยู่ในช่วง 1-3, 3-10 และมากกว่า 10 ตามลำดับ

2.1.2.1 การกระจายตัวแบบจำกัด

มีการกระจายตัวของ sample zone น้อยมาก ($D = 1 - 3$) ใช้เมื่อต้องการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเดิมของสารตัวอย่างที่เคลื่อนที่ถึงเครื่องตรวจวัดโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น เช่น ต้องการหาค่าความเป็นกรด ด่าง การนำไฟฟ้า หรือ ความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารตัวอย่าง สารละลายที่ใช้เป็นกระแสตัวพานั้นจะไม่มีผลกระทบต่อวิเคราะห์สารตัวอย่างแต่อย่างใด เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นตัวพาสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่องตรวจวัดเท่านั้น การกระจายตัวก่อนของตัวอย่างแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ FIA แบบที่มีหน่วยตรวจวัดเป็นเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันหรือเป็นเครื่องตรวจวัดทางไฟฟ้า

2.1.2.2 การกระจายตัวแบบปานกลาง

ท่อนของตัวอย่าง มีการกระจายตัวบ้างในกระแสตัวพาที่ทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ และ/หรือ ตัวทำละลายก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องตรวจวัด การกระจายตัวของ sample zone แบบนี้มีค่า $D = 3 - 10$ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี FIA เป็นส่วนมาก เพราะเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการผสมของสารตัวอย่างกับกระแสตัวพาและสารละลายรีเอเจนต์ ทำให้เกิดสารประกอบหรือสารประกอบเชิงซ้อนที่ดูคลีนคลีนแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ คายแสงแบบฟลูออเรสเซนซ์

2.1.2.3 การกระจายตัวอย่างมาก

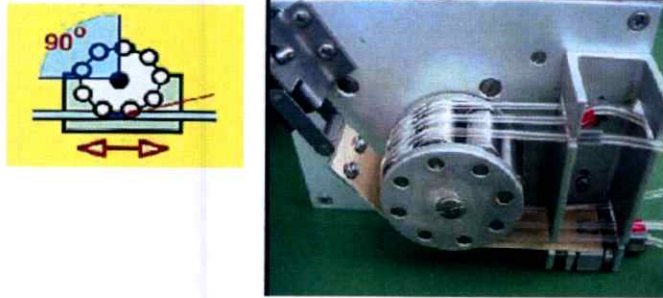
จะมีการกระจายตัวอย่างมากในกระแสตัวพา ซึ่งมีค่า D มากกว่า 10 ถ้าใช้ความยาวท่อระหว่างจุดฉีดสารตัวอย่างถึงจุดตรวจวัดยาวเกินไป สัญญาณที่ได้จะกว้างมาก การกระจายตัวก่อนของตัวอย่างแบบนี้เหมาะสำหรับวิเคราะห์สาร โดยวิธี FIA แบบไทเทรชันความกว้างของสัญญาณที่จุดกึ่งกลางของความสูงของสัญญาณเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่จะวิเคราะห์ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณได้

อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะมีลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบใดนั้น สิ่งสำคัญก็คือจะต้องควบคุมการกระจายให้คงที่เหมือนเดิมทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์ซึ่งทำได้โดยควบคุมสภาวะที่ใช้ในการทดลองทั้งของสารละลายมาตรฐาน และสารตัวอย่างต้องเหมือนกันทุกประการ เช่น ระยะเวลาที่สารตัวอย่างอยู่ในระบบ (residence time) อุณหภูมิ และการแพร่ของสารตัวอย่าง

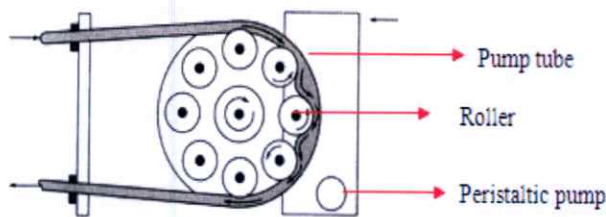
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ FIA

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ FIA มีดังนี้

1. หน่วยของการขับเคลื่อน (Propelling System) คือ ส่วนของการขับเคลื่อนสารเข้าสู่ระบบ FIA ทำให้เกิดการไหลของสารอย่างต่อเนื่อง มีความแม่นยำสูง นิยมใช้ peristaltic pump ซึ่งปั๊มนี้สามารถควบคุมอัตราการไหลได้โดยทำการปรับตัวเลขรอบของการหมุนของปั๊ม ประกอบด้วยชุดของลูกกลิ้ง (set of roller) ทำงานโดยการ รีด/บีบ ท่อพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูงสารรีเอเจนต์หรือสารตัวพาจะถูกดูดเข้าสู่ระบบ โดยผ่านท่อพลาสติกนี้



รูปที่ 2.3 ลักษณะของ Peristaltic pump

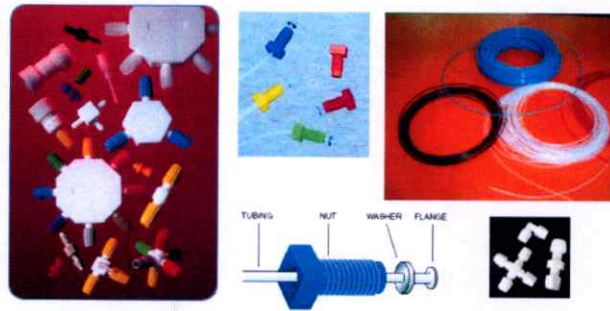


รูปที่ 2.4 แสดงถึงการทำงานของ Peristaltic pump

2. หน่วยของการขนส่ง (Transport System) เกี่ยวข้องกับการนำสารละลายผ่านไปตามท่อไปยังเครื่องตรวจวัด ประกอบด้วย

2.1 Tube ใช้ท่อพลาสติกขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร สำหรับระบบที่มีการกระจายน้อยและมากตามลำดับ ส่วนใหญ่ทำจาก polyethylene polypropylene หรือ polytetrafluoroethylene (PTFE)

2.2 Connector เป็นส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างสองท่อเข้าด้วยกัน ลักษณะของ connector อาจจะเป็นรูปตัว Y หรือ T และขนาดครุที่เจาะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม



รูปที่ 2.5 แสดง Tube, Connector และ fitting

2.3 Mixing Part เป็นส่วนที่สารตัวอย่างจะเกิดการแพร่กระจายในกระแสรอบเจนต์ และทำปฏิกิริยากันก่อนที่จะผ่านเข้าไปยังโฟลเซลล์ (flow cell) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนรอบหรือความยาวของท่อครอบภาชนะทรงกระบอก แต่ก็ต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุดของความยาวของท่อนั้นด้วย mixing มีหลายแบบดังนี้

- Open tube เป็นท่อตรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันออกไป
- Zigzag ใช้ท่อโค้งเป็นรูปซิกแซก ความยาวและระยะของรูปซิกแซกจะมีผลต่อการแพร่กระจายของสารตัวอย่างในกระแสรอบเจนต์
- Coil ใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กันที่เหมาะสมพันรอบแกนที่เป็นวัตถุทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ
- Single bead string reactor (SBSR) ใช้ท่อบรรจุ glass bead หรือลูกปัดที่ทำจากโพลีเมอร์เคลือบลงในท่อพลาสติก โดยเรียง glass bead ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60% -80% ของท่อพลาสติกแถวเดียว
- Chain ใช้ท่อพลาสติกพันเป็นลูกโซ่
- Pack reactor ประกอบด้วยท่อที่บรรจุด้วยวัตถุเคมีมีฤทธิ์ (chemically active) หรือวัตถุเฉื่อยไม่นิยมใช้ใน FIA เพราะถ้าบรรจุวัตถุที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดขวางการไหลผ่านของกระแส แต่ถ้า บรรจุวัตถุที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดการต้านการไหลจำเป็นต้องใช้แรงดันสูงในการขับเคลื่อน
- Mixing chamber เป็นภาชนะผสมหรือห้องผสมที่มีองศาการผสมสูงหรือให้โรเจนต์ร่วมกับสารตัวอย่างได้อย่างสมบูรณ์

2.4 Injection port เป็นส่วนที่ประกอบด้วยช่อง (port) ต่างๆเพื่อนำสารตัวอย่างเข้าสู่กระแสตัวพา โดยไม่รบกวนการไหลของกระแส ระบบการฉีดควรจะทำให้ง่ายและรวดเร็ว อุปกรณ์ที่นิยมใช้ เช่น syringe และ rotary valve เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แสดง Injection port

3. Flow through cell คือ ส่วนที่รองรับท่อน โชนของผลิตภัณฑ์ที่ถูกลำแสงเข้ามาเพื่อตรวจวัด ส่วนนี้จะอยู่ภายในเครื่องตรวจวัด รูปทรงของส่วนนี้จะเป็นอย่างไรมันขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องตรวจวัด



รูปที่ 2.7 แสดง Flow through cell ที่ใช้กับเครื่อง UV – Vis spectrophotometer

4. หน่วยของการตรวจวัด (Detector system)

▪ Optical

- UV-Vis spectrophotometer
- Diode array and IR spectrophotometer
- Atomic spectrophotometer
- Solid state photometer (LED source)
- Photodiode detector
- Fluorometer , Chemiluminescence detector

▪ *Electrochemical*

- Conductometer
- Potentiometer (ISE and pH electrode)
- Amperometer
- Coulometer
- Voltammeter

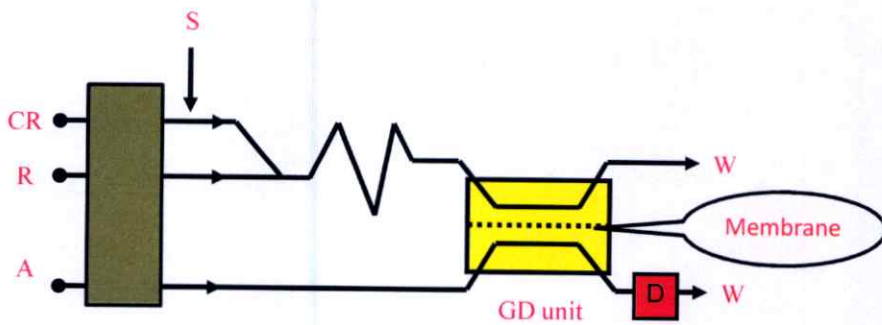
5. หน่วยของการบันทึกสัญญาณ (recorder) เป็นเครื่องที่ต่อสัญญาณจาก detector สามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เกิดขึ้นออกมาในรูปของสัญญาณได้

2.3 เทคนิคที่อาศัยการไหลสำหรับวิเคราะห์ไอระเหยอย่างจำเพาะเจาะจง

2.3.1 เทคนิคที่อาศัยการไหลร่วมกับอุปกรณ์ที่มีเยื่อเลือกผ่าน

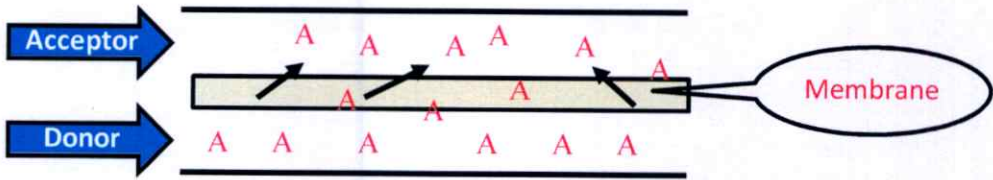
2.3.1.1. Gas – diffusion unit with flow injection (GD-FI)

ระบบ GD – FI แบบทั่ว ๆ ไป แสดงดังรูปที่ 2.8 ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่กระแสของตัวพา (carrier) ที่ไหลอย่างต่อเนื่อง สารตัวอย่างจะไหลต่อไปยังกระแสของรีเอเจนต์ (reagent) ที่เรียกว่า กระแสตัวให้ (donor stream) และเกิดปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหย (volatile) ไอระเหยของสารผลิตภัณฑ์จะไหลไปตามกระแสของกระแสตัวให้เข้าสู่ GD unit ภายใน GD unit เกิดการแพร่ของสารผลิตภัณฑ์ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (membrane) เข้าสู่กระแสตัวรับ (acceptor stream) ซึ่งกระแสตัวรับจะทำหน้าที่จับไอระเหยของสารผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดและไหลเข้าสู่เครื่องตรวจวัดต่อไป



รูปที่ 2.8 แสดงเทคนิค FIA ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่มีเยื่อเลือกผ่าน (Gas-diffusion (GD) – Flow Injection); GD unit คือ แก๊สดิฟฟิวชันยูนิตที่มีเยื่อเลือกผ่าน; D คือ เครื่องตัววัดยูวี-วิสิเบิล; W คือ ของเสี้ยว; S คือ ตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน; A คือ กระแสตัวรับ (acceptor stream); R คือ กระแสตัวให้ (donor stream); CR คือ กระแสตัวพา

โดยทั่วไป GD ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับการถ่ายโอนมวล (mass transfer) ด้วยกระแสการไหลสองกระแสที่ถูกแยกออกจากกัน โดยใช้เยื่อเลือกผ่านแผ่นบาง ๆ ที่มีการแพร่ของสารตัวอย่างผ่านรูพรุนของเยื่อเลือกผ่านซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.9



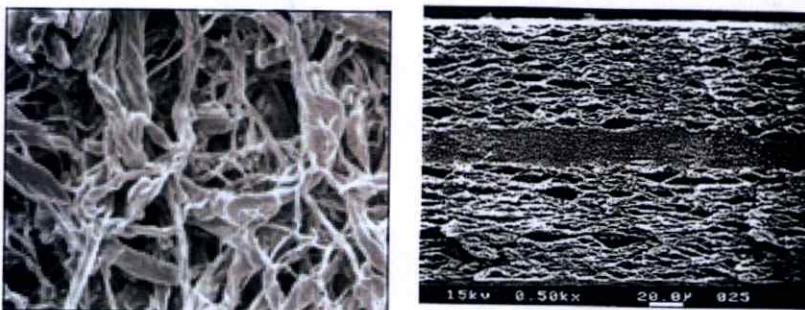
รูปที่ 2.9 กระบวนการถ่ายโอนมวลของสารตัวอย่างใน GD

เนื่องจากโดยทั่วไปมีเพียงแก๊สส่วนน้อยเท่านั้นที่จะแพร่ได้ แต่เมื่อแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปแล้วก๊าซดังกล่าวจะถูกดักจับด้วยสภาวะทางกายภาพหรือทางเคมีด้วยอัตราคงที่ จึงสามารถนำมาใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณได้อย่างถูกต้อง

ชนิดความแตกต่างของเยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในการศึกษาการแพร่ผ่านของเยื่อเลือกผ่านสำหรับระบบ FIA มีหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่ที่พบว่ามีการใช้งานมีอยู่ 3 ชนิด ดังนี้ คือ

1. Porous membrane เช่น microporous polytetrafluoroethylene (PTFE) membrane
2. Nanoporous membrane เช่น silicone rubber
3. Ionic membrane เช่น nafion[®]

การถ่ายโอนมวลผ่านผนังเยื่อเลือกผ่านจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น ความหนาของเยื่อเลือกผ่าน หรืออัตราการไหลของ donor และ acceptor ดังนั้นเยื่อเลือกผ่านที่บางหรือไม่หนาจนเกินไปจึงนิยมใช้ โดยทั่วไปในระบบ GD-FI ความหนาของเยื่อเลือกผ่านจะอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของเยื่อเลือกผ่าน PTFE ที่มี pore size ขนาด 0.5 ไมโครเมตร ที่ถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope: SEM

คุณสมบัติของเยื่อเลือกผ่านที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ในระบบ GD-FIA มีดังนี้

- เยื่อเลือกผ่านควรให้มีเฉพาะสารประกอบในสถานะแก๊สเท่านั้นที่สามารถระเหยผ่านไปได้ และไม่ให้ของเหลวทะลุผ่าน เยื่อเลือกผ่านควรเลือกใช้แบบไฮโดรโฟบิกเมมเบรนเพื่อหลีกเลี่ยงการถ่ายโอนมวลจากการกระบวนการ dialysis

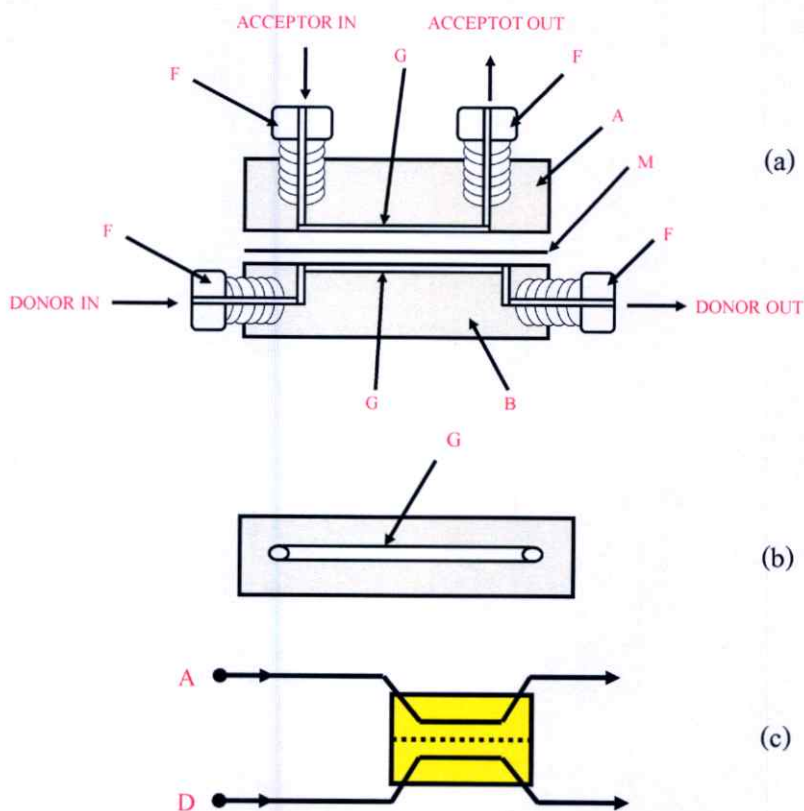
- เยื่อเลือกผ่านควรแสดงคุณสมบัติของทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่ดี เช่น มีประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลข้ามรอยต่อของผิวสัมผัส

- มีโครงสร้างของพันธะภายในเยื่อเลือกผ่านที่แข็งแรงภายใต้สภาวะการทดลองที่ต่อเนื่องกัน

- เยื่อเลือกผ่านควรทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน

- ผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านไม่ควรอุดตันง่ายเนื่องจากสารแขวนลอยในการไหลของกระแสตัวพา

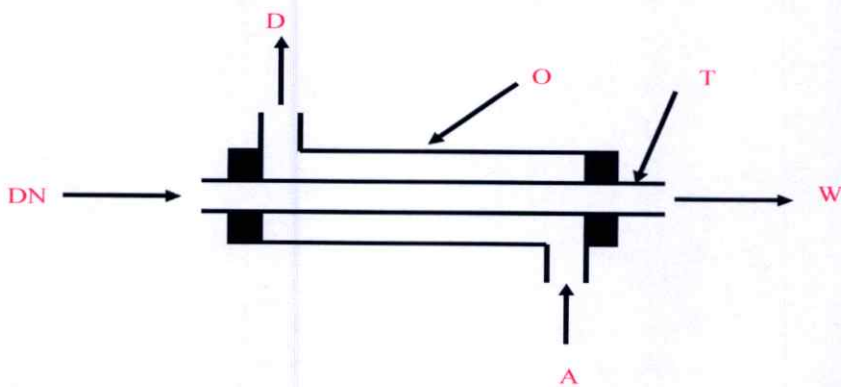
ลักษณะของ GD unit ที่ใช้ร่วมกับเยื่อเลือกผ่านมีหลายแบบ เช่น แบบ sandwich และ แบบ tubular แสดงในรูป 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ โดยทั่วไปการออกแบบทั้งสองแบบนี้จะมีช่องของตัวรับ (acceptor channel) และช่องของตัวให้ (donor channel) ถูกแยกออกจากกันโดยเยื่อเลือกผ่านซึ่งมีลักษณะรูพรุนเพื่อให้สารวิเคราะห์ที่มีสถานะแก๊สแพร่ผ่านไปได้



รูปที่ 2.11 ลักษณะของ GD unit แบบ sandwich; (a) คือ มุมมองด้านข้าง; A, B คือ ยูนิตที่ทำขึ้นจากพลาสติก; F คือ สกรูชนิด; G คือ ร่องที่ทำการเจาะ; M คือ เมมเบรนที่มีรูพรุนสำหรับให้แก๊สแพร่;

(b) คือ มุมมองด้านบนบนแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งและร่องที่ทำการเจาะในลักษณะเส้นตรง; (c) คือ รูปวาดอย่างง่ายที่ใช้แทน GD unit แบบ sandwich; D คือ กระแสของตัวให้; A คือ กระแสของตัวรับ; M คือ เยื่อเลือกผ่าน

ลักษณะของ GD unit แบบ sandwich ที่แสดงดังรูปที่ 2.11 จะมีเยื่อเลือกผ่านแยกการไหลของกระแสตัวรับ (acceptor stream) และกระแสตัวให้ (donor stream) ในลักษณะ sandwich ระหว่างสองส่วนของตัวยูนิต ส่วนช่องทางไหลเข้าและออกของของเหลวจะไหลผ่าน connectors ตัวยูนิตประกอบไปด้วย 2 ส่วน ซึ่งทำจาก โพลีไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) หรือโพลีเทตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene, PTFE) หรือ โพลีเมทิลเมทาครีเลต (poly(methyl methacrylate), PMMA) ทั้ง 2 ส่วนนี้จะประกอบยึดติดกันด้วยสกรูชนิดเพื่อหลีกเลี่ยงการรั่วไหลของแก๊สระหว่างยูนิตกับเยื่อเลือกผ่าน ลักษณะรูปทรงของช่องที่เป็นทางไหลของกระแสตัวรับและตัวให้นั้นจะมีรูปทรงได้หลายแบบ เช่น เส้นตรง ขดหรือวง ครึ่งวงกลม สามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมคดตามขวาง ขนาดความลึกของช่อง 0.1 – 1.0 มิลลิเมตร ความกว้างของช่อง 1 – 3 มิลลิเมตรและความยาว 3 – 10 มิลลิเมตร บางครั้งภายในช่องอาจมีการใส่ ลูกแก้ว (glass beads) หรือ ตาข่ายสแตนเลส (stainless steel gauzes) หรือ ตาข่ายไนลอน (nylon lined) เพื่อที่จะช่วยส่งเสริมการแพร่ของแก๊สให้แพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ดีขึ้นและยืดอายุการใช้งานของเยื่อเลือกผ่านไม่ให้อุดตันง่าย



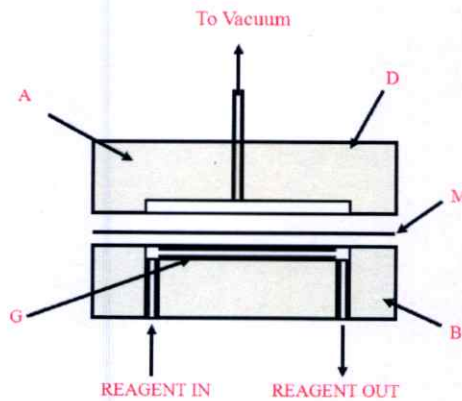
รูปที่ 2.12 ภาพตัดขวาง GD unit ชนิดที่เป็นแบบ tubular ; DN คือ กระแสตัวให้; T คือ ท่อที่ทำจากเยื่อเลือกผ่าน; W คือ ของเสีย; O คือ ภายนอกของคอลัมน์ที่มีการไหลเข้าและออกของกระแสตัวรับ; D คือ หน่วยตรวจวัด

ในรูป 2.12 GD unit ชนิดที่เป็นแบบท่อ (tubular) นั้นลักษณะจะคล้ายคอลัมน์ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ท่อกลางภายในทำจากเยื่อเลือกผ่าน (tubular membrane) และท่อภายนอกทำจากท่อพลาสติกหรือแก้วซึ่งจะหุ้มท่อกลางอยู่ บริเวณภายในท่อกลางมีการไหลของสารตัวให้ เมื่อเกิดการแพร่ของแก๊สแล้วจะไหลออกกลายเป็นของเสียทางด้านปลายท่อ ภายนอกของคอลัมน์จะมีการไหลของกระแสตัวรับจากบริเวณส่วนท้ายท่อไปยังส่วนตัวตรวจวัด

ท่อกลวงภายในทำจากเยื่อเลือกผ่านมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ถึง 4 มิลลิเมตร ยาว 8 ถึง 20 เซนติเมตร ภายนอกของท่อที่ทำจากท่อพลาสติกหรือแก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ถึง 10 มิลลิเมตร ตัวอย่างการออกแบบ GD unit แบบ tubular เช่น Aoki และคณะ [10], Nagashima และคณะ [11], Motomizu และคณะ [12]

บางครั้ง GD unit แบบท่อดังรูปที่ 2.12 ภายนอกจะไม่มีกรไล่ออกของกระแสตัวรับมีวัตถุประสงค์เพื่อนำแก๊สที่ไม่เป็นพิษออกจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ในกรณีที่เป็นแก๊สพิษภายนอกของท่อสามารถต่อกับเครื่องดูดอากาศ เช่น บั๊มสุญญากาศ ในระบบของ Nyasulu [13] เป็นการนำแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของไทโอซัลเฟตออกจากระบบ หลังจากทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคโพเทนชิโอเมตริก ร่วมกับระบบโฟลติโนเจนชันอะนาไลซิสสำหรับตรวจวัดซิลเวอร์ไอออน การประยุกต์ใช้ GD unit แบบ tubular นั้นอาจมีการบรรจุ ลูกบิดที่ทำจากโพลีเมอร์เนื้อลงในท่อ โดยเรียงลูกบิดในท่อให้มีลักษณะเป็นแถวเดียวเพื่อช่วยการผสมและลดการกระจายตัวของท่อน โชนผลิตภัณฑ์ (product zone)

ในบางครั้ง GD unit จะถูกนำไปใช้เพื่อการกำจัดแก๊ส Pedersen et al. [14] โดยงานวิจัยนี้เป็นการเผ่าระวังทางสิ่งแวดล้อมเป็นการกำจัด ฟอสเฟตและไนเตรตซึ่งเพิ่มหน่วยกำจัดแก๊ส (degasser) ทำโดยเจาะรูลงในยูนิตแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของ GD unit แบบ sandwich ที่สามารถกำจัดแก๊สได้; A,B คือ ยูนิตที่ทำจากพลาสติก; D คือ sintered metal disk; M คือ เยื่อเลือกผ่านแบบรูพรุน และ G คือ ร่องที่ทำการเจาะ [12]

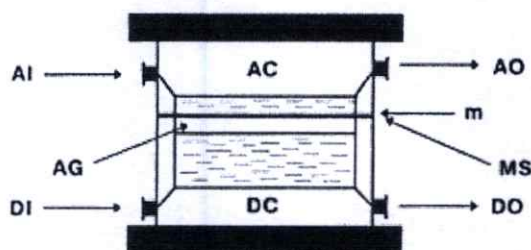
2.3.1.2. Pervaporation unit with flow injection (PV-FI)

วิธี Pervaporation ถูกค้นพบโดย Kober ปี 1917 คำว่า pervaporation นั้นมาจากคำว่า permeation และ evaporation (การแทรกผ่านและการระเหยเป็นไอ) ระบบ PV-FI แบบทั่ว ๆ ไปแสดงดังรูปที่ 2.14 จากรูปดังกล่าว หลักการวิเคราะห์ไอระเหยด้วย PV-FI จะดำเนินไปในลักษณะ

เดียวกันกับ GD-FI แต่ในการแยกจะมีขั้นตอนการแยกบริเวณเยื่อเลือกผ่านที่แตกต่างกันอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1. กระบวนการระเหยของสารตัวอย่างขึ้นสู่ช่องอากาศ (Air Gap)
2. กระบวนการแพร่ของสารระเหยจากช่องอากาศผ่านเยื่อเลือกผ่าน
3. กระบวนการดูดซับสารระเหยที่แพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านเข้าสู่สารละลายตัวรับ (Acceptor)

โดยสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านออกมาจะอยู่ในสภาพไอเนื่องจากความดันไอออกมีค่าต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวขาเข้า การทำให้ความดันต่ำลงนั้น สิ่งสำคัญในวิธีนี้คือจะต้องเลือกเยื่อเลือกผ่านที่เหมาะสมโดยชนิดของเยื่อเลือกผ่านแบ่งเป็น hydrophilic membrane ซึ่งใช้แยกน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์ และ hydrophobic membrane ซึ่งใช้แยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำ โดยทั่วไปแล้วเยื่อเลือกผ่านที่ใช้กับเทคนิค PV-FI จะหนากว่าแบบที่ใช้กับเทคนิค GD-FI



รูปที่ 2.14 แสดง Conventional pervaporation module เมื่อ DC คือ ช่องบรรจุสารตัวให้, AC คือ ช่องบรรจุสารตัวรับ, MS คือ เยื่อเลือกผ่านช่วย, m คือ เยื่อเลือกผ่าน, AG คือ ช่องอากาศ, DI ทางเข้าสารตัวให้, DO ทางออกสารตัวให้, AI ทางเข้าสารตัวรับ, AO ทางออกสารตัวรับ

PV-FI เป็นการแยกสารที่สนใจออกจากตัวอย่างแบบออนไลน์เหมาะกับการแยกสารที่ระเหยได้ (volatile and semi-volatile) ออกจากตัวอย่างที่สกปรกหรือมีการปนเปื้อนสูง เช่น ตัวอย่างที่มีสารลดแรงตึงผิว สารกัดกร่อนรุนแรง สารโมเลกุลขนาดใหญ่ หรืออนุภาคขนาดใหญ่ที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งไม่อาจวิเคราะห์ด้วยวิธี GD-FI เนื่องจากสารปนเปื้อนเหล่านี้มีผลทำให้เกิดการเสียดสีของเยื่อเลือกผ่านและทำให้เกิดการอุดตันของรูพรุนในเยื่อเลือกผ่าน ทำให้ประสิทธิภาพการแยกลดลง เทคนิค PV-FI จะช่วยป้องกันการเสียดสีของเยื่อเลือกผ่านเนื่องจากมีช่องอากาศ (air gap) ชั้นระหว่างผิวหน้าของกระแสดตัวอย่างและเยื่อเลือกผ่านทำให้สารตัวอย่างบางชนิดที่มีการปนเปื้อนสูง ไม่สัมผัสกับเยื่อเลือกผ่านโดยตรง ทำให้สามารถฉีดสารตัวอย่างที่สกปรกลงในกระแสดตัวพาได้โดยตรง ขั้นตอนที่เกิดขึ้นมีดังนี้ สารที่สนใจในสารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับสารตัวให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นไอและแพร่ผ่านช่องอากาศ (air gap) จากนั้นจะซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านเข้าสู่กระแสดตัวรับที่ทำหน้าที่นำสารที่สนใจเข้าสู่เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสมต่อไป

สามารถนำ PV-FI มาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้ดังนี้

1. การแยกน้ำ (dehydration) เป็นการแยกน้ำจากของเหลวอินทรีย์ เช่น การแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์

2. การแยกสารอินทรีย์ออกจากสารละลายของสารอินทรีย์-น้ำ เช่น การแยกฟีนอลออกจากน้ำทิ้ง การแยกสารให้กลิ่นรส

3. การแยกสารอินทรีย์จากสารผสมอินทรีย์ เช่น o-xylene, p-xylene เป็นต้น

โดยสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ใน 2 ข้อหลังต้องมีคุณสมบัติระเหยกลายเป็นไอหรือสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นและให้ผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นไอได้ดี

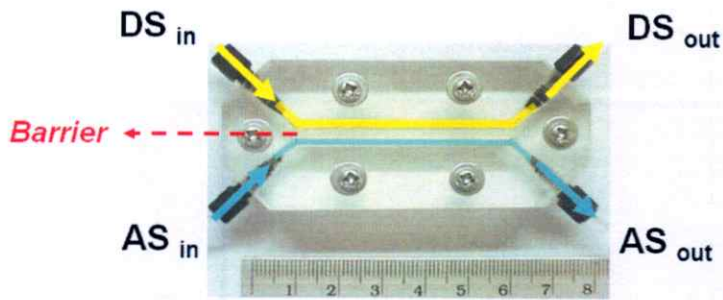
จากคุณสมบัติข้างต้นที่กล่าวมา จึงทำให้กระบวนการแยกสารแบบ pervaporation สามารถแก้ปัญหาในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่สกปรก เช่น ตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม หรือตัวอย่างอาหารที่มีเมทริกซ์ปนเปื้อนมากได้เป็นอย่างดี

2.3.2 เทคนิคที่อาศัยการไหลร่วมกับอุปกรณ์ที่ไม่มีเยื่อเลือกผ่าน

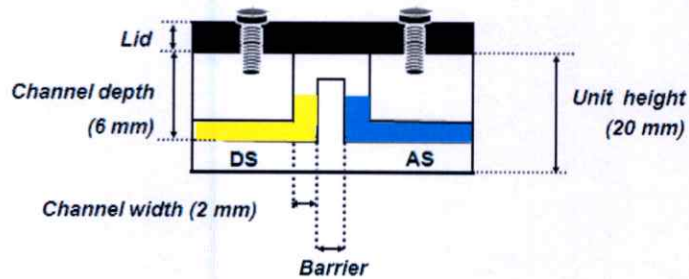
2.3.2.1 Membranless gas-diffusion unit with flow injection (MGD-FI)

รูปแสดง MGD unit แสดงดังรูปที่ 2.15 และ 2.16 MGD unit ประกอบไปด้วยสองช่องที่ขนานกันตามแนวยาวถูกกั้นโดยผนังบาง (Barrier) ที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกับ MGD unit ช่องแรกเป็นช่องทางไหลของกระแสตัวให้ (donor channel) ช่องทางที่สองเป็นช่องทางไหลของกระแสตัวรับ (acceptor stream) ซึ่งการออกแบบนั้นจะออกแบบให้มีลักษณะเปิด-ปิด ฝาได้เพื่อลดการเกิด carry over ของสารวิเคราะห์และการเกิด contaminate หลักการวิเคราะห์คล้ายกับการใช้ GD unit แต่ปราศจากการใช้เยื่อเลือกผ่าน เพื่อลดข้อจำกัดในด้าน การอุดตัน การเสื่อมสภาพของเยื่อเลือกผ่าน การแยกแก๊สใน MGD จะเกิดขึ้นโดยสารตัวอย่างจะไหลไปตามกระแสของสารตัวให้ (donor stream) เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหย จากนั้นจะแพร่ไปยังบริเวณ headspace และไอของสารวิเคราะห์จะถูกดูดซับไว้บนผิวหน้าของกระแสตัวรับ (acceptor stream) โดยเลือกสารตัวรับให้เหมาะสมกับเครื่องตรวจวัดชนิดต่าง ๆ

การออกแบบ MGD unit จะต้องคำนึงถึงช่องว่าง (air gap) ระหว่างของเหลว กับ ฝาปิด จะต้องให้มีพื้นที่เหลือน้อยเพื่อลดการถูกเจือจางด้วยอากาศ MGD-FI มีข้อดีเหนือกว่า GD-FI คือ สามารถแยกเมทริกซ์ออกจากสารวิเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์เพราะของเหลวแต่ละช่องถูกแยกออกจากกันผ่านผนังกั้น (Barrier) และมีข้อดีเหนือ PV-FI คือมีประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลที่สูงกว่าเนื่องจากไม่ได้มีการสัมผัสระหว่างสารละลายโดยตรง



รูปที่ 2.15 แสดงรูปถ่ายของ MGD unit [15]

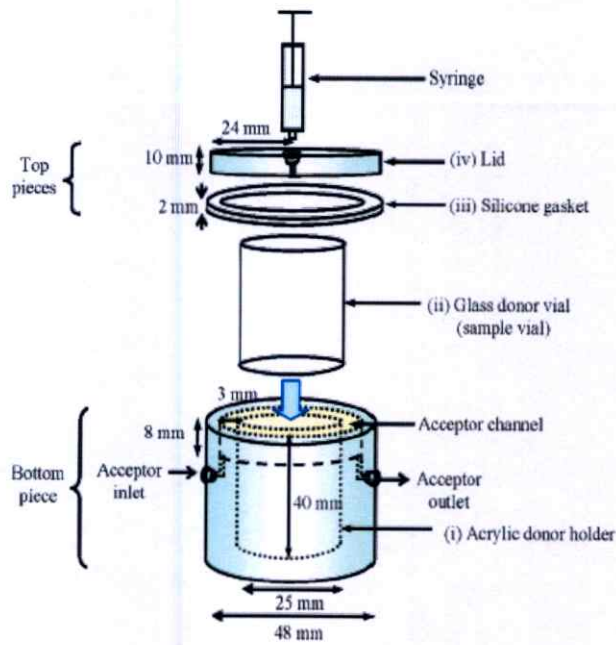


รูปที่ 2.16 แสดงขนาดของ MGD unit เมื่อ DS คือ ช่องทางไหลของสารตัวให้ และ AS คือ ช่องทางไหลของสารตัวรับ [15]

2.3.2.2 Membranless Vaporization unit with flow injection (MBL-VP-FI)

MBL-VP ถูกนำเสนอในปี 2007 [16] แนวคิดในการออกแบบนั้นนำแนวคิดของ GD และ PV unit มารวมกันโดยไม่มีการใช้เยื่อเลือกผ่าน อุปกรณ์นี้เหมาะกับตัวอย่างที่เป็นของแข็งซึ่งใน MGD unit ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ รูปที่ 2.17 แสดงรูปวาดของ MBL-VP unit ชั้นส่วนด้านบน (top pieces) ทำจากอะคริลิก ประกอบด้วยฝาปิดและ silicone gasket ตรงกลางฝาปิดสามารถฉีดสารตัวให้ (donor solution) ลงใน glass donor vial ซึ่งในส่วนของฝาปิดบริเวณตรงกลางสามารถใส่สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งลงไปได้ ชั้นส่วนด้านล่างทำจากอะคริลิก ประกอบด้วยทางเข้า (acceptor inlet) และออก (acceptor outlet) ของสารตัวรับ

ขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มโดยเปิดฝา MBL-VP unit ใส่สารตัวอย่างของแข็งลงใน sample vial จากนั้นปิดฝาและฉีดสารตัวให้ลงใน MBL-VP unit สารตัวให้จะทำให้ตัวอย่างเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส แก๊สที่เกิดขึ้นจะระเหยไปด้านบนและถูกดูดซับที่ผิวหน้าของสารตัวรับ ซึ่งสารตัวรับจะเข้ามาทาง acceptor inlet และไหลออกทาง acceptor outlet จากนั้นจะถูกวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2.17 แสดงรูปวาดของ MBL-VP unit [16]

2.4 ยูวี – วิติเบิลสเปคโตรสโกปี

แสง UV-Visible จัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร โดยที่แสงหรือ Radiation เมื่อส่องผ่านสารที่สามารถดูดกลืนแสงได้ แสงจะถูกดูดกลืน เรียกว่า Absorbance (A) โดยสัมพันธ์กับค่า Transmittance (T) ดังนี้

$$A = \log I_0/I$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

I = ความเข้มของแสงที่เหลือ (Transmittance)

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ตาม Beer's law อื่น ๆ ที่ควรทราบคือ

$$A = abc$$

โดยที่ a = absorbtivity

b = ระยะทางที่แสงส่องผ่าน หรือความกว้างของ cell

c = ความเข้มข้นของตัวอย่าง

นอกจากนี้

$$A = 2 - \log \% T = -\log T = \log \frac{I}{T}$$

$$\text{เมื่อ } T = \frac{I}{I_0}$$

องค์ประกอบของเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ทุกชนิดประกอบด้วย องค์ประกอบหลักดังนี้คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง ให้แสงช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม เช่น ระหว่าง 190-1000 นาโนเมตร
2. Monochromator เป็นส่วนที่ใช้จัดการเกี่ยวกับแสง ทำให้ผู้ใช้เลือกช่วงแสงที่จะนำมาวัดได้
3. ช่องใส่ตัวอย่าง ใช้ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัด
4. Detector / amplifier ใช้วัดแสงที่เหลือจากการดูดกลืนของตัวอย่าง

2.5 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

การสร้างระบบการวิเคราะห์ด้วยระบบ MGD-FI ให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติจำเป็นต้องมี อุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ เช่น ปุ่ม และ วาล์ว เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานของปุ่มและฝา ของ MGD unit

2.5.1 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของฝา MGD unit

การควบคุมการเปิด-ปิดฝาอัตโนมัตินั้นใช้อุปกรณ์ที่ เรียกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [46] คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งมีความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำและ ส่วนต่อเข้ากับอุปกรณ์ภายนอก (port) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) เป็นวงจร อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงาน หรือประมวลผล ตามชุดของคำสั่งเครื่องจากซอฟต์แวร์ หน่วยประมวลผล เปรียบเสมือนเป็นสมองของคอมพิวเตอร์ ในการทำหน้าที่ตัดสินใจหรือคำนวณ จากคำสั่งที่ได้รับ มา เช่น การเปรียบเทียบ การกระทำการทางคณิตศาสตร์ ฯลฯ โดยมีกระบวนการพื้นฐานคือ

- อ่านชุดคำสั่ง (fetch)
- ตีความชุดคำสั่ง (decode)

- ประมวลผลชุดคำสั่ง (execute)
- อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ (memory)
- เขียนข้อมูล/ส่งผลการประมวลกลับ (write back)

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM: Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดดวงของหลอดไฟ เป็นต้น

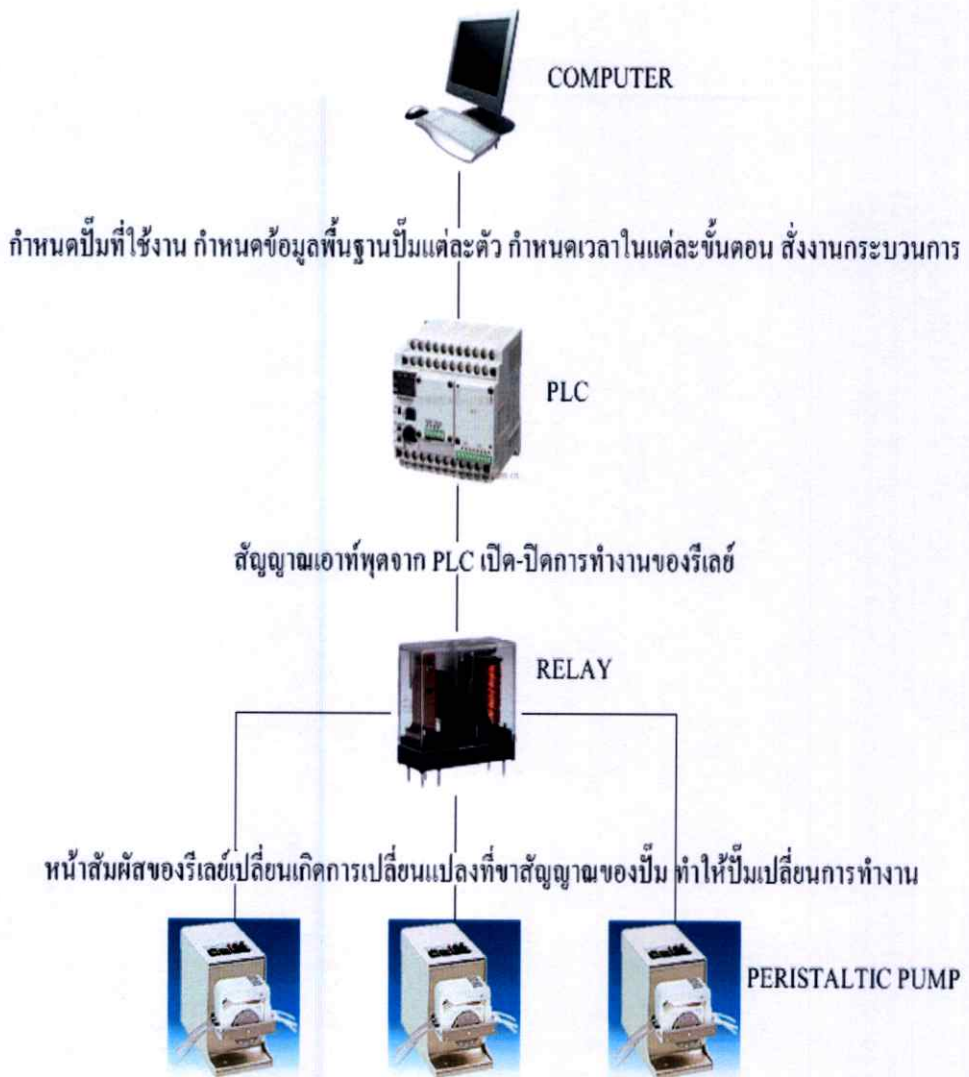
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับที่กำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานตามที่ออกแบบไว้ นั้นจะต้องเขียนโปรแกรมด้วยภาษาใดก็ได้มีหลายภาษาด้วยกัน เช่น ภาษาเบสิก ภาษาซี

2.5.2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของบัส [50]

การทำงานทำโดยการป้อนคำสั่งผ่านโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแสดงดังแผนรูปที่ 2.16 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมบัสจะประกอบด้วย



รูปที่ 2.18 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมปั๊ม

2.5.2.1 PLC (Programmable Logic Controller)

PLC (Programmable Logic Controller) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่าง ๆ แบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถที่จะโปรแกรมได้ ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนวงจรรีเลย์อันเนื่องมาจากความต้องการที่อยากจะได้เครื่องควบคุมที่มีราคาถูก สามารถใช้งานได้อย่างอนกประสงค์และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย

1. โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่อง PLC

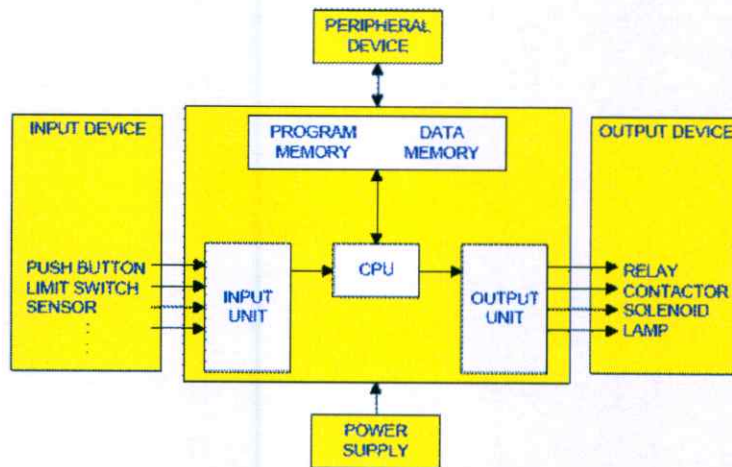
เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรหรือระบบกระบวนการให้ทำงานตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้และข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับจากอินพุต/เอาต์พุต ของ PLC จะทำงานตามช่วงเวลา ตามลำดับขั้นตอนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

1.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU (Central Processing Unit)

1.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

1.3 หน่วยอินพุต/ เอาท์พุต (Input / Output Unit)

นอกจากส่วนประกอบทั้ง 3 แล้ว PLC ยังประกอบด้วยอุปกรณ์ของหน่วยป้อนโปรแกรม (Programming Unit) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมคำสั่งตรวจสอบ สภาพการทำงาน ของเครื่องจักรหรือระบบกระบวนการตลอดจนตรวจสอบสภาพการทำงานของ PLC ได้ทางหน่วยป้อน โปรแกรมการทำงานของหน่วยต่าง ๆ ภายใน PLC ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 โครงสร้างภายในของ PLC

2. ความสามารถของ PLC

PLC สามารถควบคุมงานได้ 3 ลักษณะ คือ

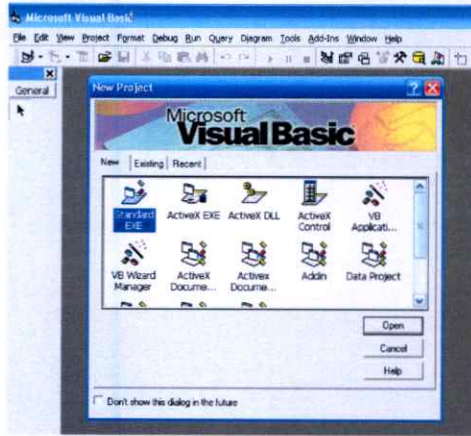
- งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence Control)
- งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated Control)
- งานที่ควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ (Supervisory Control)

2.5.2.2 โปรแกรม Visual Basic 6.0

1. ที่มาและลักษณะของโปรแกรม Visual Basic 6.0

Visual Basic เป็นเครื่องมือที่ใช้พัฒนาโปรแกรมแบบ Visual Programming ซึ่ง Visual Programming เป็นวิธีการเขียนโปรแกรมที่มีเครื่องมือช่วยพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย โดยโปรแกรมที่สร้างจะมีลักษณะเหมือนตอนออกแบบหน้าจอวิธีการพัฒนาโปรแกรมก็ง่ายเพียงออกแบบหน้าจอที่ต้องการ กำหนดคุณสมบัติและเขียนโค้ดกำกับ ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาโปรแกรมสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับการใช้งานโปรแกรม Visual Basic นั้นไม่ได้จำกัด

ตัวเองอยู่เพียงแค่นบน PC ที่ใช้วินโดวส์เท่านั้นแต่ยังขยายความสามารถไปยังการใช้งานบน Internet รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีไร้สาย



รูปที่ 2.20 หน้าจอโปรแกรม Visual Basic 6.0

2. จุดเด่นของ Visual Basic

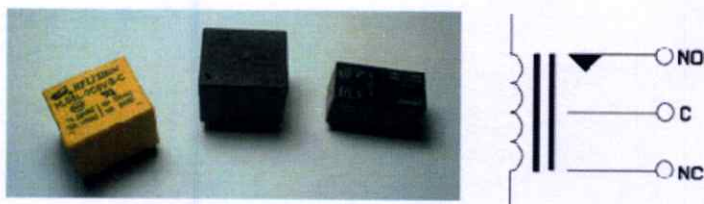
- สร้างแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็ว
- การเขียนโปรแกรมที่ง่ายต่อการเรียนรู้
- รวมเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรม

2.5.3.3 Relay

รีเลย์ (Relay) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ คัด-ต่อวงจรคล้ายกับสวิตช์ มีหลักการทำงานคล้ายกับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid) รีเลย์ถูกใช้ในการควบคุมวงจรไฟฟ้าได้หลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง (Power Relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนักหรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุม บางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"



รูปที่ 2.21 รีเลย์และสัญลักษณ์ของรีเลย์

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟฟ้านขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิทช์ควบคุมและคอยล์ของของคอนแทกเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์อาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล(Remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

2.6 เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

2.6.1 เอทานอล

เอทานอลเป็นสารเคมีที่พบได้ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศจะต้องตรวจวัดคิกริความแรงหรือปริมาณเอทานอลให้ตรงตามที่มีการระบุฉลากไว้ เพื่อนำมาคำนวณภาษีนำเข้า [21] ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จะมีคิกริความแรงหรือปริมาณเอทานอลต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องดื่ม เช่น วิสกี้ บรัันดี รัม และยีน ซึ่งเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการกลั่นมีความแรงของแอลกอฮอล์อยู่ระหว่าง 30-70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนประเภทที่ไม่ผ่านการกลั่นได้แก่ สุราแช่ หรือสุราหมัก ไวน์ชนิดต่างๆ เบียร์ และแชมเปญ มีเปอร์เซ็นต์เอทานอลอยู่ในช่วง 5-22 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในเครื่องดื่มเหล่านี้เป็นสารเคมีที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลางที่ทำหน้าที่ควบคุมการตัดสินใจ ทำให้ผู้ที่ได้รับแอลกอฮอล์ในอัตราที่มากเกินไปมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ก้าวร้าวรุนแรง และส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกาย

การผลิตเอทานอลในปัจจุบัน มากกว่าร้อยละ 90 ได้มาจากกระบวนการหมัก ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 มาจากกระบวนการสังเคราะห์ การผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจะอาศัยการทำงานจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ ซึ่งยีสต์จะใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นอาหาร และเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลโดยผ่านกระบวนการไกลโคลิซิส [49] เอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรหลายชนิด แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ วัตถุดิบประเภทแป้ง วัตถุดิบประเภทน้ำตาล และเศษวัสดุที่เป็นเซลลูโลส โดยวัตถุดิบประเภทแป้ง และเซลลูโลสจะถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยกรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาลสามารถนำมาใช้ได้เลย โดยทั่วไปการหมักจะใช้เวลา 3 วัน ได้เอทานอลความเข้มข้นระหว่าง 8 – 12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แม้ว่าจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอทานอลได้หลายชนิด แต่ยีสต์ก็ถูกนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน

2.6.2 อะซีทัลดีไฮด์

ในกระบวนการหมักจะพบสารในกลุ่มอะซีทัลดีไฮด์ เอทิลอะซิเตท และเอมิลแอลกอฮอล์เป็นหลัก ซึ่งอะซีทัลดีไฮด์เกิดจากการออกซิเดชันของเอทานอลในระหว่างการกลั่น และการบ่ม และจะพบอัลดีไฮด์อีกกลุ่มหนึ่ง คือ อะโรมาติกอัลดีไฮด์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการกลั่นและเก็บบ่มบรันดีในถังไม้โอ๊ค ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกลิ่นและรสบรันดี โดยจะให้กลิ่นของเหล้าองุ่นและกลิ่น “Nutty” [47]

ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ที่ไม่สมบูรณ์ จะทำให้มีปริมาณอะซีทัลดีไฮด์สูงซึ่งถ้าอยู่ในรูปฟอร์มอัลดีไฮด์สารตัวนี้จะไปกดประสาทผู้ดื่ม นอกจากนี้ อะซีทัลดีไฮด์เป็นสารส่วนใหญ่ของกระบวนการสันดาปเอทานอลซึ่งเป็นสารพิษ จากการสังเกตพฤติกรรมของหนูทดลองที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับสารนี้ พบว่าปริมาณระดับความเข้มข้นของ noradrenaline และ serotonin จะสูงขึ้นหลังจากการให้สารอะซีทัลดีไฮด์ที่แตกต่างกัน [48] และในกระบวนการกลั่นหากดำเนินไปไม่สมบูรณ์ จะทำให้ปริมาณฟูเซลอลอยล์ปนเปื้อนอยู่ในสุรากลั่น ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ดื่ม

อะซีทัลดีไฮด์เป็นสารเคมีที่เกิดจากการหมักที่อุณหภูมิสูงพบว่า การหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะมีอะซีทัลดีไฮด์เกิดขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 12 และ 24 องศาเซลเซียส เนื่องจากแบคทีเรียแอซิติก (Acetic acid bacteria) จะออกซิไดส์เอทานอลเป็นอะซีทัลดีไฮด์และกรดแอซิติก โดยเอทานอลความเข้มข้นสูงประมาณ 250 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้เกิดอะซีทัลดีไฮด์ 100-125 มิลลิกรัม/ลิตร อะซีทัลดีไฮด์จะพบมากในสภาวะการหมักที่มีออกซิเจนต่ำหรือมีความเข้มข้นของเอทานอลสูงกว่า 10% ปริมาตรต่อปริมาตร [22]

2.6.3 การควบคุมปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

ตาม พ.ร.บ.สุรากรมสรรพสามิต ในกระทรวงการคลัง ได้แบ่งประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 เมรัย/สุราแช่ (fermented liquors)

ประเภทที่ 2 สุรากลั่น (distilled liquors หรือ distilled spirits)

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์เป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมจากประชาชนไทยเป็นอย่างมาก โดยมีการบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งสุราแช่และสุรากลั่น ในอดีตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ผลิตโดยโรงงานขนาดใหญ่ที่มีมาตรฐานการผลิตและมีการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์อย่างเข้มงวด ตามประกาศกระทรวงการคลัง เรื่อง วิธีการบริหารงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ พ.ศ. 2543 กำหนดให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมีหน้าที่ในการกำหนดค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมประเภทสุรา (มอก. 2088-2544) และ (มอก. 2089-2544) โดยระบุให้มีปริมาณเอทานอลอยู่ในช่วง 15-40 ดีกรี (หรือ ร้อยละ 15-40 โดยปริมาตร) และมีปริมาณของอะซีทัลดีไฮด์ไม่เกิน 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการออกมาตรการควบคุมทำให้ผู้ผลิตรายย่อยสามารถ

ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ ตลอดจนการปนเปื้อนของสารพิษที่มาจากวัตถุดิบได้อย่างปลอดภัยไม่เกินเกณฑ์กำหนดที่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค

2.7 หลักการตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

2.7.1 หลักการตรวจวัดเอทานอล

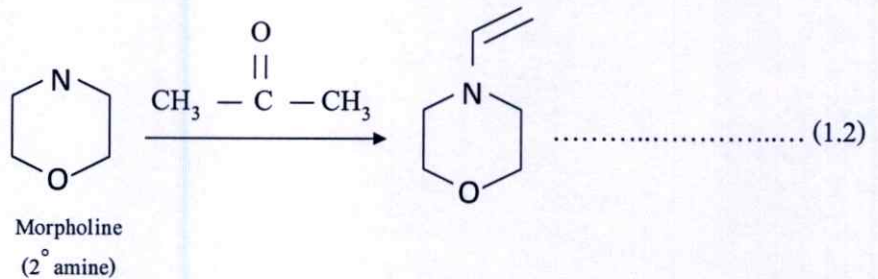
ปฏิกิริยาที่ได้รับความสนใจในการวิเคราะห์เอทานอลจะอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างเอทานอลกับไดโครเมทในสภาวะกรดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [23] ไดโครเมทจะถูกรีดิวซ์ด้วยเอทานอล เกิดเป็นโครเมียม (III) ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีฟ้า



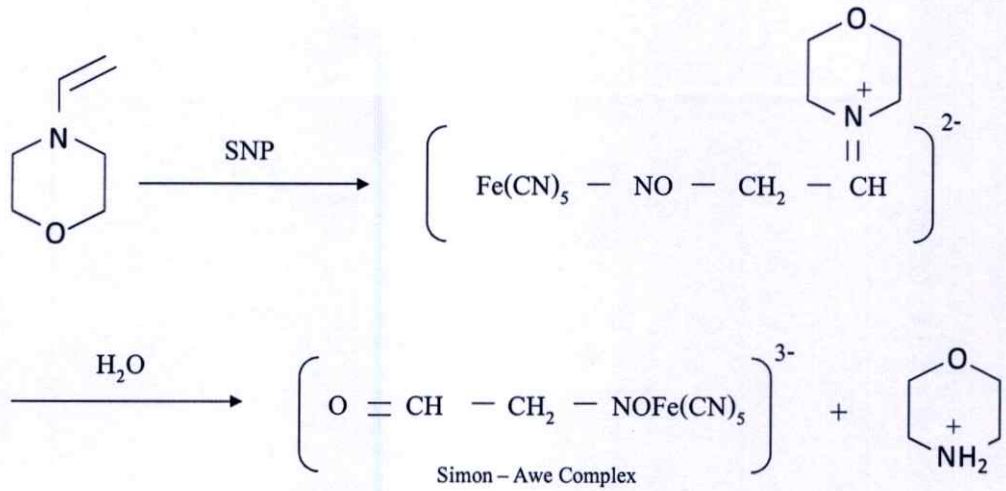
การตรวจวัดไอระเหยของเอทานอลจะใช้ร่วมกับ GD unit, PV unit หรือ solid phase extraction ในงานวิจัยนี้จะใช้ เทคนิค MGD-FIA เอทานอลจะไหลไปยังกระแสดของตัวพาเข้าไปยัง MGD unit ภายใน MGD unit จะเต็มไปด้วยไอระเหยของเอทานอล ไอระเหยของเอทานอลที่อยู่บน headspace จะแพร่ลงไปยังกระแสตัวรับ คือ โปแทสเซียมไดโครเมท เกิดผลิตภัณฑ์โครเมียม (III)

2.7.2 หลักการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์

สำหรับปฏิกิริยาในการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์จะอาศัยปฏิกิริยาที่มีชื่อว่า “Stork reaction” [60, 61] ซึ่งเป็นปฏิกิริยา addition ของ secondary amine (2° amine) กับ aldehyde เกิดเป็นสารประกอบกลุ่ม enamine ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 1.2



จากนั้น enamine ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside: SNP) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน



รีเอเจนต์ทั้งสองตัวที่ใช้ทดสอบอะซีทัลดีไฮด์มีชื่อเรียกว่า “Simon’s reagent” และสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นเรียกว่า “Simon-Awe Complex”

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

2.8.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณเอทานอลหรืออะซีทัลดีไฮด์เพียงอย่างเดียว

เอทานอลเป็นสารเคมีที่ระเหยง่ายโดยทั่วไปจะวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคโครมาโทกราฟี เช่น แก๊สโครมาโทกราฟี [30, 31] ลิกวิดโครมาโทกราฟี [33] นอกจากนี้อาจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี และ อิเล็กโตรเคมีสทรีไบโอเซ็นเซอร์ [32] ในบรรดาเทคนิคเหล่านี้เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรีได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากเครื่องมือมีราคาไม่แพงมาก

เทคนิคโฟลอินเจกชันอะนาลิซิสได้รับความนิยมมากในการหาปริมาณเอทานอล เนื่องจากเครื่องมือวิเคราะห์ราคาไม่สูง ใช้สารเคมีน้อย สามารถทำการแยกแบบ on-line ได้ โดยนำ GD unit มาใช้เพื่อเพิ่มความจำเพาะเจาะจง การตรวจวัดเอทานอลส่วนใหญ่จะอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ในสภาวะกรด เช่น โครเมียม (VI) กับเอทานอล [52] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจวัด โครเมียม (III) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร แยกไอของสารวิเคราะห์ด้วย GD unit ที่มีเยื่อเลือกผ่านแบบซิลิกอน จากงานวิจัยนี้พบว่ามีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์เอทานอลโดยปริมาตร งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ในตัวอย่างเหล้ากลั่นและไวน์ บางครั้งมีการนำเอนไซม์ immobilized alcohol oxydase (AOD) [53] มาใช้ร่วมกับ FI-GD เพื่อเพิ่มความจำเพาะเจาะจงให้มากขึ้น และใช้เยื่อเลือกผ่านแบบ silicone-modified polypropylene ใน GD unit โดยงานวิจัยนี้ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคแอมโพรอเมทรีซึ่งเป็นการตรวจวัดทางอ้อม การตรวจวัดนี้ให้ ช่วงความเป็นเส้นตรง 0.0006 – 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ เบียร์, ไวน์, สุรากลั่น PV

unit สามารถใช้ร่วมกับ FI ได้เหมือนกัน เช่น การตรวจวัดเอทานอล [54] อาศัยปฏิกิริยาระหว่าง เอทานอลกับไดโครเมต เทคนิคนี้ให้ค่า %RSD น้อยกว่า 1.5% ในช่วงความเข้มข้นของเอทานอล 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือการตรวจวัดเอทานอลโดยศึกษาจากความหนาแน่นร่วมกับการใช้ PV-FI [55] ในงานวิจัยนี้เอทานอลจะถูกเก็บอยู่ในน้ำที่เป็นสารตัวรับ ทำการตรวจวัดความหนาแน่นของของผสมน้ำ-เอทานอล โดยนำมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ นอกจากนี้เทคนิค SI ยังสามารถใช้ร่วมกับ GD unit ได้ ซึ่งมีความเป็นอัตโนมัติมากกว่าและยังใช้สารเคมีน้อยกว่าเทคนิค FI เช่น การหาปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิค SI-GD โดยอาศัยปฏิกิริยา เอทานอลกับไดโครเมต ระบบนี้เป็นแบบอัตโนมัติ มีค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร [56]

การตรวจวัดหาปริมาณอะซีทัลดีไฮด์นั้นมีความยากเนื่องจาก มีระดับความเข้มข้นที่ต่ำมาก และมีความสามารถในการระเหยได้น้อย (มีค่าคงที่ของ Henry's เท่ากับ $1.3 \times 10^1 \text{ M atm}^{-1}$ (298 K) [35]) ดังนั้นการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์จึงต้องใช้การสกัดที่มีค่าการวิเคราะห์คืนกลับสูง และมีสภาพไวเพียงพอ เช่น เทคนิคการสกัดด้วยของเหลว [36, 37] การกลั่น [38] หรือการสกัดด้วยตัวดูดซับ [39] แต่วิธีเหล่านี้ซับซ้อน ใช้เวลานาน และไม่มีความจำเพาะเจาะจง จึงมีการพัฒนาให้เทคนิคการสกัดง่ายขึ้นโดยการทำให้เกิดอนุพันธ์ สารเคมีที่นิยมนำมาใช้เพื่อให้เกิดอนุพันธ์ เช่น 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) อนุพันธ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะถูกแยกโดยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงและตรวจวัดโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี [40] หรือการนำ O-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl)hydroxylamine (PFBOA) มาทำอนุพันธ์และแยกโดยแก๊สโครมาโทกราฟี [41-44]

ในปัจจุบันการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์ได้นำ gas-diffusion microextraction (GDME) [45] มาใช้ในการแยกไอของสารวิเคราะห์อัลดีไฮด์ (อะซีทัลดีไฮด์ เมทิลโพรพานาล เฟอร์ฟูรัล) ที่เกิดจากการทำอนุพันธ์กับ 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) ออกจากเมทริกซ์และทำการแยกไอของสารวิเคราะห์อีกครั้งด้วยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง-แมสสเปกโตรเมตรี (HPLC-APCI-MS) แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากเครื่องมือมีราคาแพงและรีเอเจนต์มีความเป็นพิษสูง

2.8.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกัน

การหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกันมีงานวิจัยที่นำเสนอไม่มาก แต่เทคนิคที่ได้รับความนิยม คือ เทคนิคเฮดสเปสแก๊สโครมาโทกราฟี (HS-GC-FID) โดยจะวิเคราะห์ในตัวอย่างเลือดและพลาสมา [57] หรือนำเทคนิค HS-GC-FID มาใช้ร่วมกับการแยกแบบ microdialysis [58] ในตัวอย่างสมองของหนูทดลอง เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าบางเทคนิค เช่น bioelectronic gas sensors นำมาใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างลมหายใจของมนุษย์ [59]

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการไหลร่วมกับอุปกรณ์ที่ไร้เยื่อเลือกผ่าน

การใช้อุปกรณ์ในการแยกแบบไม่มีเยื่อเลือกผ่านร่วมกับเทคนิคที่อาศัยการไหลของเหลวได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องดังนี้

N. Choengchan และคณะ [15] ได้ออกแบบ MGD-FIA เป็นกลุ่มแรก MGD-FIA ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันในสภาวะกรดเปลี่ยนโคโครเมทเป็นโครเมียม (III) โดยใช้เอทานอลเป็นตัวรีดิวซ์ ทำการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมโคโครเมท 0.03 โมลาร์ ในกรดซัลฟิวริก 1.5 โมลาร์

K. Sereenonchai และคณะ [16] ได้ออกแบบ Membraneless vaporization (MBL-VP) ร่วมกับเทคนิค FIA เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ในงานวิจัยนี้ นำ MBL-VP – FIA มาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเม็ดยา ในงานวิจัยนี้เป็นการแยกแก๊สแบบออนไลน์โดยตัวอย่างยาถูกละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับไว้ที่กระแสดั้วรับ cresol red ที่เป็นการด-เบสอินดิเคเตอร์ และทำการตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่

K. Sereenonchai และคณะ [17] นำ MBL-VP – FIA มาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตัวอย่างซีเมนต์ ร่วมกับการใช้ Capacitively Coupled Contactless Conductivity (C^4D) เป็นเครื่องตรวจวัด สำหรับหลักการตรวจวัดจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าเมื่อมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในสารตัวรับ Tris (hydroxymethylamino) methane เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ใน KCl ไมโครโมลาร์

Patrick Mornane และคณะ [18] ได้ออกแบบ Thin layer distillation (TLD) cell เพื่อใช้ร่วมกับระบบ FIA หลักการของ TLD เหมือนกับ MGD แต่ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงเรขาคณิตของ MGD ที่ขนาดแตกต่างกัน โดยใช้แอมโมเนียเป็นแบบจำลองสารที่สนใจ ใช้กระแสดั้วให้เป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแอมโมเนียม และใช้กระแสดั้วรับเป็น cresol red และ thymol blue ซึ่งเป็นกรดเบสอินดิเคเตอร์

Sasithron Muncharoen และคณะ [19] ออกแบบ MGD unit แบบใหม่ที่สามารถเปิดฝาได้ง่ายขึ้นกว่าเดิม นำ MGD unit มาประยุกต์ใช้กับระบบ FIA ในการหาปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพ กระแสดั้วรับคือโพแทสเซียมโคโครเมท 0.2 โมลาร์ ในกรดซัลฟิวริก 4 โมลาร์ และกระแสดั้วให้คือ น้ำ มีการนำ air segment เข้าสู่ระบบ MGD-FIA เพื่อทำให้เวลาในการวิเคราะห์เร็วขึ้น และเพิ่ม sensitivity ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารตัวรับ

M.Ines G.S และคณะ [20] ได้ออกแบบ MGD unit แบบใหม่มาประยุกต์ใช้กับ MSFIA (multisyringe flow injection analysis) ทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี

(spectrophotometric method) สำหรับหาปริมาณแอมโมเนียมในตัวอย่างน้ำเสีย ในสภาวะเบสที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เป็นสารตัวให้ แอมโมเนียมไอออนจะเกิดเป็นแอมโมเนียและระเหยเข้าไปยังกระแสตัวรับ คือ bromothymol blue ซึ่งเป็นกรด-เบส อินดิเคเตอร์ (pH 6.5) ในงานวิจัยนี้มีการใช้ thermostating water stream เพื่อศึกษาช่วงของอุณหภูมิ 27 -75 องศาเซลเซียส ที่ทำให้ แอมโมเนียระเหยได้ดีที่สุด พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 65 องศาเซลเซียส

S. Teerasong และคณะ [51] ได้นำระบบ SIA มาใช้ร่วมกับ Membraneless vaporization (MBL-VP) สำหรับการหาปริมาณสารที่สนใจ 3 ชนิด คือ ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sugar content) โดยใช้ portable NIR photometer เป็นตัวตรวจวัด ความเข้มข้นสี (color) ใช้ portable LED-photometer เป็นตัวตรวจวัด และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลาย (dissolved CO₂) ใช้ capacitively coupled contactless conductivity detector (C⁴D) เป็นตัวตรวจวัด วิธีนี้ไม่มีการใช้สารเคมีในระบบ SIA และทำการตรวจวัดภายใน 6.5 นาที

ตารางที่ 2.1 ตารางการสรุปงานวิจัยของเทคนิคที่อาศัยการไหลของของเหลวร่วมกับอุปกรณ์ที่ไร้เชื้อเพลิงผ่าน

เทคนิค	สารที่วิเคราะห์	ช่วงความเป็นเส้นตรง	ขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์	อัตราเร็วในการวิเคราะห์	งานวิจัยที่ใช้อ้างอิง
MGD – FIA	เอทานอล	0.5–30 %v/v	0.27 %v/v	16 analysis h ⁻¹	[15]
MBL – VP with flow based technique	แคลเซียมคาร์บอเนต	up to 1.1447 mmol CO ₃ ²⁻	0.005 mmol CO ₃ ²⁻	20 analysis h ⁻¹	[16]
MBL – VP with flow based technique	แคลเซียมคาร์บอเนต	0.04 – 0.24 mmol CaCO ₃	2.5 µmol CaCO ₃	14 analysis h ⁻¹	[17]
TLD – FIA	แอมโมเนีย	10 -100 mg/L	5.0 mg/L	Up to 8 analysis h ⁻¹	[18]
MGD – FIA	เอทานอล	up to 5.60 %v/v	0.9 %v/v	26 analysis h ⁻¹	[19]
MGD – FIA	แอมโมเนียม	10 -50 mg/L	2.20 mg/L	11 analysis h ⁻¹	[20]
MBL – VP – SIA	ซูโครส คาร์บอนไดออกไซด์ color	3.10 - 46.50 Brix - -	2.79 Brix 2.23 g CO ₂ L ⁻¹ -	9 samples h ⁻¹ /3 analytes	[51]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. เอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เกรดวิเคราะห์ (Ethanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) จากบริษัท Carlo Erbra ประเทศอิตาลี
2. อะซีทัลดีไฮด์ เกรดวิเคราะห์ (Acetaldehyde, CH_3CHO) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) จากบริษัท QR&C ประเทศนิวซีแลนด์
4. มอร์โฟลีน (Morpholine, $\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}$) จากบริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside, $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท BDH & PROLABO® ประเทศอังกฤษ
6. กรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ (Sulfuric acid concentrated, H_2SO_4) จากบริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ
7. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized-distill water)
8. ตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) จากบริษัท Jasco Analytical Instruments รุ่น Jasco V-630
2. เพอริสตาติกปั๊ม (Peristaltic pump) จากบริษัท Ismatec
3. 4-Way Valve PEEK Right Angle Flow V-101L จากบริษัท Ismatec
4. Flow-through cell จากบริษัท Philips
5. Pump tube เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.95 มิลลิเมตร จากบริษัท Ismatec
6. PTFE tube เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร จากบริษัท Ismatec
6. แก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่าน (Membraneless Gas-diffusion unit, MGD unit)
7. อุปกรณ์ควบคุมเปิดฝาอัตโนมัติ
8. เครื่อง Vortex mixer รุ่น Vortex Genie 2 จากบริษัท Scientetific Industries

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล

3.2.1.1 สารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มา 1.25, 2.50, 5.00, 7.50, 10.0 และ 12.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 25.00 มิลลิลิตร

3.2.1.2 สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.5 โมลต่อลิตร

ตวงสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10.4 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นปราศจากไอออน 114.5 มิลลิลิตร จนครบ 125 มิลลิลิตร

3.2.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.03 โมลต่อลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต 1.10 กรัม นำมาละลายในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.5 โมลาร์

3.2.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณอะซีทัลดีไฮด์

3.2.2.1 สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 10.0 โมลต่อลิตร

ตวงสารละลายอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มา 13.80 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 25.00 มิลลิลิตร

3.2.2.2 สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 1.00 โมลต่อลิตร

ปิเปตสารละลายอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 10.0 โมลต่อลิตร มา 2.50 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 25.00 มิลลิลิตร

3.2.2.3 สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 1.00 โมลต่อลิตร มา 10.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 100.00 มิลลิลิตร

3.2.2.3 สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร มา 2.50 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 25.00 มิลลิลิตร

3.2.2.4 สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.002, 0.005, 0.007, 0.009, 0.011 และ 0.013 โมลต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร มา 0.5, 1.25, 1.75, 2.25, 2.75 และ 3.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 25.00 มิลลิลิตร

3.2.2.5 สารละลายมอร์โฟลีนความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ปิเปตสารละลายมอร์โฟลีนความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มา 5.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 50.00 มิลลิลิตร

3.2.2.6 สารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ชั่งโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ 1.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปรับปริมาตรจนครบ 50.00 มิลลิลิตร

3.2.2.7 สารละลายผสม (สารละลายมอร์โฟลีน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)

ผสมสารละลายมอร์โฟลีนความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร กับสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จนได้สารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

สารละลายมาตรฐานผสมระหว่างเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถเตรียมได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอทานอล		อะซีทัลดีไฮด์		ปริมาตร สุดท้าย (มิลลิลิตร)
ความเข้มข้นที่ต้องการ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ปริมาตรที่ใช้ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น ที่ต้องการ (โมลต่อลิตร)	ปริมาตรที่ใช้ ^{**} (มิลลิลิตร)	
1	0.25	0.0005	0.125	25.00
5	1.25	0.001	0.250	25.00
10	2.50	0.003	0.750	25.00
20	5.00	0.005	1.25	25.00
30	7.50	0.007	1.75	25.00
40	10.00	0.009	2.25	25.00

* ปิเปิดจากสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

** ปิเปิดจากสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 การศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

3.3.1.1 การศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเอทานอล

1. ปิเปิดสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.03 โมลต่อลิตร จำนวน 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิเปิดสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตร จับเวลา 1 นาทีพร้อมทั้งเขย่า

2. นำสารละลายที่ได้เทใส่ Cuvette ตรวจวัดที่เวลา 1.30 นาที สแกนความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 800 นาโนเมตร (สารละลายเบลงค์ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายมาตรฐานเอทานอลโดยมีสารเคมีทุกตัว)

3. ทดลอง 2 ซ้ำครั้ง

4. เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายเท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

5. เลือกค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจากสเปกตรัมที่ได้

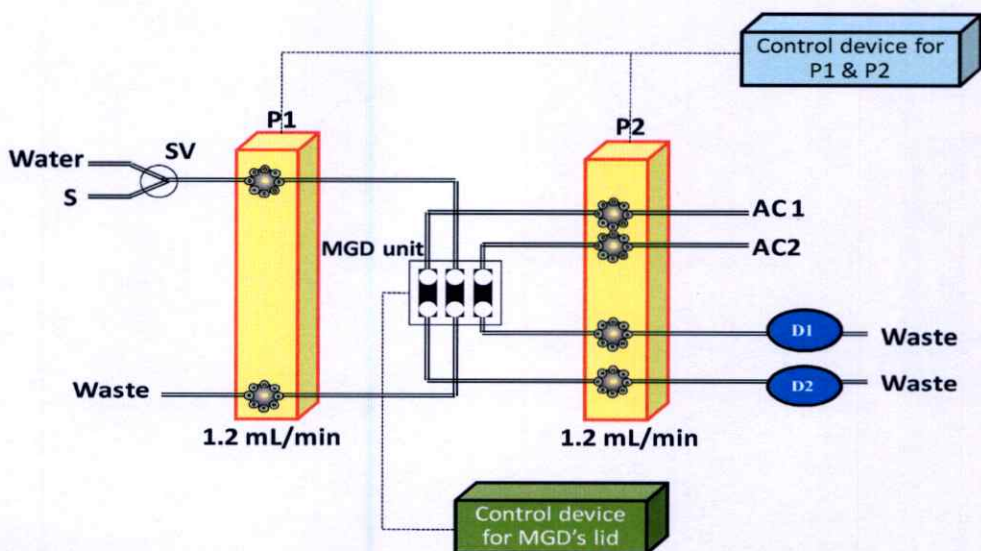
3.3.1.2 การศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์

1. ปิเปตสารละลายสารละลายผสม (มอร์โฟลีน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร + โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จำนวน 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้น ปิเปตสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 0.002 โมลต่อลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร จับเวลา 1 นาทีพร้อมทั้งเขย่า
2. นำสารละลายที่ได้เทใส่ Cuvette ตรวจวัดที่เวลา 1.30 นาที สแกนความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 800 นาโนเมตร (สารละลายแบบลงค้ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์โดยมีสารเคมีทุกตัว)
3. ทดลอง 2 ซ้ำครั้ง
4. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ 0.005, 0.007, 0.009, 0.011 และ 0.013 โมลต่อลิตร ซึ่งจะได้ความเข้มข้นอะซีทัลดีไฮด์สุดท้ายเท่ากับ 0.0010, 0.0014, 0.0018, 0.0022 และ 0.0026 โมลต่อลิตร ตามลำดับ
5. เลือกค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจากสเปกตรัมที่ได้

3.3.2 การศึกษาการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกัน

3.3.2.1 การศึกษาการออกแบบระบบที่ 1: ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับ

ระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกันระบบที่ 1: ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงระบบที่ 1 : ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว; S: สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์, SV: Switching

valve, MGD unit: แก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเพลิงผ่าน, P1,P2: เพอร์สตาลติกปั๊ม, D1: เครื่องยู่วี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (590 นาโนเมตร), D2: เครื่องตรวจวัด LED (หลอดกำเนิดแสงสีแดง), AC1: สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมอร์โฟลีน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร, AC2: สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร และ Waste: ของเสีย

ขั้นตอนในการทดลอง

1. หมุน Switching valve (SV) ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวพา (น้ำกลั่นปราศจากไอออน) เปิดปั๊ม P1 และ P2 นาน 1 นาที เพื่อดูดสารละลายตัวพา และสารละลายดูดซับ (AC1 และ AC2 เข้าสู่ระบบ) (ขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของปั๊ม แสดงดังภาคผนวก ก.)

2. ใช้สารละลายดูดซับเป็นแบลนด์ กด auto zero

3. หมุน Switching valve ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวอย่าง

4. เปิดปั๊ม P1 นาน 1 นาที เพื่อดูดสารละลายตัวอย่าง (เปิดปั๊ม P2 ขณะดูดสารละลายตัวอย่าง)

5. ปิดปั๊ม P1 และ P2 นาน 2 นาที เพื่อให้เกิดการแพร่

6. ทำการเพิ่มความเข้มข้น 1 ครั้ง (โดยทำซ้ำข้อ 3-5)

7. หมุน Switching valve ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวพา

8. เปิดปั๊ม P1 และ P2 พร้อมกับเปิดฝา MGD unit (ขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานเปิด-ปิด ฝา MGD unit แสดงดังภาคผนวก ข.) เพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องตรวจวัด

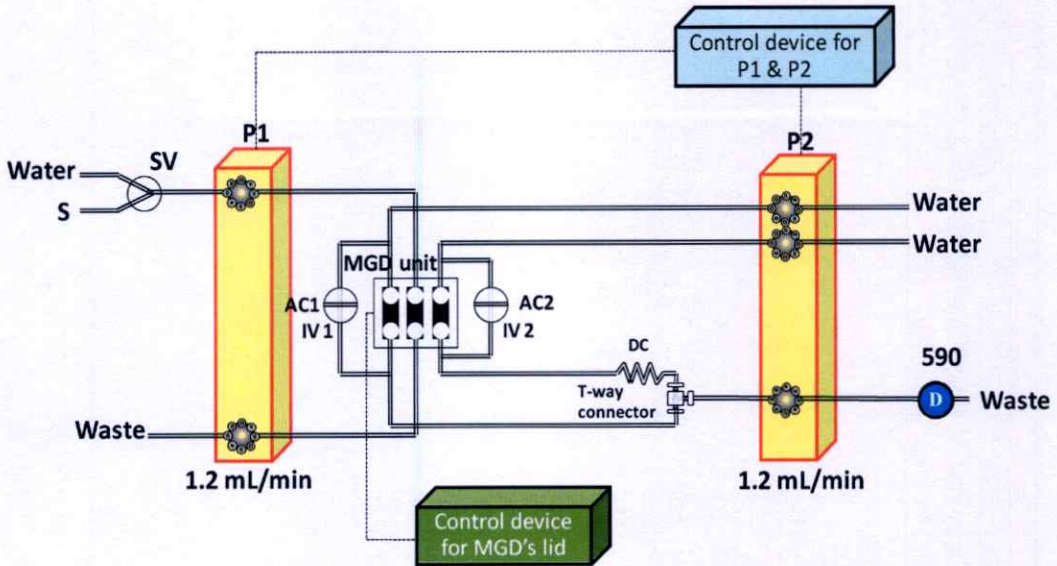
9. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3-8 อีก 2 ครั้ง

10. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ตามตารางที่ 3.1

11. ศึกษาผลจากการออกแบบระบบที่เหมาะสม

3.3.2.2 การศึกษาการออกแบบระบบที่ 2: ฉีดสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์ว

ระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกันระบบที่ 2: ฉีดสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์วแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงระบบที่ 2: ฉีดสารละลายดูดซับ โดยใช้อินเจกชันวาล์วสำหรับวิเคราะห์เอทานอล และอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว; S: สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์, SV: Switching valve, MGD unit: แก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเพลิงผ่าน, T-way connector: ข้อต่อเชื่อมรูปตัว T, DC: delay coil, P: เพอร์ิสตาลติกปั๊ม, D: เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, IV: Injection valve, AC1: สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีน ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมอร์โฟลีน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร, AC2: สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร และ Waste: ของเสีย

ขั้นตอนในการทดลอง

1. หมุน Switching valve ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวพา (น้ำกลั่นปราศจากไอออน) เปิดปั๊ม P1 และ P2 นาน 1 นาทีเพื่อดูดสารละลายตัวพาเข้าสู่ระบบ
2. ใช้สารละลายตัวพาเป็นแบลนด์ กัด auto zero
3. ปิดปั๊ม P1 และ P2 ฉีดสารละลายดูดซับ AC1 และ AC2 ผ่านอินเจกชันวาล์ว โดยหมุนอินเจกชันวาล์วในตำแหน่ง Load
4. หมุน Switching valve ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวอย่าง
5. เปิดปั๊ม P1 นาน 1 นาที เพื่อดูดสารละลายตัวอย่าง
6. หมุน Switching valve ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวพา
7. ปิดปั๊ม P1 นาน 2 นาที เพื่อให้เกิดการแพร่
8. เพิ่มความเข้มข้น 1 ครั้ง (โดยทำซ้ำข้อ 4-7)
9. หมุนอินเจกชันวาล์วในตำแหน่ง Inject

10. เปิดปั๊ม P1 และ P2 พร้อมกับเปิดฝา MGD unit เพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องตรวจวัด

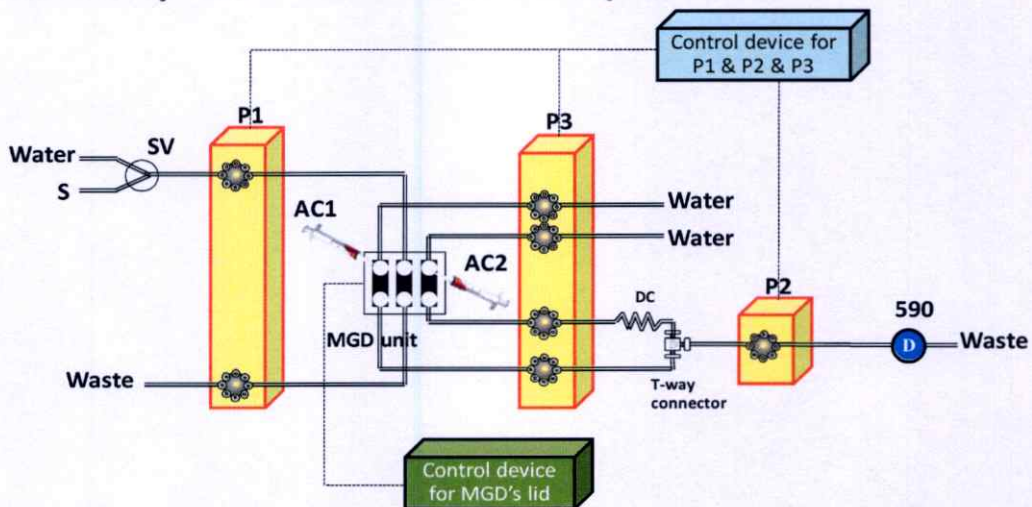
11. ทดลองซ้ำข้อ 3-10 อีก 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ตามตารางที่ 3.1

12. ศึกษาผลจากการออกแบบระบบที่เหมาะสม

3.3.2.3 การศึกษาการออกแบบระบบที่ 3: นิตสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชัน

วาล์ว

ระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกันระบบที่ 3: นิตสารละลายดูดซับ โดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์วแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงระบบที่ 3: นิตสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์วสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว; S: สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์, SV: Switching valve, MGD unit: แก๊สดีฟิวชันยูนิตชนิดไร้เชื้อเพลิงผ่าน, T-way connector: ข้อต่อเชื่อมรูปตัว T, DC: delay coil, P: เพอร์ิสตาลติกปั๊ม, D: เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, AC1: สารละลายผสมไซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีน ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมอร์โฟลีน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร, AC2: สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร และ Waste: ของเสีย

ขั้นตอนในการทดลอง

1. หมุน Switching valve ในตำแหน่งดูดสารละลายตัวพา (น้ำกลั่นปราศจากไอออน) เปิดปั๊ม P1, P2 และ P3 นาน 1 นาทีเพื่อดูดสารละลายตัวพาเข้าสู่ระบบ
2. ใช้สารละลายตัวพาเป็นเบสจลัด กด auto zero
3. ปิดปั๊ม P1, P2 และ P3 จากนั้นเปิดฝา MGD unit ทำการ clean acceptor channel ใช้ Syringe นิตสารละลายดูดซับ AC1 และ AC2 ลงในช่อง แล้วปิดฝา MGD unit

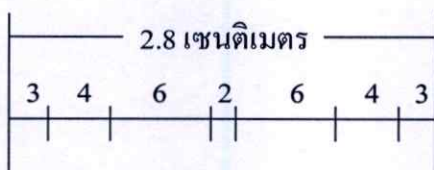
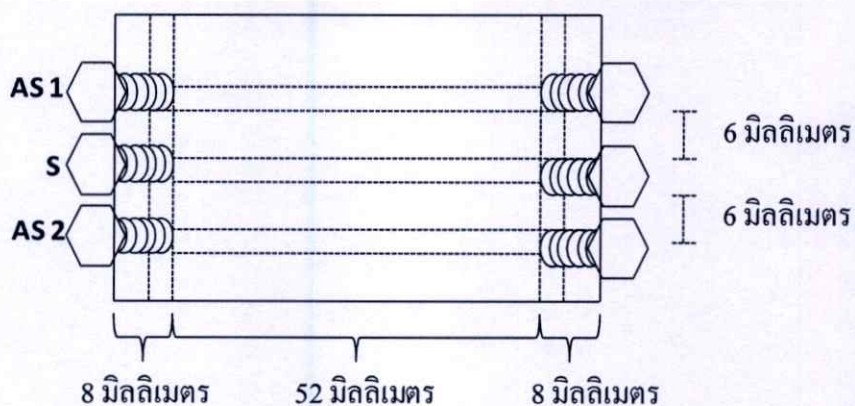
4. หมุน Switching valve ในตำแหน่งคูดสารละลายตัวอย่าง
5. เปิดปั๊ม P1 นาน 1 นาที เพื่อคูดสารละลายตัวอย่าง
6. หมุน Switching valve ในตำแหน่งคูดสารละลายตัวพา
7. ปิดปั๊ม P1 นาน 2 นาที เพื่อให้เกิดการแพร่
8. เพิ่มความเข้มข้น 1 ครั้ง (โดยทำซ้ำข้อ 4-7)
9. เปิดปั๊ม P1, P2 และ P3 พร้อมกับเปิดฝา MGD unit เพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น
เคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องตรวจวัด
10. ทดลองซ้ำข้อ 3-9 อีก 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ตามตารางที่ 3.1
11. ศึกษาผลจากการออกแบบระบบที่เหมาะสม

3.3.3 การออกแบบแก๊สดีฟิวชันชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

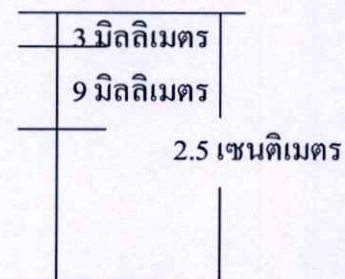
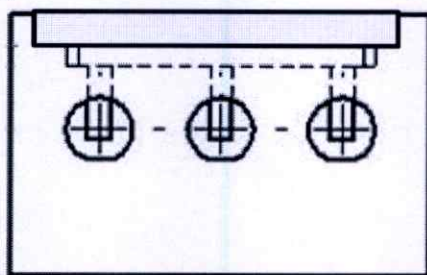
3.3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างช่องแต่ละช่อง

MGD unit ที่ออกแบบขึ้นจะมีลักษณะ เป็นสามช่องที่ขนานกันตามแนวยาว โดยช่องตรงกลางเป็นช่องทางไหลของสารตัวอย่าง และอีกสองช่องที่ขนานข้างจะเป็นช่องทางไหลของสารละลายคูดซับหรือสารละลายตัวพา โดยจะมีชิ้นงาน 2 แบบ ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 นำระบบที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 มาใช้กับ MGD unit ที่ออกแบบขึ้น โดยเปรียบเทียบสภาพไวของการวิเคราะห์ของ MGD unit ทั้งสองแบบ

แบบที่ 1 (ด้านบน)



(ด้านข้าง)



(ด้านหน้า)



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของ MGD unit แบบที่หนึ่ง

แบบที่ 2

(ด้านบน)



(ด้านข้าง)



(ด้านหน้า)



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดของ MGD unit แบบที่สอง

3.3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของสัญญาณตกค้างและการแก้ปัญหา

นำ MGD unit ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.3.1 มาศึกษาอิทธิพลของสัญญาณตกค้างที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ โดยใช้ระบบที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.2 และใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นแบบจำลองในการศึกษา เปรียบเทียบสัญญาณจากการวิเคราะห์ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการเปิดฝากับสัญญาณที่ได้จากการปิดฝา MGD unit

3.3.4 การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เอทานอลและปริมาณอะซีทัลดีไฮด์ ได้ ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ทั้งทางด้านเคมี และทางด้านกายภาพที่สามารถส่งผลต่อการดูดกลืนแสง ของสารผลิตภัณฑ์ โดยระบบที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ระบบวิเคราะห์ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.2 และ MGD unit ที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.3

3.3.4.1 การศึกษาปัจจัยทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

1. การศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการวิเคราะห์เอทานอล

ในการศึกษาปัจจัยทางเคมีที่เหมาะสมจะทำการปรับเปลี่ยนอิทธิพลที่ต้องการ ศึกษาในขณะที่กำหนดให้อิทธิพลอื่นๆ คงที่

1. เตรียมสารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับสารละลายกรดซัลฟูริก ในช่วงการศึกษาตามตารางที่ 3.1
2. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเข้มข้นละ 3 ชั่วโมง
3. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเวลา

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวแปรทางเคมีในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์เอทานอล

พารามิเตอร์	ช่วงในการศึกษา
ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต	0.05 - 0.4 โมลต่อลิตร
ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก	0.5 - 4 โมลต่อลิตร

2. การศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์

ในการศึกษาปัจจัยทางเคมีที่เหมาะสมจะทำการปรับเปลี่ยนอิทธิพลที่ต้องการ ศึกษาในขณะที่กำหนดให้อิทธิพลอื่นๆ คงที่

1. เตรียมสารละลายผสมระหว่างมอร์โฟลีนและโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ ในช่วงการศึกษาตามตารางที่ 3.2
2. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมลต่อลิตร ความเข้มข้นละ 3 ชั่วโมง
3. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเวลา

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวแปรทางเคมีในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์

พารามิเตอร์	ช่วงในการศึกษา
ความเข้มข้นของสารละลายเมอร์โฟลีน	1.25 – 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์	0.5 – 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.3.4.2 การศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อระบบวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว

ในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมตารางที่ 3.4 จะทำการปรับเปลี่ยนอิทธิพลที่ต้องการศึกษาในขณะที่กำหนดให้อิทธิพลอื่นๆ คงที่

- เตรียมสารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับสารละลายกรดซัลฟูริกโดยเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.2
- เตรียมสารละลายผสมระหว่างสารละลายเมอร์โฟลีนกับสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์โดยเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.3
- ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ความตามตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ
- บันทึกสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยให้แกน Y เป็นค่าการดูดกลืนแสง และแกน X เป็นอัตราการไหล

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวแปรทางกายภาพในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

พารามิเตอร์	ช่วงในการศึกษา	ความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษา	
		เอทานอล (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	อะซีทัลดีไฮด์ (โมลต่อลิตร)
อัตราการไหลปั๊ม P1	1.2 - 3.6 มิลลิลิตรต่อนาที	10	3×10^{-3}
อัตราการไหลปั๊ม P2	2.0 - 4.4 มิลลิลิตรต่อนาที	10	3×10^{-3}
อัตราการไหลปั๊ม P3	1.0 - 2.2 มิลลิลิตรต่อนาที	10	3×10^{-3}
ขวดต่อผสม	50 - 400 เซนติเมตร	40	9×10^{-3}
ปริมาตรของสารตัวอย่าง	400 - 2400 ไมโครลิตร	10	3×10^{-3}

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) แสดงตัวแปรทางกายภาพในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

พารามิเตอร์	ช่วงในการศึกษา	ความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษา	
		เอทานอล (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	อะซีทัลดีไฮด์ (โมลต่อลิตร)
ปริมาตรของสาร ตัวรับ	100 - 400 ไมโครลิตร	40	9×10^{-3}
เวลาในการระเหย	0 - 180 วินาที	10	3×10^{-3}
การเพิ่มความเข้มข้น	0 - 3 รอบ	10	3×10^{-3}

3.3.5 การศึกษาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

คุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์ที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัย จะวิเคราะห์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากหัวข้อ 3.3.2-3.3.4

3.3.5.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง

1. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลในช่วงความเข้มข้น 1 – 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอะซีทัลดีไฮด์ในช่วงความเข้มข้น 5×10^{-4} – 9×10^{-3} โมลต่อลิตร
2. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเวลา
3. วิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง
4. นำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารที่สนใจแต่ละตัวมาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยให้แกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสง และแกน x เป็นความเข้มข้นที่วิเคราะห์ จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2)

3.3.5.2 การศึกษาความเที่ยง

1. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมลต่อลิตร
2. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเวลา
3. วิเคราะห์ซ้ำอีก 10 ครั้ง
4. นำค่าการดูดกลืนแสงทั้งหมดของสารที่สนใจแต่ละตัวมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, %RSD) เพื่อประเมินความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำ

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad (3.1)$$

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 \bar{x} = ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย

3.3.5.3 การศึกษาขีดจำกัดในการตรวจวัด

สามารถหาได้โดยการคำนวณจากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$y = SD + 3\text{slope of calibration} \quad (3.2)$$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากวัดสัญญาณจากเบงก์ 5 ครั้ง
 Slope of calibration = ค่าความชันที่ได้จากสมการถดถอย

3.3.5.4 การศึกษาขีดจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ

สามารถหาได้โดยการคำนวณจากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$y = SD + 10\text{slope of calibration} \quad (3.3)$$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากวัดสัญญาณจากเบงก์ 5 ครั้ง
 Slope of calibration = ค่าความชันที่ได้จากสมการถดถอย

3.3.5.5 การศึกษาความแม่นยำ

การศึกษาความแม่นยำจะพิจารณาจากค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(C_1 - C_2) \times 100}{C_3} \quad (3.4)$$

C_1 = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน
 C_2 = ความเข้มข้นของตัวอย่าง
 C_3 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติม

1. เตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำแอลกอฮอล์สำหรับวิเคราะห์ และตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำแอลกอฮอล์ที่เติมสารละลายมาตรฐานเอทานอลผสมกับสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและ 2.7×10^{-3} โมลต่อลิตร ตามลำดับ

2. วิเคราะห์ตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำแอลกอฮอล์และตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำแอลกอฮอล์ที่เติมสารละลายมาตรฐานโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.2 - 3.3.4

4. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเวลา

5. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการถดถอยที่พล็อตระหว่างความค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น

6. คำนวณความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่เติมสารละลายมาตรฐาน แล้วนำมาคิดค่าร้อยละการกลับคืนเพื่อประเมินความแม่นยำ

3.3.6 การนำระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์สำหรับตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกัน

1. เตรียมตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์สำหรับวิเคราะห์
2. วิเคราะห์ตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.3.2 - 3.3.4
3. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเวลา
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการถดถอย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

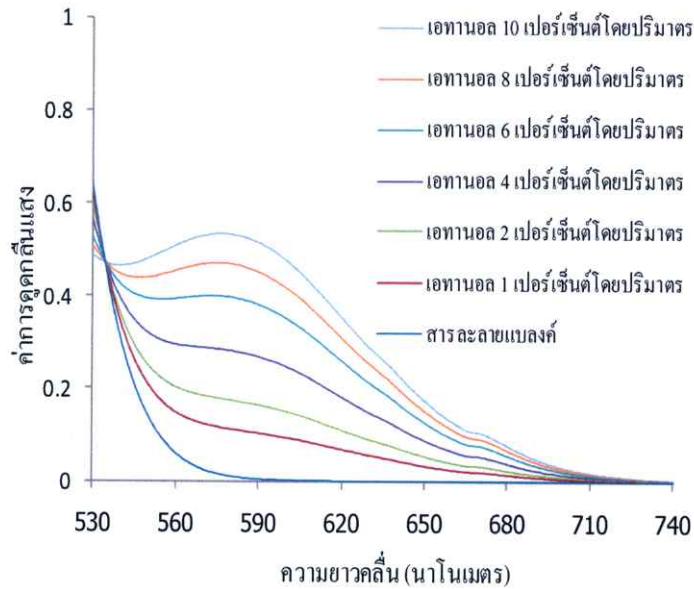
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแก๊สดีฟิวชันยูนิตนิกไร้เยื่อเลือกผ่าน เพื่อตรวจวัดไอระเหยของสารสองชนิดในคราวเดียวกันโดยใช้ระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล เพื่อนำไปใช้สำหรับวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์และเอทานอล (เลือกใช้เป็นแบบจำลองเพื่อทดสอบการใช้งานจริง) การทดลองจะประกอบด้วย การศึกษาปฏิกิริยาการตรวจวัด การออกแบบแก๊สดีฟิวชันยูนิตนิกไร้เยื่อเลือกผ่านและทดสอบระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีวิเคราะห์ และการนำระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มาประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ รวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน คือ แก๊สโครมาโทกราฟี

4.1 ผลการศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

4.1.1 ผลการศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นสูงสุดสำหรับการตรวจวัดเอทานอล

ในการตรวจวัดเอทานอลจะอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างเอทานอลกับไดโครเมตในสภาวะกรดที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [23] ดังสมการ 1.1 บทที่ 2

ทำการสแกนสเปกตรัมเพื่อหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น สเปกตรัมที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร

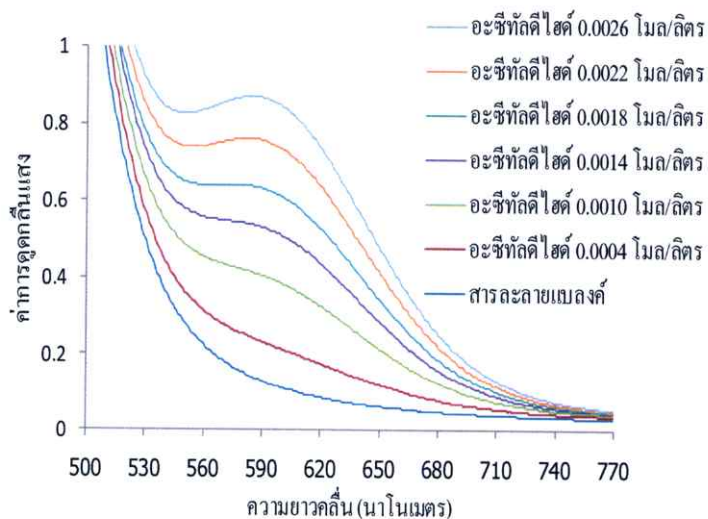


รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เอทานอล

4.1.2 ผลการศึกษาเพื่อหาความยาวคลื่นสูงสุดสำหรับการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์

ในการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์จะอาศัยปฏิกิริยาระหว่างอะซีทัลดีไฮด์กับสารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และเมอร์โฟลีน [60, 61] ดังสมการ 1.2 บทที่ 2

ทำการสแกนสเปกตรัมเพื่อหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น สเปกตรัมที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร



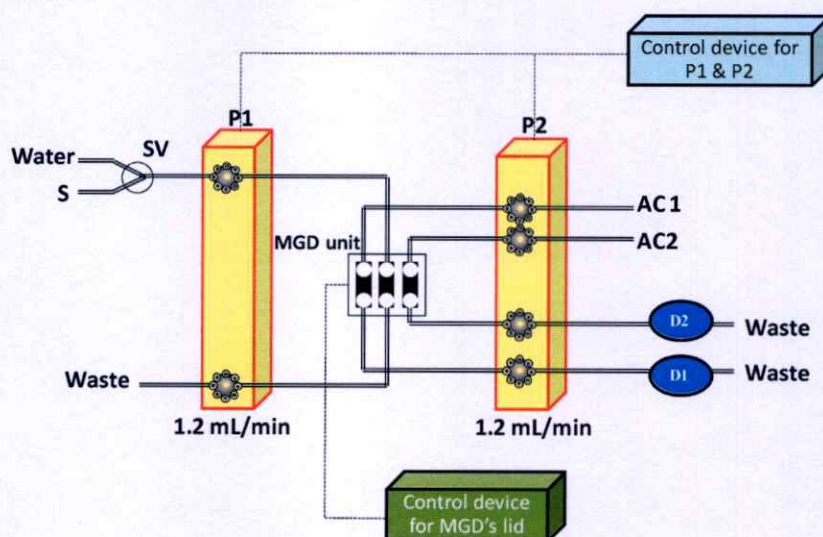
รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์

4.2 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกัน

การตรวจวัดสารที่ต้องการวิเคราะห์มากกว่าหนึ่งชนิดในคราวเดียวกันทำได้โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบไดโอดอาร์เรย์ แต่เนื่องจากห้องปฏิบัติการไม่มีเครื่องตรวจวัดชนิดดังกล่าว จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบวิเคราะห์ให้สามารถตรวจวัดสารได้มากกว่าหนึ่งชนิด

4.2.1 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่ 1: ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับ

สำหรับระบบที่ 1 (รูปที่ 4.3): ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับ ในการออกแบบระบบจะคำนึงถึงความถูกต้องของผลที่ได้ การใช้ปริมาตรรีเอเจนต์ให้น้อยเพื่อลดของเสียเป็นพิษที่เกิดขึ้น และราคาค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือ



รูปที่ 4.3 แสดงระบบที่ 1: ใช้ปั๊มดูดสารละลายดูดซับสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ใน

คราวเดียว; S: สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์, SV: Switching valve, MGD unit: แก๊สดีฟฟิวชันชนิดไร้เยื่อเลือกผ่าน, P1,P2: เพอร์ิสตาลติกปั๊ม, D1: เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (590 นาโนเมตร), D2: เครื่องตรวจวัด LED (หลอดกำเนิดแสงสีแดง), AC1: สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมอร์โฟลีน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร, AC2: สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร และ Waste: ของเสีย

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ได้ในคราวเดียวโดยใช้เครื่องตรวจวัด 2 ตัว และใช้อุปกรณ์อัตโนมัติในการควบคุมการเปิด-ปิดเพอร์ริสตาลติกปั๊มและควบคุมการเปิด-ปิดฝา MGD unit ทำให้สะดวก การวิเคราะห์เริ่มโดยนำสารละลายตัวรับทั้งสองเข้าสู่ระบบด้วยเพอร์ริสตาลติกปั๊ม (P2) ผ่านช่องตัวรับช่องริม ซ้าย-ขวาที่ขนานอยู่กับช่องของตัวอย่างที่อยู่ตรงกลาง นำตัวอย่างเข้าสู่ระบบด้วย Switching valve แล้วให้ P1 ดูดเข้าสู่ระบบ (โดยใช้น้ำเป็นสารละลายตัวพา) ไอระเหยของสารวิเคราะห์สองชนิดที่อยู่ภายใน MGD unit จะระเหยไปยัง headspace และถูกดูดซับอยู่บนสารละลายตัวรับ AC1 และ AC2 จากนั้นทำการตรวจวัดไอระเหยของอะซีทัลดีไฮด์ด้วย D1 และเอทานอลด้วย D2 และระบบนี้ยังสามารถทำการเพิ่มความเข้มข้นได้ (preconcentration)

เนื่องจากต้องการสภาพไวในการวิเคราะห์ของอะซีทัลดีไฮด์มากกว่าเอทานอล จึงใช้ D1 เป็นเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งสามารถเลือกความยาวคลื่นที่ตรวจวัดให้ตรงกับความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืน จึงให้สภาพไวกว่า แตกต่างกับ D2 ที่เป็นเครื่อง LED ที่มีหลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงไม่สามารถตั้งค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดให้ตรงกับค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดได้จึงมีสภาพไวน้อยกว่า

จากการออกแบบระบบวิเคราะห์ที่ 1 พบว่าระบบนี้ใช้ปริมาตรรีเอเจนต์ที่เป็นสารละลายดูดซับมากเนื่องจากการไหลอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีของเสียจากระบบมาก และรีเอเจนต์สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีนหากมีการไหลอย่างต่อเนื่องจะทำให้ baseline ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์ยกขึ้น (baseline shift) เนื่องจากหน้าต่างของ flow-through cell ถูกเคลือบด้วยรีเอเจนต์อยู่ตลอดเวลา และการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดสองชนิดไม่สะดวกในการใช้งาน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจึงทำการออกแบบระบบวิเคราะห์ที่ 2 ฉีดสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์ว

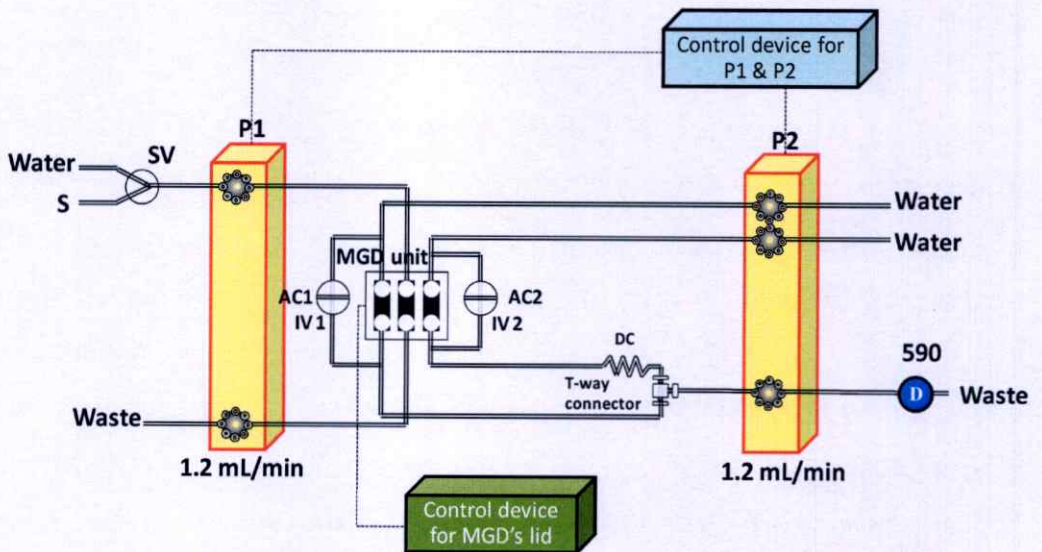
4.2.2 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่ 2: ฉีดสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์ว

รูปภาพสำหรับระบบที่ 2 (รูปที่ 4.4): ฉีดสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์ว หลักการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์คล้ายกับหัวข้อ 4.2.1 แต่ลดการใช้รีเอเจนต์ด้วยการเพิ่ม Injection valve เข้ามาในระบบ โดย IV1 ใช้สำหรับฉีดสารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีน (AC1) และ IV2 ใช้สำหรับฉีดสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตในกรดซัลฟูริก (AC2) การเพิ่มอินเจกชันวาล์วช่วยให้สามารถทำการเพิ่มความเข้มข้นได้ (preconcentration) เช่นเดียวกับระบบที่ 1 จากระบบที่ 1 (รูป 4.3) จะเห็นว่าต้องใช้เครื่องตรวจวัด 2 เครื่อง ซึ่งไม่สะดวกและสิ้นเปลือง ดังนั้น ในระบบที่ 2 นี้จึงออกแบบเพื่อใช้เครื่องตรวจวัดเพียงเครื่องเดียว คือ เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แต่อย่างไรก็ตาม ความยาวคลื่นสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์และเอทานอลนั้น

แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่ง เพียงความยาวคลื่นเดียวมาใช้ในการตรวจวัด

จากหัวข้อ 4.1 สเปกตรัมที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาตรวจวัดเอทานอลมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร และของอะซีทัลดีไฮด์มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร แต่เนื่องจากในตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ (เครื่องดื่มแอลกอฮอล์) มีปริมาณเอทานอลมากกว่าปริมาณอะซีทัลดีไฮด์อยู่พอสมควร ดังนั้นจึงเลือกใช้ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร เพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาจากปฏิกิริยาตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์ดูดกลืนได้สูงสุด ทั้งนี้ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตรนี้ ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาตรวจวัดเอทานอลมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืนได้ (คือที่ 575 นาโนเมตร) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงยังตรวจวัดได้

เนื่องจากการลดจำนวนเครื่องตรวจวัดให้เหลือเพียง 1 เครื่อง จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบใหม่ โดยจัดให้ท่อนำท่อนโซนผลิตภัณฑ์ทั้งสอง ออกจากตัวยูนิทมาบรรจบ (merging) กันก่อนที่ตัวเชื่อมรูปตัวที (T-way connection) เพื่อให้เหลือเพียงท่อเดียวแล้วต่อเข้ากับเครื่องตรวจวัดต่อไป



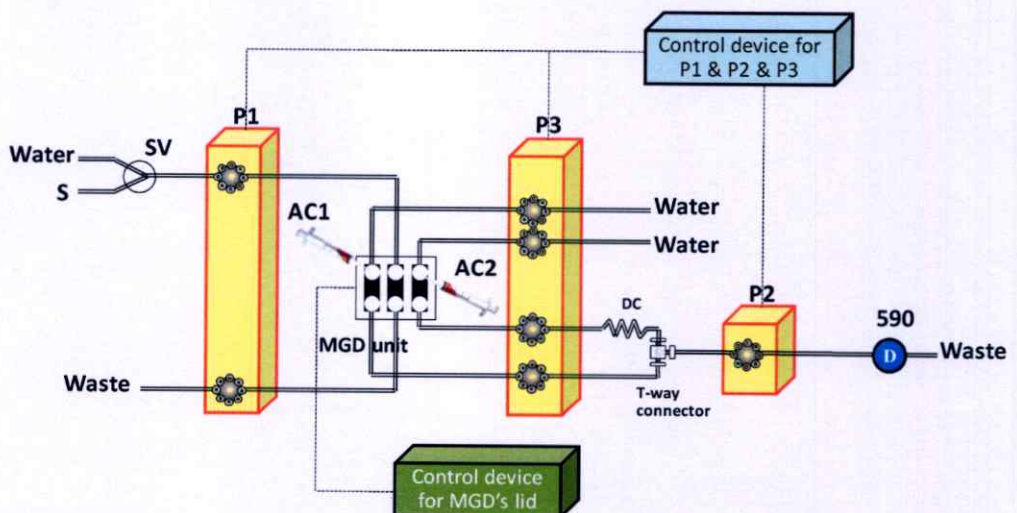
รูปที่ 4.4 แสดงระบบที่ 2: นิตสารละลายดูดซับโดยใช้อินเจกชันวาล์วสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว; S: สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์, SV: Switching valve, MGD unit: แก๊สดีฟิวชันยูนิทชนิดไร้เยื่อเลือกผ่าน, T-way connector: ข้อต่อเชื่อมรูปตัว T, DC: delay coil, P: เพอร์สตาตติกบีม, D: เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, IV: Injection valve, AC1: สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีน, AC2: สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตในกรดซัลฟูริก และ Waste: ของเสีย

อย่างไรก็ตาม ต้องระวังไม่ให้ท่อนโซนของผลิตภัณฑ์ทั้งสองไหลมาเจอกันซึ่งทำได้โดยการนำ delay coil มาใช้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ไปถึงเครื่องตรวจวัดไม่พร้อมกัน โดยจะเลือกอะซีทิลดีไฮด์ให้ไปถึงตัวตรวจวัดก่อนเอทานอล เนื่องจากไม่ต้องการให้ท่อนโซนของผลิตภัณฑ์ของอะซีทิลดีไฮด์เกิดการกระจายตัว (Dispersion) มากเกินไป ซึ่งส่งผลให้สัญญาณป้อน (Board) ให้ค่าการดูดกลืนแสงต่ำ ซึ่งจะทำให้ตรวจวัดอะซีทิลดีไฮด์ไม่ได้ ซึ่งในตัวอย่างเครื่องคัมแอลกอฮอล์จะมีปริมาณอะซีทิลดีไฮด์น้อยมากอยู่แล้ว

พบว่าระบบวิเคราะห์ที่ 2 แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจาก baseline ยกตัวได้ และการฉีดรีเอเจนต์เป็นการลดปริมาตรรีเอเจนต์ แต่เมื่อฉีดรีเอเจนต์ผ่านอินเจกชันวาล์วในตำแหน่ง load ของเหลวไหลออกจาก loop เพื่อเข้า channel ของ MGD unit ได้ไม่ค่อยดีและในตำแหน่ง inject ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์อะซีทิลดีไฮด์และเอทานอลไหลเข้าสู่เครื่องตรวจวัดไม่เหมือนกันในแต่ละครั้งคาดว่าเนื่องจากมีความดันในท่อเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจึงทำการออกแบบระบบวิเคราะห์ที่ 3 ฉีดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์ว

4.2.3 ผลการศึกษาการออกแบบระบบที่ 3: ฉีดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์ว

รูปภาพสำหรับระบบที่ 3 (รูปที่ 4.4): ฉีดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์ว หลักการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทิลดีไฮด์คล้ายกับหัวข้อ 4.2.1 แต่ไม่มีการใช้อินเจกชันวาล์วโดยจะนำสารละลายดูดซับเข้าสู่ระบบด้วยการฉีดผ่าน syringe จากการออกแบบพบว่าระบบนี้ทำได้ง่ายลดขั้นตอนการ load จากอินเจกชันวาล์ว แก้ไขปัญหาเรื่องปริมาตรที่ไม่ไหลออกจาก loop และแรงดันที่เกิดจากการ inject



รูปที่ 4.5 แสดงระบบที่ 3: ฉีดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์วสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทิลดีไฮด์ในคราวเดียว; S: สารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทิลดีไฮด์, SV:

Switching valve, MGD unit: แก๊สดีฟฟิวชันยูนิตชนิดไร้เยื่อเลือกผ่าน, T-way connector: ข้อต่อเชื่อมรูปตัว T, DC: delay coil, P: เพอร์ริสตาลติกปั๊ม, D: เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, AC1: สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีน, AC2: สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตในกรดซัลฟูริก และ Waste: ของเสีย

ทั้งนี้ได้เพิ่มเพอร์ริสตาลติกปั๊ม P3 เพื่อให้จุดสารละลายผลิตภัณฑ์ออกมาจากยูนิตเพื่อส่งต่อเข้าเครื่องตรวจวัดได้ง่ายขึ้น

ระบบที่ 3 นี้ยังคงสามารถใช้เพิ่มความเข้มข้นของสารได้เหมือนเดิมซึ่งทำได้โดยเปิดปั๊ม P1 P2 และ P3 เพื่อนำสารละลายตัวอย่างและสารละลายตัวพา (น้ำ) เข้าสู่ระบบ ปิดปั๊ม P1 P2 และ P3 ฉีดสารละลายดูดซับ AC1 (สารละลายผสมโซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีน) และ AC2 (สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตในกรดซัลฟูริก) ด้วย syringe รอเวลาในการระเหย (diffusion time) จากนั้นเพิ่มความเข้มข้นด้วยการนำตัวอย่างเดิมเข้าสู่ระบบอีกครั้งด้วยการเปิดปั๊ม P1 เพียงปั๊มเดียว รอเวลาในการระเหย (diffusion time) นำผลิตภัณฑ์เข้าสู่เครื่องตรวจวัดโดยเปิดปั๊ม P1 P2 และ P3 พร้อมกับเปิดฝายูนิต จะเห็นได้ว่าระบบที่ออกแบบมาใหม่นั้นทำได้ง่ายประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้อินเจกชันวาล์ว ดังนั้นจึงเลือกระบบวิเคราะห์แบบที่ 3 ในการวิเคราะห์ต่อไป

4.3 ผลการศึกษาการออกแบบแก๊สดีฟฟิวชันยูนิต (MGD unit) ชนิดไร้เยื่อเลือกผ่านแบบต่าง ๆ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนา MGD unit แบบใหม่ที่สามารถวิเคราะห์ไอระเหยของสารสองชนิดได้ในคราวเดียวกัน โดยได้ทำการออกแบบ MGD unit ขึ้นมาใหม่สองชิ้นโดยจะมีขนาดแตกต่างกันตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดของ MGD unit ที่ใช้ในการศึกษา

MGD unit	ขนาดของ MGD unit (มิลลิเมตร)			ระยะห่างระหว่างช่อง (มิลลิเมตร)
	ความกว้าง	ความยาว	ความสูง	
แบบที่ 1	2	52	9	9
แบบที่ 2	2	46	7	2

4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างช่องแต่ละช่อง

ทำการศึกษา MGD unit แบบที่ 1 และ 2 โดยใช้ระบบในหัวข้อ 4.2.3 เปรียบเทียบสภาพไวก่ที่ได้จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า สภาพไวก่ที่ได้จากการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์จาก MGD unit แบบที่ 2 มีค่ามากกว่า MGD unit แบบที่ 1 ทั้งการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ เนื่องจากระยะห่างระหว่างช่องทางไหลของสารของแบบที่ 1 ห่างกันมาก ทำให้ไอระเหยของสารอาจแพร่ไปไม่ถึงสารละลายดูดซับ ดังนั้นจึงเกิดผลิตภัณฑ์น้อย

ในกรณีของการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์โดยใช้ MGD แบบที่ 1 และ 2 พบว่า มีสภาพไวก่ในการวิเคราะห์แตกต่างกันมาก ซึ่งแบบที่ 2 จะให้สภาพไวก่ในการวิเคราะห์ที่ดีกว่า อาจเป็นเพราะจากกฎการแพร่ของแก๊สอธิบายว่า ที่อุณหภูมิและความดันคงที่อัตราการแพร่ของแก๊สใด ๆ จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล ดังนั้นอะซีทัลดีไฮด์จึงยังใช้เวลาในการแพร่นานกว่าเอทานอล ในการทดลองต่อไปจึงทำการเลือก MGD unit แบบที่ 2 ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสภาพไวก่ในการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

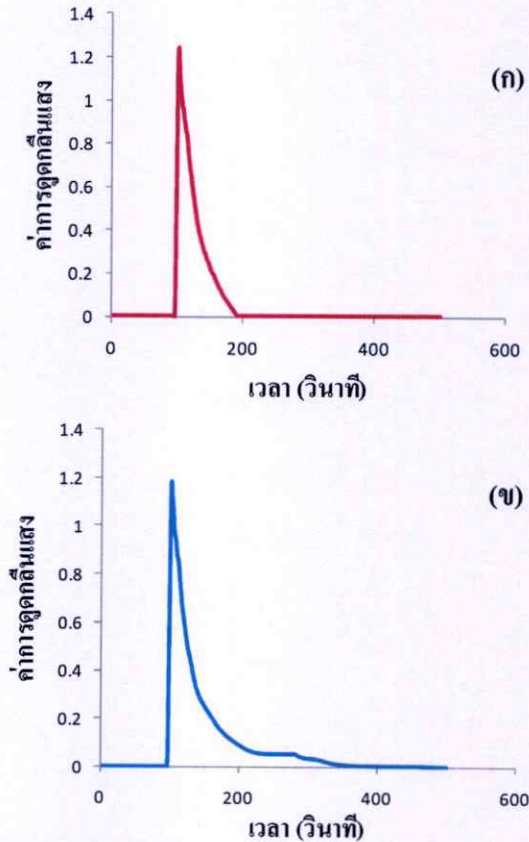
MGD unit	ความเข้มข้นเอทานอล (1-40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)		ความเข้มข้นอะซีทัลดีไฮด์ (5×10^{-4} - 9×10^{-3} โมลต่อลิตร)	
	สมการเส้นตรง	R ²	สมการเส้นตรง	R ²
แบบที่ 1	Abs = 0.0022[ethanol] - 0.0004	0.9912	Abs = 26.60[acetaldehyde] - 0.0110	0.9970
แบบที่ 2	Abs = 0.0043[ethanol] + 0.0038	0.9985	Abs = 152.36[acetadehyde] - 0.0671	0.9935

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัญญาณค้างและการแก้ปัญหา

การวิเคราะห์ไอระเหยของสารด้วยระบบปิดเมื่อมีการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องอาจทำให้ไอระเหยของสารวิเคราะห์ก่อนหน้านี้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ไม่หมดตกค้างอยู่ในระบบส่งผลให้ไอระเหยของสารวิเคราะห์ก่อนหน้านี้และไอระเหยของสารวิเคราะห์ที่เข้ามาใหม่ผสมกันทำให้สัญญาณจากการวิเคราะห์ครั้งต่อไปให้สัญญาณในการตรวจวัดไม่เท่ากับครั้งแรก นอกจากนั้นทำให้เกิด tailing effect เพราะต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้สัญญาณกลับสู่ baseline ดังรูปที่ 4.6

การออกแบบ MGD unit ในงานวิจัยอื่น ๆ [15-20, 51] ได้ออกแบบให้ MGD unit มีฝาเปิด-ปิดได้เพื่อลดการตกค้างจากไอระเหยของสารวิเคราะห์แต่อย่างไรก็ตาม ยังต้องใช้มือในการเปิด-ปิดฝาซึ่งอาจทำให้ทำการทดลองไม่สะดวก ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบให้ฝา MGD unit เปิด-ปิดได้อัตโนมัติ

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.6) พบว่าในหนึ่งครั้งของการวิเคราะห์ การเปิดฝา MGD unit สามารถลด tailing effect ได้และสามารถแก้ไขปัญหาการยกตัวของสัญญาณ (baseline shift) จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างได้ ดังนั้นจึงเลือกระบบการวิเคราะห์ที่มีการเปิดฝา MGD unit แบบอัตโนมัติเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ได้เมื่อเปิดฝา (ก) และปิดฝา (ข) MGD unit ที่สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

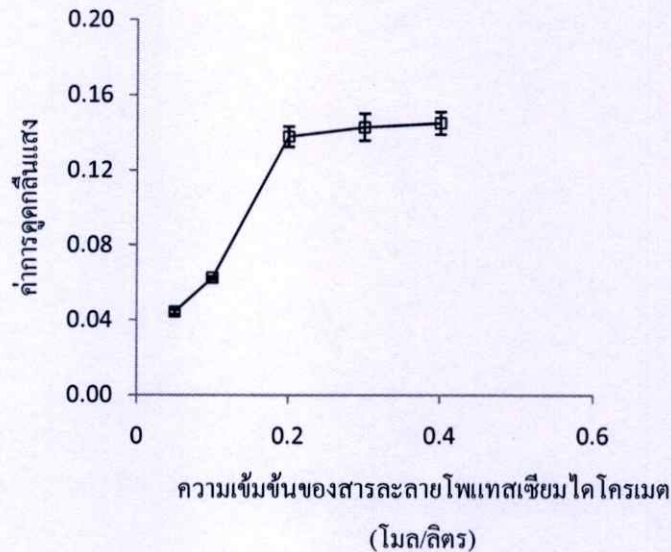
4.4 ผลการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

4.4.1 ผลการศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีต่อการวิเคราะห์เอทานอล

4.4.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

การวิเคราะห์เอทานอลด้วยปฏิกิริยาในหัวข้อ 4.1 ต้องอาศัยไดโครเมตไอออนที่ได้จากสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งไดโครเมตจะออกซิไดซ์เอทานอลเกิดเป็นโครเมียม (III) ซึ่งเป็นสปีชีส์ที่จะติดตามวัดค่าการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งในการทดลองจะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของ

สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ในช่วง 0.05 ถึง 0.4 โมลต่อลิตร ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7



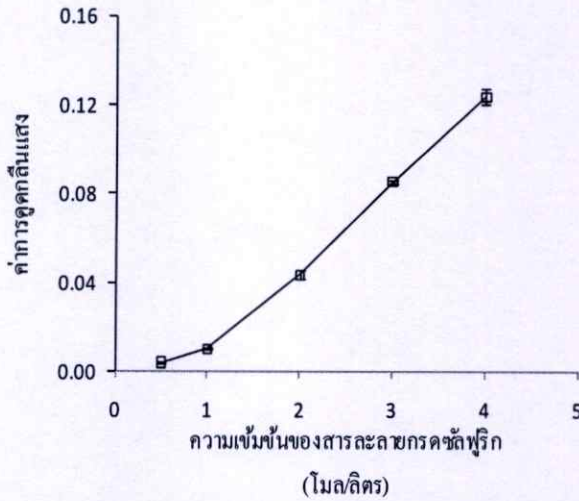
รูปที่ 4.7 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเพิ่มจาก 0.05 จนถึง 0.2 โมลต่อลิตร เนื่องจากจำนวน โมลของไดโครเมตยังมีมากเกินไป จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะสูงสุดและคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตมีค่าตั้งแต่ 0.2 โมลต่อลิตร เป็นต้นไป ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหมาะสมคือ 0.2 โมลต่อลิตร เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่สูง

4.4.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก

ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างเอทานอลกับไดโครเมตเกิดภายใต้สภาวะกรด ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา การทดลองจะวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกในช่วง 0.5 ถึง 4 โมลต่อลิตร ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์กล่าวคือค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเพิ่มจาก 0.5 ถึง 4 โมลต่อลิตร เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดได้ดีเมื่อความเข้มข้น

ของกรดเพิ่มขึ้น ได้เลือกความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกที่เหมาะสม คือ 4 โมลต่อลิตร เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สูงสุด



รูปที่ 4.8 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์โดยใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

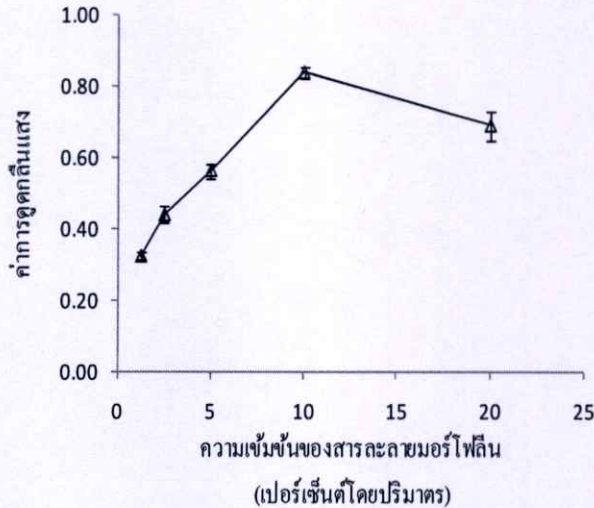
4.4.2 ผลการศึกษาปัจจัยทางเคมีที่มีต่อการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์

4.4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายมอร์โฟลีน

ในปฏิบัติการการตรวจวัดอะซีทัลดีไฮด์ สารละลายผสม โซเดียมไนโตรพรัสไซด์และมอร์โฟลีนจะทำปฏิกิริยากับอะซีทัลดีไฮด์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำเงิน ดังนั้นความเข้มข้นของสารทั้งสองตัวนี้จึงมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ ขั้นแรกได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายมอร์โฟลีนที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในช่วง 1.25 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.9

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมอร์โฟลีนเพิ่มจาก 1.25 จนถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แต่เมื่อสารละลายมอร์โฟลีนมีความเข้มข้นเกิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์จะลดลง อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของสารละลายมอร์โฟลีนที่สูงเกินไปทำให้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาไม่เหมาะสม เพราะปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีในสภาวะกรด การมีความเข้มข้นของมอร์โฟลีนมากเกินไปซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มเอมีนจะทำให้มีความเป็นเบสมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ลดลง

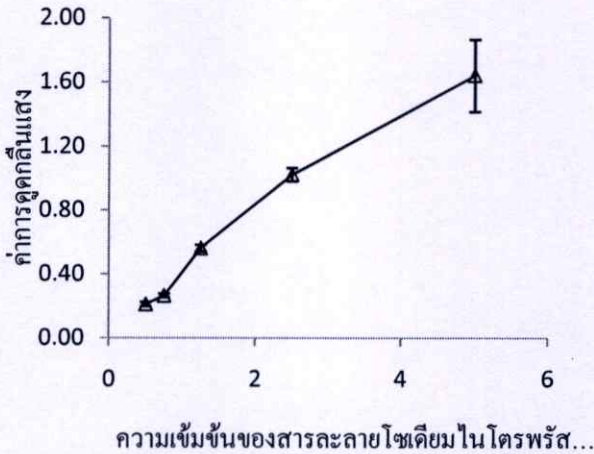
ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายมอร์โฟลีนที่เหมาะสมคือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพราะให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สูงสุด



รูปที่ 4.9 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายมอร์โฟลีนที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมลต่อลิตร

4.4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์

ได้ศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ในช่วง 0.5 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



รูปที่ 4.10 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมลต่อลิตร

ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนโตรพรัส อาจเป็นเพราะในปฏิกิริยามีจำนวนโซเดียมไนโตรพรัสมากส่งผลให้อะซีทัลดีไฮด์เกิดปฏิกิริยาได้มากเกิดผลิตภัณฑ์มาก เลือกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนโตรพรัส 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพราะให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เพียงพอกับการวิเคราะห์ และที่ความเข้มข้นมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์จะเกิน 1 ไม่เป็นไปตาม Beer's law

4.4.3 ผลการศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อระบบวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว

4.4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหล

4.4.3.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของป้อน P1

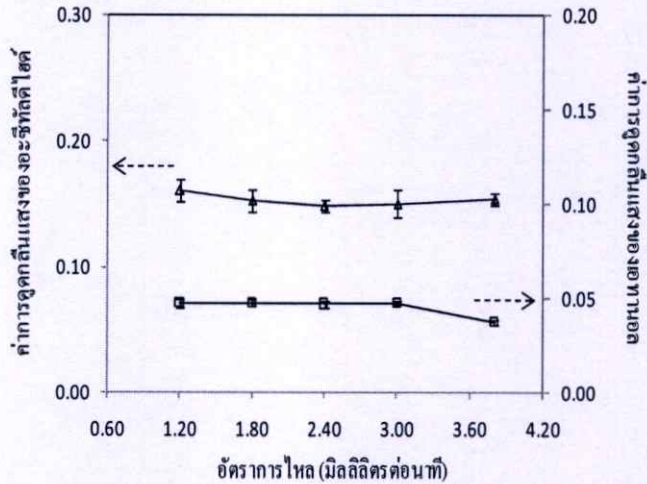
ระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลที่พัฒนาขึ้น นำตัวอย่างเข้าสู่ระบบด้วยการไหลอย่างต่อเนื่องด้วยเพอร์ริสตาลติกป้อน P1 ดังนั้นจึงทำการศึกษาอัตราการไหลของป้อน P1 ที่อาจส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์โดยให้ปริมาตรของสารตัวอย่างที่นำเข้าสู่ระบบคงที่ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการไหลและปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลาที่เปิดป้อน (นาที)	ปริมาตรสารตัวอย่าง (ไมโครลิตร)
1.2	6.00	1200
1.8	5.20	1200
2.4	5.00	1200
3.0	4.48	1200
3.6	4.40	1200

จากรูปที่ 4.10 พบว่า อัตราการไหลของป้อน P1 ไม่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ทั้งการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงที่เกือบจะคงที่ แต่ที่อัตราการไหล 3.6 มิลลิลิตรต่อนาทีค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เอทานอลมีค่าลดลงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะสารมีเวลาระเหยน้อยลงเนื่องจากอัตราการไหลที่เร็วมากทำให้สารถูก

นำออกจาก MGD เร็วเกินไป และอัตราเร็วในการวิเคราะห์ด้วยจะมากขึ้นเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น เพราะอัตราการไหลที่สูงสารตัวอย่างจะถูกนำเข้าสู่ระบบได้เร็ว



รูปที่ 4.11 แสดงผลของอัตราการไหลของปั๊ม P1 ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์และอัตราเร็วในการวิเคราะห์ เมื่อ ▲ และ ■ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของอะซีทิลดีไฮด์ความเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

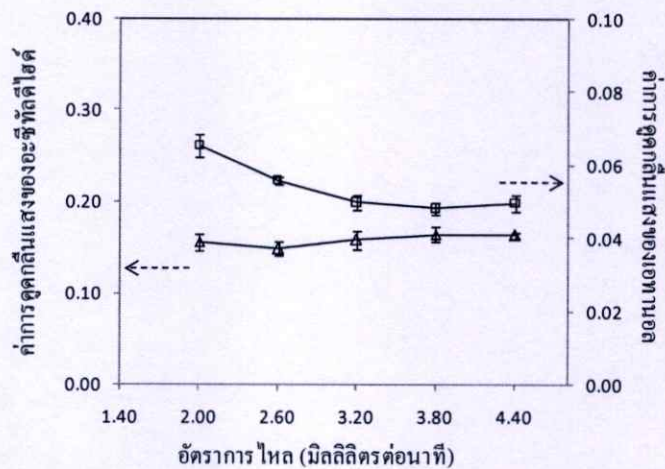
ในการเลือกอัตราการไหลที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงเป็นเกณฑ์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ พบว่าอัตราการไหลของ P1 สำหรับการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทิลดีไฮด์ที่เหมาะสม คือ อัตราการไหลที่ 2.4 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่พอเพียงต่อการตรวจวัด ทั้งนี้พบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลที่สูงกว่านี้อาจทำให้ปั๊มทำงาน over load ได้

4.4.3.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของปั๊ม P2

จากรูปที่ 4.5 ปั๊ม P2 มีหน้าที่นำสารผลิตภัณฑ์จาก delay coil (DC) เข้าสู่เครื่องตรวจวัด แต่อย่างไรก็ตาม ท่อขาออกจาก MGD unit ที่มี 2 ท่อซึ่งต่อกับ P3 นั้นถูก merge รวมกันให้เหลือเพียง 1 ท่อ ก่อนต่อเข้ากับ P2 ดังนั้น ปั๊ม P2 ต้องมีอัตราการไหลที่เร็วกว่า P3 เพื่อไม่ให้เกิดการท่วมของสารผลิตภัณฑ์ที่อยู่ใน MGD unit จากรูปที่ 4.12 พบว่า อัตราการไหลของปั๊ม P2 ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ทั้งการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทิลดีไฮด์ สำหรับการวิเคราะห์เอทานอลค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงอัตราการไหล 3.2 มิลลิลิตรต่อนาที และค่าการดูดกลืนแสงคงที่จนถึงอัตราการไหล 4.4 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากในขณะที่วิเคราะห์สารด้วยอัตราการไหลต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคงอยู่ในระบบนานจะทำปฏิกิริยากันได้มากขึ้นทำให้ค่าการ

ดูคลื่นแสงมีค่าสูง สำหรับการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์พบว่าที่อัตราการไหลที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดกลืนแสงมากนัก

ในการเลือกอัตราการไหลที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงและอัตราเร็วในการวิเคราะห์เป็นเกณฑ์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ พบว่าอัตราการไหลของ P2 สำหรับการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ ที่เหมาะสม คือ อัตราการไหลที่ 3.8 มิลลิลิตร/นาที เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและอัตราเร็วในการวิเคราะห์ 7 ตัวอย่าง/ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 แสดงผลของอัตราการไหลของปั๊ม P2 ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ เมื่อ ▲ และ ■ คือ ค่าการดูดกลืนแสงและอัตราเร็วในการวิเคราะห์ของอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.4.3.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของปั๊ม P3

การออกแบบระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลที่ได้จากหัวข้อ 4.2.3 ปั๊ม P3 ช่วยในการนำผลิตภัณฑ์ออกจาก MGD unit โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกอัตราการไหล คือ ต้องไม่ให้เกิดการท่วมและเกิดฟองอากาศของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ทำการวิเคราะห์ ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสม คือ 1.9 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการไหลปั๊ม P2

4.4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชุดท่อผสมต่อการวิเคราะห์การเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว

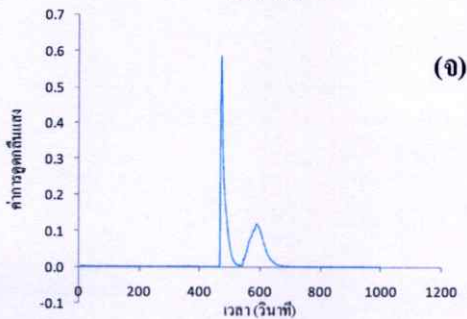
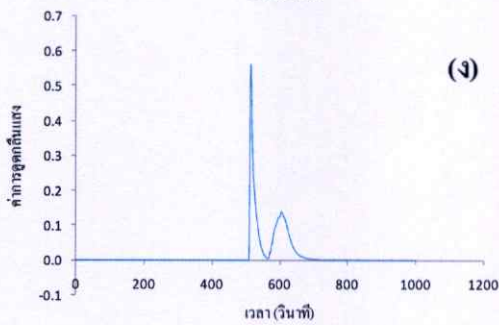
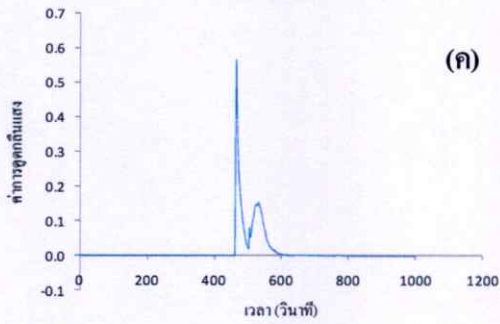
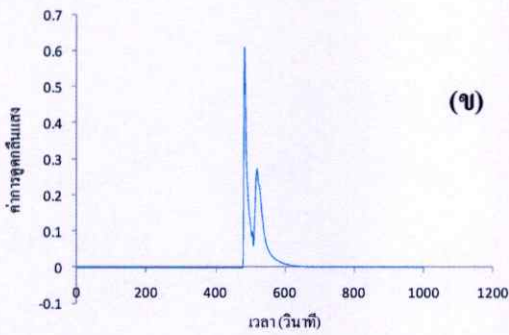
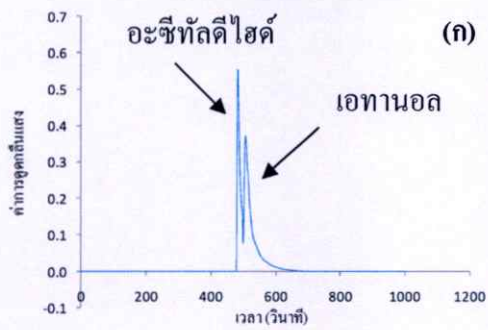
จากหัวข้อ 4.2.3 ได้ออกแบบระบบวิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์สารที่สนใจสองชนิดโดยใช้เครื่องตรวจวัดเพียงหนึ่งเครื่อง ซึ่งถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไปถึงยังเครื่องตรวจวัดด้วยเวลาที่ต่างกันจะต้องใช้ชุดท่อผสมและนำมาใช้งานในลักษณะของ delay coil ดังนั้น ในกรณีของระบบ

นี้ delay coil จึงทำหน้าที่เป็นทั้งส่วนที่สารตัวอย่างและสารเคมีเกิดการผสมกัน และทำให้ท่อนโซนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นแยกกันเพื่อไปถึงยังเครื่องตรวจวัดที่เวลาต่างกัน (แต่ไม่ควรจะต่างกันนานเกินไป)

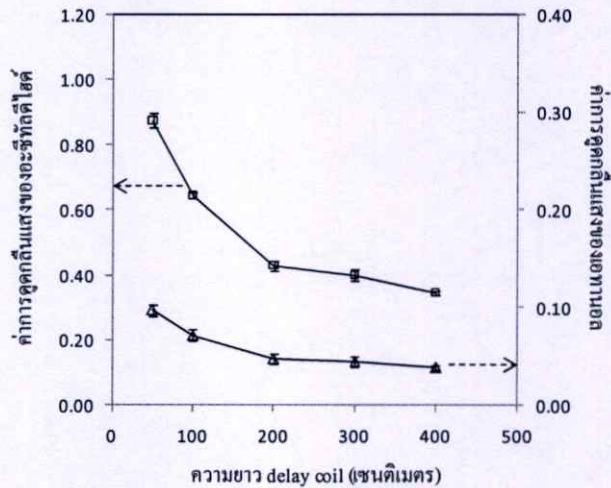
อิทธิพลของความยาว delay coil นั้นจะส่งผลต่อการวิเคราะห์สองอย่าง คือ การแยกกันระหว่างท่อนโซนของผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์เอทานอลกับอะซีทัลดีไฮด์และการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์เอทานอล จากรูปที่ 4.13 ที่ความยาวของ delay coil มากขึ้นทำให้ท่อนโซนของผลิตภัณฑ์แยกกันได้สมบูรณ์มากขึ้น เพราะท่อนโซนของผลิตภัณฑ์ต้องใช้เวลาในการเคลื่อนที่นาน จึงมีโอกาสผสมกันได้น้อยและพบว่าที่ความยาว delay coil 400 เซนติเมตร ท่อนโซนของผลิตภัณฑ์แยกกันได้ดีที่สุด แต่การเลือกความยาวของ delay coil ที่เหมาะสมนั้นต้องศึกษาอิทธิพลของการกระจายตัวภายใน delay coil คู่กัน เนื่องจากหากความยาว delay coil มากจะทำให้เกิดการกระจายตัวมาก

ในการศึกษาอิทธิพลของ delay coil ที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์เอทานอลจะใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.95 มิลลิเมตรและศึกษาในช่วงความยาว 50 ถึง 400 เซนติเมตร ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.14

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าเมื่อความยาวของ delay coil ยาวขึ้นค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์เอทานอลจะลดลง เพราะความยาว delay coil มากทำให้เกิดการกระจายตัวของท่อนโซนผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงความยาว 50 ถึง 200 เซนติเมตร จากนั้นจึงเริ่มคงที่ จนถึง 400 เซนติเมตร เพราะเกิดการกระจายตัวของท่อนโซนผลิตภัณฑ์สูงสุด ดังนั้นเลือกใช้ delay coil ที่ความยาว 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นความยาวที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์มากที่สุด



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทิลดีไฮด์และเอทานอลในการวิเคราะห์ของอะซีทิลดีไฮด์ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมล/ลิตร และเอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ เมื่อใช้ delay coil ความยาวต่าง ๆ กัน (ก) 50 เซนติเมตร (ข) 100 เซนติเมตร (ค) 200 เซนติเมตร (ง) 300 เซนติเมตร และ (จ) 400 เซนติเมตร

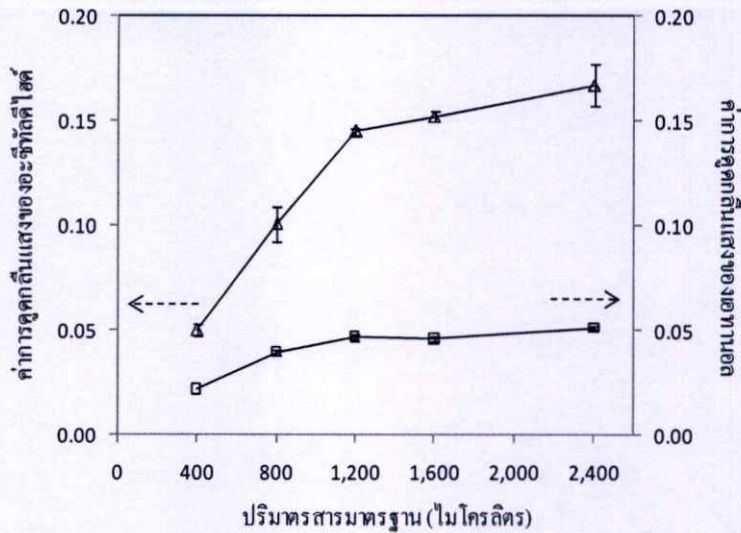


รูปที่ 4.14 แสดงผลของ delay coil ที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ เมื่อ \triangle และ \square คือค่าการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ของอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมล/ลิตร และเอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาตรของสารตัวอย่าง

ปริมาตรของสารตัวอย่างที่นำเข้าสู่ระบบจะส่งต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น จึงทำการศึกษาอิทธิพลของสารตัวอย่างโดยใช้สารมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์เป็นตัวแทนของสารตัวอย่าง โดยใช้ปริมาตรของสารมาตรฐานช่วง 400-2400 ไมโครลิตร จากผลการทดลองในรูปที่ 4.15 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์สูงขึ้นจนถึงปริมาตร 1200 ไมโครลิตร เนื่องจากเมื่อปริมาตรของสารตัวอย่างมากขึ้นทำให้มีปริมาณของอะซีทัลดีไฮด์มากขึ้นจึงถูกดูดซับเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น และค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจนถึง 2400 ไมโครลิตร เนื่องจากปริมาตรของสารดูดซับที่อยู่ใน MGD unit สามารถทำปฏิกิริยาได้อีกเพียงเล็กน้อย

ในกรณีของการวิเคราะห์เอทานอลก็ให้ผลการทดลอง เช่นเดียวกับของอะซีทัลดีไฮด์ จึงเลือกปริมาตรที่ 1200 ไมโครลิตร เป็นปริมาตรสารตัวอย่างที่เหมาะสม



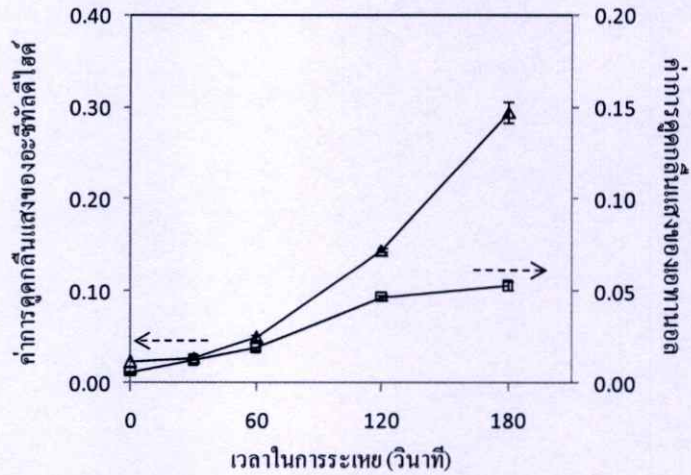
รูปที่ 4.15 แสดงผลของปริมาณสารตัวรับที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ เมื่อ ▲ และ ■ คือ ค่าการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ของอะซีทิลดีไฮด์ความเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.4.3.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณของสารตัวรับ

จากการออกแบบระบบในหัวข้อ 4.2.3 ระบบวิเคราะห์ที่ 3 ฉีดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์ว นำสารละลายดูดซับเข้าสู่ระบบด้วยการฉีดผ่าน syringe ปริมาณของสารตัวรับมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์เนื่องจากสารละลายดูดซับทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ในการเกิดปฏิกิริยา เมื่อปริมาณสารละลายดูดซับมากขึ้นจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงทำการศึกษาปริมาณของสารตัวรับในช่อง 100 – 400 ไมโครลิตร พบว่าปริมาณที่เหมาะสมสำหรับสารละลายดูดซับ คือ 200 ไมโครลิตร เนื่องจากเมื่อปริมาณมากกว่า 200 ไมโครลิตรจะทำให้สารละลายดูดซับท่วม MGD unit และเมื่อน้อยกว่า 200 ไมโครลิตร ทำให้เกิดฟองอากาศเข้ามาในระบบ

4.4.3.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการระเหย

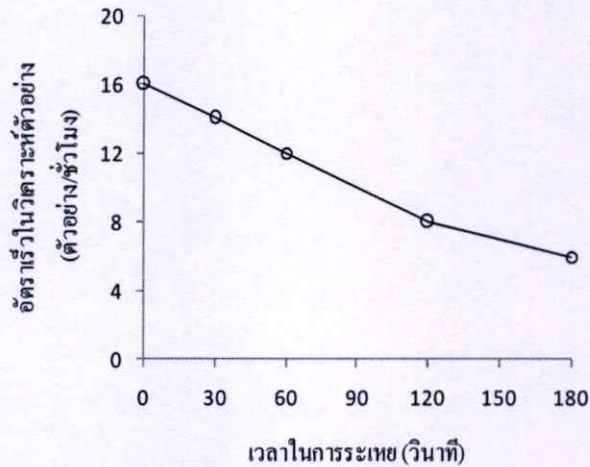
การตรวจวัดไอระเหยของสารที่สนใจนั้นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสภาพไวในการวิเคราะห์ คือ เวลาในการระเหยของสาร ในการวิเคราะห์นี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการระเหยที่มีผลต่อการตรวจวัดเอทานอลและอะซีทิลดีไฮด์ การศึกษาทำได้โดยใช้ขั้นตอนที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.3 และให้สภาวะต่าง ๆ คงที่โดยตัวแปรที่เปลี่ยนคือ เวลาในการระเหย แต่ละครั้งของการวิเคราะห์ต่างกัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงผลของเวลาในการระเหยที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ เมื่อ ▲ และ ■ คือ สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์และเอทานอลเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตรและ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของอะซีทัลดีไฮด์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาในการระเหยเพิ่มขึ้นเป็นเพราะ สารมีเวลาในการระเหยนานขึ้นส่งผลให้ถูกดูดซับบนผิวของรีเอเจนต์ได้มากขึ้นเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ส่วนค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลจะเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาการระเหยที่ 120 วินาที หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงเริ่มคงที่ เป็นเพราะผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นเต็มบริเวณพื้นผิวของสารละลายตัวรับตั้งแต่วเวลา 120 วินาที แล้วทำให้เมื่อเพิ่มเวลาการระเหยค่าการดูดกลืนแสงคงที่

การเลือกเวลาในการระเหยที่เหมาะสมสิ่งที่จะต้องศึกษาควบคู่กันไปด้วย คือ อัตราเร็วในการวิเคราะห์รูปที่ 4.17 แสดงผลของอัตราเร็วในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาในการระเหยที่เวลา 2 นาที เนื่องจากให้อัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่นานจนเกินไป (8 ตัวอย่างต่อชั่วโมง) และค่าการดูดกลืนแสงที่สามารถตรวจวัดได้แม้ในความเข้มข้นของอะซีทัลดีไฮด์และเอทานอลต่ำ ๆ

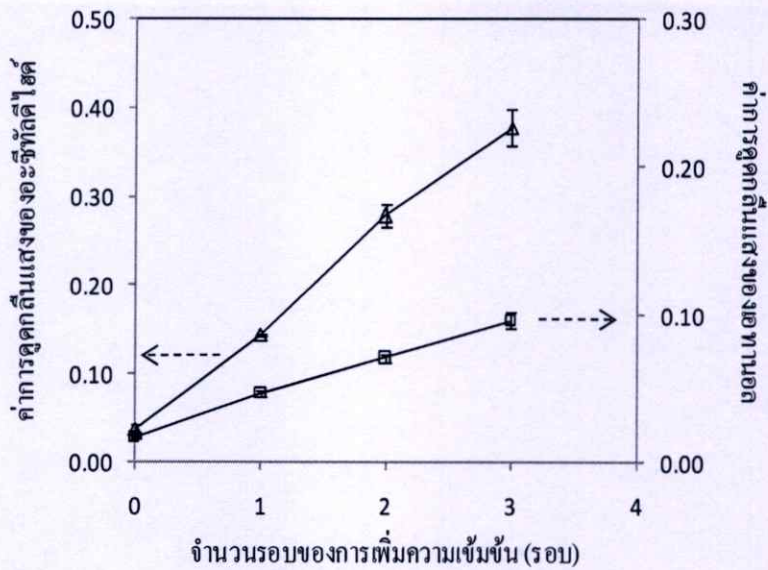


รูปที่ 4.17 แสดงผลของเวลาในการระเหยที่ส่งต่ออัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เมื่อ $\text{---}\circ\text{---}$ คือ อัตราเร็วในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์และเอทานอลเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

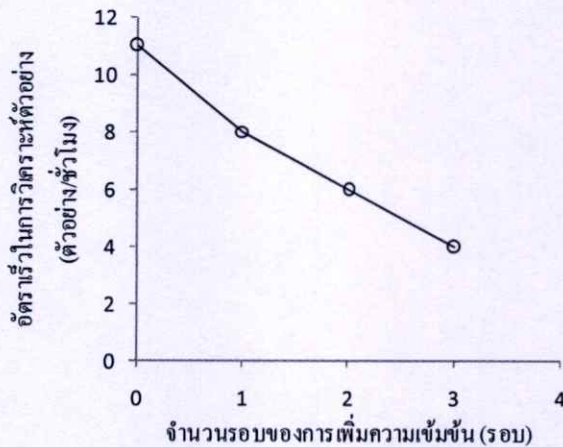
4.4.3.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มความเข้มข้น

การวิเคราะห์สารที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ การเลือกวิธีวิเคราะห์ที่มีสภาพไวในการวิเคราะห์ที่สูง เช่น การเลือกตัวตรวจวัดที่เหมาะสม การทำอนุพันธ์ การเพิ่มความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ ฯลฯ ในหัวข้อ 4.2 ได้ออกแบบระบบวิเคราะห์ที่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารวิเคราะห์ได้ รูปที่ 4.18 แสดงผลของการเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารวิเคราะห์

จากผลการทดลอง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะของอะซีทัลดีไฮด์และเอทานอลจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งของการเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น เพราะเมื่อจำนวนครั้งมากขึ้น จำนวนโมลของสารวิเคราะห์ที่เข้ามาใน MGD unit ก็มีมากขึ้น ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ได้มากขึ้น เกิดผลิตภัณฑ์ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้น การเลือกจำนวนรอบของการเพิ่มความเข้มข้นต้องพิจารณา ร่วมกับอัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่างดังรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนรอบของการวิเคราะห์มากขึ้นอัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่างลดลงเนื่องจากต้องใช้เวลาในการนำสารเข้าสู่ระบบนานขึ้น ในการทดลองทำการเลือกจำนวนรอบการเพิ่มความเข้มข้น 1 รอบ เพราะให้ค่าการดูดกลืนแสงและอัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้หาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.18 แสดงผลของการเพิ่มความเข้มข้นที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ เมื่อ ▲ และ ■ คือ สารละลายมาตรฐานอะซิติกแอซิดและเอทานอลเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 แสดงผลของการเพิ่มความเข้มข้นที่ส่งผลต่ออัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เมื่อ ○ คือ อัตราเร็วในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานอะซิติกแอซิดและเอทานอลเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.5 ผลการศึกษาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

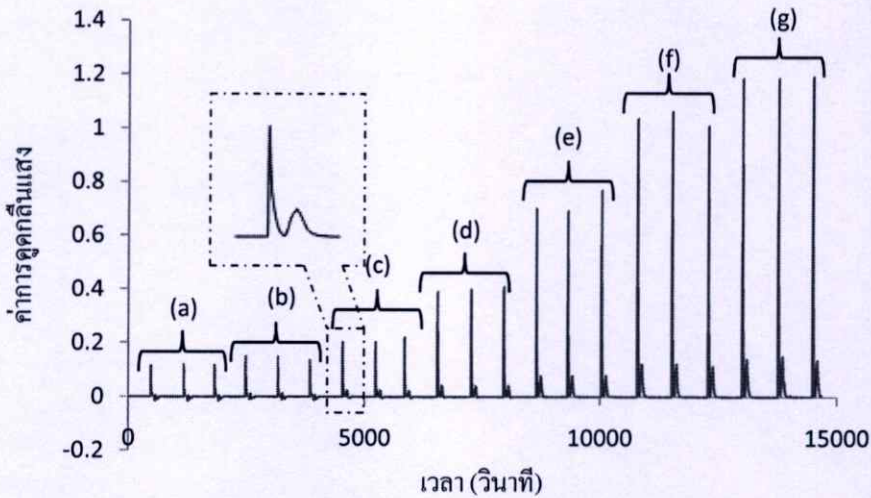
4.5.1 สรุปผลการศึกษาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ภายในคราวเดียวกัน นำมาหาคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4 ตัวอย่างของสัญญาณของกราฟมาตรฐานดังรูป 4.20

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาปัจจัยทางเคมีและปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์

คุณลักษณะเด่น	อะซีทัลดีไฮด์	เอทานอล
ช่วงความเป็นเส้นตรง	$0.5 - 9 \times 10^{-3}$ โมลต่อลิตร	1 - 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
สมการเส้นถดถอย	$Abs_{590\text{ nm}} = 132.1442[\text{acetaldehyde}] - 0.0600$	$Abs_{590\text{ nm}} = 0.0032[\text{ethanol}] + 0.0030$
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2)	0.9949	0.9915
ความเที่ยง (%RSD) วิเคราะห์ 10 ซ้ำ	4.70	3.85
ขีดจำกัดในการตรวจวัด (LOD = 3SD of blank /slope)	6×10^{-5} โมลต่อลิตร	0.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ขีดจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ (LOQ = 10SD of blank /slope)	1.9×10^{-4} โมลต่อลิตร	0.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
อัตราเร็วในการวิเคราะห์ (จำนวนครั้งที่ฉีดต่อชั่วโมง)	7	7

* อัตราเร็วในการวิเคราะห์ที่ได้จริง ซึ่งพิจารณาจากอัตราเร็วในการวิเคราะห์ของสารที่ช้าที่สุด



รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น $0.5 - 1.1 \times 10^{-3}$ โมลต่อลิตร และเอทานอล ความเข้มข้น 1-40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในคราวเดียวด้วยระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล เมื่อ (a) คือ สารละลายแบลคค์ (b) คือ อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 0.5×10^{-3} โมลต่อลิตร และ เอทานอล ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (c) คือ อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 1×10^{-3} โมลต่อลิตร และ เอทานอล ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (d) คือ อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 3×10^{-3} โมลต่อลิตร และ เอทานอล ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (e) คือ อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลต่อลิตร และ เอทานอล ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (f) คือ อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 7×10^{-3} โมลต่อลิตร และ เอทานอล ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (g) คือ อะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมลต่อลิตร และ เอทานอล ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4.5.2 ผลการคำนวณหาค่าความแม่นยำของระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลสำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียว

นำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากหัวข้อ 4.4 มาหาค่าความแม่นยำของระบบวิเคราะห์โดยจะพิจารณาจากค่าการคืนกลับ (%Recovery) ซึ่งทำโดยเติมสารละลายมาตรฐานผสมเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและ 2.7×10^{-3} โมลต่อลิตร ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ในการวิเคราะห์เอทานอล

ประเภทของ ตัวอย่าง	การวิเคราะห์เอทานอล (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)			ค่าการกลับคืน (%Recovery)
	ความเข้มข้น ที่มีอยู่เดิม	ความเข้มข้น ที่เติม	ความเข้มข้น ที่พบ	
ลิควอร์*	3.7	10	14.2	104
วิสกี 1*	9.8	10	20.4	106
วิสกี 2*	7.4	10	16.2	88
น้ำสมุนไพรมะนาว 1	n.d.	10	8.3	83
น้ำสมุนไพรมะนาว 2	n.d.	10	8.5	85
น้ำสมุนไพรมะนาว 3	n.d.	10	10.3	103
น้ำสมุนไพรมะนาว 4	n.d.	10	8.9	89

n.d. = ไม่สามารถตรวจวัดได้

* เจือจางตัวอย่าง 3.34 เท่า

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ในการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์

ประเภทของ ตัวอย่าง	การวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าการกลับคืน (%Recovery)
	ความเข้มข้น ที่มีอยู่เดิม	ความเข้มข้น ที่เติม	ความเข้มข้น ที่พบ	
ลิควอร์*	1.30×10^{-3}	2.7×10^{-3}	3.92×10^{-3}	97
วิสกี 1*	3.07×10^{-3}	2.7×10^{-3}	5.46×10^{-3}	89
วิสกี 2*	2.14×10^{-3}	2.7×10^{-3}	5.14×10^{-3}	111
น้ำสมุนไพรมะนาว 1	n.d.	2.7×10^{-3}	2.49×10^{-3}	80
น้ำสมุนไพรมะนาว 2	n.d.	2.7×10^{-3}	2.79×10^{-3}	85
น้ำสมุนไพรมะนาว 3	n.d.	2.7×10^{-3}	3.10×10^{-3}	99
น้ำสมุนไพรมะนาว 4	n.d.	2.7×10^{-3}	2.93×10^{-3}	95

n.d. = ไม่สามารถตรวจวัดได้

* เจ็องตัวอย่าง 3.34 เท่า

จากตารางที่ 4.6 พบว่าร้อยละในการกลับคืน (%Recovery) ในการวิเคราะห์เอทานอลอยู่ในช่วง 83 – 106% และอะซีทัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 80-111% ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมรับได้ แสดงว่าระบบวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำมากพอในการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

4.6 ผลการนำระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลสำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

ในงานวิจัยนี้ได้นำระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหลมาประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวกันในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เพื่อใช้เป็นการควบคุมคุณภาพของปริมาณเอทานอลและตรวจวัดความเป็นพิษของอะซีทัลดีไฮด์โดยใช้ระบบที่ได้ออกแบบไว้ดังผลการศึกษาหัวข้อที่ 4.3.2 และสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 4.4

จากตารางที่ 4.7 พบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ได้ในคราวเดียวกัน โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถหาปริมาณเอทานอลได้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน แต่การวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์ให้ผลที่ต่างจากวิธีมาตรฐาน อาจเป็นเพราะวิธีที่พัฒนาขึ้นไม่ได้กำหนดอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทดลองทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน อะซีทัลดีไฮด์ระเหยได้มากน้อยต่างกันตามอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณตัวรบกวนทำให้ยากต่อการวิเคราะห์

อย่างไรก็ตามพบว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณอะซีทัลดีไฮด์เกินเกณฑ์กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 160 มิลลิกรัมต่อลิตร (3.63×10^{-3} โมลต่อลิตร) คือ ไวน์และลิเคอร์ว ซึ่งจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดังกล่าวซ้ำเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ จากวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน

ประเภทของ ตัวอย่าง	ปริมาณเอทานอล (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)			ปริมาณความเข้มข้น อะซีทัลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	ค่าที่ระบุ ข้างฉลาก	วิธี มาตรฐาน	วิธีที่พัฒนา*	วิธี มาตรฐาน	วิธีที่พัฒนา*
เบียร์	5.0	5.1	5.0 ± 0.009	2.20×10^{-3}	$1.13 \times 10^{-3} \pm 1.33 \times 10^{-4}$
ไวน์	5.0	4.7	5.7 ± 0.429	5.60×10^{-3}	$1.53 \times 10^{-3} \pm 2.73 \times 10^{-4}$
สุราแช่	8.0	10.2	11.1 ± 0.425	1.45×10^{-3}	$2.44 \times 10^{-3} \pm 3.55 \times 10^{-5}$
ลิเกออร์	15.0	18.5	41.5 ± 0.749	3.88×10^{-3}	$7.74 \times 10^{-3} \pm 1.47 \times 10^{-3}$
สุราผสม	28.0	25.3	25.1 ± 1.320	3.04×10^{-3}	$3.87 \times 10^{-3} \pm 4.37 \times 10^{-5}$
วิสกี้ 1	35.0	39.0	41.7 ± 1.390	5.43×10^{-4}	$6.97 \times 10^{-3} \pm 3.16 \times 10^{-4}$
วิสกี้ 2	40.0	37.8	45.1 ± 0.849	2.60×10^{-3}	$8.68 \times 10^{-3} \pm 5.92 \times 10^{-4}$
น้ำสมุนไพร 1	ไม่ระบุ	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
น้ำสมุนไพร 2	ไม่ระบุ	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
น้ำสมุนไพร 3	ไม่ระบุ	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

* ค่าเฉลี่ย (Mean \pm SD, n = 3)

n.d. = ไม่สามารถตรวจวัดได้

4.7 การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้วิเคราะห์เอทานอลที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จุดประสงค์ของการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้วิเคราะห์เอทานอลที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเอทานอลต่ำ ๆ เช่น แอลกอฮอล์ในเลือด ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกตัวรบกวนที่เป็นของเหลวได้ทำให้มีความมุ่งหวังว่าอาจสามารถวิเคราะห์เอทานอลที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ ได้

การวิเคราะห์หาเอทานอลในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำการศึกษาโดยใช้ระบบที่ได้ออกแบบไว้ดังผลการศึกษาค้นคว้าที่ 4.3.2 และสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 4.4 พบว่า ยังไม่สามารถหาความเข้มข้นได้ เพราะ ระบบที่ออกแบบสำหรับวิเคราะห์เอทานอลมีการใช้ delay coil ซึ่ง

ทำให้เกิดการกระจายตัวของท่อน โซนผลิตภัณฑ์ เกิดการเงื้องางของผลิตภัณฑ์จึงไม่สามารถตรวจวัดระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรได้ อาจแก้ไขโดยการเพิ่มเวลาในการระเหย หรือลดความยาวของ delay coil

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแก๊สลิฟฟิวชันยูนิตนิกไร้เยื่อเลือกผ่าน (Membraneless gas-diffusion unit: MGD unit) เพื่อตรวจวัดไอระเหยของสารสองชนิดในคราวเดียวกัน โดยใช้ระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล ซึ่งจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การออกแบบอุปกรณ์ MGD และการออกแบบระบบวิเคราะห์ที่สามารถตรวจวัดสารสองชนิดได้ในคราวเดียวกัน

การออกแบบ MGD unit จะใช้ขนาด ความกว้าง x ความยาว x ความสูง เป็น 2 x 46 x 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีระยะห่างระหว่างช่อง เท่ากับ 2 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่า MGD unit ขนาดดังกล่าวให้สภาพไหลในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด โดย MGD unit ที่ออกแบบจะใช้ช่องกลางเป็นช่องทางไหลของสารตัวอย่าง และอีกสองช่องที่ขนานด้านข้างเป็นช่องทางไหลของรีเอเจนต์ ฝาของ MGD unit สามารถเปิดและปิดได้อัตโนมัติโดยการใช้อุปกรณ์ควบคุม

การออกแบบระบบวิเคราะห์ที่อาศัยการไหล จะใช้ระบบที่ 3: ฉีดสารละลายดูดซับโดยไม่ใช้อินเจกชันวาล์ว ในการนำสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบจะอาศัยการทำงานของเพอร์ิสตาลคิกปั๊มที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ปั๊มจะดูดสารตัวอย่างและสารตัวพาเข้าสู่ระบบ การทำงานของปั๊มที่นำส่งสารตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการดูดสารซึ่งสัมพันธ์กับปริมาตรของสารที่เข้าสู่ระบบ (time-based condition) เมื่อสารตัวอย่างที่เข้าสู่ระบบ ไอของสารวิเคราะห์ทั้งสองจะแพร่ไปยังสารละลายดูดซับตัวที่หนึ่งและสองเกิดผลิตภัณฑ์ขึ้น ท่อนโซนผลิตภัณฑ์จะไหลผ่านตัวเชื่อมรูปตัวที (T-way connection) ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน โดยท่อนโซนของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาช้ากว่าจะไหลผ่าน delay coil จากนั้นตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งสองที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์หาปริมาณต่อไปซึ่งในการตรวจวัดจะใช้เครื่องตรวจวัดเพียง 1 ตัว

ในการทดลองจะใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์เป็นแบบจำลองสารที่สนใจ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมมาทำการวิเคราะห์หาคุณลักษณะเด่นของวิธี พบว่า กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์มีช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 1 - 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ $0.5 - 9 \times 10^{-3}$ โมลต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งช่วงความเป็นเส้นตรงที่ได้ครอบคลุมความเข้มข้นในช่วงกว้าง และมีความเป็นเส้นตรงที่ดี 0.9915 และ 0.9949 ตามลำดับ สำหรับความเที่ยงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ มีค่าน้อยกว่า 5% ซีดจำกัดในการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ 6×10^{-5} โมลต่อลิตร ตามลำดับ ซีดจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณมีค่าเท่ากับ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ $1.9 \times$

10^{-4} โมลต่อลิตร ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลอยู่ในช่วง 83 – 106% และอะซีทัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 80-111% อัตราเร็วในการวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในคราวเดียวเท่ากับ 7 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

นาระบบที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำหมักประเภทต่าง ๆ พบว่า สำหรับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภท เบียร์ ไวน์ สุราแช่ สุราผสม วิสกี้ 1 มีปริมาณของเอทานอลใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างน้ำหมัก พบว่า ตรวจไม่พบปริมาณเอทานอล สำหรับการวิเคราะห์อะซีทัลดีไฮด์ พบว่า ความเข้มข้นของอะซีทัลดีไฮด์แตกต่างกับวิธีมาตรฐานมีเพียงตัวอย่าง สุราผสมที่มีปริมาณอะซีทัลดีไฮด์ใกล้เคียงวิธีมาตรฐาน และตัวอย่างที่มีปริมาณอะซีทัลดีไฮด์เกินเกณฑ์กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 160 มิลลิกรัมต่อลิตร (3.63×10^{-3} โมลต่อลิตร) คือ ไวน์และลิเคอร์ว โดยต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีปริมาณอะซีทัลดีไฮด์เกินเกณฑ์ซ้ำเพื่อยืนยันความถูกต้องต่อไป ซึ่งประโยชน์ของงานวิจัยนี้มุ่งหวังให้เป็นวิธีหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูง ใช้สารเคมีน้อย และสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในเรื่องปริมาณเอทานอลที่มีอยู่ และตรวจวัดปริมาณสารพิษอะซีทัลดีไฮด์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองในสถานะที่มีอุณหภูมิคงที่เพื่อให้ผลการวิเคราะห์แต่ละครั้งมีความเที่ยง
2. ควรศึกษาตัวรบกวนการระเหยของเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์
3. พัฒนาการฉีดสารละลายดูดซับให้เป็นระบบแบบอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=CM334>
- [2] http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Utaiwan_Sangsatein/Chapter1.pdf
- [3] Nacapricha D., Ratanawimarnwong N. and Uraisin K. "Test of hydrophobic membranes of gas diffusion unit by flow injection used for colorimetric determination of iodine" **Poster Presentation at 28th Congress on Science and Technology of Thailand, 2002.**
- [4] Zhaolun Fang, "Flow Injection Separation and Preconcentration", **Federal Republic of Germany, 1993.**
- [5] http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/PV_files/v3_document.htm
- [6] www.sithiphorn.com/newweb/newsletter/31-3-2005-1112256108.pdf
- [7] M.D. Luque de Castro, I. Papaefstathiou, "Analytical pervaporation: a new separation technique", **Trends in analytical chemistry**, vol.17, 1998. pp. 1
- [8] W. E. Van Der Linden "Membrane separation in flow injection analysis with gas diffusion" **Analytica Chimica Acta**, vol. 151, 1983. pp. 359-369
- [9] J. Ruzicka & E.H.Hansen, **Analytica Chimica Acta** 78 (1975) 145 J. Ruzicka & E.H.Hansen, "Flow Injection Analysis" **2nd ed. J. Wiley, N.Y. 1988**
- [10] R.Montero, M. Gallego, and M. Valcarcel, **Analytica Chimica Acta**, vol. 215, 1998. pp. 241
- [11] R.E. Santelli, M. Gallego, and M. Valcarcel, **Analytica Chimica Acta.**, vol. 61, 1989. pp. 1427
- [12] C.E. Adeeyinwo, and J.F. Tyson, **Proc. Anal. Div. Chem. Soc.**, vol. 26, 1989. pp. 58
- [13] C.E. Adeeyinwo, and J.F. Tyson, **Proc. Anal. Div. Chem. Soc.**, vol. 26, 1989. pp. 375
- [14] R.E. Santelli, M. Gallego, and M. Valcarcel, **J. Anal. At. Spectrom.** 4 (1989) 547. Chem., vol. 61, 1989. pp. 1427
- [15] N. Choengchan, T. Mantim, P. Wilairat a, P.K. Dasgupta, S. Motomizu, D. Nacapricha "A membraneless gas diffusion unit: design and its application to determination of ethanol in liquors by spectrophotometric flow injection" **Analytica Chimica Acta**, vol. 579, 2006. pp. 33-37
- [16] K. Sereenonchai, P. Saetear, N. Amornthammarong, K. Uraisin, P. Wilairat, S. Motomizu, D. Nacapricha "Membranless vaporization unit for direct analysis of solid sample" **Analytica Chimica Acta** 597 (2007) 157-162

- [17] K. Sereenonchai, S. Teerasong, Sumonmarn Chan-Eam, P. Saetear, N. Choengchan, K. Uraisin, N. Amornthammarong, S. Motomizu, D. Nacapricha "A low-cost method for determination of calcium carbonate in cement by membraneless vaporization with capacitively coupled contactless conductivity detection" **Talanta**, vol. 81, 2010. pp. 1040–1044
- [18] P. Mornane, Jeroen van den Haak, Terence J. Cardwell, Robert W. Catrall, Purnendu K. Dasgupta, Spas D. Kolev "Thin layer distillation for matrix isolation in flow analysis" **Talanta** 72 (2007) 741-746
- [19] S. Muncharoen, J. Sitanurak, W. Tiyapongpattana, N. Choengchan, N. Ratanawimarnwong, S. Motomizu, P. Wilairat, D. Nacapricha "Quality control of gasohol using a micro-unit for membranless gas diffusion" **Microchim Acta**, vol. 164, 2009. pp. 203-210
- [20] M.Ines G.S. Almeida, Jose Manuel Estela, Marcela A. Segun do, Victor Cerda "A membraneless gas-diffusion unit – multisyringe flow injection spectrophotometric method for ammonium determination in untreated environmental samples" **Talanta** vol. 84, 2011. pp. 1244–1252
- [21] แสงไทย เค้าหมูไทย, ขุมทองเหล่าไทย ไวน์ผลไม้ (2545) สำนักพิมพ์อินฟอร์มีเดีย บุ๊คส์ กรุงเทพมหานคร 3-16
- [22] Romano, P., Suzzi, G., turbanti, L., and Polsinelli, M., Acetaldehyde production in *saccharomyces cerevisiae* wine yeasts. **FEMS microbial Lett** 118 213-218
- [23] J. Ribereau-Gayon, E. Peynaud, P Sudraud, P. Ribereau Gayon, *Ciencias y Tecnicas de los Vinos*. Vol. 1 Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina (1980) 44.
- [24] I.L. Mattos, R.P. Sartini, E.A.G Zagatto, F. Reis, M.F. Gine, **Anal. Sci.**, vol. 14, 1998. pp. 1005
- [25] J. Mohns, W. Kuennecke, Dtsch. Lebensm. Rundsch., **Anal. Chim. Acta**, vol. 92, 1996. pp. 1
- [26] J. Mohns, W. Kuennecke, **Anal. Chim. Acta**, vol. 305, 1995. pp. 241
- [27] W. Kuennecke, R.D. Schmid "Gas-diffusion dilution flow-injection method for the determination of ethanol in beverages without sample pretreatment" **Analytica Chimica Acta**, vol. 234, 1990. pp. 213-220
- [28] F. Delgado-Reyes, I. Papaefstathiou, J.M. Ferná'ndez Romero, M.D. Luque de Castro, **Analyst**, vol. 123, 1998. 2367 24-27, PV unit 28

- [29] Z. Chen, J.J. Yu, D.B. Hibbert, **Electroanalysis**, vol. 9, 1997. pp. 541
- [30] **The American Society of Testing and Materials** (2003) Designation: D 4815-03 Standard test method for determination of MTBE, ETBE, DIPE, tertiary-amyl alcohol and C₁ to C₄ alcohols in gasoline by gas chromatography. West Conshohocken, USA, p 854
- [31] W. Horwitz (17th ed.), **Official Methods of Analysis of AOAC International 2**, AOAC International, Gaithersburg, vol. 27, 2000. pp. 4–5
- [32] A. Guzmán-Vázquez de Prada, N. Peña, M.L. Mena, A.J. Reviejo and J.M. Pingarrón, **Biosens. Bioelectron**, vol. 18, 2003. pp. 1279–1288
- [33] Takashi Yarita, Ryoji Nakajima, Satoko Otsuka, Toshihide Ihara, Akiko Takatsu, Masami Shibukaw “Determination of ethanol in alcoholic beverages by high-performance liquid chromatography-flame ionization detection using pure water as mobile phase” **Journal of Chromatography A**, vol 976, 2002. pp.387-391
- [34] L. Guido, R. Rajendram, A. Barros, in: V.R. Preedy (Ed.), **Beer in Health and Disease Prevention**, Academic Press, 2008
- [35] H. Benkelberg, S. Hamm, P. Warneck “Henry's law coefficients for aqueous solutions of acetone, acetaldehyde and acetonitrile, and equilibrium constants for the addition compounds of acetone and acetaldehyde with bisulfite” **Journal of Atmospheric Chemistry**, vol. 20, 1995. pp. 17-34
- [36] J. Pacheco, I. Valente, L. Gonc alves, P. Magalhes, J. Rodrigues, A. Barros “Development of a membraneless extraction module for the extraction of volatile compounds: Application in the chromatographic analysis of vicinal diketones in beer” **Talanta**, vol. 81, 2010. pp. 372
- [37] R. Tressl, L. Friese, F. Fendesack, H. Koeppler, **J. Agric. Food Chem.** 26 (1978) 1422
- [38] J. Barrett, S. Hasley, T. Peppard, **J. Inst. Brew.** 89 (1983) 356
- [39] D. Hawthorne, T. Kavanagh, B. Clarke, **J. Am. Soc. Brew. Chem.** 45 (1987) 23
- [40] Suzuki K, Katayama M, Takamatsu K, Kaneko S, Miyaji K, Ishikawa H, Matsuda Y, “Improvement of sensitivity and selectivity of high-performance liquid chromatography for anti-retroviral drugs (non-reverse transcriptase inhibitors) by diamond-electrode electrochemical and fluorescence detection.” **Journal of Chromatography A**, vol. 15, 2009. pp. 3117-3121

- [41] M. Ojala, T. Kotiaho, J. Siiril, M. Sihvonen “Analysis of aldehydes and ketones from beer as *O*-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl)hydroxylamine derivatives.” **Talanta**, vol. 41, 1994. pp. 1297-1309
- [42] P. Vesely, L. Lusk, G. Basarova, J. Seabrooks, D. Ryder “Analysis of aldehydes in beer using solid-phase microextraction with on-fiber derivatization and gas chromatography/mass spectrometry.” **J. Agric. Food Chem.**, vol. 51, 2003. pp. 6941-6944
- [43] D. Saison, D. Schutter, F. Delvaux, F. Delvaux “Determination of carbonyl compounds in beer by derivatisation and headspace solid-phase microextraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry.” **Journal of Chromatography A**, vol. 1216, 2009. pp. 5061
- [44] Hans-Georg Schmarr, Theodoros Potouridis, Sebastian Ganß, Wei Sang, Benedikt Köpp, Ursula Bokuz, Ulrich Fischer “Analysis of carbonyl compounds via headspace solid-phase microextraction with on-fiber derivatization and gas chromatographic-ion trap tandem mass spectrometric determination of their *O*-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl)oxime derivatives” **Analytica Chimica Acta**, vol 617, 2008. pp. 119–131
- [45] Luis Moreira Goncalves, Paulo Jorge Magalhaes, Ines Maria Valentea “Analysis of aldehydes in beer by gas-diffusion microextraction: Characterization by high-performance liquid chromatography–diode-array detection–atmospheric pressure chemical ionization–mass spectrometry” **Journal of Chromatography A**, vol. 1217, 2010. pp. 3717–3722
- [46] <http://th.wikipedia.org/wiki/ไมโครคอนโทรลเลอร์>
- [47] Apostolopoulou, A. A., Flouros, A. I., Demertzis, P. G., and Akrida-Demetzi, K. “Differences in concentration of principal volatile constituents in traditional greek distillates.” **Food Control**, vol. 16, 2005. pp. 157-164
- [48] Javier, F. P., Monica, P., and Carios “Sleep and brain monoamine change produced by acute and chronic acetaldehyde administration in rats.” **Behav Brain Res**, vol. 174, 2006. pp. 86-92
- [49] อริสรา รอดม้วย, 2546, การศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสและกลูโคสโดยใช้เชื้อยีสต์ผสม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 36-38

- [50] "PLC (Programmable Logic Controller)." [Online]. Available : <http://www.saneengineer.com>. 2011
- [51] S. Teerasong, S. Chan-Eam, K. Sreenonchai, N. Amornthammarong, N. Ratanawimarnwong, D. Nacapricha "A reagent-free SIA module for monitoring of sugar, color and dissolved CO₂ content in soft drinks" **Analytica Chimica Acta**, vol. 668, 2010. pp. 47–53
- [52] I.L. Mattos et al. "Spectrophotometric Flow Injection Determination of Ethanol in Distilled Spirits and Wines Involving Permeation through a Silicon Tubular Membrane", **Analytical sciences**, vol. 14(5), 1999. pp. 1005-1008
- [53] Wolfgang Künnecke, Rolf D. Schmid "Gas-diffusion dilution flow-injection method for the determination of ethanol in beverages without sample pretreatment" **Analytical Chimica Acta**, vol. 234, 1990. pp. 213-220
- [54] E Mataix, M.D Luque de Castro "Simultaneous determination of ethanol and glycerol in wines by a flow injection-pervaporation approach with in parallel photometric and fluorimetric detection" **Talanta**, vol. 511, 2000. pp. 489-496
- [55] J González-Rodríguez, P Pérez-Juan, M D Luque De Castro "Determination of ethanol in beverages by flow injection, pervaporation and density measurements." **Talanta**, vol. 59, 2003. pp. 691-696
- [56] Flecher PJ and Van Staden JF. "Determination of ethanol in distilled liquors using sequential injection analysis with spectrophotometric detection" **Analytical Chimica Acta**, vol. 499, 2003. pp. 123-128
- [57] Lena Kristoffersen, Liv-Ellen Stormyhr, Anne Smith-Kielland "Headspace gas chromatographic determination of ethanol: The use of factorial design to study effects of blood storage and headspace conditions on ethanol stability and acetaldehyde formation in whole blood and plasma" **Forensic Science International**, vol. 161, 2006. pp. 151–157
- [58] Mostofa Jamal, Kiyoshi Ameno, Mitsuru Kumihashi, Setsuko Ameno, Takako Kubota, Weihuan Wang, Iwao Ijiri "Microdialysis for the determination of acetaldehyde and ethanol concentrations in the striatum of freely moving rats." **Journal of Chromatography B**, vol. 798, 2003. pp. 155–158

- [59] Kohji Mitsubayashi, Hiroyuki Matsunaga, Genki Nishio, Satoshi Toda, Yusuke Nakanishi
“Bioelectronic sniffers for ethanol and acetaldehyde in breath air after drinking”
Biosensors and Bioelectronics, vol. 20, 2005. pp. 1573–1579
- [60] T.W. Graham Solomons “Fundamentals of Organic Chemistry” **John Wiley & Sons, Ins.**,
5ed, 1999
- [61] M.Khanmohammadi, H. Vahid, N.Moazzen, A.B. Garmarudi, R. Alijanianzadeh “Kinecteic
spectrophotometric determination of acetaldehyde in medical ethanol” **Journal of
Analytical Chemistry**, vol. 63, 2008. pp. 1164-1167

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของปั๊ม

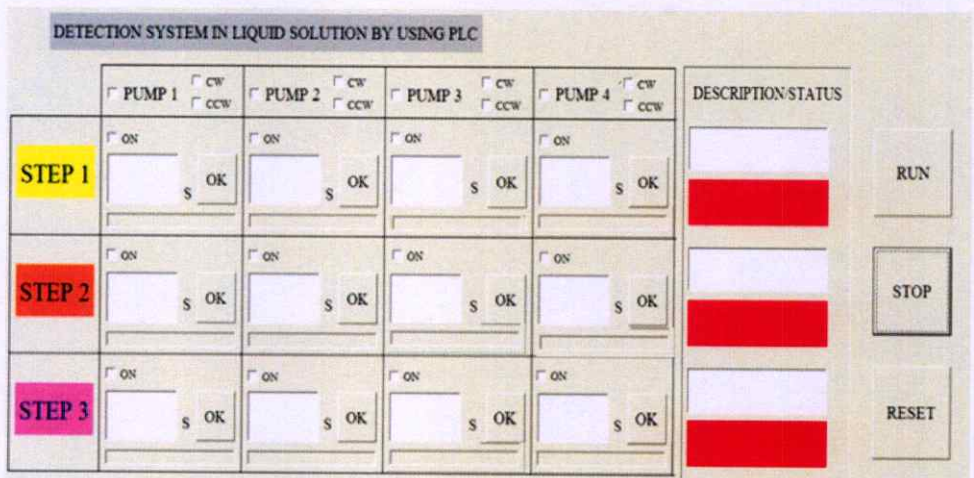
1. เปิดหน้าจอควบคุมกระบวนการที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Visual basic 6.0 ซึ่งมีหน้าจอลักษณะดังรูป โดยจะต้องทำการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่อง PLC เข้ากันด้วยพอร์ตอนุกรม RS-232 และตั้งค่าพอร์ต โดยการคลิกขวา My Computer -> Properties -> Hardware -> Device Manager -> Ports(COM&LPT) แล้วเลือกอุปกรณ์และตั้งค่าดังนี้
Comport = COM1

Baud rate = 9600

Data bits = 7

Parity = Even

Stop bits = 2



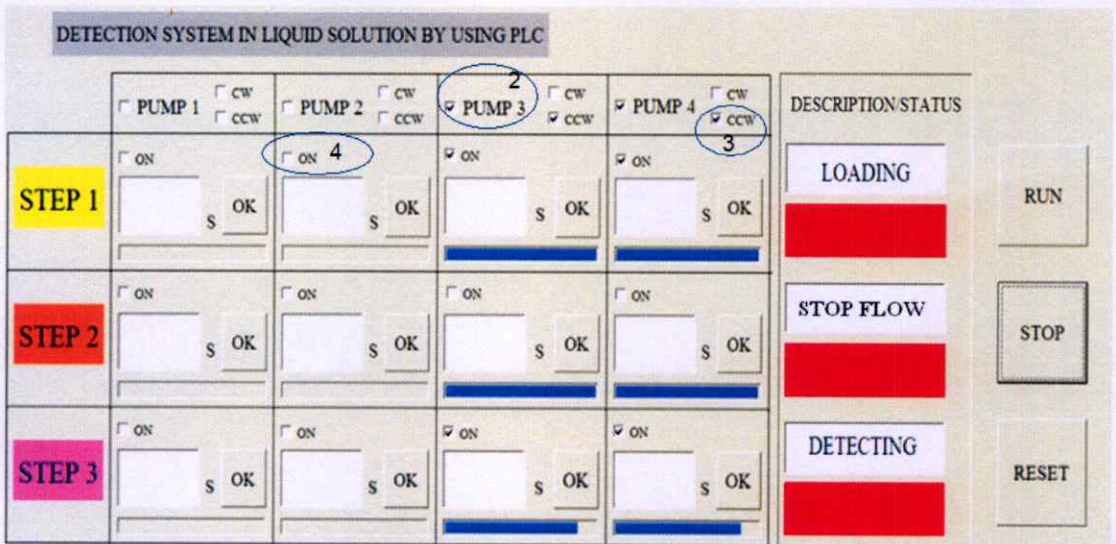
รูปที่ ก.1 แสดงหน้าจอ GUI เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา

- กำหนดปั๊มที่ต้องการใช้งาน โดยการกดเลือก PUMP ที่ต้องการจะใช้งาน
- กำหนดทิศทางการหมุนของปั๊มแต่ละตัว โดย

CW = ทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Clockwise)

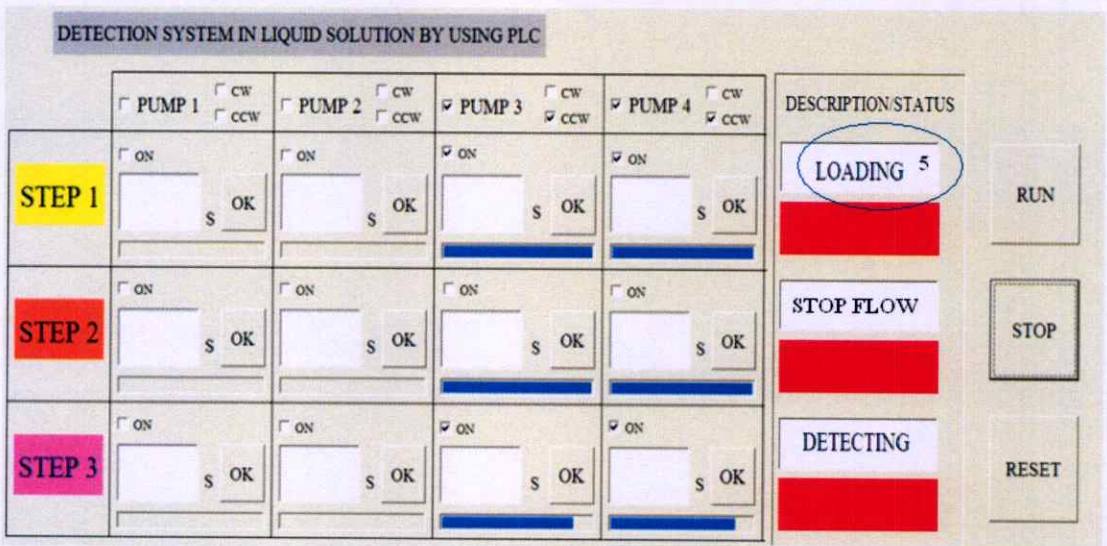
CCW = ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise)

- กำหนดการทำงานของปั๊มในแต่ละขั้นตอนของการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดให้ปั๊มหมุนหรือปั๊มหยุดหมุน โดยถ้าต้องการให้ปั๊มหมุนให้คลิกปุ่มให้เปลี่ยนเป็น ON ถ้าไม่ต้องการให้หมุนก็ให้คงสถานะเป็น OFF ตามรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 การตั้งค่าต่างๆในการควบคุมปั๊ม

5. กำหนดคำอธิบายสถานะสำหรับแต่ละขั้นตอนการทำงานของปั๊ม เช่น Loading reagent, Detecting, Stop flow เป็นต้น ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 การกำหนดสถานะในแต่ละขั้นตอน

6. ป้อนค่าเวลาสำหรับการควบคุมในแต่ละขั้นตอนของปั๊ม โดยที่
- ปั๊มที่ 1 ไม่ได้ใช้งาน
 - ปั๊มที่ 2 ไม่ได้ใช้งาน
 - ปั๊มที่ 3 ใช้สำหรับดูดตัวอย่างและสารเคมีเข้าสู่ MGD unit
 - ปั๊มที่ 4 ใช้สำหรับดูดตัวอย่างและสารละลายตัวพามาจาก MGD unit เข้าสู่

Detector

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนการนำสารตัวอย่างและสารเคมีเข้าสู่ระบบใช้ป้อนค่าต่าง ๆ ดังนี้

ปั๊มที่ 3 คลิก ON และป้อนค่าเวลา 30

ปั๊มที่ 4 คลิก ON และป้อนค่าเวลา 30

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการหยุดไหลของสารเคมีในระบบป้อนค่าต่าง ๆ ดังนี้

ปั๊มที่ 3 คลิก OFF และป้อนค่าเวลา 10

ปั๊มที่ 4 คลิก OFF และป้อนค่าเวลา 10

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการตรวจวัดของสารตัวอย่างป้อนค่าต่าง ๆ ดังนี้

ปั๊มที่ 1 คลิก ON และป้อนค่าเวลา 490

ปั๊มที่ 2 คลิก ON และป้อนค่าเวลา 490

โดยที่ปั๊มที่ 3 - 4 เมื่อทำงานเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 3 แล้วจะวนกลับมาทำที่ขั้นตอนที่ 1 ต่อไป การป้อนค่าต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ ก.4

DETECTION SYSTEM IN LIQUID SOLUTION BY USING PLC							
	PUMP 1	PUMP 2	PUMP 3	PUMP 4	DESCRIPTION	STATUS	
STEP 1	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW s OK	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW s OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/> CW <input checked="" type="checkbox"/> CCW 30 s OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/> CW <input checked="" type="checkbox"/> CCW 30 s OK	LOADING		RUN
STEP 2	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW s OK	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW s OK	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW 10 s OK	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW 10 s OK	STOP FLOW		STOP
STEP 3	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW s OK	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW s OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/> CW <input checked="" type="checkbox"/> CCW 490 s OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/> CW <input checked="" type="checkbox"/> CCW 490 s OK	DETECTING		RESET

รูปที่ ก.4 การป้อนค่าเวลาให้กับปั๊ม

7. คลิกปุ่ม OK เพื่อทำการส่งค่าต่างๆ ไปยัง PLC เพื่อทำการเก็บค่าและคำนวณค่าเอาไว้
8. คลิกปุ่ม RUN เพื่อทำการสั่งการทำงานของระบบ
9. คลิกปุ่ม STOP เพื่อทำการหยุดกระบวนการทำงานต่างๆ ทั้งหมด โดยเมื่อคลิกปุ่มนี้แล้วจะไม่สามารถคลิกปุ่ม RUN เพื่อให้กระบวนการทำงานต่อไปได้อีก
10. คลิกปุ่ม RESET เพื่อทำการเคลียร์ค่าต่างๆ ทั้งหมด ซึ่งจะต้องคลิกปุ่มนี้ทุกครั้งที่เกิดกระบวนการ ไม่ว่าจะเป็นอย่างหลังจากการคลิกปุ่ม STOP

DETECTION SYSTEM IN LIQUID SOLUTION BY USING PLC					
	PUMP 1 <input type="checkbox"/> cw <input type="checkbox"/> ccw	PUMP 2 <input type="checkbox"/> cw <input type="checkbox"/> ccw	PUMP 3 <input checked="" type="checkbox"/> cw <input checked="" type="checkbox"/> ccw	PUMP 4 <input checked="" type="checkbox"/> cw <input checked="" type="checkbox"/> ccw	DESCRIPTION STATUS
STEP 1	<input type="checkbox"/> ON S OK	<input type="checkbox"/> ON S OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON 30 S OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON 30 S OK	LOADING 8 RUN
STEP 2	<input type="checkbox"/> ON S OK	<input type="checkbox"/> ON S OK	<input type="checkbox"/> ON 10 S OK	<input type="checkbox"/> ON 10 S OK	STOP FLOW 9 STOP
STEP 3	<input type="checkbox"/> ON S OK	<input type="checkbox"/> ON S OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON 490 S OK	<input checked="" type="checkbox"/> ON 490 S OK	DETECTING 10 RESET

รูปที่ ก.5 การสั่งการทำงานของกระบวนการ

ภาคผนวก ข.

ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดฝาอัตโนมัติ

1. การตั้งเวลาเปิดฝาทำได้โดยกดที่เป็นโทรศัพท์ (รูปที่ ข.1) ซึ่งจะแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิตอลสีแดงสี่ตำแหน่ง



รูปที่ ข.1 แสดงผลเป็นตัวเลขดิจิตอลสี่ตำแหน่งเมื่อทำการกดปุ่มตัวเลข

2. ตั้งเวลาโดยการใส่ตัวเลขให้เต็มทั้งสี่ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งว่างให้ใส่เลข 0 (การคิดเวลาจะคิดเป็นวินาทีในการเปิดฝาแต่ละครั้ง) เช่น

กำหนดเวลาเปิดฝา เป็น 3 นาที คือ $3 \times 60 = 180$ วินาที

ตัวเลขที่ต้องกด คือ 0180

3. กดตัวเลขที่ต้องการจากนั้นกดปุ่ม (*) เพื่อเริ่มต้นการเปิดฝา และฝาของ MGD unit จะปิดเองอัตโนมัติเมื่อครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ (หากป้อนเวลาผิดสามารถกดปุ่ม (#) เพื่อทำการ reset ค่าใหม่)



รูปที่ ข.2 แสดงการป้อนเวลาผิด (สามารถกดปุ่ม (#) เพื่อทำการ reset ค่าใหม่)

ภาคผนวก ก.

วิธีมาตรฐานของ AOAC ข้อ 47.1.13

สำหรับการหาปริมาณเอทานอล

AOAC OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS (2005)

MALT BEVERAGES AND BREWING MATERIALS
Chapter 27, p. 5

27.1.13

AOAC Official Method 984.14
Ethanol in Beer
Gas Chromatographic Method
First Action 1984
Final Action 1988

ASBC-AOAC Method

A. Principle

n-Propanol internal standard is added to sample, and ethanol is determined by GC using flame ionization detection.

B. Reagents and Apparatus

(a) *n*-Propanol.—Internal standard 5% aqueous stock solution. Refrigerate.

(b) *Ethanol standard solutions*.—3, 4, 5, 6, 7, and 8% aqueous ethanol solutions. Determine exact % ethanol by pycnometer, 942.06B(a) (see 26.1.07), hydrometer, 957.03A (see 26.1.08), or refractometer, 950.04 (see 26.1.10). Alternatively, prepare standard solutions by quantitative dilution of concentrated ethanol solution analyzed by one of above techniques. Keep solutions refrigerated.

(c) *Gas chromatograph*.—With flame ionization detector and 6 ft × 1/8 in. (1.8 m × 0.3 cm) stainless steel or glass column containing 80–100 mesh Chromosorb 103. He or N₂ carrier gas 20 mL/min; injector temperature 175°C; column temperature 185°C isothermal (adjust temperature so ethanol elutes in 1 min, *n*-propanol in 1.6 min); detector temperature 250°C; chart speed and attenuation as required based on instrument used.

C. Calibration

Pipet 5.0 mL ethanol standard solutions into separate glass-stoppered flasks. Add 5.0 mL internal standard solution to each and mix well. Inject 0.2 µL of each solution in duplicate and measure peak heights (integrator may be used). Calculate ratio of ethanol to *n*-propanol peaks and average for each concentration. Plot ratio against concentration and calculate slope of line (*F*). Repeat analysis of 5% ethanol standard solution each day.

D. Determination

Decarbonate beer by filtering through S&S 560 or equivalent paper. Pipet 5.0 mL into glass-stoppered flask. Add 5.0 mL aqueous *n*-propanol internal standard solution. Mix thoroughly by swirling, and inject 0.2 µL onto GC column, and determine ratio of ethanol to *n*-propanol peaks.

E. Calculations

$$\text{Ethanol, \% (v/v)} = \frac{\text{peak height ethanol / peak height } n\text{-propanol}}{F}$$

Reference: JAOAC 67:192(1984)

27.1.14

AOAC Official Method 992.29
Ethanol and Original Gravity Content
in Beer
SCABA Method
First Action 1992

ASBC-AOAC Method

(Applicable to determination of original gravity, 3–15°P, and ethanol, 1–6% [w/w], in beer.)

Results of the interlaboratory study supporting acceptance of the method:

Ethanol, % (w/w): $s_r = 0.006$; $s_R = 0.036$; $RSD_r = 0.156\%$; $RSD_R = 0.939\%$

Original gravity, °P: $s_r = 0.018$; $s_R = 0.091$; $RSD_r = 0.164\%$; $RSD_R = 0.828\%$

A. Principle

The instrument calculates original gravity, °Plato, from measurement of density with density meter and measures ethanol, % (w/w), by catalytic combustion of ethanol vapor, from evaporated beer test portion, in air stream passing over sensor surface.

B. Reagents and Apparatus

(a) *Automatic beer analyzer*.—Calculating original gravity from measuring density of beer (Anton Paar density meter is suitable) and calculating % (w/w) ethanol in beer; equipped with peristaltic pump (to pass test solutions through analyzer), thermostatically controlled coil (to evaporate ethanol in test solution), tubing (to mix stream of air with ethanol vapor), and oven with ethanol sensor (to combust and measure ethanol). Microcomputer control unit evaluates and prints out results. (Tecator SCABA Automatic Beer Analyzer, PO Box 110, S-162 12, Stockholm, Sweden; www.foss.dk, is suitable.)

(b) *Ethanol standard solutions*.—Prepare 3.5 and 7.0% (w/w) ethanol standard solutions by diluting 46.4 and 92.3 mL ethanol (99.5% minimum purity) to volume with H₂O in separate 1 L volumetric flasks. Discard after 2 weeks.

For system suitability test, determine % ethanol to nearest 0.01% by pycnometer, 942.06 (see 26.1.07), or refractometer, 950.04 (see 26.1.10).

(c) *Conditioning solution*.—Dissolve ca 7 g chlorine-free detergent (Tecator Cat. No. 5000-1928 is suitable) in ca 500 mL H₂O in 1 L volumetric flask. Add 75 mL ethanol, and dilute to volume with H₂O.

C. Instrument Conditioning and Calibration

Turn on analyzer and control unit. Select microcomputer program for desired analysis, adjust air flow to analyzer requirements, and connect tubing for peristaltic pump.

To condition analyzer, place almost full vial of conditioning solution one space behind sampling position. When oven and thermostat indicate run temperatures have been reached, start pump and recirculate conditioning solution for 20 min by placing end of drainage tube in vial.

Calibrate analyzer by placing vial with H₂O one space behind sampling position, directly followed by vial with 3.5% then vial with 7.0% ethanol standard solutions, B(b). Select calibration program and process vials.

ภาคผนวก ง.

วิธีมาตรฐานของ AOAC ข้อ 972.08

สำหรับการหาปริมาณอะซีทัลดีไฮด์

DISTILLED LIQUORS
Chapter 26, p. 10

AOAC OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS (2005)

B. Reagents(a) *Hydrochloric acid*.—4M. Dilute 333 mL HCl to 1 L with H₂O.(b) *Ferric chloride solution*.—0.37M. Dissolve 50 g FeCl₃·6H₂O in ca 400 mL H₂O in 500 mL volumetric flask. Add 12.5 mL 4M HCl and dilute to volume with H₂O.(c) *Hydroxylamine hydrochloride solution*.—2M. Dissolve 69.6 g H₂NOH·HCl in H₂O in 500 mL volumetric flask and dilute to volume with H₂O. Store in refrigerator.(d) *Sodium hydroxide solution*.—3.5M. Dissolve 70 g NaOH in ca 400 mL H₂O in 500 mL volumetric flask. Cool, and dilute to volume with H₂O.**C. Preparation of Ethyl Acetate Standard Solutions**(a) *Stock solution No. 1 for standard curve*.—0.333 g ethyl acetate/L in 100° proof spirits. Weigh 0.1667 g ethyl acetate in weighing bottle and transfer quantitatively to 500 mL volumetric flask with 100° proof spirits. Dilute to volume with 100° proof spirits at room temperature.(b) *Standard solutions for standard curve*.—To series of five 100 mL volumetric flasks add, from pipet or buret, 0.0, 15.0, 30.0, 45.0, and 60.0 mL stock solution No. 1. Dilute to volume with 100° proof spirits and mix. Standards contain 0.0, 5.0, 10.0, 15.0, and 20.0 g ethyl acetate/100 L, respectively.(c) *Stock solution No. 2 for proof factor determination*.—0.500 g ethyl acetate/L H₂O. Weigh 0.2500 g ethyl acetate in weighing bottle and transfer quantitatively to 500 mL volumetric flask with H₂O. Dilute to volume with H₂O and mix.(d) *Stock solution No. 3 for proof factor determination*.—0.500 g ethyl acetate/L 192° proof spirits. Prepare as in (c), using 192° proof spirits for transfer and dilution.(e) *Proof factor standard solutions*.—(1) *0–50° Standards*.—To 6 separate 250 mL volumetric flasks add 50.0 mL ethyl acetate stock solution No. 2. Using graduate, add 0, 13, 20, 39, 53, and 66 mL 192° proof spirits. Dilute each nearly to volume with H₂O, mix, and cool to room temperature before diluting to volume with H₂O. Standard solutions contain 10 g ethyl acetate/100 L in ca 0, 10, 20, 30, 40, and 50° proof spirits. (2) *60–192° Standards*.—To 9 separate 250 mL volumetric flasks, add 50.0 mL ethyl acetate stock solution No. 3. Using appropriate graduate, add 29, 55, 81, 108, 134, 161, 174, 187, and 200 mL 192° proof spirits, respectively. Dilute nearly to volume with H₂O, mix, and cool to room temperature before diluting to volume with H₂O. Standard solutions contain 10 g ethyl acetate/100 L in ca 60, 80, 100, 120, 140, 160, 170, 180, and 192° proof spirits, respectively.

Determine exact proof of solutions by standard method, e.g. hydrometer.

D. Preparation of Test SolutionsAnalyze whisky distillates, spirits, and colorless gin test portions directly. Distill colored or turbid test portions as in 950.05B (see 26.1.24). If laboratory sample contains >20 g ester/100 L, dilute with H₂O to ester concentration of 5–20 g/100 L.**E. Determination**(Mix all solutions by swirling to avoid formation of bubbles.) Just before use, prepare stock solution of reaction mixture by combining 5.0 mL H₂NOH·HCl and 5.0 mL 3.5M NaOH for each standard and test solution. Discard after 6 h.

Prepare reference solution by pipetting 4 mL reaction mixture and 2 mL 4M HCl into 25 × 200 mm test tube. Mix and add 2.0 mL sample. Same reference solution may be used for series of test solutions of different ester content, but they must have same proof.

Pipet 2 mL test solution and 4 mL reaction mixture into another 25 × 200 mm test tube. Mix and let react 1–20 min. Pipet in 2 mL 4M HCl and mix.

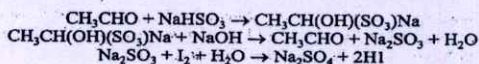
To reference solution, pipet in 2 mL FeCl₃ solution. Rinse reference cell twice with this solution, fill cell, and place in cell holder. This reference solution may be used for 1 day if tightly capped; otherwise refill periodically to avoid evaporation error.To test solution, pipet in 2 mL FeCl₃ solution and mix. Complete reading of each test solution before proceeding to next. Rinse test cell twice, fill cell, and place in cell holder. Read *A* at 525 nm immediately, since color of test solution fades rapidly. If instrument has single cell or tube, use same cell or tube for both reference and test solution. Calculate or obtain $\Delta A = A_{\text{test}} - A_{\text{reference}}$.**F. Preparation of Standard Curve**Analyze standard solutions, C(b), as in E. Plot ΔA against ethyl acetate concentration (g/100 L at 100° proof). (Note: Standard curve need not be repeated for each analysis. Check periodically and repeat if new instrument or reagents are used.)**G. Preparation of Proof Factor Curve**Analyze standard solutions C(e), as in E. Plot $\Delta A/g$ ethyl acetate against proof in the 15 solutions (0–192° proof). See Note, F.To calculate ester content of test portions, read *A/g* value from proof factor curve at test sample proof. If test portion was diluted, use diluted proof in calculation. Divide observed *A* by *A/g* to obtain g ethyl acetate/100 L. Correct for test portion dilution, if necessary. To express as g/100 L at 100° proof, multiply above ester value by ratio: 100/test sample proof.

Reference: JAOAC 55, 559(1972).

26.1.26

AOAC Official Method 972.08
Aldehydes in Distilled LiquorsTitrimetric Method
First Action 1972
Final Action 1973
Method I

(Applicable to extract-free spirits—brandy and wine spirits.)

**A. Reagents**(a) *Potassium metabisulfite solution*.—Dissolve 15 g K₂S₂O₅ in H₂O, add 70 mL HCl, and dilute to 1 L with H₂O. Bisulfite titer of 10 mL solution should be ≥24 mL 0.1M I₂ solution.(b) *Phosphate-EDTA solution*.—Dissolve 200 g Na₂PO₄·12H₂O (or 188 g Na₂HPO₄·12H₂O + 21 g NaOH; or 72.6 g NaH₂PO₄·H₂O + 42 g NaOH; or 71.7 g KH₂PO₄ + 42 g NaOH) and 4.5 g Na₂H₂EDTA in H₂O and dilute to 1 L.(c) *Dilute hydrochloric acid*.—Dilute 250 mL HCl to 1 L with H₂O.

(d) *Sodium borate solution*.—Mix 100 g H_3BO_3 with 170 g NaOH and dilute to 1 L with H_2O .

B. Total Aldehydes

Pipet 50 mL test portion (containing ≤ 30 mg acetaldehyde), reduced to ca 100° proof, or 25 mL high proof product and 25 mL H_2O , into 750 mL or 1 L Erlenmeyer containing 300 mL boiled or deaerated H_2O and 10 mL $K_2S_2O_8$ solution. Stopper flask, swirl to mix, and let stand 15 min. Add 10 mL phosphate-EDTA solution. (pH should be 7.0–7.2. If not, adjust pH by adding HCl or NaOH solution to $K_2S_2O_8$ solution and start with new test portion.) Stopper flask, swirl, and let stand additional 15 min. Add 10 mL HCl, A(c) (when analyzing series, make complete determination on first test portion before adding acid to next), and ca 10 mL fresh 0.2% starch indicator. Swirl to mix. Add enough ca 0.1M I_2 solution to just destroy excess bisulfite and bring solution to light blue end point.

Add 10 mL sodium borate solution, and rapidly titrate liberated bisulfite with 0.05M I_2 solution from 10 mL buret (or 0.02M I_2 solution from 25 mL buret) to same light blue end point as above, swirling gently and continuously, avoiding direct sunlight. (pH should be 8.8–9.5. If necessary, adjust by adding HCl or NaOH solution to sodium borate solution and start with fresh test portion.)

$$\text{CH}_3\text{CHO}/100 \text{ mL, mg} = \text{mL } I_2 \text{ solution} \times \text{molarity } I_2 \text{ solution} \\ \times 44.0 \times 100/\text{mL test portion}$$

C. Free Aldehydes

Pipet identical test portion as in B into 750 mL or 1 L Erlenmeyer containing 300 mL boiled or deaerated H_2O and 10 mL each $K_2S_2O_8$ and phosphate-EDTA solutions. Stopper flask, swirl, and let stand 15 min. Proceed as in B, beginning "Add 10 mL HCl, (c) ...".

Reference: JAOAC 50, 305(1967).

26.1.27

AOAC Official Method 972.09 Aldehydes in Distilled Liquors

Titrimetric Method
First Action 1972
Final Action 1973
Method II

(Applicable to spirits containing extract—aged in wood.)

A. Free Aldehydes

Pipet 50 mL test portion sample (containing ≤ 30 mg acetaldehyde), reduced to 80–100° proof, if necessary, into 500 mL distilling flask, add 50 mL saturated borax solution, and distill ca 50 mL into 750 mL or 1 L Erlenmeyer containing 300 mL H_2O and 10 mL each $K_2S_2O_8$ and phosphate-EDTA solutions. (pH should be 7.0–7.2. If necessary, adjust by adding HCl or NaOH solution to $K_2S_2O_8$ solution and start with fresh test portion.) Proceed as in 972.08B (see 26.1.26), beginning "Add 10 mL HCl, (c) ...".

B. Aldehydes as Acetal

Transfer 200 mL test portion measured at standard temperature in volumetric flask to 500 mL distilling flask, and rinse volumetric flask 2–3 times with small amounts H_2O into distilling flask. Add 50 mL saturated borax solution and distill, slowly at first, nearly 200 mL into same volumetric flask containing 2–3 mL H_2O and immersed in ice bath. Bring distillate to volume at same temperature used for measuring test portion.

Determine total aldehydes (including acetal) as in 972.08B (see 26.1.26). Determine free aldehydes as in 977.08C (see 27.1.26). Total aldehydes – free aldehydes = combined aldehydes equivalent to acetal as mg $CH_3CHO/100$ mL. Alternatively, combined aldehydes as acetal/100 mL = (combined aldehydes equivalent to acetal as mg $CH_3CHO/100$ mL) $\times 2.68$.

C. Total Aldehydes

Report total aldehydes as sum of free aldehydes, A, and combined aldehydes equivalent to acetal, B.

Reference: JAOAC 50, 305(1967).

26.1.28

AOAC Official Method 959.05 Fusel Oil in Distilled Liquors

Spectrophotometric Method
First Action 1959
Final Action 1963
Method I

A. Reagents

(a) *p-Dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) solution*.—In 100 mL volumetric flask dissolve 1 g DMAB in mixture of 5 mL H_2SO_4 and 90 mL H_2O , and dilute to volume with H_2O .

(b) *Isobutyl alcohol*.—Eastman Kodak Co. 303 (highest purity for fusel oil assay).

(c) *Isoamyl alcohol*.—Eastman Kodak Co. X-18, isopentyl alcohol (highest purity for fusel oil assay).

(d) *Ethyl alcohol*.—Redistilled middle 50% fraction.

(e) *Synthetic standard fusel oil*.—Weigh 2 g standard isobutyl alcohol and 8 g standard isoamyl alcohol into 1 L volumetric flask and dilute to volume with H_2O . Pipet two 10 mL portions into 100 mL volumetric flasks and dilute to volume, one with H_2O and other with alcohol. Prepare working standards for products in range of 0–170 proof containing 1.0–6.0 g synthetic fusel oil/100 L by diluting 1.0–6.0 mL aliquots of aqueous standard solution to 100 mL with alcoholic solution of proof expected for diluted test portion when pipetted into analysis tube. Prepare similar working standards for products in range of 170–190 proof by diluting 1.0–6.0 mL aliquots of alcoholic standard solution to 100 mL with alcoholic solution of proof of original product or its dilution.

When 6 mL synthetic standard diluted with 190 proof alcohol is analyzed, A should be 0.83 ± 0.03 at 530 nm.

B. Preparation of Test Solutions

(Aged, blended and rectified products, whiskies, brandies, rums, vodka, and liqueurs require distillation prior to analysis.)

Determination of true proof of product.—Determine alcohol as in 942.06B (see 26.1.07).

For products containing > 6 g fusel oil/100 L, dilute distillate with H_2O to concentration of 2.0–5.0 g fusel oil/100 L. Dilute 5 mL brandy, rum, or blended whisky to 100 mL; dilute 5 mL heavy brandy, rum, or straight whisky to 250 mL.

C. Determination

Pipet 2 mL aliquots of test sample or diluted test sample, distilled, if necessary, 2 mL H_2O (for reagent blank); and 2 mL aliquots of standards into 15 \times 150 mm glass-stoppered or covered test tubes. Stopper or cover tubes, and place in rack, then in ice bath. Pipet 1 mL DMAB solution into each tube, shake, and replace in ice bath for

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

จ.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ด้วยวิธีมาตรฐานแก๊สโครมาโทกราฟี

1.1 สารละลายมาตรฐานผสมระหว่างเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถเตรียมได้ดังตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 แสดงวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอทานอล		อะซีทัลดีไฮด์		ปริมาตรสุดท้าย*** (มิลลิลิตร)
ความเข้มข้นที่ต้องการ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ปริมาตร ที่ปีเปต* (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น ที่ต้องการ (โมลต่อลิตร)	ปริมาตร ที่ปีเปต** (มิลลิลิตร)	
2	0.5	0.001	0.25	25.00
10	2.5	0.002	0.5	25.00
20	5.0	0.006	1.50	25.00
40	10	0.010	2.50	25.00
60	15	0.014	3.50	25.00
80	20	0.018	4.50	25.00

* ปีเปตจากสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

** ปีเปตจากสารละลายมาตรฐานอะซีทัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

*** ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

1.2 การเตรียมสารละลาย internal standard ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ปีเปต n-propanol 10.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จนครบ 25 มิลลิลิตร

1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมและสารละลาย internal standard ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ด้วยวิธีมาตรฐานแก๊สโครมาโทกราฟี

เตรียมสารละลายมาตรฐาน (Working solution) 6 ระดับความเข้มข้นโดยใช้สารละลายมาตรฐานที่เตรียมจากตามตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.2 แสดงวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมและสารละลาย internal standard ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ระดับ ความ เข้มข้น	ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานผสม		ปริมาตร สารละลาย มาตรฐาน ผสมที่ เดิม [*] (มิลลิลิตร)	ปริมาตร สารละลาย internal standard ที่เดิม ^{**} (มิลลิลิตร)	ปริมาตร สุดท้าย (มิลลิลิตร)
	เอทานอล (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	อะซีทัลดีไฮด์ (โมล/ลิตร)			
1	1	5×10^{-4}	1	1	2
2	5	1×10^{-3}	1	1	2
3	10	3×10^{-3}	1	1	2
4	20	5×10^{-3}	1	1	2
5	30	7×10^{-3}	1	1	2
6	40	9×10^{-3}	1	1	2

* ปีเปิดจากสารละลายมาตรฐานผสมตารางที่ จ.1

** ปีเปิดจากสารละลาย internal standard ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

จ.1.2 การวิเคราะห์เอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในงานวิจัยนี้ทดสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้นในการหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ด้วยการนำวิธีมาตรฐาน AOAC (ภาคผนวก ก.) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งวิธีมาตรฐาน AOAC ที่ใช้อ้างอิงนั้นเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วย Internal standardization method มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1.1 การปรับตั้งสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ตามรายละเอียดดังนี้

ชนิดของคอลัมน์ : Porapak[®] Q 80/100 mesh

อุณหภูมิช่องฉีดสาร : 150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิคอลัมน์ : 120 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเครื่องตรวจจับ (Flame Ionization Detector, FID): 200 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลแก๊สตัวพา (ไนโตรเจน): 20 มิลลิลิตรต่อนาที

แก๊สช่วยจุดไฟ : ไฮโดรเจน และ อากาศ

Isothermal program: คงไว้ 40 นาที

1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ด้วยวิธีมาตรฐานแก๊สโครมาโทกราฟี

1. ฉีดสารละลายมาตรฐาน 6 ระดับความเข้มข้นจากตารางที่ จ.2 ปริมาตร 0.4 ไมโครลิตร
2. หาความสูงหรือพื้นที่พีคที่ได้จากการฉีดสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
3. คำนวณค่า y จากสมการด้านล่าง

$$y = \frac{\text{พื้นที่พีคของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ}}{\text{พื้นที่พีคหรือความสูงของ internal standard ที่อยู่ในสารมาตรฐาน}}$$

พื้นที่พีคหรือความสูงของ internal standard ที่อยู่ในสารมาตรฐาน

4. สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ค่า y ที่ได้จากข้อที่ 3

1.3 การหาปริมาณเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ด้วยวิธีมาตรฐานแก๊สโครมาโทกราฟี

1. ตัวอย่างเครื่องดื่มประเภท น้ำสมุนไพร กรองด้วยตัวกรองหรือกระดาษกรอง
2. ปิเปตตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มา 1 มิลลิลิตร และสารละลาย internal standard มา 1 มิลลิลิตร
3. ฉีดตัวอย่างจากข้อ 2 ปริมาตร 0.4 ไมโครลิตร
4. หาความสูงหรือพื้นที่พีคที่ได้จากการฉีดตัวอย่าง
5. คำนวณหาอัตราส่วนพื้นที่ (y) ของเอทานอลต่อ n-propanol จากสมการ

ด้านล่าง

$$y = \frac{\text{พื้นที่พีคของเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ที่มีอยู่ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์}}{\text{พื้นที่พีคหรือความสูงของ internal standard ที่อยู่ในตัวอย่าง}}$$

6. คำนวณหาความเข้มข้นของเอทานอลและอะซีทัลดีไฮด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากกราฟมาตรฐาน

ภาคผนวก ฉ.

ผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ ฉ.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

ความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (โมลต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.05	0.3004 ± 0.0258
0.1	0.3609 ± 0.0186
0.2	0.5651 ± 0.0300
0.3	0.5507 ± 0.0264
0.4	0.4994 ± 0.0242

* ค่าเฉลี่ย (Mean \pm SD, n = 3)

ตารางที่ ฉ.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก

ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก (โมลต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.5	0.0495 ± 0.0035
1	0.1160 ± 0.0097
2	0.2002 ± 0.0125
3	0.3478 ± 0.0216
4	0.5756 ± 0.0225

* ค่าเฉลี่ย (Mean \pm SD, n = 3)

ตารางที่ ๓.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายมอร์โฟลีน

ความเข้มข้นสารละลายมอร์โฟลีน (โมลต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
1.25	0.3228 ± 0.0102
2.5	0.4377 ± 0.0230
5	0.5622 ± 0.0200
10	0.8375 ± 0.0160
20	0.6889 ± 0.0396

* ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD, n = 3)

ตารางที่ ๓.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์

ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.5	0.2109 ± 0.0142
0.75	0.2653 ± 0.0122
1.25	0.5622 ± 0.0200
2.5	1.0225 ± 0.0419
5	1.4484 ± 0.2248

* ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD, n = 3)

ตารางที่ ๓.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของปฏิกิริยา P1

อัตราการไหลของปฏิกิริยา P1 (มิลลิลิตรต่อนาที)	ค่าการดูดกลืนแสงของ เอทานอล	ค่าการดูดกลืนแสงของ อะซีทัลดีไฮด์
1	0.0472 ± 0.0020	0.1605 ± 0.0087
1.8	0.0472 ± 0.0018	0.1529 ± 0.0089
2.4	0.0469 ± 0.0017	0.1483 ± 0.0042
3.0	0.0474 ± 0.0010	0.1502 ± 0.0111
3.6	0.0371 ± 0.0015	0.1536 ± 0.0047

* ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD, n = 3)

ตารางที่ ๘.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการใช้ของปี P3

อัตราการใช้ของปี P3 (มิลลิเมตรต่อนาที)	ค่าการดูดกลืนแสง ของเอทานอล	ค่าการดูดกลืนแสง ของอะซีทัลดีไฮด์
2	0.0651 ± 0.003	0.1554 ± 0.009
2.6	0.0557 ± 0.001	0.1480 ± 0.008
3.2	0.0498 ± 0.002	0.1576 ± 0.010
3.8	0.0481 ± 0.002	0.1640 ± 0.008
4.4	0.0495 ± 0.002	0.1628 ± 0.003

* ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD, n = 3)

ตารางที่ ๘.7 ผลการศึกษาอิทธิพลของขนาดท่อผสม

ความยาวขนาดท่อผสม (เซนติเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสง ของเอทานอล	ค่าการดูดกลืนแสง ของอะซีทัลดีไฮด์
50	0.2918 ± 0.0078	0.5262 ± 0.0187
100	0.2152 ± 0.0023	0.5537 ± 0.0184
200	0.1437 ± 0.0050	0.5351 ± 0.0154
300	0.1337 ± 0.0060	0.5175 ± 0.0155
400	0.1161 ± 0.0024	0.5405 ± 0.0072

* ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD, n = 3)

ตารางที่ ๘.8 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาตรของสารตัวอย่าง

ปริมาตรของสารตัวอย่าง (ไมโครลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง ของเอทานอล	ค่าการดูดกลืนแสง ของอะซีทัลดีไฮด์
400	0.0216 ± 0.0003	0.0502 ± 0.0032
800	0.0394 ± 0.0012	0.1010 ± 0.0083
1200	0.0469 ± 0.0017	0.1449 ± 0.0017
1600	0.0460 ± 0.0015	0.1523 ± 0.0025
2400	0.0513 ± 0.0009	0.1672 ± 0.0097

* ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD, n = 3)

ตารางที่ ๙.๑ ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการระเหย

เวลาในการระเหย (วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง ของเอทานอล	ค่าการดูดกลืนแสง ของอะซีทัลดีไฮด์
0	0.0062 ± 0.0002	0.0230 ± 0.0004
30	0.0123 ± 0.0003	0.0282 ± 0.0028
60	0.0189 ± 0.0005	0.0493 ± 0.0029
120	0.0469 ± 0.0017	0.1449 ± 0.0017
180	0.0532 ± 0.0025	0.2945 ± 0.0110

* ค่าเฉลี่ย (Mean \pm SD, n = 3)

ตารางที่ ๙.๑๐ ผลการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มความเข้มข้น

การเพิ่มความเข้มข้น (รอบ)	ค่าการดูดกลืนแสง ของเอทานอล	ค่าการดูดกลืนแสง ของอะซีทัลดีไฮด์
0	0.0169 ± 0.0005	0.0380 ± 0.0039
1	0.0469 ± 0.0017	0.1449 ± 0.0017
2	0.0712 ± 0.0025	0.2788 ± 0.0125
3	0.0967 ± 0.0054	0.3783 ± 0.0214

* ค่าเฉลี่ย (Mean \pm SD, n = 3)

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล นาย บรรเจิดศิษฐ์ พูนทอง
- วัน เดือน ปีเกิด 24 มกราคม 2555
- ที่อยู่ 159/11 ซ.อิสรภาพ 43 ถนนอิสรภาพ แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย
กรุงเทพ ฯ 10700
- ประวัติการศึกษา
- พ.ศ. 2542-2547 มัธยมศึกษาโรงเรียนทิวธาภิเศก
- พ.ศ. 2548-2551 ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต
วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม - เครื่องมือวิเคราะห์)
ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
- พ.ศ. 2552-2554 ปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
วท.ม. (เคมีวิเคราะห์)
ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
- ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย
- พ.ศ. 2553 นำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการ paccon 2011
ในหัวข้อ “Novel Membranless Gas-Diffusion Unit with
Flow-based Technique for Simultaneous Determination
of Two Volatile Analytes”
- พ.ศ. 2555 ตีพิมพ์วารสารงานประชุมวิชาการ paccon 2012
ในหัวข้อ “Membranless Gas-Diffusion Unit with Flow-based
Technique for Determination of Acetaldehyde”