

การพัฒนาห้องปฏิบัติการบ่งชี้พิษสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

กุมภาพันธ์ 2561

การพัฒนาห้องปฏิบัติการบ่งชี้พิษสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล



ปริญญาบัตร  
ของ  
ฉัตรลักษณ์ สมแสง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

กุมภาพันธ์ 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาห้องปฏิบัติการบ่งชี้พิษสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

กุมภาพันธ์ 2561

ัญญลักษณ์ สมแสง. (2561). การพัฒนาห้องปฏิบัติการบนชิปสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล. ปริญญาานิพนธ์ วท.ม.(เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ.

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบห้องปฏิบัติการบนชิปแบบง่ายร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลอย่างรวดเร็วในกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (เบียร์และวิสกี้ไทย) และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10 E20 และ E85) โดยอุปกรณ์แม่พิมพ์สร้างด้วยวิธีการตัดด้วยเลเซอร์ซึ่งสามารถทำได้ง่าย ลดการใช้เครื่องมือราคาแพง และลดขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปสร้างจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปตัววายอย่างง่าย การตรวจวัดเอทานอลอาศัยปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเอทานอลในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1.0-20.0 โดยปริมาตร กับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 120 ไมโครลิตรต่อนาที ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ประสิทธิภาพของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้กราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.3-20.0 โดยปริมาตร ( $R^2$  มากกว่า 0.999) ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.13 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีรายงานในค่าของร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ทั้งภายในวันเดียวกันและระหว่างวันมีค่าน้อยกว่า 1.45 เมื่อนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ พบว่าค่าร้อยละการคืนกลับของเอทานอลทั้งใน 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 97.78-107.75 และสามารถวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลได้ 30 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มาเปรียบเทียบกับด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีโดยใช้สถิติ paired t-test พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี จึงจะเห็นได้ว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ทำได้ง่าย ราคาถูก ใช้สารตัวอย่างและสารเคมีในปริมาณน้อย มีประสิทธิภาพสูง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งกระบวนการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปยังใช้เครื่องมือราคาถูกลง สามารถสร้างขึ้นเองได้ในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป และไม่จำเป็นต้องใช้ห้องคลีนรูมอีกด้วย

DEVELOPMENT OF LAB-ON-A-CHIP FOR DETERMINATION OF ETHANOL

AN ABSTRACT

BY

THANYALUCK SOMSAENG



Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Master of Science Degree in Chemistry

at Srinakharinwirot University

February 2018

Thanyaluck Somsaeng. (2018). *Development of Lab-on-a-Chip for Determination of Ethanol*.

Master's thesis. M.Sc. (Chemistry). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assistant Professor Dr. Piyada Jittangprasert.

A simple lab-on-a-chip system coupled with colorimetric detection was developed for the rapid determination of ethanol in different sample matrices, including alcoholic beverages (beer and Thai whiskey) and gasohol fuels (gasohol E10 E20 and E85). A laser cutting method was used to process lab-on-a-chip molds to reduce manufacturing both costs and preparation steps. The lab-on-a-chip device was fabricated from polydimethylsiloxane (PDMS) which consisted of a simple Y-shaped working channel. The colorimetric detection of ethanol using a spectrophotometer was based on the reaction between ethanol in the concentration range of 1-20% (v/v) with 0.12 M ceric ammonium nitrate in 0.3 M nitric acid, a flow rate of 120  $\mu\text{L}/\text{min}$ , a sample volume of 2.0  $\mu\text{L}$  and monitored absorbance at 470 nm. The linear calibration graph was obtained in the concentration range of 0.30-20 % (v/v) ( $R^2 > 0.999$ ). The limit of detection (3.3 S.D./slope) and the limit of quantification (10 S.D./slope) were 0.039 and 0.13% (v/v), respectively. The precision was reported in terms of percentage of relative standard deviation (%RSD) values of the method for intraday and interday ( $n=15$ ) less than 1.45%. To demonstrate the performance of a lab-on-a-chip, the determination of ethanol in gasohol and various alcoholic beverages was applied. The percentage recoveries of ethanol in both samples were obtained in the range of 97.78 to 107.75. The sample throughput was 30  $\text{h}^{-1}$ . The results obtained from the developed method compared with a standard gas chromatographic method were well correlated using a paired t-test. The results indicated that the proposed method has shown the potential to extend the use of simple lab-on-a-chip analytical device, due to its simplicity, low cost, fewer reagents and samples consumption, high analytical performance and environmentally friendly. Moreover, the method of fabrication would be an additive manufacturing technique featuring low equipment costs and no need for clean rooms.

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาห้องปฏิบัติการบนิพิพสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

ของ

ธัญญลักษณ์ สมแสง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษาหลัก .....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ) (รองศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา เพชรกระจ่าง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ส่งศรีโรจน์)



งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจาก

เงินทุนรายได้บัณฑิตวิทยาลัยประจำปีงบประมาณ 2560

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และให้ความช่วยเหลือในการ ดำเนินงานวิจัยและการเขียนปริญญาานิพนธ์นี้แก่ผู้วิจัยด้วยความเอาใจใส่ อีกทั้งทำให้ผู้วิจัยได้รับ ประสบการณ์ ได้เรียนรู้และเห็นคุณค่าของงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็น อย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา เพชรกระจ่าง ประธานกรรมการในการสอบปาก เปลาปริญญาานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ กรรมการควบคุมการสอบ ปากเปลาปริญญาานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะ เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องให้ปริญญา นิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ถ่ายทอด ความรู้ ให้ความเมตตา เอาใจใส่และให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำ ปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้แนะนำ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยตลอดการศึกษาและการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ ตลอดมา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านเหล่านั้นจากใจจริง

คุณค่าของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณต่อครอบครัวของผู้วิจัย และ ขอขอบพระคุณบุคคลในครอบครัวที่มอบความรัก กำลังใจ ความเอาใจใส่ สนับสนุน และช่วยเหลือใน ทุกๆ ด้าน ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้

ธัญญลักษณ์ สมแสง

# สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
เอทานอล.....	6
เครื่องต้มแอลกอฮอล์.....	7
น้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	10
เทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพ.....	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	27
วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี.....	29
ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล.....	34
ตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น.....	36
ตอนที่ 4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องต้มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.....	39

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง.....	40
ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ การบ่มชีฟร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี.....	40
การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดเอทานอล.....	40
การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบ่มชีฟ.....	42
ออกแบบระบบการวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบ่มชีฟที่ สร้างขึ้นร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี.....	44
ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล.....	47
ความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต.....	48
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก.....	49
ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง.....	50
อัตราการไหลของสารละลาย.....	52
ตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น.....	53
ช่วงความเป็นเส้นตรง.....	53
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ วิเคราะห์ได้ (LOQ).....	54
ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์.....	54
ร้อยละของการคืนกลับ.....	55
ตอนที่ 4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และ ตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโคร มาโทกราฟี.....	56

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปลผล อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	59
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	70
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	84



## บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ปริมาณของแอลกอฮอล์ที่อยู่ในเครื่องดื่มที่จำหน่ายในประเทศไทย.....	9
2 การศึกษาความไวของปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณเอทานอลในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 5.0-20 โดยปริมาตร.....	43
3 สมการเส้นตรงและค่า $R^2$ ของกราฟมาตรฐานเมื่อใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างในช่วง 1.0-5.0 ไมโครลิตร.....	51
4 การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล .....	55
5 การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และน้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	56
6 ปริมาณของเอทานอลที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างแต่ละชนิดโดยใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ซึ่งใช้เป็นวิธีอ้างอิง.....	58
7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่ได้จากงานวิจัยที่พัฒนาขึ้นและงานวิจัยที่เคยรายงานก่อนหน้านี้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	61

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แนวคิดของห้องปฏิบัติการบนชิพ.....	12
2 องค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของระบบห้องปฏิบัติการบนชิพที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบอัตโนมัติ.....	13
3 ลักษณะการทำงานของปั๊มเพอริสตาลติก และปั๊มแบบเข็มฉีด.....	14
4 ลักษณะของท่อขนาดเล็กแบบหน้าต่างสี่เหลี่ยม และแบบหน้าต่างครึ่งวงกลม.....	15
5 ลักษณะของวาล์วแบบพาสซีฟ (passive) และแบบแอคทีฟ (active).....	15
6 ลักษณะของมิกเซอร์แบบรูปตัวที แบบรูปตัววาย แบบขดคดเคี้ยว และแบบซิกแซกรูปพื้นปลา.....	16
7 ลักษณะของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ และลักษณะรูปแบบของท่อภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ.....	30
8 แม่พิมพ์ต้นแบบรูปตัววายที่ตัดโดยใช้เทคนิคเลเซอร์คัท และอุปกรณ์แม่พิมพ์สำหรับหล่อแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้.....	31
9 ระบบการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี.....	33
10 รูปแบบและรายละเอียดของท่อผสมภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้.....	34
11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร กับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริก 0.30 โมลาร์.....	41
12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.0020 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 3.0 โมลาร์.....	41
13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร กับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.30 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 4.0 โมลาร์ และสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.0030 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 4.0 โมลาร์.....	42

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
14 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบัพที่สร้างขึ้นเองในงานวิจัยนี้.....	45
15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบัพที่มีจำนวนขวดของท่อผสมภายในเท่ากับ 1.5 3.0 และ 4.5 ขด ตามลำดับ.....	46
16 ระบบห้องปฏิบัติการบัพที่ร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอร์เมตรีที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้.....	47
17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตในช่วงความเข้มข้น 0.09-0.12 โมลาร์ และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก 0.3 โมลาร์ ปริมาตรของสารละลาย 2.0 ไมโครลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลาย 240 ไมโครลิตรต่อนาที.....	48
18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้น 0.0-0.9 โมลาร์ และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ปริมาตรของสารละลาย 2.0 ไมโครลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลาย 240 ไมโครลิตรต่อนาที.....	50
19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสารละลายตัวอย่างในช่วง 1.0-5.0 ไมโครลิตร และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ สารละลายกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ที่อัตราการไหลของสารละลาย 240 ไมโครลิตรต่อนาที.....	51
20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายในช่วง 60-240 ไมโครลิตรต่อนาที และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์ และปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง 2.0 ไมโครลิตร.....	52
21 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลในช่วงความเข้มข้น 0.30-20 โดยปริมาตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้.....	54
22 โคโรมาโทแกรมแสดงผลการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.....	71

# บทที่ 1

## บทนำ

### ภูมิหลัง

เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ ( $C_2H_5OH$ ) เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีหรือกระบวนการหมักพืชผลทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล โดยอาศัยเอนไซม์หรือกรดบางชนิดแล้วนำไปผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) 2559: ออนไลน์) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นหรือตัวทำละลายในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอางค์ ยา น้ำหอม ใช้สำหรับฆ่าเชื้อและล้างแผลในทางการแพทย์ ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ต่างๆ ได้แก่ เบียร์ ไวน์ และสุราชนิดต่างๆ และใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินที่เรียกว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (สยามเคมี.คอม. 2559: ออนไลน์) เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ช่วยลดการนำเข้าสารเพิ่มค่าออกเทนจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาถูกกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงปกติ และยังช่วยเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรไทยให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (อน. 2559: ออนไลน์) อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะสามารถนำเอทานอลไปใช้ประโยชน์ทั้งในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และอุตสาหกรรมพลังงานเชื้อเพลิงได้อย่างแพร่หลาย แต่การใช้เอทานอลนั้นจำเป็นต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีความสัมพันธ์กับการคิดภาษีสรรพสามิตซึ่งคิดตามอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ที่มีในเครื่องดื่ม โดยกรมสรรพสามิตกำหนดปริมาณเอทานอลให้เป็นไปตามฉลากบรรจุภัณฑ์และให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ดีกรี (ร้อยละโดยปริมาตร) โดยมาตรฐานของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะถูกควบคุมให้มีปริมาณเอทานอลไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 แต่ไม่เกินร้อยละ 60 โดยปริมาตร สำหรับปริมาณเอทานอลในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ตามประกาศราชกิจจานุเบกษาของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภท E10 ไว้ว่าต้องมีปริมาณเอทานอลไม่ต่ำกว่าร้อยละ 9 และไม่สูงกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร น้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภท E20 ต้องมีปริมาณเอทานอลไม่ต่ำกว่าร้อยละ 19 และไม่สูงกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภท E85 ต้องมีเอทานอลไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 และไม่สูงกว่าร้อยละ 85 โดยปริมาตร เนื่องจากหากมีปริมาณเอทานอลต่ำเกินไปจะทำให้ค่าออกเทนต่ำลง ส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่ได้คุณภาพหรือหากมีการเติมเอทานอลมากเกินไปก็จะไม่เหมาะสมกับสภาพเครื่องยนต์ที่ใช้ในประเทศไทยปัจจุบัน ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ตามมาได้ (กรมธุรกิจพลังงาน. 2555: ออนไลน์) ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตาม

มาตรฐานที่หน่วยงานของรัฐกำหนด และเป็นการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือจากผู้บริโภค โดยวิธีวิเคราะห์ที่เลือกใช้ต้องมีประสิทธิภาพ ความถูกต้อง ความแม่นยำสูง ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารระเหยง่ายอย่างเอทานอล

สำหรับเทคนิคที่นำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์เอทานอลสามารถทำได้หลากหลายเทคนิค โดยเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ระเหยง่าย (Buckee; & Mundy. 1993: 381-384; Wang, M.-L.; Wang, J.-T.; & Choong. 2004: 609-615) นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่นๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เอทานอล เช่น เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (Yarita; et al. 2002: 387-391; Lefebvre; et al. 2002: 407-414) เทคนิคอินฟราเรดสเปคโตรสโกปี (Garcia-Jares; & Médina. 1997: 86-91; Armenta; et al. 2006: 238-243; Conklin; et al. 2014: 889-891) และเทคนิคยูวีวิชีเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี (Kabara; & Smeggil. 1972: 65-70; Seo; et al. 2009: 285-292; Sumbhate; et al. 2012: 1-6) เป็นต้น ถึงแม้เทคนิคเหล่านี้จะให้ผลการวิเคราะห์อย่างละเอียด ถูกต้อง และแม่นยำ แต่ยังคงใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เครื่องมือมีขนาดใหญ่ไม่สามารถพัฒนาหรือประยุกต์ไปใช้ในการวิเคราะห์แบบภาคสนามในสถานที่ต่างๆ ได้ อีกทั้งยังต้องนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศทำให้มีราคาสูง และเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างมีความซับซ้อนจึงต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการใช้งาน จึงทำให้นักวิจัยหลายกลุ่มได้พัฒนาการใช้เทคนิคการไหลแบบโพลินเจกชันอะนาลิซิส (FIA) (Mataix; & Luque de Castro. 2000: 489-496; Vicente; et al. 2006: 23-29; Muncharoen; et al. 2009: 203-210; Pinyou; Youngvises; & Jakmune . 2011: 745-751; Silva; et al. 2013: 118-122) และเทคนิคซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาลิซิส (SIA) (Fletcher; & Staden. 2003: 123-128; Šrámková; et al. 2014 : 53-60) ร่วมกับการตรวจวัดทางสเปกโทรโฟโตเมตรีสำหรับประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วมากขึ้น และใช้เครื่องมือขนาดเล็ก ราคาถูก โดยยังให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ ไม่แตกต่างจากการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และในปัจจุบันพบว่านักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มได้พยายามพัฒนาเทคนิคการไหลในอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีขนาดเล็กถึงที่เรียกว่า ห้องปฏิบัติการบนชิป (lab-on-a-chip) ซึ่งเป็นการบูรณาการใช้ร่วมกับเทคนิคไมโครฟลูอิดิกส์ (microfluidics) (Lei; Mattos; & Chen. 2008: 1318-1320) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของนักวิจัยที่จะย่อส่วนการทดลองต่างๆ ในห้องปฏิบัติการทั่วไปลงบนอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถวางบนฝ่ามือได้ ข้อดีของเทคนิคนี้นอกจากอุปกรณ์จะมีขนาดเล็ก สามารถพกพานำไปใช้ในการวิเคราะห์ภาคสนามได้สะดวกแล้ว วัสดุที่ใช้ยังมีราคาไม่แพง สามารถใช้แล้วทิ้งได้ ใช้สารเคมีในปริมาณน้อย (ระดับนาโนลิตรถึงไมโครลิตร) มีความ

รวดเร็วในการวิเคราะห์ สามารถพัฒนาต่อยอดเป็นระบบอัตโนมัติได้ และนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการตรวจวัดได้หลากหลายเทคนิค แต่ยังคงไว้ซึ่งความถูกต้องและความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป และเนื่องจากเทคนิคนี้มีประโยชน์เชิงประยุกต์ในหลากหลายสาขา เช่น ทางการแพทย์ ทางเคมี ชีววิทยา เคมีอาหาร เคมีเครื่องสำอางค์ และการค้นพบยา เป็นต้น จึงทำให้ในปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจในการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). 2559: ออนไลน์)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาและพัฒนาห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีสำหรับประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรดทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเกิดขึ้น และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สามารถสร้างขึ้นเองได้ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วัสดุที่มีภายในประเทศ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการวิเคราะห์ ลดการนำเข้าสินค้าและเครื่องมือจากต่างประเทศอีกทางหนึ่ง และเพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์ที่ทำได้สะดวก ให้ผลการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว ใช้งานง่าย อีกทั้งยังใช้สารตัวอย่างและสารเคมีในปริมาณน้อย เป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือไม่แตกต่างจากการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี สามารถนำไปใช้ในงานควบคุมและประเมินคุณภาพของตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีจำหน่ายและได้รับความนิยมในประเทศไทยได้

### ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและออกแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี
2. เพื่อประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์เอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์

### ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้วิธีการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สามารถทำได้ง่าย และสร้างขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วัสดุที่มีภายในประเทศเป็นการลดต้นทุนการวิเคราะห์ ลดการนำเข้าสินค้าและเครื่องมือจากต่างประเทศ

2. ได้วิธีวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ใช้ปริมาณสารเคมีน้อย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการตรวจวัดปริมาณเอทานอลในตัวอย่างที่หลากหลาย ใช้งานได้สะดวก และมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำ

3. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของเอทานอลที่พบในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย เพื่อใช้ในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

### ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี เพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์เอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่าง โดยมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีสำหรับการวิเคราะห์เอทานอล โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลกับสารละลายรีเอเจนต์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเกิดขึ้น และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้ห้องปฏิบัติการบนชิพที่พัฒนาขึ้น

3. การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

4. การประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สำหรับขั้นตอนดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

1.1 ศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดเอทานอลพร้อมทั้งหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ใช้ในการตรวจวัด โดยทำการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทานอลและรีเอเจนต์ชนิดต่างๆ ได้แก่ สารละลายซิริกแอมโมเนียมไนเตรต สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เพื่อให้ได้ปฏิกิริยาที่มีความไวในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ภายในระยะเวลาสั้นที่สุด

1.2 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ทำจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (polydimethylsiloxane; PDMS) โดยทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS base) ต่อน้ำยาเร่งให้แข็ง (curing agent) เพื่อให้ได้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่มีความยืดหยุ่น และมีความแข็งแรงที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน

1.3 ออกแบบระบบการวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้น ร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคลื่นเลเซอร์ พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลของลักษณะที่ผสมที่อยู่ภายใน อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่มีผลต่อสัญญาณการตรวจวัดที่ได้

## 2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล

2.1 ความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต

2.2 ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก

2.3 ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง

2.4 อัตราการไหลของสารละลาย

## 3. การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

3.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity range)

3.2 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (limit of detection; LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (limit of quantification; LOQ)

3.3 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (precision)

3.4 ร้อยละของการคืนกลับ (%recovery)

4. การประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ วิสกี้ไทย และเบียร์ และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ได้แก่ ประเภท E10 E20 และ E85 ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับผลการวิเคราะห์จากเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอทานอล
2. เครื่องดื่มแอลกอฮอล์
3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์
4. เทคนิคห้องปฏิบัติการบนชีพ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. เอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) หรือเกรนแอลกอฮอล์ (Grain alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ มีสูตรโมเลกุลคือ  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเอทานอลประกอบด้วยสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอนต่อกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เอทานอลเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย และมีกลิ่นเฉพาะตัว น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 กรัมต่อโมล ความหนาแน่นเท่ากับ 0.7893 กรัมต่อมิลลิลิตร จุดเดือดเท่ากับ 78.32 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็งเท่ากับ -114.10 องศาเซลเซียส และมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีมาก (สยามเคมี.คอม. 2559: ออนไลน์) เอทานอลถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ใช้เป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงเพิ่มค่าออกเทน ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอางค์ ผลิตน้ำหอม และเป็นส่วนผสมในน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เป็นต้น (ประกาศิต กลัปดี. 2551: ออนไลน์) โดยการผลิตเอทานอลสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การสังเคราะห์ทางเคมี (chemical synthesis) โดยใช้เอทิลีน (ethylene) ที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบซึ่งเอทานอลที่ผลิตโดยวิธีนี้ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ และจากการหมักโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ (yeast fermentation) โดยเชื้อยีสต์จะใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นอาหารและเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า ไกลโคไลซิส (glycolysis) ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลนั้นได้จากพืชที่มีสารประเภทน้ำตาลและแป้ง ได้แก่ อ้อย ปืทุท ข้าวฟ้าง ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น และวัตถุดิบจำพวกเซลลูโลสหรือลิกโนเซลลูโลส (ligno cellulosic material) ซึ่งเป็นเส้นใยหรือเป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ เศษเหลือใช้

จากการทำสวนปาล์ม เส้นใยปาล์ม ต้นปาล์ม ทะลายปาล์มหรือได้จากพืชไร่และนาข้าว และจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้และกระดาษ เป็นต้น (สยามเคมี.คอม. 2559: ออนไลน์) สำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการหมักพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศ เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน และอ้อย เป็นต้น ซึ่งมีต้นทุนการผลิตไม่สูงมากนักจึงทำให้เกิดการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากเอทานอลนั้นจำเป็นต้องอยู่ในปริมาณที่ถูกกำหนดให้ใช้ซึ่งขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ที่แตกต่างกันไปเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณของเอทานอลในผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่หน่วยงานของรัฐกำหนด และเพื่อเป็นการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือจากผู้บริโภค

โดยในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ เนื่องจากพบว่าประมาณร้อยละ 70 ของการผลิตเอทานอลในประเทศจะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสุรา และผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆที่สามารถดื่มได้ทันที และนำไปป่มหรือเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ได้เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีกลิ่นและรสชาติที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมากลั่นต่อเพื่อให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้นและนำมาผลิตเป็นเหล้าชนิดต่างๆ เช่น วิสกี้ บรั่นดี วอดก้า จิน รัม เป็นต้น และอีกประมาณร้อยละ 30 ของการผลิตเอทานอลถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมพลังงานเชื้อเพลิงที่นิยมใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วนต่างๆ เรียกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ สำหรับใช้ในรถยนต์ (จุฬารภรณ์ โสตะ; อมรรัตน์ ภูคาบขาว; และนพพร ตริโษษฐ์. 2555: 9-11) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะขอกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะเอทานอลในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และน้ำมันแก๊สโซฮอลล์

## 2. เครื่องดื่มแอลกอฮอล์

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ หมายถึงเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร แต่ไม่เกินร้อยละ 60 โดยปริมาตร และสามารถบริโภคได้ทั้งที่ได้จากการหมักหรือการกลั่น ซึ่งเกณฑ์นี้เป็นข้อกำหนดของสากลทั่วไปแต่สำหรับประเทศไทยครอบคลุมถึงปริมาณร้อยละ 80 โดยปริมาตร ได้แก่ สุรา ไวน์ เบียร์ แชมเปญ บรั่นดี วิสกี้ รัม ยิน ริเคอร์ สาโท เป็นต้น (จุฬารภรณ์ โสตะ; อมรรัตน์ ภูคาบขาว; และนพพร ตริโษษฐ์. 2555: 9-11) เครื่องดื่มแอลกอฮอล์สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ สุราที่เกิดจากการหมัก (fermented) เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่เกิดจากกระบวนการหมักแป้งหรือผลไม้เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ เป็นเครื่องดื่มที่มีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 6-20 โดยปริมาตร ได้แก่ เบียร์ และไวน์ และสุราที่

เกิดจากการกลั่น (distilled spirit) เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีความแรงของแอลกอฮอล์มากกว่าร้อยละ 40 โดยปริมาตร เช่น วิสกี้ บรั่นดี วอดก้า และจิน เป็นต้น (จ๊อบบีดี. 2557: ออนไลน์)

ปริมาณการได้รับแอลกอฮอล์ที่ก่อให้เกิดพิษในทางการแพทย์จะพิจารณาจากปริมาณการดื่มที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์และขนาดของภาชนะที่บรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดนั้นๆ โดยองค์การอนามัยโลกได้กำหนดว่าการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดใดก็ได้ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ประมาณ 10 กรัม สามารถทำให้เกิดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดได้ประมาณ 15-20 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และให้พลังงานแก่ร่างกาย 100 แคลอรี แต่ไม่มีสารอาหารใดๆ การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 90 ของแอลกอฮอล์ในร่างกายจะถูกกำจัดโดยเอนไซม์ในตับได้ประมาณ 15 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรต่อชั่วโมง ที่เหลืออีกร้อยละ 10 ถูกขับออกทางปัสสาวะและลมหายใจโดยตรง ทำให้สามารถตรวจจับแอลกอฮอล์จากลมหายใจได้ แต่ในทางกฎหมายกำหนดค่าการเกิดพิษสำหรับผู้ขับขี่ยานพาหนะต้องมีระดับแอลกอฮอล์ในเลือดไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร โดยการดื่มในระดับความเข้มข้นดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย และมีประโยชน์ต่อการกระตุ้นระบบหัวใจและหลอดเลือด (กิติพันธ์ ธาณินทร์. 2011: 174-175) อย่างไรก็ตามเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เป็นสารเสพติดที่มีทั้งคุณและโทษ โดยโทษของการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นั้นอาจมีตั้งแต่ขั้นเบาไปจนถึงขั้นรุนแรง เช่น มีฤทธิ์ทำให้ใช้เวลาในการตัดสินใจนานขึ้น ทำให้รู้สึกอ่อนเพลีย เสียการทรงตัว พุดไม่ชัด ความจำเสื่อม การเดินและการบีบตัวของหัวใจไม่ปกติ เส้นเลือดขยายตัว เส้นเลือดในสมองแตกได้ง่าย หมดสติ และเสียชีวิตในที่สุด ดังนั้นสุราจึงถูกควบคุมทั้งการผลิตและการจำหน่ายจากกฎหมายอย่างเคร่งครัด โดยสำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และยาสูบ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ แสดงดังตาราง 1 (สำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และยาสูบ. 2559: ออนไลน์)

ตาราง 1 แสดงปริมาณของแอลกอฮอล์ที่อยู่ในเครื่องดื่มที่จำหน่ายในประเทศไทย

ชนิดของเครื่องดื่ม	ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ (ดีกรี)
เบียร์ในต่างประเทศ	4-6
เบียร์เอล	6-8
แชมเปญ	8
เบียร์ทำในประเทศไทย	6-12
ไวน์แดง	4-6
ไวน์หวาน	8-10
ไวน์ขาว	6-14
ไวน์อย่างแรง	15
โซจู หรือเหล้าเกาหลี	ประมาณ 21
โซจู หรือวอดก้าแห่งญี่ปุ่น	ประมาณ 25
สุรา (แม่โขง, หงส์ทอง, เหล้าโรง, แสงโสม)	20-40
เหล้าจีน (เหมาโต, เชียงซุน)	35-53
วิสกี้ในประเทศไทย (ธาวา ไก่แดง)	ประมาณ 40
วิสกี้ บรันดี ยิน (ต่างประเทศ)	40-50
รัม	50-60

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และยาสูบ. (2559, สิงหาคม). ตารางแสดงปริมาณของแอลกอฮอล์ที่อยู่ในเครื่องดื่มต่างๆ. (ออนไลน์)

นอกจากนี้เกือบทุกประเทศในโลกกำหนดอายุขั้นต่ำของผู้บริโภคซึ่งข้อกำหนดในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป เช่น ประเทศอินโดนีเซีย ศรีลังกา และอเมริกา กำหนดอายุขั้นต่ำของผู้บริโภค 21 ปี ในประเทศเยอรมัน จอร์เจีย และอิตาลี กำหนดอายุขั้นต่ำของผู้บริโภค 16 ปี แต่ประเทศส่วนใหญ่รวมถึงประเทศไทยกำหนดอายุขั้นต่ำของผู้บริโภค 18 ปี (นวรรัฐ เทศพิทักษ์. 2553: 1-3)

### 3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมระหว่างน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับแอลกอฮอล์ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้ก็คือเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร (กรมธุรกิจพลังงาน. 2555: ออนไลน์) ในปัจจุบันน้ำมันแก๊สโซฮอล์กลายเป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในหลายประเทศทั่วโลก เช่น อเมริกา แคนาดา บราซิล สเปน สวีเดน ออสเตรเลีย จีน รวมทั้งประเทศไทย (บุญรอด วงษ์สวาท. 2553: ออนไลน์) จากประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน เรื่องการกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พ.ศ. 2551 ได้กำหนดประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 (E10) คือน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพโดยมีส่วนผสมของเอทานอลไม่เกินร้อยละ 10 โดยปริมาตร และไม่ต่ำกว่าร้อยละ 9 โดยปริมาตร ต่อน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 90 โดยปริมาตร น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 (E20) คือน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพโดยมีส่วนผสมของเอทานอลไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร และไม่ต่ำกว่าร้อยละ 19 โดยปริมาตร ต่อน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 80 โดยปริมาตร และน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 (E85) คือน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพโดยมีส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 85 โดยปริมาตร หรือมีเอทานอลไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 โดยปริมาตร ต่อน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 15 โดยปริมาตร โดยน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 จะใช้ได้กับรถยนต์ที่ผลิตขึ้นมาและสามารถใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีส่วนผสมเอทานอลในสัดส่วนต่างๆ ตั้งแต่ร้อยละ 0-85 โดยปริมาตร หรือเรียกกรณประเภทนี้ว่า FFVs เช่น วอลโว่ ฟอร์ด มิตซูบิชิ ฮอนด้า เชฟโรเลต และโตโยต้า เฉพาะรุ่นที่ผู้ผลิตรถยนต์ระบุ เป็นต้น

การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ มีผลดีคือทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น เนื่องจากมีเอทานอลซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งเพิ่มค่าออกเทนและสารป้องกันการน็อกให้แก่ น้ำมันเบนซินได้ และยังพบว่าการใช้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์นั้นไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้งานและให้อัตราการเร่งไม่แตกต่างจากน้ำมันเบนซิน 95 ช่วยลดการนำเข้ของสารเพิ่มออกเทนและน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และยังช่วยลดปัญหามลพิษที่เกิดจากไอเสียทางอากาศโดยสามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ถึงร้อยละ 20-25 ได้อีกด้วย (กรมธุรกิจพลังงาน. 2555: ออนไลน์) อย่างไรก็ตามการใช้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์อาจมีผลทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการใช้งานลดลงในสถานที่ที่อากาศเย็นจัด เนื่องจากเอทานอลมีความดันไอน้ำต่ำกว่าน้ำมันเบนซินจึงระเหยได้ยากกว่า นอกจากนี้จากผลการศึกษายังพบว่าการใช้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่มีอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมันเบนซินปกติเล็กน้อย โดยอัตราความสิ้นเปลืองจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเอทานอลที่ผสมเข้าไปมากขึ้น เนื่องจาก

เอทานอลมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน ทำให้การใช้งานที่ต้องการกำลังเท่าเดิมจำเป็นต้องฉีดแก๊สโซฮอล์เข้าสู่ห้องเผาไหม้มากขึ้น เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 จะสิ้นเปลืองกว่าน้ำมันเบนซินประมาณร้อยละ 3 ขณะที่น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 จะสิ้นเปลืองกว่าน้ำมันเบนซินประมาณร้อยละ 7 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 จะสิ้นเปลืองกว่าน้ำมันเบนซินประมาณร้อยละ 30 เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553: ออนไลน์) ในปัจจุบันจึงได้มีการออกแบบและผลิตรถยนต์สำหรับใช้งานกับแก๊สโซฮอล์ในสัดส่วนต่างๆ ออกสู่ท้องตลาดทั้งในและต่างประเทศอย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันหรือกำจัดการปัญหาดังกล่าวได้ อีกทั้งยังมีกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่กำกับดูแลควบคุมคุณภาพน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ผลิตออกจำหน่ายให้ได้มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด เพื่อป้องกันปัญหาการปลอมแปลงน้ำมันและให้ผู้บริโภคได้ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ (กรมธุรกิจพลังงาน. 2555: ออนไลน์)

#### 4. เทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพ

ห้องปฏิบัติการบนชิพ (lab-on-a-chip) คือการออกแบบและย่อส่วนห้องปฏิบัติการทางเคมีหรือทางชีวภาพให้มีขนาดเล็กตั้งแต่ระดับเซนติเมตรถึงไมโครเมตรลงบนแผ่นวัสดุที่เรียกว่าชิพ (chip) ดังภาพประกอบ 1 (Zhang; & Hoshino. 2013: 114-512) โดยส่วนใหญ่ถูกบูรณาการใช้ร่วมกับระบบไมโครฟลูอิดิกซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ควบคุมการไหลของของไหลในปริมาตรระดับไมโครลิตรถึงระดับนาโนลิตรแบบอัตโนมัติ โดยเทคนิคนี้มีชื่อเรียกได้หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ไมโครฟลูอิดิก (Micro Total analysis;  $\mu$ TAS) ไมโครฟลูอิดิก (Microfluidic system) และไมโครฟลูอิดิก (Micro flow analysis) เป็นต้น โดยได้เริ่มมีการพัฒนาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ.1975 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Stephen Terry จากมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด ประเทศสหรัฐอเมริกา และต่อมาในปี ค.ศ.1995 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Steve Haswell จากมหาวิทยาลัยฮัลล์ ประเทศอังกฤษ ได้เริ่มพัฒนาระบบไมโครฟลูอิดซึ่งเป็นระบบการจัดการของไหลจุลภาคสำหรับวิเคราะห์ออร์โทพอสเฟตโดยใช้อุปกรณ์ชิพที่สร้างจากแก้ว และใช้การตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี สำหรับประเทศไทยเริ่มนำเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพมาใช้ในด้านเคมีวิเคราะห์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2003 โดยกลุ่มวิจัยของสายสุณีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์ และคณะ ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ชิพแบบง่ายลักษณะรูปตัวที (T-shape) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะสังกะสีในยา และตรวจวัดด้วยออปติคอลเซ็นเซอร์ จะเห็นได้ว่าเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพถือเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเคมีสะอาดที่น่าสนใจที่ได้รับการพัฒนาและแข่งขันกันในระดับนานาชาติอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนี้ สำหรับหลักการของเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพในทางเคมีวิเคราะห์นั้นเป็นการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการฉีดสารละลายตัวอย่างในปริมาณน้อยๆ เข้าสู่กระแสตัวพาซึ่งอาจเป็นสารละลายรีเอเจนต์หรือตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องภายใน

ท่อพลาสติกโดยปราศจากฟองอากาศคั้นแล้วไหลเข้าสู่อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมและคงที่ตลอดการทดลอง เมื่อสารละลายตัวอย่างไหลเข้าสู่ท่อขนาดเล็กภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจะเกิดการกระจายในกระแสของสารละลายรีเอเจนต์เข้าสู่บริเวณสำหรับผสมสารละลาย และบริเวณกักเก็บสารละลายไว้ชั่วคราวเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่างๆที่สมบูรณ์ เช่น เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยน pH และกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ก่อนทำการตรวจวัดด้วยตัวตรวจวัดที่เหมาะสม (แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2555: 608-609)

การสร้างอุปกรณ์ชิพจะเริ่มจากการสร้างท่อขนาดเล็กบนวัสดุฐานรอง เช่น ซิลิกอน แก้ว และโลหะ โดยวิธีการสร้างลายวงจรด้วยแสง (photolithography) หรือวิธีการแกะสลัก (etching) ซึ่งดัดแปลงมาจากอุตสาหกรรมการออกแบบและพัฒนายาไฟฟ้าขนาดเล็ก แต่ด้วยกระบวนการผลิตที่มีราคาสูงและไม่ยืดหยุ่นจึงเป็นแรงผลักดันให้ปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่หันมาสนใจสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ชิพด้วยวัสดุพอลิเมอร์แทน ซึ่งการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยวัสดุพอลิเมอร์นั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการพิมพ์แบบ (printing) ซึ่งนิยมสร้างแม่พิมพ์อยู่ 2 วิธีการ คือการสร้างแม่พิมพ์จากการพิมพ์แบบสารไวแสงด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV lithography) และการสร้างแม่พิมพ์จากการพิมพ์แบบสารไวแสงด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน (X-ray lithography) หรืออาจสร้างด้วยวิธีอื่นๆ ตามความเหมาะสม แล้วทำการหล่อแบบด้วยพอลิเมอร์ (molding) จากแม่พิมพ์ต่างๆ ที่สร้างขึ้น (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์. 2559: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 1 แสดงแนวคิดของห้องปฏิบัติการบนชิพ

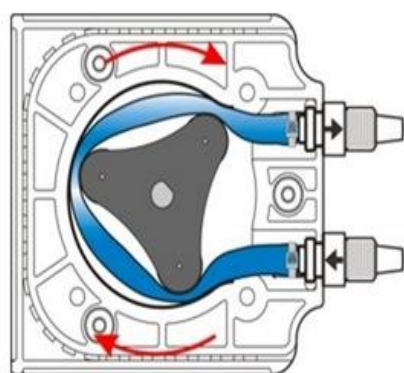
ที่มา: gene-quantification.info. (2016: online)

องค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของระบบห้องปฏิบัติการบนชิพที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบอัตโนมัติ ในทางเคมีวิเคราะห์แสดงดังภาพประกอบ 2 ประกอบด้วย ปั๊ม (pump) ชูตเชื่อมต่ออุปกรณ์ (connection tube) อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพซึ่งภายในจะประกอบด้วย ท่อขนาดเล็ก (channel) วาล์ว (valves) มิกเซอร์ (mixer) รีแอคเตอร์ (reactor) และตัวตรวจวัด (detector) เป็นต้น ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ (Lim; Kouzani;& Duan. 2010: 1995-2015; Maria.;& Fridolin. 2014: 98-117; Castillo; et al. 2015: 1-10) ดังนี้



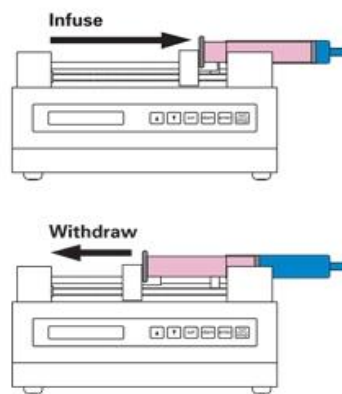
ภาพประกอบ 2 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของระบบห้องปฏิบัติการบนชิพที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบอัตโนมัติ

1. ปั๊ม ทำหน้าที่ขับเคลื่อนของเหลวให้สามารถไหลในท่อเครือข่ายขนาดเล็กได้ โดยระบบการขับเคลื่อนของเหลวสามารถทำได้หลายแบบ เช่น อาศัยแรงจากสนามไฟฟ้า (electrostatic) สนามแม่เหล็ก (electromagnetic) แรงโน้มถ่วง และแรงดันอากาศ เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่นิยมใช้เพอริสตาติกปั๊ม (peristaltic pump) อาศัยการทำงานของลูกกลิ้งรีดบีบผ่านสายยางแรงดันต่ำ (ภาพประกอบ 3ก) และปั๊มแบบเข็มฉีดยา (syringe pump) ซึ่งปั๊มลูกสูบอาศัยการอัดของเหลวด้วยลูกสูบไปข้างหน้า (ภาพประกอบ 3ข) เนื่องจากปั๊มทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถดัดแปลงการใช้งานให้เหมาะสมกับระบบห้องปฏิบัติการบนชิพที่พัฒนาขึ้นได้ง่าย และมีราคาไม่สูงมาก



**Peristaltic pump**

(ก)



**Syringe pump**

(ข)

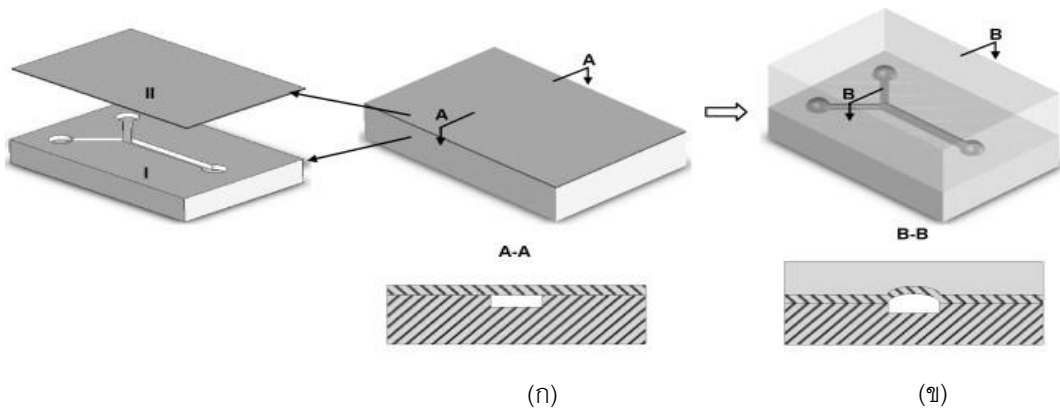
ภาพประกอบ 3 แสดงลักษณะการทำงานของปั๊ม (ก) เพอร์ริสตาติคปั๊ม และ (ข) ปั๊มแบบเข็มฉีด

ที่มา: Yourd. (2014: online);& Harvard Apparatus Ltd. (2016: online)

2. ชุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อองค์ประกอบต่างๆ ในระบบเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปนิยมใช้ท่อพลาสติกที่เป็นวัสดุประเภทโพลีโพรพิลีน (polypropylene) เทฟลอน (teflon) โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride)

3. อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ โดยทั่วไปนิยมทำจากแก้ว แผ่นอะคริลิก และซิลิคอนหรือพอลิไดเมทิลไซลอกเซน เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงองค์ประกอบภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพได้ ดังนี้

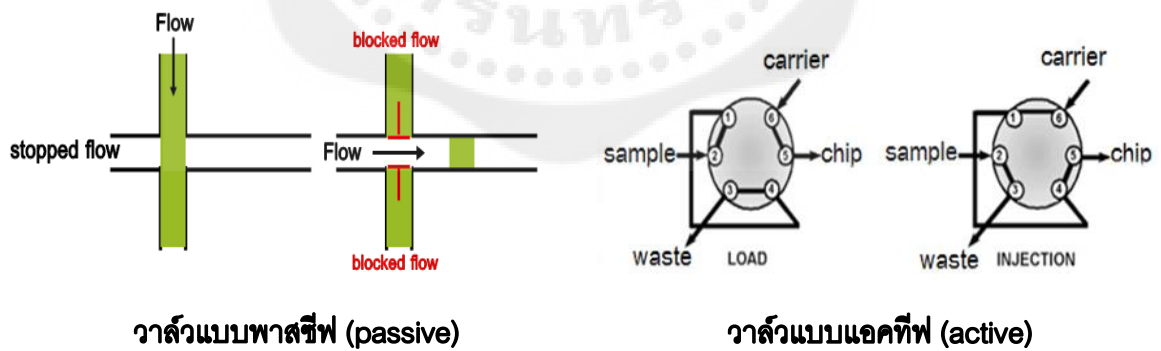
3.1 ท่อขนาดเล็ก ทำหน้าที่เชื่อมโยงส่วนต่างๆ ภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการชิพเพื่อให้ของเหลวปริมาตรตั้งแต่ระดับไมโครลิตรถึงระดับนาโนลิตรไหลผ่าน โดยปกติจะเป็นท่อปิดที่มีขนาดตั้งแต่มีลิเมตรถึงไมโครเมตร มีทั้งแบบที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมแสดงดังภาพประกอบ 4ก หรือครึ่งวงกลมแสดงดังภาพประกอบ 4ข ซึ่งอาจมีการดัดแปลงให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาของระบบที่ต้องการวิเคราะห์



ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะของท่อขนาดเล็ก (ก) แบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม และ (ข) แบบหน้าตัดครึ่งวงกลม

ที่มา: Yu; et al. (2009: 755)

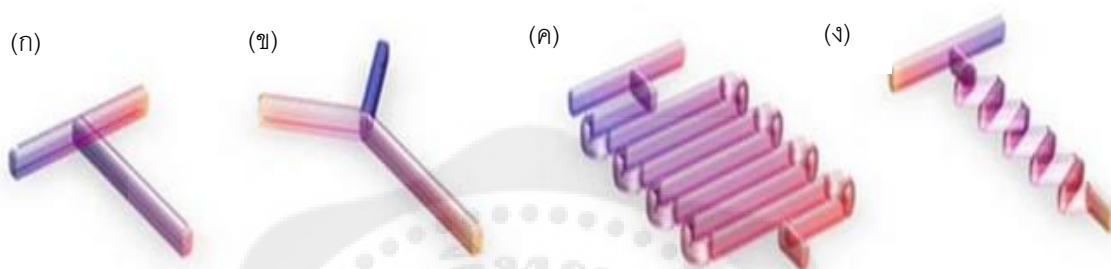
3.2 วาล์ว ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของของเหลวและกำหนดปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง โดยอาศัยความดันที่แตกต่างระหว่างด้านทั้งสองของวาล์วซึ่งเกิดขึ้นภายในท่อ เครื่องข่ายขนาดเล็กเรียกวาล์วประเภทนี้ว่าแบบพาสซีฟ (passive) อย่างไรก็ตามอาจใช้วาล์วแบบแอคทีฟ (active) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วาล์วภายนอกต่อเข้ากับระบบควบคุมทิศทางการไหล แสดงตัวอย่างลักษณะของวาล์วแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะของวาล์วแบบพาสซีฟ (passive) และแบบแอคทีฟ (active)

ที่มา: และดัดแปลงจาก Zhang; & Hoshino. (2013: 119) และ Yebra-Biurrún. (2009: 22)

3.3 มิกเซอร์ ทำหน้าที่เป็นบริเวณผสมสารละลายตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เข้าด้วยกันในระยะเวลาสั้นๆ อาจมีลักษณะเป็นรูปตัวที (T-mixer) รูปตัววาย (Y-mixer) แบบซิกแซกรูปฟันปลา (zigzag) และแบบขดคดเคี้ยว (serpentine) เป็นต้น โดยประสิทธิภาพของบริเวณผสมสารละลายจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างจำนวนขดต่อระยะทางของท่อมิกเซอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และองศาที่ทำมุมกันของมิกเซอร์ โดยลักษณะของมิกเซอร์แบบต่างๆ แสดงดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะของมิกเซอร์ โดย (ก) รูปตัวที (ข) รูปตัววาย (ค) แบบขดคดเคี้ยว และ (ง) แบบซิกแซกรูปฟันปลา

ที่มา: Maria.;& Fridolin. (2014: 202)

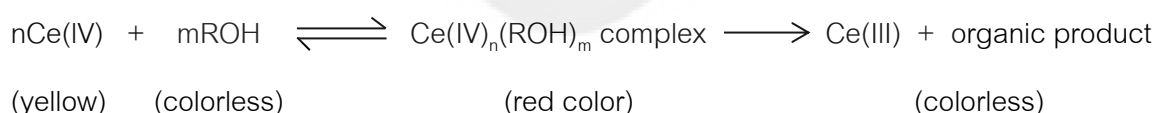
3.4 รีแอกเตอร์ (reactor) ทำหน้าที่เป็นบริเวณในการกักเก็บสารละลายที่ได้หลังจากผสมกันไว้ชั่วขณะก่อนทำการตรวจวัด มีลักษณะเป็นหลุมหรือช่องขนาดเล็ก

4. ตัวตรวจวัด ทำหน้าที่ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการตรวจวัดได้หลายเทคนิคทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของสารที่สนใจวิเคราะห์ โดยเทคนิคการตรวจวัดที่นิยมนำมาใช้ร่วมกับระบบห้องปฏิบัติการบนชิพกันอย่างแพร่หลาย คือการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี (colorimetric method)

สำหรับข้อดีของเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพนอกจากมีขนาดเล็กพกพาสะดวกแล้วยังสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยได้ และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี มีโอกาสพัฒนาต่อยอดให้กลายเป็นระบบอัตโนมัติได้สูงจึงทำให้มีความสะดวก ใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและต่อเนื่อง ช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ปฏิบัติการได้เมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์แบบดั้งเดิม และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดได้หลายเทคนิค อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้วัสดุที่มีราคาไม่สูงมากสำหรับการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพเพื่อให้เหมาะกับระบบที่ใช้

แล้วทิ้งได้ และสามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ตามความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละครั้ง (Castillo; et al. 2015: 1-10) แต่ยังคงไว้ซึ่งความถูกต้องและให้ผลที่น่าเชื่อถือ เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าวยังมีประโยชน์เชิงประยุกต์ในหลากหลายสาขา เช่น ทางการแพทย์ ทางเคมี ชีววิทยา เคมีอาหาร เคมีเครื่องสำอางค์ และการค้นพบยา เป็นต้น (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). 2559: ออนไลน์)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการบนชิปร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี สำหรับวิเคราะห์ปริมาณของเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่หน่วยงานของรัฐกำหนด และเป็นการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือจากผู้บริโภค โดยวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนั้นต้องเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพน่าเชื่อถือ ทำได้ง่าย สะดวก ใช้เวลาการวิเคราะห์รวดเร็ว สามารถตรวจวิเคราะห์เอทานอลในปริมาณน้อยๆ ระดับไมโครลิตรได้ และใช้ปริมาณสารเคมีน้อยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยในการวิเคราะห์อาศัยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตได้ผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง (intermediate product) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง และทำการตรวจวัดความเข้มสีที่เกิดขึ้นไปของสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวนี้หลังจากเกิดปฏิกิริยาบนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นนั้นจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ  $Ce^{3+}$  (Cerous ion) ซึ่งไม่มีสี และผลิตภัณฑ์อินทรีย์ ได้แก่ อะซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde;  $CH_3CH=O$ ) และกรดอะซิติก (acetic acid;  $CH_3COOH$ ) เป็นต้น แสดงดังสมการเคมี (Doyle. 1974: 131-132; Briois; et al. 2005: 320-329) ดังนี้



## 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการวิเคราะห์เอทานอลมีด้วยกันหลากหลายเทคนิค เช่น เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งจัดเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ระเหยง่ายอย่างเอทานอล เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโกปี และเทคนิคทางไฟฟ้าเคมีโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เทคนิคเหล่านี้เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างมีความซับซ้อนต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ ทั้งยังใช้เครื่องมือขนาดใหญ่และสารเคมีที่มีราคาสูง อีกทั้งใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน และใช้ปริมาณสารเคมีในปริมาณมากซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวิธีวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคที่สามารถใช้งานง่ายสะดวก ใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้มีราคาไม่สูงมาก และใช้ปริมาณสารละลายอินทรีย์ในปริมาณน้อย ได้แก่ เทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทโฟโตเมตรี (UV-Visible spectrophotometry) เทคนิคโฟลอินเจกชันอะนาลิซิส (Flow Injection Analysis; FIA) เทคนิคซีควนเชียลอินเจกชันอะนาลิซิส (Sequential Injection Analysis; SIA) และเทคนิคไมโครฟลูอิดิก (Microfluidic system) ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

### 5.1 การวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทโฟโตเมตรี

ในปี ค.ศ. 1972 Kabara และ Smeggil (Kabara;& Smeggil. 1972: 65-70) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเลือดเพื่อใช้สำหรับห้องปฏิบัติการพิษวิทยาคลินิก โดยนำตัวอย่างเลือดไปผ่านกระบวนการสกัดก่อนนำมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเข้มข้น 0.365 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 4.20 โมลาร์ ได้ผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง (intermediate product) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงภายในเวลา 10 นาที หลังเกิดปฏิกิริยา จากนั้นตรวจวัดค่าร้อยละการส่องผ่านของแสง (%T) ของสารเชิงซ้อนสีแดงที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 486 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองพบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0-0.625 โดยปริมาตร ( $R^2 > 0.9977$ ) ค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ  $94.80 \pm 3.50$  และยังสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 6 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

ในปี ค.ศ. 2009 Seo และคณะ (Seo; et al. 2009: 285-293) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างไบโอเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมัก 2 ประเภท คือการหมักโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบไม่ต่อเนื่อง และการหมักโดยใช้ยีสต์แบบไม่ต่อเนื่อง โดยนำตัวอย่างมาสกัดด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลว และใช้ไตรบิวทิลฟอสเฟต (tri-n-butly phosphate; TBP) เป็นตัวสกัดก่อนจะนำไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.34 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5.0 โมลาร์ เป็นเวลา 10 นาที ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น  $Cr^{3+}$  ซึ่งมีสีเขียว จากนั้นบีบใส่ในหลอดไมโครเพลตชนิด 96 หลุม แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของ  $Cr^{3+}$  โดยใช้เครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0-8 โดยปริมาตร ( $R^2 > 0.978$ ) ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.10 โดยปริมาตร และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ถึง 182 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 Sumbhate และคณะ (Sumbhate; et al. 2012: 1-6) ได้ทำการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยนำตัวอย่างไปเจือจางและทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายไซเดียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ และสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ pH 4.30 เขย่าเป็นเวลา 1 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เป็นระยะเวลา 90 นาที และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น  $Cr^{3+}$  ซึ่งสามารถติดตามสีเขียวของ  $Cr^{3+}$  ที่เกิดขึ้นได้โดยการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตร ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.20-1.60 โดยปริมาตร ( $R^2 > 0.9977$ ) ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.08 โดยปริมาตร ค่าเฉลี่ยร้อยละของการคืนกลับของตัวอย่างอยู่ในช่วงร้อยละ 95.20-97.68 โดยปริมาตร และพบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

จะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าการตรวจวัดปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตริจะทำได้ง่ายและสะดวก อย่างไรก็ตามการตรวจวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตริแบบดั้งเดิมนี้ยังมีข้อเสีย คือเป็นเทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง และไม่สามารถพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติได้ ดังนั้นจึงทำให้นักวิจัยหลายกลุ่มได้พัฒนาเทคนิคสำหรับวิเคราะห์เอทานอลด้วยระบบอัตโนมัติ โดยนำเทคนิคโฟลอิโนเจกชันอะนาลิซิส เทคนิคซีควอนเซียลอินเจกชันอะนาลิซิส และเทคนิคไมโครฟลูอิดิก มาใช้ร่วมกับการตรวจวัดทางวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตริ

## 5.2 การวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคฟลูออโรสเปกโตรสโกปี

ในปี ค.ศ. 1998 Mattos และคณะ (Mattos; et al. 1998: 1005-1008) ได้ออกแบบระบบฟลูออโรสเปกโตรสโกปีสำหรับวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างไม่ระเหยด้วยเครื่องสเปกโตรสโกปี โดยแยกเอทานอลออกจากองค์ประกอบในตัวอย่างไม่ระเหยด้วยวิธีแก๊สดีฟฟิวชัน (gas diffusion) ซึ่งจะช่วยให้ไอของเอทานอลแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านแบบไม่ชอบน้ำ แล้วทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.15 โมลาร์ โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 6.0 โมลาร์ เป็นตัวทำละลาย จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์  $\text{Cr}^{3+}$  ที่เกิดขึ้น ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการวิจัยพบว่ากราฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างไวน์มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 5-20 โดยปริมาตร และสำหรับตัวอย่างสุรากลั่นมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 25-50 โดยปริมาตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.50 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์แสดงในค่าของ %RSD มีค่าเท่ากับ 3.70 สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 20 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และเมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างไม่ระเหยและไวน์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในปี ค.ศ. 2000 Mataix และ Luque de Castro (Mataix;& Luque de Castro. 2000: 489-496) ได้พัฒนาเทคนิคฟลูออโรสเปกโตรสโกปีสำหรับวิเคราะห์เอทานอลและกลีเซอรอลแบบพร้อมกันในตัวอย่างไวน์แดง ไวน์ขาว และไวน์ชนิดหวาน โดยแยกเอทานอลและกลีเซอรอลออกจากองค์ประกอบในตัวอย่างไม่ระเหยด้วยวิธีเพอร์แวปอเรชัน (pervaporation) ซึ่งทำให้เอทานอลและกลีเซอรอลระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการวิเคราะห์กลีเซอรอลนั้นอาศัยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลีเซอรอลกับเอนไซม์กลีเซอรอลดีไฮโดรจีเนส (glycerol dehydrogenase) และใช้เบต้าไนโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ ( $\beta\text{-NADH}^+$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคฟลูออโรสเปกโตรสโกปีที่มีความยาวคลื่น ( $\lambda_{em}$ ) 460 นาโนเมตร เมื่อใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น ( $\lambda_{ex}$ ) เท่ากับ 340 นาโนเมตร ในส่วนของกระบวนการวิเคราะห์เอทานอลจะอาศัยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.054 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 8.0 โมลาร์ จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์  $\text{Cr}^{3+}$  ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลจากการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่ากราฟมาตรฐานของเอทานอลมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร และกลีเซอรอล 2-8 กรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.50 โดยปริมาตร และความเข้มข้น 1.50 กรัมต่อลิตร สำหรับเอทานอล และกลีเซอรอล ตามลำดับ ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ของสารทั้ง 2 ชนิด (%RSD) อยู่ในช่วง 2.0-3.0 สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 6 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และเมื่อนำวิธีที่

พัฒนาขึ้นไปวิเคราะห์เอทานอลและกรีเซอรอลในตัวอย่างไวน์ พบว่าให้ผลการวิเคราะห์ที่มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยระบบการกลั่นโดยตรวจวัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ด้วยเทคนิคสเปกโทโฟโตเมตรีและเทคนิคไอออนเอ็กซ์เซนจ์โครมาโตกราฟีสำหรับการวิเคราะห์กรีเซอรอล

ในปี ค.ศ. 2006 Vicente และคณะ (Vicente; et al. 2006: 23-29) ได้ออกแบบระบบโพลีอินเจกชันอะนาลิซิสสำหรับวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างไวน์แดง วิสกี้ และบรันดี โดยใช้ระบบการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแก๊สดิฟฟิวชันก่อนทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.30 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 4.0 โมลาร์ จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของ  $\text{Cr}^{3+}$  ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0-50 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) มีค่าน้อยกว่า 2.0 และพบว่าสามารถนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างจริงได้เป็นอย่างดี โดยสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 30 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ซึ่งมีความรวดเร็วกว่างานวิจัยที่นำเสนอก่อนหน้านี้

และในปีเดียวกัน Choengchan และคณะ (Choengchan; et al. 2006: 33-37) ได้ออกแบบระบบโพลีอินเจกชันอะนาลิซิสสำหรับวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทต่างๆ ได้แก่ ไวน์แดง ไวน์ขาว เบียร์ เหล้าสาเก และสุรากลั่น เป็นต้น โดยใช้ระบบการเตรียมตัวอย่างแบบออนไลน์ด้วยวิธีแก๊สดิฟฟิวชันแบบไร้เยื่อเลือกผ่าน (membraneless gas diffusion) เป็นระบบที่สามารถแยกเอทานอลออกจากสารบวกรวมในตัวอย่างได้ โดยอาศัยการแพร่ผ่านของเอทานอลเข้าไปสู่กระแสของรีเอเจนต์โพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.030 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.50 โมลาร์ จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์  $\text{Cr}^{3+}$  ที่เกิดขึ้น ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.30-30 โดยปริมาตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.27 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) เท่ากับ 0.50 ค่าร้อยละการคืนกลับของตัวอย่างอยู่ในช่วงร้อยละ 92.50-109.0 โดยปริมาตร และเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้มีความไวที่ดีสามารถตรวจวัดเอทานอลที่ความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่าระบบแก๊สดิฟฟิวชันแบบใช้เยื่อเลือกผ่าน และสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างจริงได้ 16 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

ในปี ค.ศ. 2009 Muncharoen และคณะ (Muncharoen; et al. 2009: 203-210) ได้ออกแบบระบบโพลีอินเจคชันอะนาไลซิสสำหรับวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยนำตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์มาทำการสกัดด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลวโดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวสกัด จากนั้นนำเข้าสู่ระบบการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแก๊สดีฟิวชันแบบไร้เยื่อเลือกผ่านก่อนทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.20 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 4.0 โมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์  $Cr^{3+}$  ที่เกิดขึ้น ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร พบว่าได้กราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 3-80 โดยปริมาตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.9 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) อยู่ในช่วง 1.0-4.9 สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 26 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และเมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในปี ค.ศ. 2011 Pinyou และคณะ (Pinyou; Youngvises; & Jakmune. 2011: 745-751) ได้ออกแบบวิธีการวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้ระบบโพลีอินเจคชันอะนาไลซิส โดยนำตัวอย่างมาเจือจางก่อนนำเข้าสู่ระบบโพลีอินเจคชันที่ต่อกับอุปกรณ์การเตรียมตัวอย่างแบบแก๊สดีฟิวชัน ไอของเอทานอลจะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรดที่ระดับความเข้มข้น 0.04 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ได้ผลิตภัณฑ์ขั้นกลางซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนที่มีสีแดง (intermediate product) แล้วทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ขั้นกลางที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ภายในเวลา 3 นาที ผลการจากตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.1-10 โดยปริมาตร ( $R^2 > 0.9993$ ) ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.03 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) มีค่าน้อยกว่า 1.3 และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในตัวอย่างบรันดี สก๊อตวิสกี เหล้าขาวกลั่น วิสกี้ จิน รัม ไวน์แดง ไวน์ขาว ไวน์ลินี่ เบียร์ และเบียร์ดำได้เป็นสำเร็จ โดยให้ความเร็วในการวิเคราะห์ 20 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และเมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในปี ค.ศ. 2013 Silva และคณะ (Silva; et al. 2013: 118-122) ได้ออกแบบระบบโพลีอินเจกชันอะนาไลซิสที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ซัลไฟด์ ( $S^2$ ) ซัลไฟต์ ( $SO_3^-$ ) และเอทานอลได้ภายในระบบเดียวกัน โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารที่ต้องการวิเคราะห์และรีเอเจนต์ที่จำเพาะกับสารที่ต้องการวิเคราะห์นั้น สำหรับการวิเคราะห์ซัลไฟด์จะใช้สารละลาย N,N-dimethyl-p-phenylene diamine เป็นรีเอเจนต์ การวิเคราะห์ซัลไฟต์ใช้สารละลายมาลาไคท์กรีน (malachite green) เป็นรีเอเจนต์ และการวิเคราะห์เอทานอลจะอาศัยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.30 โมลาร์ ในสารละลายกรด และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของซัลไฟด์ ซัลไฟต์ และเอทานอล ที่ความยาวคลื่น 668 620 และ 600 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ 0.035 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการตรวจวัดซัลไฟต์ และซัลไฟต์ ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของเอทานอลมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.18 โดยปริมาตร และระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ซัลไฟด์ ซัลไฟต์ และเอทานอลในตัวอย่างไวน์หมักได้ 15 57 และ 29 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ตามลำดับ

### 5.3 การวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคซีควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิส

ในปี ค.ศ. 2003 Fletcher และคณะ (Fletcher; & Staden. 2003: 123-128) ได้ออกแบบระบบซีควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิสสำหรับวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างสก็อตวิสกี้ จิน วอดก้า โดยนำตัวอย่างมาเจือจางลงก่อนนำเข้าสู่ระบบและทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.20 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 4.0 โมลาร์ จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของ  $Cr^{3+}$  ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-6 โดยปริมาตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้เท่ากับร้อยละ 0.09 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) มีค่าน้อยกว่า 1.0 และวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 19 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และใช้ปริมาณของสารเคมีน้อยกว่าเทคนิคโพลีอินเจกชันอะนาไลซิสจากงานวิจัยที่นำเสนอก่อนหน้านี้

ในปี ค.ศ. 2013 Ratanawimarnwong และคณะ (Ratanawimarnwong; et al. 2013: 61-67) ทำการออกแบบอุปกรณ์ไอระเหยแบบไร้เยื่อเลือกผ่านแบบใหม่ (dual chamber membrane less vaporization; MBL-VP) ที่เชื่อมต่อกับระบบ FIA และระบบ SIA เพื่อเทียบกับการเชื่อมต่อกับระบบ SIA อย่างเดียว สำหรับการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างยาสมุนไพรไทยสำหรับสตรี ยาจากสมุนไพรจีนชนิดน้ำ สุราไทย และไวน์ไทย (สาโท) โดยสามารถฉีดตัวอย่างเข้าสู่ระบบได้โดยตรง ยกเว้นยาสมุนไพรที่ต้องผ่านการกรองก่อนฉีดเข้าระบบการวิเคราะห์ โดยอุปกรณ์ไอระเหยที่ออกแบบให้เชื่อมต่อกับระบบ FIA ร่วมกับระบบ SIA จะใช้เพอร์ริสตาลติกปั๊มในการควบคุมการไหลของสารละลายตัวอย่างผ่านวาล์ว 6 ทาง ไปยังอุปกรณ์ MBL-VP เพื่อเข้าสู่ระบบ และใช้ปั๊มแบบเข็มฉีดนำสารละลายรีเอเจนต์ (สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.20 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 4.0 โมลาร์) เข้าสู่ระบบผ่านวาล์ว 8 ทาง ส่วนอุปกรณ์ MBL-VP ที่ออกแบบให้เชื่อมต่อกับระบบ SIA เพียงอย่างเดียวนั้นจะใช้ปั๊มแบบเข็มฉีดในควบคุมการไหลของทั้งสารละลายตัวอย่างและสารละลายรีเอเจนต์ผ่านวาล์ว 8 ทาง จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์  $Cr^{3+}$  ที่เกิดขึ้น ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 5-50 โดยปริมาตร โดยการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ MBL-VP กับระบบ SIA เพียงอย่างเดียวจะใช้เวลาในการวิเคราะห์นานกว่า โดยสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 17 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ในขณะที่การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ MBL-VP เข้ากับระบบ FIA ร่วมกับระบบ SIA สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ถึง 25 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้เท่ากับร้อยละ 2.68 โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) มีค่าน้อยกว่า 3.70 และเมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างจริงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในปี ค.ศ. 2014 Šrámková และคณะ (Šrámková; et al. 2014: 53-60) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างไวน์แดง ไวน์ขาว และไวน์กุหลาบ โดยใช้ระบบซีควอนเซียลอินเจกชันอะนาลิซิส โดยนำตัวอย่างมาเจือจางลงก่อนนำเข้าสู่เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวหยดเดี่ยวแบบเฮดสเปซ (head-space single drop microextraction) และทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.003 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 8.0 โมลาร์ และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงลดลงของผลิตภัณฑ์  $Cr^{6+}$  ที่ความยาวคลื่น 447 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ ผลการวิจัยพบว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.25-1.50 โดยปริมาตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ  $0.084 \pm 0.13$  โดยปริมาตร ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) มีค่าน้อยกว่า 4.0 สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 12

ตัวอย่างต่อชั่วโมง และใช้ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตน้อยกว่าเทคนิคซีควอนเซียลอินเจคชันอะนาลิซิสจากงานวิจัยที่นำเสนอก่อนหน้านี้ เมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างจริงพบว่ามีความใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

#### 5.4 การวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคไมโครฟลูอิดิก

ในปี ค.ศ. 2008 Lei และ Chen (Lei; Mattos; & Chen. 2008: 1318–1320) ทำการพัฒนาอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกร่วมกับการตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโทโฟโตเมตรีสำหรับการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ สุราจีน รัม วิสกี้ ไวน์องุ่น อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกถูกสร้างขึ้นด้วยเทคนิคซอฟต์ลิโธกราฟี (soft lithography) โดยมีลักษณะของท่อเป็นรูปตัววาย (Y-shape) ประกอบด้วยช่องทางเข้าและออกของสารละลาย และมีตำแหน่งสำหรับการตรวจวัดที่บริเวณด้านปลายของท่อซึ่งถูกเชื่อมต่อกับไฟเบอร์ออปติกส์ของเครื่องสเปกโทโฟโตมิเตอร์ ใช้ปั๊มแบบเข็มฉีดควบคุมการไหลของสารละลายรีเอเจนต์และสารละลายตัวอย่าง กำหนดอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 50 ไมโครลิตรต่อนาที และอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 6.0 โมลาร์ จากนั้นตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์  $\text{Cr}^{3+}$  ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ผลการวิจัยพบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ศึกษาอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0-6 โดยปริมาตร ใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างและสารละลายรีเอเจนต์น้อยกว่า 20 มิลลิลิตร เมื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์พบว่าได้ผลการวิเคราะห์ต่ำกว่าค่าอ้างอิงเล็กน้อย

จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยที่ผ่านมา นักวิจัยส่วนใหญ่ได้พยายามพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เอทานอลให้เป็นระบบอัตโนมัติมากขึ้น เพื่อให้ได้วิธีการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และลดปริมาณการใช้สารเคมีทั้งการใช้เทคนิคโพลินเจคชันอะนาลิซิส เทคนิคซีควอนเซียลอินเจคชันอะนาลิซิส และเทคนิคไมโครฟลูอิดิก ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกเทคนิคมักนิยมพัฒนาพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีโดยนิยมใช้สารละลาย Cr(VI) เป็นรีเอเจนต์ อย่างไรก็ตามเทคนิคเหล่านี้ยังคงใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สะดวกต่อการพกพาไปวิเคราะห์ภาคสนาม แม้กระทั่งเทคนิคไมโครฟลูอิดิกก็มีกระบวนการสร้างชิพที่ค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เครื่องมือในการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่มีราคาสูง อีกทั้งวิธีการวิเคราะห์ยังคงขาดการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์ อย่างครบถ้วนทุกด้านก่อนนำมาใช้วิเคราะห์ในตัวอย่าง นอกจากนี้การใช้สารละลาย Cr(VI) มีความเป็นพิษสูง และไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธี

คัลเลอร์เมตริ์ และใช้ปฏิกิริยาเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสนใจศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลกับซีริกแอมโมเนียมไนเตรตสำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และมุ่งเน้นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่สามารถออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปได้เองในห้องปฏิบัติการโดยใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ มีวิธีการสร้างแม่พิมพ์และอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปไม่ยุ่งยากเพื่อให้ได้ระบบการวิเคราะห์ที่ทำได้สะดวก รวดเร็ว ราคาถูก ใช้สารตัวอย่างและสารเคมีในปริมาณน้อย และมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น



### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
2. การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพ ร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี
3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล
4. การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น
5. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และตัวอย่าง น้ำมันแก๊สโซฮอล์ และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

### 1. อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

#### 1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมด้วยตัวตรวจวัดชนิดเฟรมไอออไนเซชัน (flame ionization detector) รุ่น GC-2014 จากบริษัท Shimadzu
- เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-2450 จากบริษัท Shimadzu
- เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-1000 จากบริษัท Thermo separation
- เครื่องแปลงสัญญาณ รุ่น PC710 และซอร์ฟแวร์ รุ่น 1.11 จากบริษัท Sanwa
- เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน รุ่น Labostar จากบริษัท Siemens
- เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น MS204S จากบริษัท Mettler Toledo
- คอลัมน์ชนิด porapak type Q ขนาดความยาว 2 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 3.2 มิลลิเมตร
- ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert จากบริษัท SCILUTION
- บั๊มสุญญากาศ (vacuum system pump) รุ่น B-169 จากบริษัท BUCHI
- พ็อกเก็ตปั๊ม (pocket pump) รุ่น HPN200 จากบริษัท Yabegawa Elec.I.
- โถดูดความชื้นแบบสุญญากาศ (vacuum desiccator) รุ่น GL32 จากบริษัท Glaswerk Wertheim
- ท่อพลาสติกชนิดเทฟลอน (teflon หรือ PTFE tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.75 มิลลิเมตร จากบริษัท VICI

- เข็มฉีดยาละลาย ขนาด 10 ไมโครลิตร จากบริษัท Hamilton
- แผ่นพลาสติกอะคริลิก ขนาดความกว้าง 53.0 มิลลิเมตร ความยาว 90.0 มิลลิเมตร และความหนา 0.80 มิลลิเมตร จากบริษัท Gointerrich Co.,Ltd

## 1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- ซิลิโคนหรือพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (Sylgard<sup>®</sup>184 Silicone elastomer Base) จากบริษัท Dow Corning Corporation
- น้ำยาเร่งให้แข็ง (Sylgard<sup>®</sup>184 Silicone elastomer curing agent) จากบริษัท Dow Corning Corporation
- กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid; สูตรเคมี  $H_2SO_4$ ) จากบริษัท QReC<sup>®</sup> Chemicals Ltd.
- กรดไนตริก (nitric acid; สูตรเคมี  $HNO_3$ ) จากบริษัท Macron<sup>™</sup> chemicals
- ซีริกแอมโมเนียมไนเตรต (ceric ammonium nitrate; สูตรเคมี  $Ce(NH_4)_2(NO_3)_6$ ) จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Ltd.
- โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate; สูตรเคมี  $K_2Cr_2O_7$ ) จากบริษัท Ajax Fine chem Pty.Ltd.
- โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate; สูตรเคมี  $KMnO_4$ ) จากบริษัท Ajax Finechem Pty.Ltd.
- เอทานอลบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.95 (ethanol; สูตรเคมี  $CH_3CH_2OH$ ) จากบริษัท QReC<sup>®</sup>
- ไอโซโพรพานอล ร้อยละ 99.95 (isopropanol; สูตรเคมี  $CH_3CH_2CH_2OH$ ) จากบริษัท QReC<sup>®</sup>

## 1.3 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องตีแม่เหล็กออสซิล (วิสกี้ไทย และเบียร์) และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ประเภท E10 E20 และ E85) ที่มีวางจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

### 1.1 การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดเอทานอล

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต โดยนำมาเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในระบบแบตเตอรี่ ด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทสโกปี โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.1.1 ปิเปตสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.30 โมลาร์ ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ลงในคิวเวตต์

1.1.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ลงในคิวเวตต์ ข้อ 1.1.1 ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน

1.1.3 ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร พร้อมบันทึกสเปกตรัมเพื่อหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด ( $\lambda_{max}$ )

1.1.4 ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอลช่วงความเข้มข้นร้อยละ 5-20 โดยปริมาตร ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ลงในคิวเวตต์ข้อ 1.1.1 ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน

1.1.5 วัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น  $\lambda_{max}$  ที่ระยะเวลา 1.0 นาที

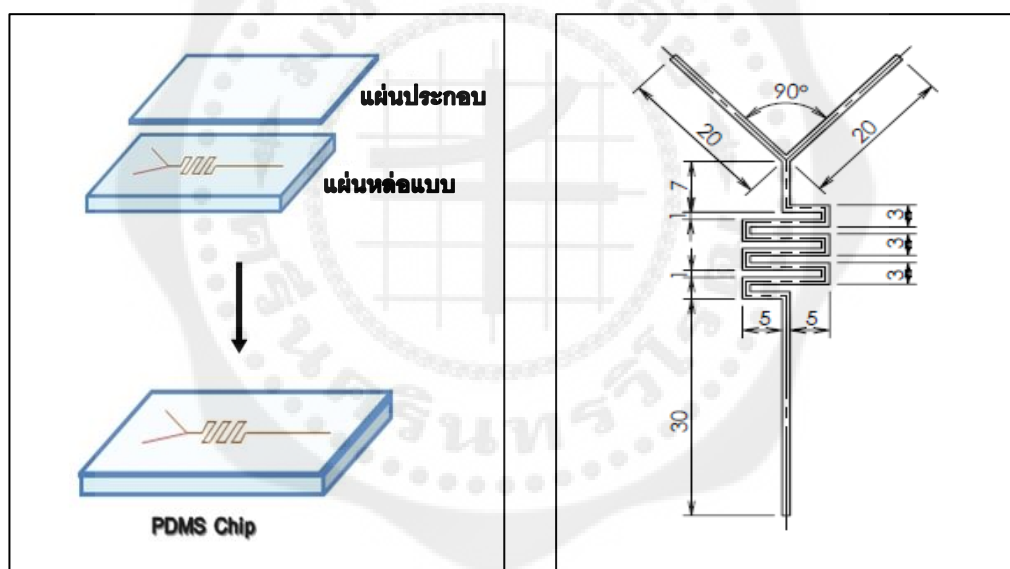
1.1.6 สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล

1.1.7 ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1.1.1-1.1.6 โดยเปลี่ยนจากสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเป็นสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.30 โมลาร์ และ 0.0030 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 4.0 โมลาร์ และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.0020 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3.0 โมลาร์ ตามลำดับ

1.1.8 เปรียบเทียบกราฟมาตรฐานที่ได้จากการใช้สารละลายรีเจนต์ชนิดต่างๆ เพื่อหาปฏิกิริยาที่มีความไวในการวิเคราะห์ (sensitivity) ที่เหมาะสมที่สุด

## 1.2 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถสร้างขึ้นเองได้ภายในห้องปฏิบัติการทั่วไป มีลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 7ก ประกอบด้วยแผ่นพอลิไดเมทิลไซลอกเซนจำนวน 2 แผ่น แผ่นด้านบนมีลักษณะเป็นแผ่นบางผิวเรียบสำหรับประกอบเพื่อทำเป็นระบบปิด ส่วนแผ่นด้านล่างเป็นแผ่นที่หล่อแบบจากแม่พิมพ์มีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็กสำหรับให้สารละลายเคลื่อนที่ โดยรูปแบบและรายละเอียดของท่อ แสดงดังภาพประกอบ 7ข ท่อมีลักษณะเป็นรูปตัววายอย่างง่าย (Y-shape) ประกอบด้วยบริเวณสำหรับให้สารละลายเข้าจำนวน 2 ช่องทางทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน บริเวณสำหรับผสมสารละลายมีลักษณะเป็นแบบขดคดเคี้ยว (serpentine) และบริเวณให้สารละลายไหลออกเพื่อเข้าสู่ระบบการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงจำนวน 1 ช่องทาง โดยกำหนดให้ขนาดของท่อภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพมีความลึก 0.8 มิลลิเมตร และความกว้าง 1.0 มิลลิเมตร



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 7 (ก) แสดงลักษณะของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ และ (ข) แสดงลักษณะรูปแบบของท่อภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ (ความยาวแสดงในหน่วย มิลลิเมตร)



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 8 (ก) แม่พิมพ์ต้นแบบรูปตัววายที่ตัดโดยใช้เทคนิคเลเซอร์คัท และ (ข) อุปกรณ์สำหรับหล่อแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้

สำหรับแม่พิมพ์ต้นแบบรูปตัววายทำจากแผ่นพลาสติกอะคริลิคอย่างบาง สร้างได้โดยเริ่มจากการเขียนแบบโครงสร้างของท่อตามรายละเอียดในภาพประกอบ 7ข ด้วยโปรแกรม AutoCAD เวอร์ชัน 2016 จากนั้นใช้เทคนิคเลเซอร์คัทเพื่อตัดแผ่นอะคริลิคให้ออกมาเป็นรูปตัววายตามรูปแบบที่เขียนไว้ ในการเตรียมแม่พิมพ์ต้นแบบสำหรับใช้หล่อแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสามารถทำได้โดยนำแม่พิมพ์อะคริลิครูปตัววายที่ตัดได้ (ภาพประกอบ 8ก) ไปประกบติดลงบนกล่องพลาสติกพื้นเรียบขนาดความกว้าง 57.0 มิลลิเมตร ความยาว 90.0 มิลลิเมตร และความสูง 7.0 มิลลิเมตร แสดงดังภาพประกอบ 8ข (ด้านซ้าย) จากนั้นทำการหล่ออุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยพอลิไดเมทิลไซลอกเซน โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งของทั้งแผ่นหล่อแบบและแผ่นประกอบ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.2.1 ชั่งน้ำหนักของไดเมทิลไซลอกเซน (Sylgard<sup>®</sup>184 silicone elastomer base) และน้ำยาเร่งให้แข็ง (Sylgard<sup>®</sup>184 silicone elastomer curing agent) ในช่วงอัตราส่วนระหว่าง 10:1.0-10:2.0 จากนั้นใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

1.2.2 นำไปไล่ฟองอากาศด้วยโถดูดความชื้นแบบสูญญากาศ เป็นเวลา 45 นาที

1.2.3 ค่อยๆ เทไดเมทิลไซลอกเซนที่เตรียมได้ลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบสำหรับใช้หล่อ (ภาพประกอบ 8ข ด้านซ้าย)

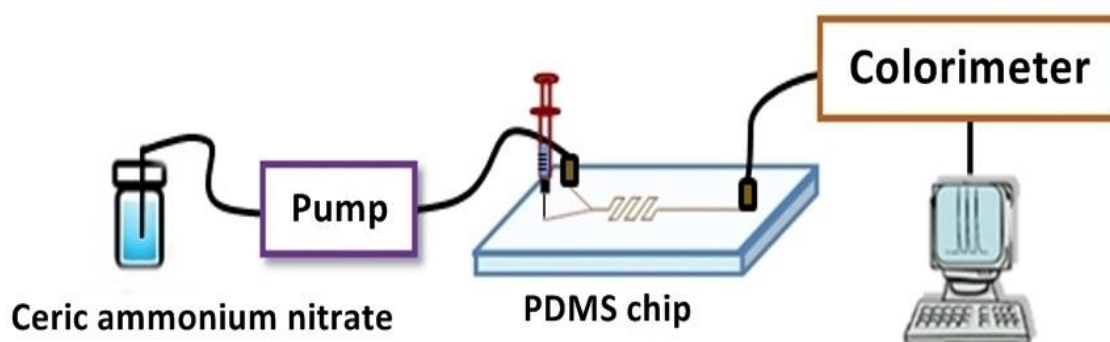
1.2.4 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เพื่อให้พอลิไดเมทิลไซลอคเซนแข็งตัว จากนั้นทำการลอกแผ่นหล่อแบบออกจากแม่พิมพ์

1.2.5 ทำการทดลองในข้อ 1.2.1-1.2.4 ซ้ำอีกครั้งแต่เปลี่ยนอัตราส่วนการผสมของไดเมทิลไซลอคเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งให้อยู่ในช่วงอัตราส่วน 10.0:0.20-10:0.80 และเทลงบนกล่องพลาสติกพื้นเรียบ (ภาพประกอบ 8 ข ด้านขวา) แทนการเทลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบ เพื่อใช้ในการสร้างแผ่นประกอบ

1.2.6 ประกอบแผ่นพอลิไดเมทิลไซลอคเซนทั้ง 2 แผ่น ที่ได้จากข้อ 1.2.4 และ 1.2.5 เข้าด้วยกันแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้แผ่นพอลิไดเมทิลไซลอคเซนทั้ง 2 แผ่นเชื่อมติดกัน

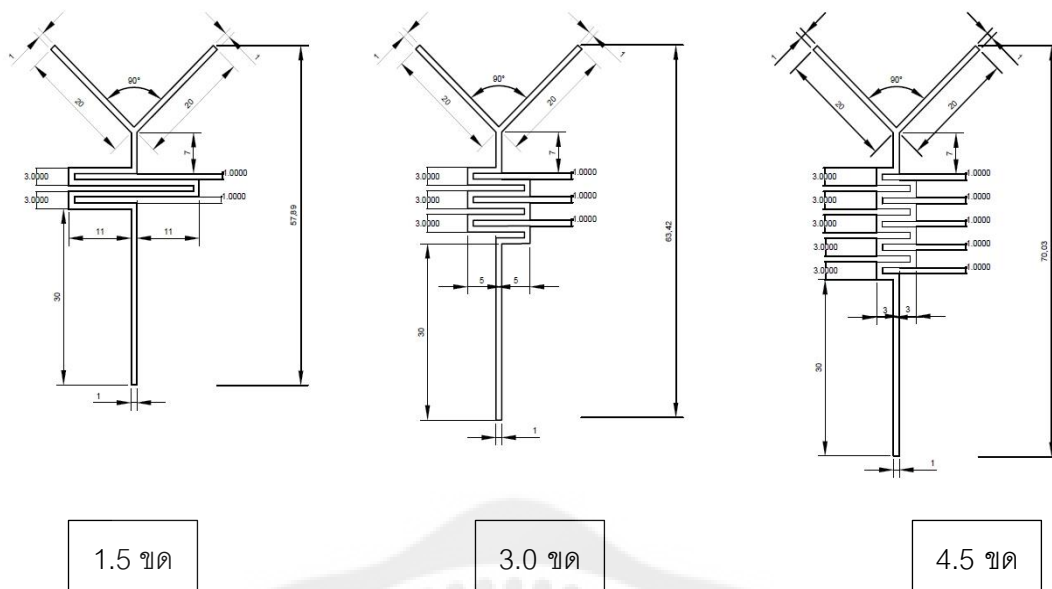
1.3 การออกแบบระบบการวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการวิเคราะห์เอทานอลดังแสดงในภาพประกอบ 9 ซึ่งประกอบด้วยปั๊มขนาดเล็ก เข็มฉีดยาละลาย อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นจากพอลิไดเมทิลไซลอคเซนสำหรับการทำปฏิกิริยาตรวจวัดเอทานอล และเครื่องคัลเลอริมิเตอร์ อุปกรณ์ในระบบทั้งหมดเชื่อมต่อด้วยท่อพลาสติกชนิดเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.75 มิลลิเมตร สำหรับการทำงานของระบบนี้เริ่มจากปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อนพาสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตซึ่งทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ให้ไหลอย่างต่อเนื่องเข้าสู่อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ เมื่อฉีดสารละลายเอทานอลโดยใช้เข็มฉีดยาละลาย สารละลายเอทานอลและสารละลายรีเอเจนต์จะเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณสำหรับผสมที่มีลักษณะเป็นขดคดเคี้ยวเพื่อให้สารละลายเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายรีเอเจนต์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีขึ้น จากนั้นตรวจวัดสัญญาณค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านปลายของท่อโดยใช้เครื่องคัลเลอริมิเตอร์



ภาพประกอบ 9 ระบบการวิเคราะห์ที่ใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

สำหรับการศึกษาลักษณะของท่อผสมภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต ทำการศึกษาจำนวนขดของท่อผสมในช่วง 1.5-4.5 ขด ดังภาพประกอบ 10 โดยใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอลช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรดเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในกรดไนตริกเข้มข้น 0.30 โมลาร์ ปริมาตรของสารละลายเอทานอลเท่ากับ 4.0 ไมโครลิตร และอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 240 ไมโครลิตรต่อนาที ทำการวิเคราะห์โดยใช้ระบบดังภาพประกอบ 9 และบันทึกค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร พร้อมทั้งเปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากการใช้จำนวนขดของท่อผสมที่แตกต่างกัน แล้วเลือกจำนวนขดของท่อผสมที่ให้ค่าสัญญาณการดูดกลืนแสงสูงสุด



ภาพประกอบ 10 รูปแบบและรายละเอียดของท่อผสมภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

## ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล

### 2.1 ความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต

2.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร โดยใช้ตัวทำละลายคือน้ำปราศจากไอออน

2.1.2 เตรียมสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตในช่วงความเข้มข้น 0.09-0.13 โมลาร์ ในตัวทำละลายคือกรดไนตริกเข้มข้น 0.3 โมลาร์

2.1.3 นำสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดมาทำการศึกษาโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ดังกล่าวประกอบ 9 เมื่อใช้ปริมาตรของสารละลายเอทานอลเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร และอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 240 ไมโครลิตรต่อนาที

2.1.4 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตที่ศึกษาเพื่อหาค่าความไวของการวิเคราะห์ซึ่งสามารถดูได้จากค่าความชันของสมการเส้นตรงที่คำนวณได้

2.1.5 เปรียบเทียบค่าความไวในการวิเคราะห์เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตในแต่ละความเข้มข้นที่ศึกษา เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

## 2.2 ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก

2.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร โดยใช้ตัวทำละลายคือน้ำปราศจากไอออน

2.2.2 เตรียมสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตที่ความเข้มข้นที่ 0.12 โมลาร์ โดยใช้ตัวทำละลายคือกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้น 0.0-0.9 โมลาร์

2.2.3 นำสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดมาทำการศึกษาโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ดังภาพประกอบ 9 เมื่อใช้ปริมาตรของสารละลายเอทานอลเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร และอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 240 ไมโครลิตรต่อนาที

2.2.4 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกที่ศึกษา เพื่อหาค่าความไวของการวิเคราะห์

2.2.5 เปรียบเทียบค่าความไวในการวิเคราะห์ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกที่ศึกษา เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด

## 2.3 ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง

2.3.1 เตรียมสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในตัวทำละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์

2.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร ใช้ตัวทำละลายคือน้ำปราศจากไอออน

2.3.3 นำสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดมาทำการศึกษาโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ดังภาพประกอบ 9 เมื่อใช้อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 240 ไมโครลิตรต่อนาที และศึกษาปริมาตรของสารละลายเอทานอลที่ใช้ในช่วง 1.0-5.0 ไมโครลิตร

2.3.4 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลในแต่ละปริมาตรของสารละลายเอทานอลที่ศึกษา เพื่อหาค่าความไวของการวิเคราะห์

2.3.5 เปรียบเทียบค่าความไวของการวิเคราะห์ในแต่ละปริมาตรของสารละลายเอทานอล เพื่อหาปริมาตรของสารละลายที่เหมาะสมที่สุด

## 2.4 อัตราการไหลของสารละลาย

2.4.1 เตรียมสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในตัวทำละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์

2.4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร โดยใช้ตัวทำละลายคือน้ำปราศจากไอออน

2.4.3 นำสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดมาทำการศึกษาโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ดั่งภาพประกอบ 9 เมื่อใช้ปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร และศึกษาอัตราการไหลของสารละลายที่ใช้ในช่วง 60-240 ไมโครลิตรต่อนาที

2.4.4 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่แต่ละอัตราการไหลของสารละลายที่ทำการศึกษา เพื่อหาค่าความไวของการวิเคราะห์

2.4.5 เปรียบเทียบค่าความไวของการวิเคราะห์ในแต่ละอัตราการไหลของสารละลายที่ทำการศึกษา เพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุด

## ตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

### 3.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง

นำสารละลายมาตรฐานเอทานอลในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.30-20 โดยปริมาตร มาฉีดเข้าสู่ระบบห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้น โดยใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรดความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 120 ไมโครลิตรต่อนาที ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ทำการตรวจวัดซ้ำความเข้มข้นละ 3 ครั้ง แล้วสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ตรวจวัดได้และความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเอทานอล

### 3.2 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (LOQ)

ในงานวิจัยนี้คำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้กราฟมาตรฐาน (Shrivastava, A.;& Gupta, V.B. 2011. 21-25) โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ฉีดน้ำปราศจากไอออน ซึ่งใช้เป็นสารละลาย blank เข้าสู่ระบบห้องปฏิบัติการบนซีพีพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้น โดยใช้สภาวะการทดลองเช่นเดียวกับการหาช่วงความเป็นเส้นตรง และทำการตรวจวัดซ้ำจำนวน 10 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ blank ที่ตรวจวัดได้ โดยใช้สูตรดังสมการ (1) (Ashtiwow. 2013: online)

$$S. D. = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}} \quad (1)$$

3.2.2 คำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้สูตรดังสมการ (2)

$$\begin{aligned} \text{LOD} &= 3.3 \text{ S.D.} / \text{slope} \\ \text{LOQ} &= 10 \text{ S.D.} / \text{slope} \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ S.D. คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ blank ที่ตรวจวัดได้

Slope คือค่าความชันของกราฟมาตรฐาน

### 3.3 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

#### 3.3.1 ความเที่ยงภายในวันเดียวกัน (intraday precision)

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือร้อยละ 1.0 10.0 และ 20.0 โดยปริมาตร แล้วนำมาฉีดเข้าสู่ระบบการวิเคราะห์ที่ใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนซีพีพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้น โดยใช้สภาวะการทดลองเช่นเดียวกับการหาช่วงความเป็นเส้นตรง ทำการตรวจวัดซ้ำความเข้มข้นละ 5 ครั้ง คำนวณค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (percentage of relative standard deviation; %RSD) ของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ของสารละลายมาตรฐานเอทานอลแต่ละความเข้มข้นที่ศึกษา

### 3.3.2 ความเที่ยงระหว่างวัน (interday precision)

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือร้อยละ 1.0 10.0 และ 20.0 โดยปริมาตร มาฉีดเข้าสู่ระบบการวิเคราะห์ที่ใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้น ทำการตรวจวัดซ้ำเป็นระยะเวลา 5 วันต่อเนื่องกัน คำนวณค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ของสารละลายมาตรฐานเอทานอลในแต่ละความเข้มข้นที่ศึกษาภายในระยะเวลา 5 วัน

### 3.4 ร้อยละของการคืนกลับ (% recovery)

ในการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างที่ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Muncharoen และ Pereira (Muncharoen et al. 2009: 203-210; Pereira et al. 2012: 99-102) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 นำตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์แต่ละประเภทปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร มาเติมสารละลายมาตรฐานเอทานอลให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร

3.4.2 นำสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.4.1 มาสกัดด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction; LLE) ในขวดแก้ว โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดคือน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปิดฝาและเขย่าขวดเบาๆ เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อให้สารละลายแยกชั้นแล้วนำสารละลายในชั้นน้ำมาเจือจาง 5 เท่า ด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำสารละลายเจือจางที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นแล้วคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่เติมลงในตัวอย่างโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณค่าร้อยละของการคืนกลับของวิธีที่พัฒนาขึ้น ทำการตรวจวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

สำหรับการศึกษาค่าร้อยละการคืนกลับในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทำการวิเคราะห์ โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์แต่ละชนิดปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร มาเติมสารละลายมาตรฐานเอทานอลให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปเจือจาง 5 เท่า ด้วยน้ำปราศจากไอออน ก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น คำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่เติมลงในตัวอย่างโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณค่าร้อยละของการคืนกลับของวิธีที่พัฒนาขึ้น ทำการตรวจวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

#### ตอนที่ 4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในการวิเคราะห์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ วิสกี้ไทย และเบียร์ จำนวน 5 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภทต่างๆ ได้แก่ E10 E20 และ E85 จำนวน 7 ตัวอย่าง ซึ่งมีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์แต่ละชนิดปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร สำหรับน้ำมันแก๊สโซฮอล์นำแต่ละตัวอย่างปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร มาสกัดด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลวด้วยวิธีการทดลองตามข้อ 3.4.2 จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างทั้งหมดมาเจือจาง 5 เท่า ด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้ระบบการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

4.2 ทำการวิเคราะห์ซ้ำจำนวน 3 ครั้ง พร้อมบันทึกค่าความเข้มของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในแต่ละตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

4.3 นำสารละลายตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งใช้เป็นวิธีอ้างอิง (Šrámková; et al. 2014: 53-60) โดยมีสภาวะการแยกดังต่อไปนี้

- คอลัมน์ชนิด porapak type Q ขนาดความยาว 2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.2 มิลลิเมตร

- แก๊สตัวพา คือ แก๊สไนโตรเจน

- อัตราการไหลของแก๊ส 25 มิลลิลิตรต่อนาที

- ตัวตรวจวัด คือ flame ionization detector (FID)

- ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง 2.0 ไมโครลิตร

- อุณหภูมิของส่วนสำหรับฉีดสาร ตัวตรวจวัด และตู้อบซึ่งเป็นส่วนสำหรับบรรจุ

คอลัมน์เท่ากับ 210 220 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ก่อนการวิเคราะห์ทำการเจือจางตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ 20 เท่า ด้วยน้ำปราศจากไอออน สำหรับตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์นำไปสกัดด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลวตามข้อ 3.4.2 แล้วเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน 25 เท่า ก่อนทำการวิเคราะห์ โดยฉีดแต่ละตัวอย่างเข้าสู่ระบบแก๊สโครมาโทกราฟี พร้อมบันทึกโครมาโทแกรมและสัญญาณพื้นที่ใต้พีค ทำการวิเคราะห์ซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เพื่อคำนวณหาปริมาณเอทานอลในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นข้อ 4.2 กับการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ข้อ 4.3 โดยใช้สถิติ paired t-test

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ โดยผู้วิจัยขอแนะนำเสนอผลการวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

**ตอนที่ 1** การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

**ตอนที่ 2** การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล

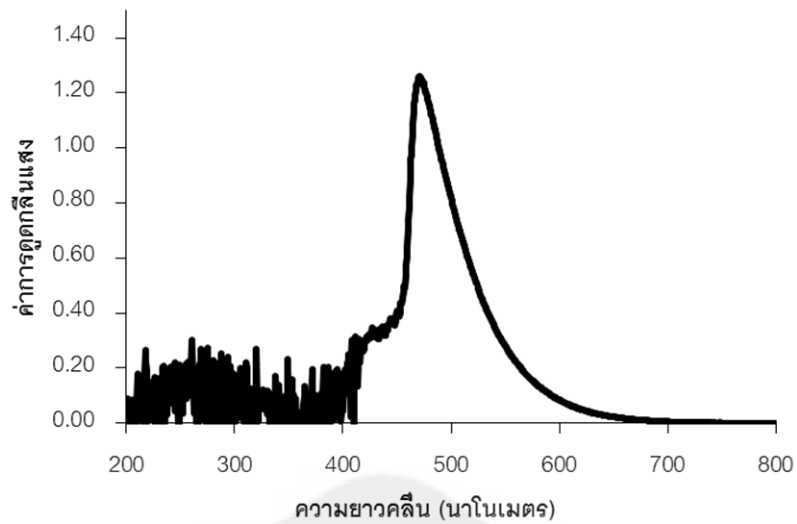
**ตอนที่ 3** การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

**ตอนที่ 4** การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

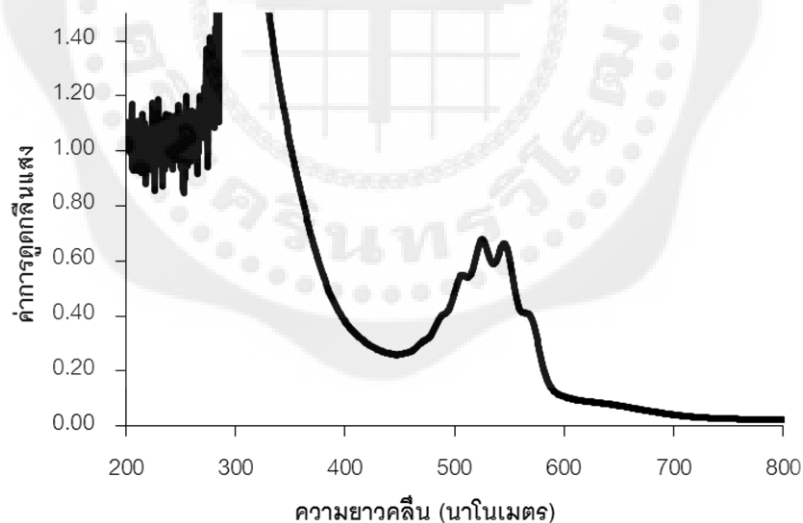
**ตอนที่ 1** การออกแบบและพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

1.1 การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดเอทานอล

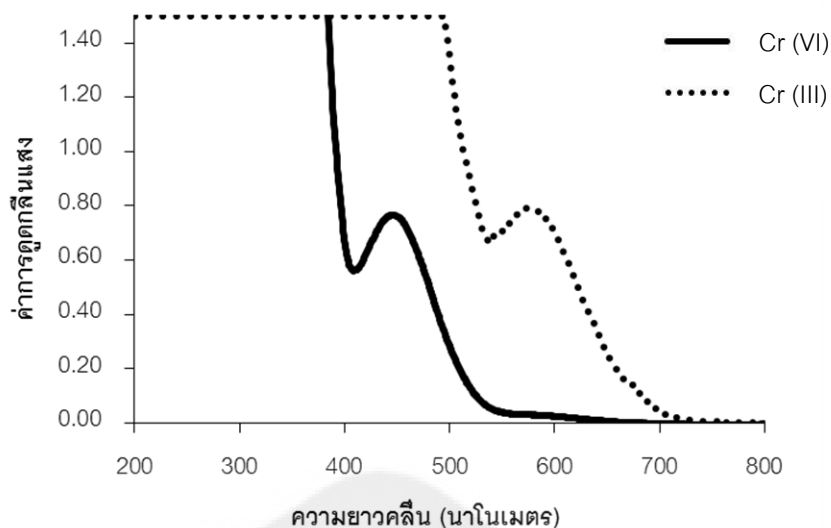
ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารละลายเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความไวในการวิเคราะห์ที่ดี และรีเอเจนต์มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Pinyou; Youngvises; & Jakmune. 2011: 745-751) กับการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารละลายเอทานอลกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตและสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้โดยทั่วไป ผลการศึกษาหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดของแต่ละปฏิกิริยาด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทสโกปีแสดงดังภาพประกอบ 11-13 พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารละลายเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด ( $\lambda_{max}$ ) เท่ากับ 470 นาโนเมตร ในขณะที่การใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสามารถตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของสารตั้งต้น Cr(VI) และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ Cr(III) ได้ พบว่ามีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 446 นาโนเมตร และ 575 นาโนเมตร ตามลำดับ สำหรับการใส่สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสามารถติดตามค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของสารตั้งต้น  $MnO_4^-$  ซึ่งมีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 525 นาโนเมตร



ภาพประกอบ 11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร กับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริก 0.30 โมลาร์



ภาพประกอบ 12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.0020 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 3.0 โมลาร์



ภาพประกอบ 13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร กับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.30 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 4.0 โมลาร์ (.....) และสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.0030 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 4.0 โมลาร์ (—)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความไวในการวิเคราะห์ของการใช้รีเอเจนต์ทั้ง 3 ชนิดในการทำปฏิกิริยากับสารละลายเอทานอลในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 5-20 โดยปริมาตร เมื่อทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่  $\lambda_{max}$  ในระยะเวลา 1 นาที หลังจากทำปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงดังตาราง 2 จะเห็นได้ว่าการใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมในเตรตสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนและรวดเร็ว และมีความไวในการวิเคราะห์สูงสุดโดยพิจารณาได้จากค่าความชันของกราฟ สำหรับการใส่สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตถึงแม้ว่าการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นของ Cr(III) จะมีความไวในการวิเคราะห์สูงกว่าการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของ Cr(VI) แต่ยังคงไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนภายในระยะเวลา 1 นาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยก่อนหน้า (Šrámková; et al. 2014: 53-60) สำหรับการใส่สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตน้อยกว่ารีเอเจนต์ชนิดอื่นๆ แต่ไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของสารตั้งต้นได้อย่างชัดเจนภายในเวลา 1 นาที เช่นเดียวกัน อีกทั้งยังทำให้เกิดคราบตะกอนสีน้ำตาลของ  $MnO_2$  จึงไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้กับอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้

ตาราง 2 ผลการศึกษาความไวของปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณเอทานอลในช่วงความเข้มข้น  
ร้อยละ 5.0-20 โดยปริมาตร

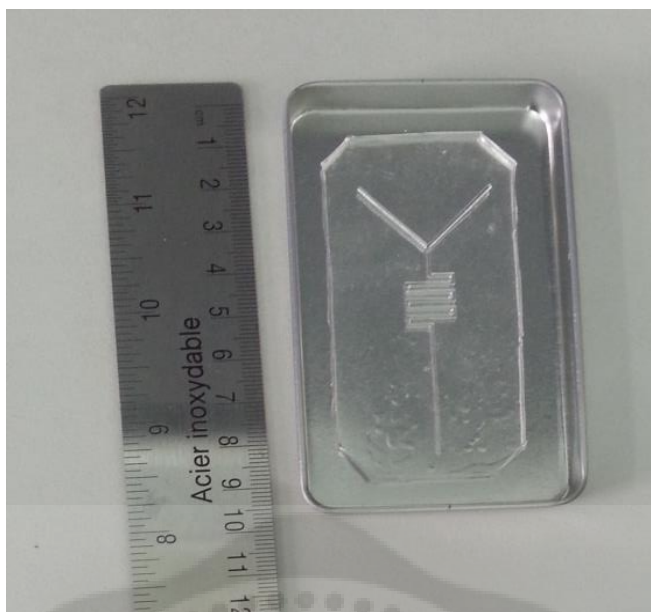
ชนิดของสารละลายรีเอเจนต์	$\lambda_{\max}$	สมการเส้นตรง
สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต	470 nm	$y = 0.0921x - 0.3665$
สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต		
- ความเข้มข้น 0.0030 โมลาร์	446 nm (ติดตาม Cr (VI))	$y = 0.0041x - 0.0128$
- ความเข้มข้น 0.30 โมลาร์	575 nm (ติดตาม Cr (III))	$y = 0.0382x + 0.0588$
สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	525 nm	$y = 0.0192x - 0.0693$

ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์ที่มีความไวในการวิเคราะห์ที่ดี สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจนภายในระยะเวลาสั้นที่สุด และเหมาะสำหรับการนำไปใช้กับอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปสร้างชิ้นมากที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอทานอลกับสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในขั้นตอนการทดลองต่อไป

## 1.2 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิป

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับหล่อแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปให้มีลักษณะเป็นรูปตัววายอย่างง่าย โดยเลือกใช้แผ่นอะคริลิกในการสร้างแม่พิมพ์ต้นแบบเนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ ราคาไม่แพง และใช้เทคนิคเลเซอร์คัทในการตัดแผ่นอะคริลิก ซึ่งเป็นเทคนิคพื้นฐานราคาถูกที่นิยมใช้ในการตัดโลหะและแผ่นพลาสติกในปัจจุบัน การใช้เทคนิคนี้ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความละเอียด แม่นยำสูง ปลายเส้นคมชัด และใช้เวลาที่รวดเร็วในการสร้างชิ้นงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560: ออนไลน์) และได้เลือกใช้พอลิไดเมทิลไซลอกเซนสำหรับหล่อแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิป เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ละลายตัวยาก ทนทานต่อความร้อน มีความยืดหยุ่นสูง สามารถยึดติดกับวัสดุได้ดี เชื้อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และมีราคาไม่แพง (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560: ออนไลน์)

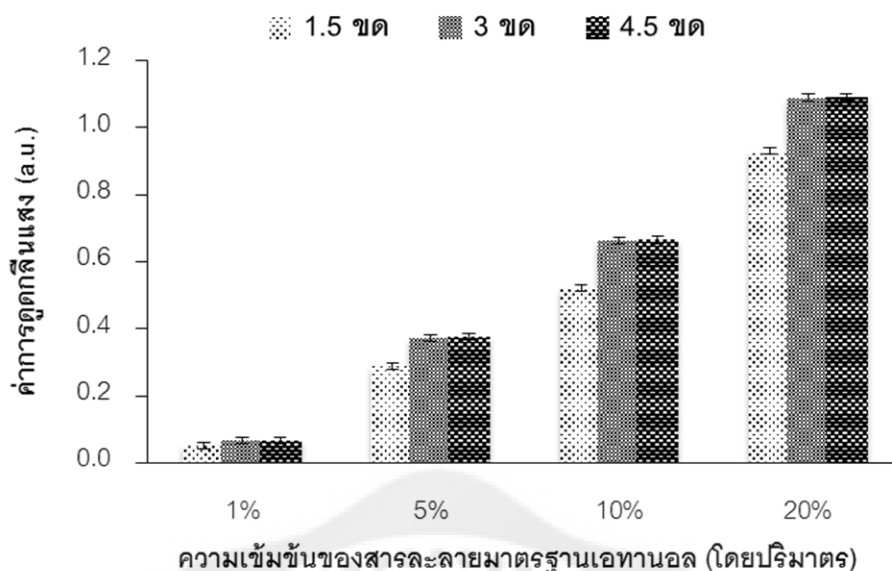
สำหรับการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยพอลิไดเมทิลไซลอกเซนในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งของแผ่นหล่อแบบและแผ่นประกอบในช่วงอัตราส่วนระหว่าง 10:1.0-10:2.0 และในช่วงอัตราส่วนระหว่าง 10:0.2-10:0.8 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการเตรียมแผ่นหล่อแบบโดยใช้อัตราส่วนระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งในอัตราส่วนน้อยเกินไป ทำให้การลอกแผ่นพอลิเมอร์ออกจากแม่พิมพ์เกิดการฉีกขาดได้ง่าย เนื่องจากแผ่นหล่อแบบมีความยืดหยุ่นมากเกินไป อีกทั้งยังมีผลต่อรูปแบบของท่อภายในแผ่นหล่อแบบทำให้มีลักษณะรูปทรงบิดเบี้ยวได้ง่าย สำหรับการเตรียมแผ่นประกอบเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งในอัตราส่วนน้อยเกินไป ทำให้การลอกแผ่นออกจากแม่พิมพ์เกิดการฉีกขาดได้ง่ายเช่นเดียวกัน แต่ถ้าใช้อัตราส่วนระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งในอัตราส่วนมากเกินไปส่งผลต่อการเชื่อมติดกันระหว่างแผ่นหล่อแบบและแผ่นประกอบ ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารละลายบริเวณที่เป็นรอยต่อของแผ่นทั้งสองชนิดได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเตรียมแผ่นหล่อแบบโดยเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งที่อัตราส่วน 10:1.5 โดยน้ำหนัก และเตรียมแผ่นประกอบโดยเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างไดเมทิลไซลอกเซนต่อน้ำยาเร่งให้แข็งที่อัตราส่วน 10:0.4 โดยน้ำหนัก เพื่อให้สามารถลอกแผ่นหล่อแบบออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย พร้อมทั้งมีความยืดหยุ่นที่เหมาะสมเพียงพอต่อการประกอบและปิดผนึกกับแผ่นประกอบได้แนบสนิทโดยที่ไม่เกิดการรั่วไหลของสารละลายบริเวณรอยต่อ อีกทั้งใช้เวลาในการเตรียมอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพไม่นานเกินไป ลักษณะอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพประกอบ 14 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นนี้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดตามความต้องการเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานได้ อีกทั้งวัสดุที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ในงานวิจัยนี้สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ ราคาถูก และมีกระบวนการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาไม่นาน นอกจากนี้ยังช่วยลดการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่ดีกว่างานวิจัยก่อนหน้า (Lei; Mattos; &Chen. 2008: 1318–1320)



ภาพประกอบ 14 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นเองในงานวิจัยนี้

1.3 ออกแบบระบบการวิเคราะห์เอทานอลโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้น ร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี

จากผลการศึกษาลักษณะของท่อผสมภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสำหรับ วิเคราะห์เอทานอล ซึ่งได้ศึกษาจำนวนขดของท่อผสมในช่วง 1.5-4.5 ขด จากการทดลองพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มจำนวนขดของท่อผสม ภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจาก 1.5 เป็น 3.0 ขด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผสม สารละลาย 2 ชนิด เข้าด้วยกันของท่อผสมภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้ดีมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการใช้จำนวนขดของท่อผสมภายในอุปกรณ์ ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ 3.0 ขด และ 4.5 ขด พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้ใกล้เคียงกัน ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่มีจำนวนขดของท่อผสมภายในเท่ากับ 1.5 3.0 และ 4.5 ขด ตามลำดับ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่มีจำนวนขดของท่อผสมภายในจำนวน 3.0 ขด สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดความกว้าง 40.0 มิลลิเมตร ความยาว 73.0 มิลลิเมตร และความหนา 3.0 มิลลิเมตร เมื่อนำมาใช้ร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคลื่นเลอริเมตรที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นทำให้ได้ระบบการวิเคราะห์ที่แสดงดังภาพประกอบ 16 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

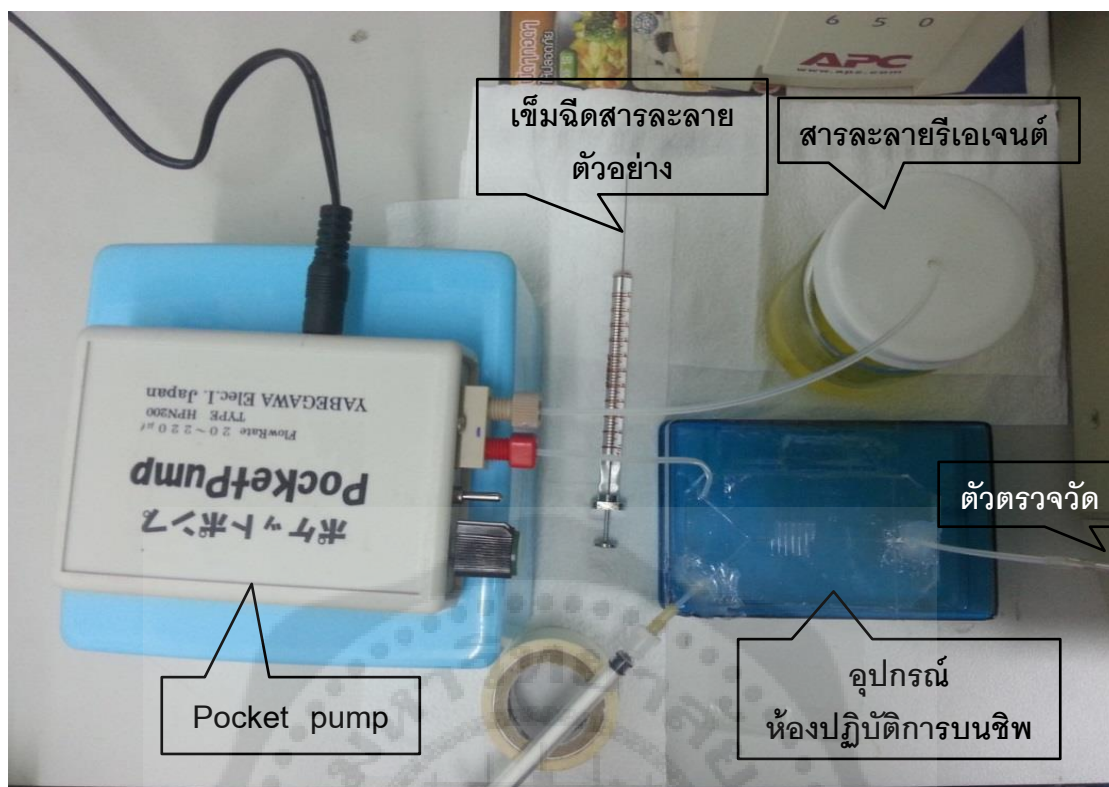
- พ็อกเก็ตปั๊ม ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนพาสารละลายรีเอเจนต์เข้าสู่ระบบโดยต่อกับท่อพลาสติกชนิดเทฟลอนที่มีความยืดหยุ่น

- อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน สำหรับใช้ในการทำปฏิกิริยาตรวจวัดเอทานอล

- เข็มสำหรับฉีดสารละลายตัวอย่าง ขนาด 10 ไมโครลิตร

- คลื่นเลอริเมตรสำหรับการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470

นาโนเมตร



ภาพประกอบ 16 ระบบห้องปฏิบัติการบนชิปพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่ออกแบบและ พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

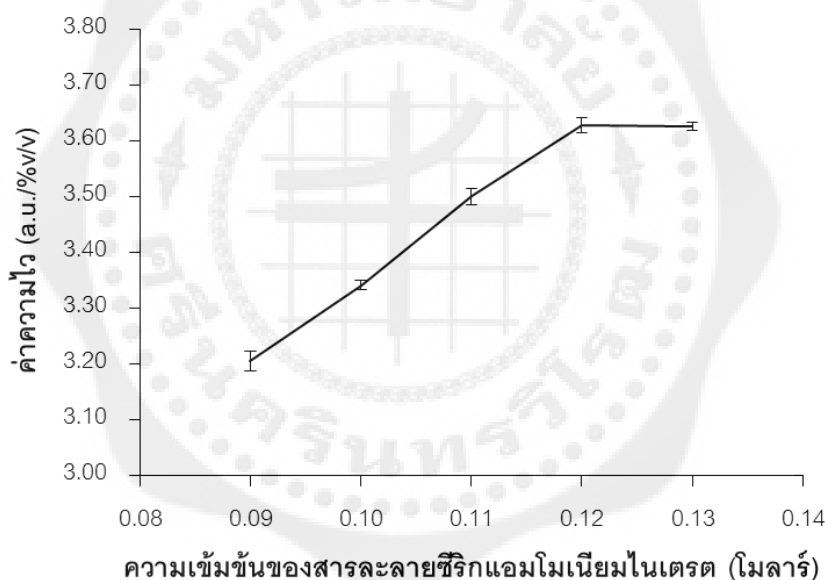
ผลจากการทดลองพบว่าระบบห้องปฏิบัติการบนชิปที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถ ใช้งานได้จริง จึงนำระบบที่พัฒนาขึ้นมาศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ เอทานอลในลำดับต่อไป

## ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เอทานอล

ในงานวิจัยนี้ได้นำระบบห้องปฏิบัติการบนชิปพร้อมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่ พัฒนาขึ้นดังภาพประกอบ 16 มาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์เอทานอล โดยทำการ ศึกษาผลของแต่ละปัจจัยและกำหนดปัจจัยอื่นๆ ให้คงที่ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยความเข้มข้น ของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก ปริมาตรของ สารละลายตัวอย่าง และอัตราการไหลของสารละลาย แสดงตามลำดับดังต่อไปนี้

## 2.1 ความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต

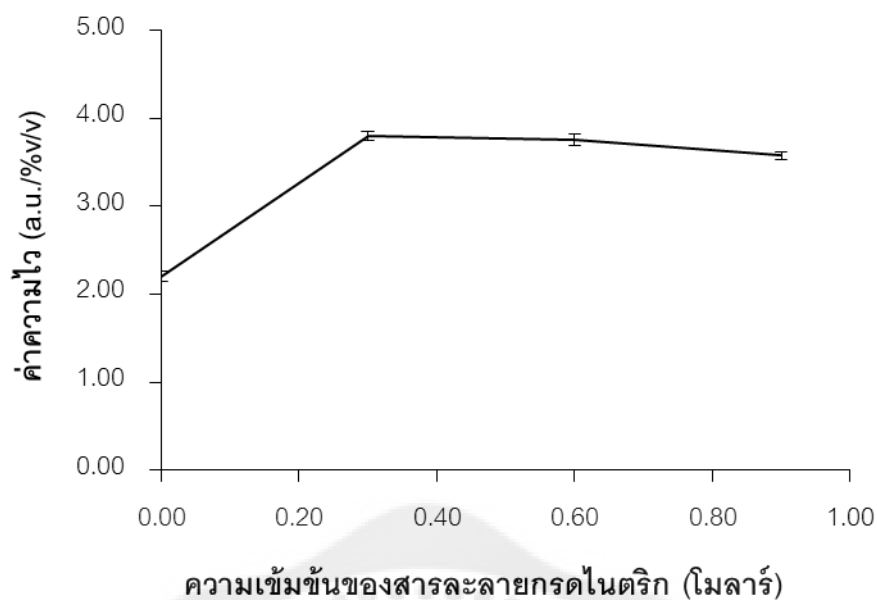
เมื่อทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตในช่วง 0.09-0.13 โมลาร์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอลในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 17 จากผลการศึกษาพบว่าค่าความไวของการวิเคราะห์ซึ่งสามารถหาได้จากความชันของกราฟมาตรฐานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้น 0.09-0.12 โมลาร์ และเริ่มมีค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตมากกว่า 0.12 โมลาร์ ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าความไวในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดและมีการใช้ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตที่มีความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล



ภาพประกอบ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต ในช่วงความเข้มข้น 0.09-0.12 โมลาร์ และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก 0.3 โมลาร์ ปริมาตรของสารละลาย 2.0 ไมโครลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลาย 240 ไมโครลิตรต่อนาที

## 2.2 ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก

ผลจากการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกในช่วง 0.0-0.9 โมลาร์ สำหรับใช้เป็นตัวทำละลายของสารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรต ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-20 โดยปริมาตร และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 18 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สารละลายกรดไนตริกเป็นตัวทำละลายส่งผลให้ค่าความไวในการวิเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากเกลือซีเรียมเป็นไอออนขนาดเล็กที่มีประจุบวก เมื่อละลายอยู่ในน้ำจะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน  $[CeL_m(OH)^{(n-1)+}]$  แต่เมื่อละลายอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังกล่าวจะถูกยับยั้ง และทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน  $[CeL_m(H_2O)^{n+}]$  ซึ่งเอทานอลสามารถเข้าไปแทนที่ลิแกนด์  $H_2O$  ได้ง่ายกว่าลิแกนด์  $OH^-$  ส่งผลทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงของ Ce(IV)-Ethanol ขึ้นได้ง่ายกว่า (Pinyou; Youngvises; & Jakmune. 2011: 745-751) อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกมากกว่า 0.3 โมลาร์ ส่งผลให้ค่าความไวในการวิเคราะห์มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Pinyou; Youngvises; & Jakmune. 2011: 745-751) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้มีค่าความไวในการวิเคราะห์สูงสุด



ภาพประกอบ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้น 0.0-0.9 โมลาร์ และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรด ความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ปริมาตรของสารละลาย 2.0 ไมโครลิตร ที่อัตราการไหลของสารละลาย 240 ไมโครลิตรต่อนาที

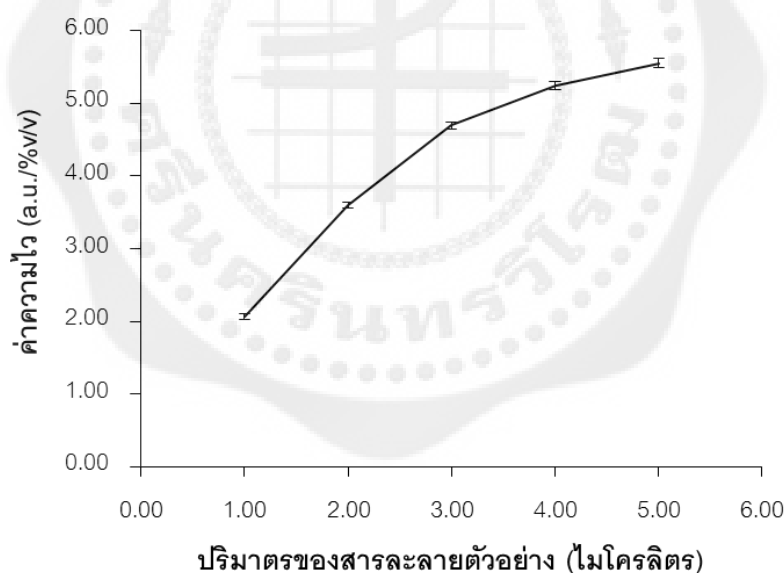
### 2.3 ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง

จากการศึกษาปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในช่วง 1.0-5.0 ไมโครลิตร เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรดความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์ ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอทานอลในช่วงความเข้มข้น 1-20 โดยปริมาตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาตรของสารละลายมีผลทำให้ความไวในการวิเคราะห์ (ค่าความชันของสมการเส้นตรง) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากค่า  $R^2$  พบว่าการเพิ่มปริมาตรของสารละลายมากกว่า 2.0 ไมโครลิตร จะทำให้ค่า  $R^2$  ที่ได้มีค่าลดลงและมีค่าน้อยกว่า 0.999 เนื่องจากการใช้ปริมาตรสารละลายมากขึ้นทำให้ขนาดของท่อนสารละลายตัวอย่าง (sample zone) ที่ได้กว้างขึ้น การผสมกันระหว่างสารละลายตัวอย่างกับสารละลายรีเอเจนต์เกิดได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์จึงมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ปริมาตรของสารละลายมากกว่า 2.0 ไมโครลิตร จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงขึ้นอีกด้วย (ภาพประกอบ 19) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร เนื่องจาก

เป็นสภาวะที่ให้ค่าความไวในการวิเคราะห์เหมาะสม โดยยังคงความถูกต้องและแม่นยำของผลการวิเคราะห์ที่ได้

ตาราง 3 สมการเส้นตรงและค่า  $R^2$  ของกราฟมาตรฐานเมื่อใช้ปริมาณของสารละลายตัวอย่างในช่วง 1.0-5.0 ไมโครลิตร

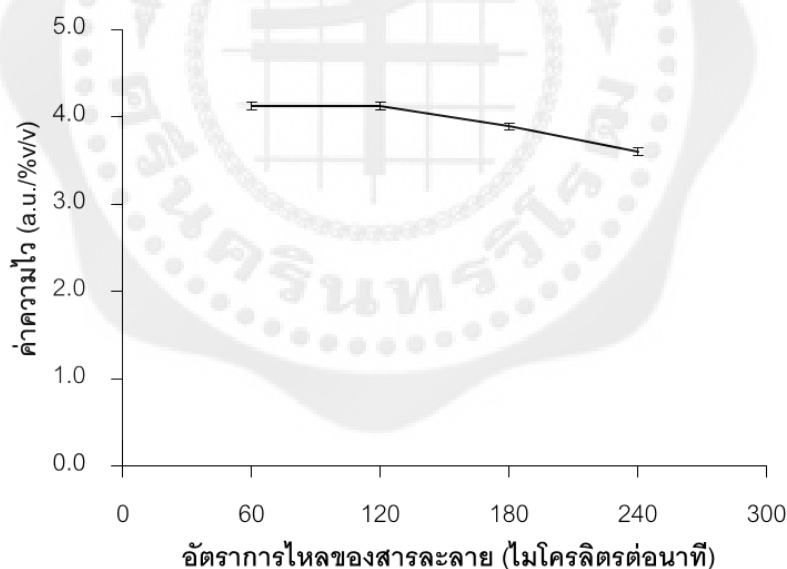
ปริมาณของสารละลายตัวอย่าง (ไมโครลิตร)	สมการเส้นตรง	ค่า $R^2$
1.0	$y = 2.0751x + 0.002$	0.9990
2.0	$y = 3.5969x + 0.0059$	0.9992
3.0	$y = 4.6933x + 0.0342$	0.9950
4.0	$y = 5.2351x + 0.0767$	0.9804
5.0	$y = 5.5798x + 0.1179$	0.9639



ภาพประกอบ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายตัวอย่างในช่วง 1.0-5.0 ไมโครลิตร และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรดความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ สารละลายกรดไนตริกในช่วงความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ที่อัตราการไหลของสารละลาย 240 ไมโครลิตรต่อนาที

## 2.4 อัตราการไหลของสารละลาย

จากการศึกษาอัตราการไหลของสารละลายที่มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์ และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร โดยทำการศึกษ้อัตราการไหลของสารละลายในช่วง 60-240 ไมโครลิตรต่ออนาที ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 20 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายในช่วง 180-240 ไมโครลิตรต่ออนาที มีผลทำให้ค่าความไวในการวิเคราะห์มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อใช้อัตราการไหลสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการผสมระหว่างสารละลายตัวอย่างกับสารละลายรีเอเจนต์เกิดได้น้อยลง จึงส่งผลให้ค่าความไวในการวิเคราะห์ต่ำลง ในขณะที่การใช้อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 60 และ 120 ไมโครลิตรต่ออนาที ทำให้ค่าความไวในการวิเคราะห์สูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 120 ไมโครลิตรต่ออนาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าความไวในการวิเคราะห์สูง ใช้ปริมาณสารละลายรีเอเจนต์น้อย และใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่นานเกินไปซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 30 ตัวอย่างต่อชั่วโมง



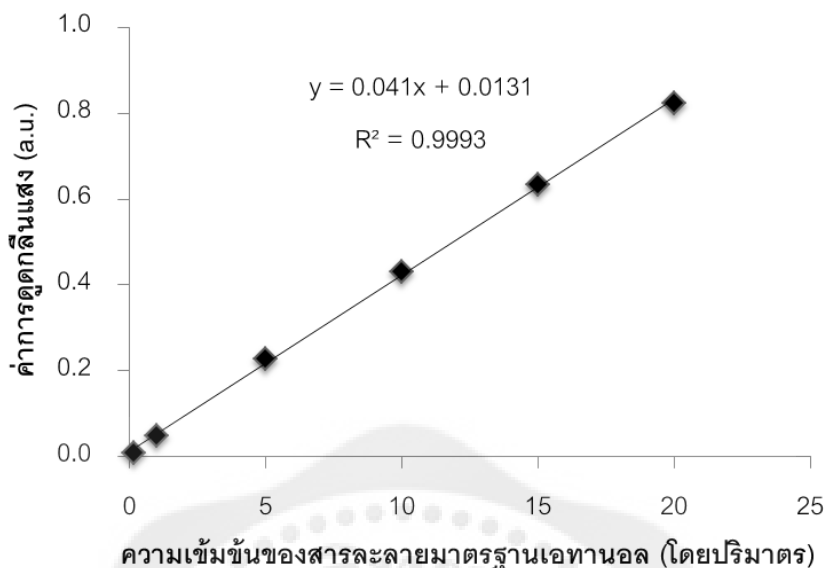
ภาพประกอบ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายในช่วง 60-240 ไมโครลิตรต่ออนาที และค่าความไวในการวิเคราะห์ เมื่อใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์ และปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เหทานอลด้วยระบบห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 120 ไมโครลิตรต่อนาที และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้ระบบไมโครฟลูอิดิกร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี (Lei; Mattos; & Chen. 2008: 1318–1320) จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยดังกล่าวได้เลือกใช้เทคนิคซอฟต์แวร์โฟโตกราฟีในการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยาก ซับซ้อน เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพงกว่า และใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเป็นสารละลายรีเอเจนต์ ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ส่งผลอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (เอ็น เจ เอ็ดธ. 2560: ออนไลน์) ในขณะที่ระบบห้องปฏิบัติการบนชิพที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ง่ายและสะดวก อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ ราคาไม่แพง ดังนั้นวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จึงสามารถช่วยลดขั้นตอน และลดความยุ่งยากซับซ้อนในการสร้างอุปกรณ์แม่พิมพ์และการเตรียมอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพลงได้ ลดการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง เป็นวิธีที่สามารถทำได้รวดเร็ว และใช้ปริมาณสารละลายตัวอย่างและสารละลายรีเอเจนต์น้อย อีกทั้งเลือกใช้ซีริกแอมโมเนียมไนเตรตเป็นสารละลายรีเอเจนต์แทนโพแทสเซียมไดโครเมตจึงเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นอีกด้วย

### ตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

#### 3.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์เหทานอลด้วยระบบห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้น (ภาพประกอบ 16) ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 21 พบว่ากราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเอทานอลมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.3-20 โดยปริมาตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) มากกว่า 0.999 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ( $R^2$  มากกว่า 0.995)



ภาพประกอบ 21 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอลและค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้

### 3.2 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (LOQ)

ในงานวิจัยนี้คำนวณหาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้ 3.3 S.D./slope และ 10 S.D./slope ตามลำดับ (Shrivastava, A.; & Gupta, V.B. 2011. 21-25) ผลการทดลองพบว่าวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมีความไวที่ดี โดยมีค่า LOD และ LOQ เท่ากับร้อยละ 0.039 และ 0.13 โดยปริมาตร ตามลำดับ

### 3.3 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

จากการศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ทั้งความเที่ยงภายในวันเดียวกันซึ่งทำการวิเคราะห์ซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และความเที่ยงระหว่างวันซึ่งทำการวิเคราะห์ซ้ำเป็นระยะเวลา 5 วันต่อเนื่องกัน โดยทำการวิเคราะห์กับสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ของช่วงความเป็นเส้นตรง ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 4 ซึ่งรายงานเป็นค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) พบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงที่ดี โดยมีค่า %RSD ของการวิเคราะห์เอทานอลภายในวันเดียวกันอยู่ในช่วง 0.59-1.40 และระหว่างวันอยู่ในช่วง 0.54-1.44 ซึ่งจะเห็นได้ว่า %RSD ของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งภายในวันเดียวกันและระหว่างวันมีค่าน้อยกว่า 1.50% ซึ่งอยู่ใน

เกณฑ์การยอมรับ (%RSD น้อยกว่า 5%) (เสาวณีย์ กาญจนชุมพล; ดวงกมล วิรุฬห์อุดมผล; และไพศาล จิตธรรม, 2556: ออนไลน์)

ตาราง 4 ผลการศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล (n=5)

ความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร)	ร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ในวันเดียวกัน	ระหว่างวัน
1.00	1.40	1.44
10.0	0.59	0.67
20.0	0.65	0.54

### 3.4 ร้อยละของการคืนกลับ (% recovery)

จากการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานเอทานอล ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร ลงในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (เบียร์ และวิสกี้ไทย) แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนก่อนนำไปวิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10 E20 และ E85) ทำการสกัดด้วยเทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลว โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดคือน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น ผลการทดลองพบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นมีค่าร้อยละของการคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 97.78-107.75 โดยการวิเคราะห์ในตัวอย่างทุกชนิดมีค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้เป็นที่น่าพอใจ (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.29-1.67) แสดงว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์เอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีสิ่งเจือปนแตกต่างกันได้เป็นอย่างดี โดยแสดงผลการทดลองดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่าง เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (n=3)

ตัวอย่าง	ค่าร้อยละของการคืนกลับของเอทานอล (%RSD <sup>a</sup> )
เครื่องดื่มแอลกอฮอล์	
เปียร์ ตัวอย่างที่ 1	105.56 (1.67)
ตัวอย่างที่ 2	102.73 (0.99)
ตัวอย่างที่ 3	106.96 (0.91)
วิสกี้ไทย ตัวอย่างที่ 4	99.93 (1.09)
ตัวอย่างที่ 5	102.72 (0.77)
น้ำมันแก๊สโซฮอล์	
E10 ตัวอย่างที่ 6	102.49 (1.56)
ตัวอย่างที่ 7	101.11 (1.05)
ตัวอย่างที่ 8	100.67 (0.58)
E20 ตัวอย่างที่ 9	107.75 (0.29)
ตัวอย่างที่ 10	101.80 (1.15)
ตัวอย่างที่ 11	99.18 (1.01)
E85 ตัวอย่างที่ 12	97.78 (1.03)

<sup>a</sup>ค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

#### ตอนที่ 4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และ ตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตัวอย่าง เครื่องดื่มแอลกอฮอล์จำนวน 5 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเปียร์จำนวน 3 ตัวอย่าง และวิสกี้ไทยจำนวน 2 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างทั้งหมดมาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน 5 เท่า ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ พัฒนาขึ้น และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์จำนวน 7 ตัวอย่าง แบ่งเป็น E10 จำนวน 3 ตัวอย่าง E20 จำนวน 3 ตัวอย่าง และ E85 จำนวน 1 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการสกัดด้วยเทคนิคการ สกัดของเหลวด้วยของเหลวจากนั้นเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน 5 เท่า ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ด้วย วิธีที่พัฒนาขึ้น ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่าง

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปทั้งหมดจำนวน 12 ตัวอย่าง แสดงดังตาราง 6 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์ประเภทเบียร์และวิสกี้ไทยที่นำมาศึกษามีปริมาณเอทานอลอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 4.93-5.32 และ 35.01-40.46 โดยปริมาตร ตามลำดับ สำหรับปริมาณเอทานอลที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภท E10 มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9.39-9.65 โดยปริมาตร ประเภท E20 มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 19.72-19.81 โดยปริมาตร และประเภท E85 มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 79.50 โดยปริมาตร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์กับเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์และยาสูบ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข พบว่าในตัวอย่างเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์ทุกชนิดที่นำมาศึกษานี้ตรวจพบปริมาณเอทานอลเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยเกณฑ์กำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องดีเซลแอลกอฮอล์ประเภทเบียร์ต้องมีปริมาณเอทานอลในตัวอย่างร้อยละ 4-6 โดยปริมาตร และประเภทวิสกี้ไม่เกินร้อยละ 40 โดยปริมาตร (สำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์และยาสูบ. 2559: ออนไลน์) นอกจากนี้ปริมาณเอทานอลในผลิตภัณฑ์เครื่องดีเซลแอลกอฮอล์ที่พร้อมจำหน่ายนั้นยังใช้ในการระบุดีกรีสำหรับกำหนดการจัดเก็บภาษีสุรา โดยกรมสรรพสามิตได้กำหนดปริมาณเอทานอลให้เป็นไปตามฉลากบรรจุภัณฑ์และให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ดีกรี (ร้อยละโดยปริมาตร) (กรมสรรพสามิต. 2560: ออนไลน์) ซึ่งพบว่าตัวอย่างเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์ทั้ง 5 ตัวอย่างที่ผู้วิจัยนำมาศึกษานี้มีปริมาณเอทานอลสอดคล้องกับที่ระบุไว้บนฉลากผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่นำมาศึกษากับเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน เรื่องการกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พ.ศ. 2551 พบว่าปริมาณเอทานอลในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทั้ง 7 ตัวอย่าง มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดให้มีปริมาณเอทานอลในตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภท E10 อยู่ในช่วงร้อยละ 9-10 โดยปริมาตร ประเภท E20 อยู่ในช่วงร้อยละ 19-20 โดยปริมาตร และประเภท E85 อยู่ในช่วงร้อยละ 75-85 โดยปริมาตร (กรมธุรกิจพลังงาน. 2555: ออนไลน์)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่พบในตัวอย่างเครื่องดีเซลแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยใช้เทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออนเซชันซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับเป็นโดยทั่วไป (ตัวอย่างโครมาแกรมของการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก) ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตาราง 6 เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณเอทานอลในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธี โดยใช้การประเมินทางสถิติแบบ paired t-test พบว่าได้ค่า t-stat

น้อยกว่าค่า t-critical two-tail ( $t\text{-stat} = 0.9864$ ,  $t\text{-critical} = 2.2010$ ) จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณของเอทานอลที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธีนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิปร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ ไม่แตกต่างจากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดใหญ่ ซึ่งอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปนี้สามารถสร้างได้ง่ายภายในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป ใช้วิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถทำได้สะดวก ราคาถูก และใช้เวลาไม่นาน อีกทั้งยังมีขนาดเล็กกว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคสนามได้อีกด้วย

ตาราง 6 ปริมาณของเอทานอลที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างแต่ละชนิดโดยใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ซึ่งใช้เป็นวิธีอ้างอิง

ตัวอย่าง	ปริมาณเอทานอล $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	วิธีที่พัฒนาขึ้น	วิธี GC	
<b>เครื่องดื่มแอลกอฮอล์</b>			
เบียร์	ตัวอย่างที่ 1	4.97 $\pm$ 0.18	4.98 $\pm$ 0.02
	ตัวอย่างที่ 2	4.93 $\pm$ 0.22	5.02 $\pm$ 0.05
	ตัวอย่างที่ 3	5.32 $\pm$ 0.12	5.33 $\pm$ 0.03
วิสกี้ไทย	ตัวอย่างที่ 4	35.01 $\pm$ 0.32	35.18 $\pm$ 0.08
	ตัวอย่างที่ 5	40.46 $\pm$ 0.53	40.38 $\pm$ 0.04
<b>น้ำมันแก๊สโซฮอล์</b>			
E10	ตัวอย่างที่ 6	9.65 $\pm$ 0.15	9.58 $\pm$ 0.15
	ตัวอย่างที่ 7	9.39 $\pm$ 0.10	9.39 $\pm$ 0.02
	ตัวอย่างที่ 8	9.55 $\pm$ 0.06	9.55 $\pm$ 0.10
E20	ตัวอย่างที่ 9	19.72 $\pm$ 0.05	19.92 $\pm$ 0.34
	ตัวอย่างที่ 10	19.80 $\pm$ 0.28	19.88 $\pm$ 0.20
	ตัวอย่างที่ 11	19.81 $\pm$ 0.20	19.82 $\pm$ 0.05
E85	ตัวอย่างที่ 12	79.50 $\pm$ 1.39	79.40 $\pm$ 0.19

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลใน 2 กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย โดยสามารถสรุปผล อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

จากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์เอทานอลด้วยเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี จึงทำให้ได้วิธีวิเคราะห์แนวทางใหม่ที่สะดวก รวดเร็ว ใช้ปริมาณสารเคมีน้อย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดเล็ก (ความกว้าง 40.0 มิลลิเมตร ความยาว 73.0 มิลลิเมตร และความหนา 3.0 มิลลิเมตร) พกพาสะดวก สามารถสร้างขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป อีกทั้งยังใช้เทคนิคเลเซอร์คัทซึ่งเป็นเทคนิคพื้นฐานมาใช้ในการสร้างแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป ทำให้มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคซอฟต์แวร์โฟโตลิโธกราฟี และเมื่อนำเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรีมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์เอทานอล จากผลการวิจัยพบว่าในการวิเคราะห์เอทานอล ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1.0-20.0 โดยปริมาตร ต้องใช้สารละลายซีริกแอมโมเนียมไนเตรตความเข้มข้น 0.12 โมลาร์ ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ เป็นสารละลายรีเอเจนต์ ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 120 ไมโครลิตรต่อนาที ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 2.0 ไมโครลิตร และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ประสิทธิภาพของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานครอบคลุมช่วงความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 0.3-20 โดยปริมาตร และให้ผลความเป็นเส้นตรงที่ดี ( $R^2 > 0.999$ ) อีกทั้งมีความเที่ยงที่ดีเป็นที่น่าพอใจทั้งภายในวันเดียวกันและระหว่างวัน โดยมีค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 1.50 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.13 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ในตัวอย่างจริง มีค่าร้อยละการคืนกลับของเอทานอลทั้งในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 97.78-107.75 และยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างได้จำนวน 30 ตัวอย่างต่อชั่วโมง เมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (เบียร์ และวิสกี้ไทย) และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10 E20 และ E85) พบว่าตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งหมดมีปริมาณเอทานอลไม่เกินปริมาณมาตรฐานที่กำหนด และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มาเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิงด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีพบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ซึ่ง

เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังให้ประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่ดีกว่างานวิจัยอื่นๆ ที่เคยรายงานมาก่อนหน้านี้ซึ่งสรุปผลแสดงการเปรียบเทียบดังตาราง 7

จากความมุ่งหวังในงานวิจัยนี้ที่ต้องการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สามารถสร้างขึ้นเองได้ในห้องปฏิบัติการร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมตรี โดยมีกระบวนการสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน และใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการวิเคราะห์ ลดการนำเข้าสินค้าและเครื่องมือจากต่างประเทศ ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ทำได้สะดวก ให้ผลการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว ใช้งานง่าย และใช้เครื่องมือขนาดเล็ก ราคาไม่แพง ใช้สารตัวอย่างและสารเคมีในปริมาณน้อย เป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อีกทั้งให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือไม่แตกต่างจากการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี สามารถนำไปใช้ในงานควบคุมและประเมินคุณภาพของตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีจำหน่ายและได้รับความนิยมในประเทศไทยได้ และอาจมีการนำวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างประเภทอื่นๆ ที่หลากหลายมากขึ้น และนำพัฒนาต่อยอดสำหรับการวิเคราะห์ในภาคสนาม และการวิเคราะห์สารสำคัญชนิดอื่นๆ ต่อไป

ตาราง 7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ที่ได้จากงานวิจัยที่พัฒนาขึ้น และงานวิจัยที่เคยรายงานก่อนหน้านี้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำมันแก๊สโซฮอล์

เทคนิค	ชนิดตัวอย่าง <sup>a</sup>	รีเอเจนต์	ช่วงความเป็น เส้นตรง (ร้อยละ โดยปริมาตร)	LOD <sup>b</sup> (ร้อยละโดย ปริมาตร)	ปริมาตรของ ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ความเร็วในการ วิเคราะห์ (ตัวอย่าง ต่อชั่วโมง)	งานวิจัยอ้างอิง
SIA	D	0.2 MK <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> in 4 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1-6	0.09	0.1	19	Fletcher; & Staden. 2003: 123-128
SIA	W	0.003 M K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> in 8 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0-1.5 <sup>c</sup>	0.025	0.1	12	Šrámková; et al. 2014: 53-60
FIA	G	0.2 M K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> in 4 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3-80	0.9	1.33	26	Muncharoen; et al. 2009: 203-210
FIA	B, W และ D	0.04 M CAN in 0.3 M HNO <sub>3</sub>	0.1-10	0.03	0.1	20	Pinyou; Youngvises; & Jakmune. 2011: 745-751
FIA	W	0.3 M K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> in 4 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5-25	0.18	0.5	29	Silva; et al. 2013: 118-122

ตาราง 7 (ต่อ)

เทคนิค	ชนิดตัวอย่าง <sup>a</sup>	รีเอเจนต์	ช่วงความเป็น เส้นตรง (ร้อยละ โดยปริมาตร)	LOD <sup>b</sup> (ร้อยละโดย ปริมาตร)	ปริมาตรของ ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ความเร็วในการ วิเคราะห์ (ตัวอย่างต่อชั่วโมง)	งานวิจัยอ้างอิง
FIA และ SIA	L และ W	0.2 M K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> in 4 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5-50	0.64 และ 2.7	0.4	17 และ 25	Ratanawimarnwong; et al. 2013: 61-67
Microfluidic system	D และ W	0.15 M K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> in 6 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0-6	-	-	-	Lei; Mattos; & Chen. 2008: 1318-1320
Lab-on-a-chip	B, Wh และ G	0.12 M CAN in 0.3 M HNO <sub>3</sub>	0.3-20	0.039	0.002	30	งานวิจัยนี้

<sup>a</sup> ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้

<sup>b</sup> B: ตัวอย่างเบียร์ D: ตัวอย่างสุรากลั่น G: ตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ L: ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพรชนิดน้ำ W: ตัวอย่างไวน์ และ Wh: ตัวอย่างวิสกี

<sup>c</sup> กราฟมาตรฐานไม่เป็นเส้นตรง



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2555). *น้ำมันแก๊ซโซฮอล์*. สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2559, จาก [www.energy.go.th](http://www.energy.go.th)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). *รู้จักเอทานอล*. สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2559, จาก <http://www.water-pacific.com/index.php/2010-08-14-10-07-37>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). *การตัดโดยเลเซอร์และพลาสมาอาร์ค*. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2560, จาก <http://www2.dede.go.th/bhrd/old/webdisplay/websemple/swfind31/31thai.swf>
- กรมสรรพสามิต. (2560). *ภาษีสุรา*. สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2560, จาก <https://www.excise.go.th/cs/groups/public/documents/document/mjaw/mdcw/edisp/webportal16200070331.pdf>
- จุฬารัตน์ โสตะ; อมรรัตน์ ฎีกาขาว; และนพพร ตริโษษฐ์. (2555, กันยายน). ความหมายของเอทานอล. ใน *การพัฒนาศักยภาพแก่นำนักศึกษาเพื่อเสริมสร้างค่านิยมการไม่ดื่มแอลกอฮอล์*. หน้า 9-10. ภาควิชาสุขศึกษา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สนับสนุนทุนวิจัยโดยศูนย์วิจัยปัญหาสุรา.
- จ๊อบปี้ดี. (2557, สิงหาคม 11). *ประเภทเครื่องดื่มประเภทที่มีแอลกอฮอล์*. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2559, จาก <https://th.jobsdb.com/th-th/articles>
- ธิดิพันธ์ ธาณรัตน์. (2011, พฤศจิกายน). เรื่องเหล่านี้ 360 องศา. *PEOPLE MANKIND : MEN'S HEALTH*. หน้า 174-175.
- นวรรัฐ เทศพิทักษ์. (2553, ธันวาคม). *เครื่องดื่มแอลกอฮอล์*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559, จาก <http://www.liquor.or.th/liquor/fileupload/ethanol.pdf>
- บุญรอด วงษ์สวาท. (2553). *ประวัติความเป็นมาน้ำมันแก๊ซโซฮอล์*. สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2559, จาก <http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawdsite/historygasohol.htm>
- ประกาศิต กลับดี. (2551). *เนื้อหาเรื่องเอทานอล*. สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2559, จาก <https://www.l3nr.org/posts/203496>
- แมน อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. (2555). แลป-ออน-อะ-ชิพ (Lab-on-a-chip, LOC). ใน *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. หน้า 608-609. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์ 50.
- ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์. (2559). *ไมโครฟลูอิดิกส์ (microfluidics)*. สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2559, จาก [http://thep-center.org/src/qa\\_read.php?question\\_id=1](http://thep-center.org/src/qa_read.php?question_id=1)

- สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). (2559). *ระบบของไหลจุลภาค*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559, จาก <http://www.slri.or.th/th/index.php?option=comcontent&view=article&id=337&Itemid=366>
- สยามเคมี.คอม. (2559). *ประโยชน์จากเอทานอล*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559, จาก <http://www.Siamchemi.com/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A5/>
- สำนักงานคณะกรรมการควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และยาสูบ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2559). *แสดงปริมาณของแอลกอฮอล์ที่อยู่ในเครื่องดื่มที่จำหน่ายในประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2559, จาก <http://www.thaiantialcohol.com/newsletters view/19>
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2559). *แอลกอฮอล์*. สืบค้นเมื่อ 3 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.nstda.or.th/sci2pub/thaismc/factsheet/hotnews/FS-062.pdf>
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2556). *คุณสมบัติของพอลิไดเมทิลไซลอกเซน*. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2560, จาก [http://lib3.dss.go.th/fulltext/abstract/2556%5C2556\\_21.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/abstract/2556%5C2556_21.pdf)
- สุนทร นากรุงศรี. (2557). *การถ่ายทอดความรู้ระบบการควบคุมโรงงานสุรากลั่นชนิดสุรสามทับ (เอทานอล)* สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2560, จาก <https://www.excise.go.th/cs/groups/public/documents/document/mjaw/mdyx/~edisp/webportal16200061813.pdf>
- เสาวณีย์ กาญจนชุมพล; ดวงกมล วิรุฬห์อุดมผล; และไพศาล จิตธรรม. (2556). *การประเมินวิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ*. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2560, จาก [http://old.nimt.or.th/nimt/upload/contentfile/attach-lab\\_article-516-443.pdf](http://old.nimt.or.th/nimt/upload/contentfile/attach-lab_article-516-443.pdf)
- อนู. (2559). *บทสรุปของแก๊สโครมาโทกราฟีของเหลวที่ควรรู้*. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2559, จาก <http://www.hondajazz-club.com/smf/index.php?topic=130926.0;wap2>
- เอ็น เจ เอ็ดลธ. (2560). *Right to Know Hazardous Substance Fact Sheet*. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2560, จาก <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1564.pdf>
- Armenta, S.; et al. (2006). Development of a Simple and Low Cost Device for Vapour Phase Fourier Transform Infrared Spectrometry Determination of Ethanol in Mouthwashes. *Analytica Chimica Acta*. 569: 238-243.
- Ashtiwow. (2013). *Standard Deviation (SD)*. Retrieved August 15, 2016, from <https://www.geo2ass.wordpress.com/2013/07/15/standard-deviation-sd/>

- Brioso, V.; et al. (2005). Time-Resolved Study of the Oxidation of Ethanol by Cerium(IV) Using Combined Quick-XANES, UV-Vis, and Raman Spectroscopies. *Journal of Physical Chemistry A*. 109: 320-329.
- Buckee, G. K.; & Mundy, A.P. (1993). Determination of Ethanol in Beer by Gas Chromatography (Direct-Injection)-Collaborative Trial. *Journal of the Institute of Brewing*. 99: 381-384.
- Castillo, P.V.; et al. Lab-On-A-Chip Devices and Opportunities for Latin America and the Caribbean. In *13<sup>th</sup> LACCEI Annual International Conference: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?"*; 2015, July 29-31; Santo Domingo: Dominican Republic; 2015. pp. 1-10.
- Choengchan, N.; et al. (2006). A membraneless Gas Diffusion Unit: Design and its Application to Determination of Ethanol in Liquors by Spectrophotometric Flow Injection. *Analytica Chimica Acta*. 579: 33-37.
- Conklin, A.; et al. (2014). Determination of Ethanol in Gasoline by FT-IR Spectroscopy. *Journal of Chemical Education*. 91: 889-891.
- Doyle, M.P. (1974). A Spectrometric Study of the Oxidation of Alcohols by Cerium (IV). *Journal of Chemical Education*. 51: 131-132.
- Fletcher, P.J.; & Staden, J.F. (2003). Determination of Ethanol in Distilled Liquors using Sequential Injection Analysis with Spectrophotometric Detection. *Analytica Chimica Acta*. 499: 123-128.
- Garcia-Jares, C.M.; & Medina, B. (1997). Application of Multivariate Calibration to The Simultaneous Routine Determination of Ethanol, Glycerol, Fructose, Glucose and Total Residual Sugars in Botrytized-Grape Sweet Wines by Means of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. 357: 86-91.
- Gene-quantification.info. (2016). Lab on Chip PCR - LOC PCR 1. Retrieved August 15, 2016, from <http://lab-on-chip.gene-quantification.info/>
- Harvard Apparatus Ltd. (2016). *Syringe Pump*. Retrieved August 15, 2016, from [https://www.harvardapparatus.co.uk/webapp/wcs/stores/servlet/haisku1\\_10001\\_11555\\_44038\\_-1\\_HAUK\\_ProductDetail\\_N\\_37295](https://www.harvardapparatus.co.uk/webapp/wcs/stores/servlet/haisku1_10001_11555_44038_-1_HAUK_ProductDetail_N_37295)

- Kabara, J.J.;& Smeggil. (1972). A Colorimetric Method of Determining the Presence of Ethanol in the Blood by the use of Ceric Ammonium Nitrate as a Color Reagent. *Journal of the American Osteopathic Association*. 72: 65-70.
- Lefebvre, D.; et al. (2002). Simultaneous HPLC Determination of Sugars, Organic Acids and Ethanol in Sourdough Process. *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie*. 35: 407-414.
- Lei, L.; Mattos, I.L.;& Chen, Y. (2008). Microfluidic Devices for Optical Determination of Ethanol Concentration. *Microelectronic Engineering*. 85: 1318-1320.
- Li, H.; et al. (2009). Rapid Determination of Ethanol in Fermentation Liquor by Full Evaporation Headspace Gas Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1216: 169-172.
- Lim, Y.C.; Kouzani, A.Z.;& Duan, W. (2010). Lab-On-A-Chip: a Component View. *Microsystem Technologies*. 16: 1995-2015.
- Maria, D.; & Fridolin, O. (2014, November 5). Lab-on-a-Chip Devices and Micro-Total Analysis Systems: A Practical Guide. In *Technology & Engineering*. Castillo-León, J.;& Svendsen, W.E, editors. pp. 98-202. Switzerland: Springer Science.
- Mataix, E.;& Luque de Castro, M.D. (2000). Simultaneous Determination of Ethanol and Glycerol in Wines by a Flow Injection-Pervaporation Approach with in Parallel Photometric and Fluorimetric Detection. *Talanta*. 51: 489-496.
- Mattos, I.L. (1998). Spectrophotometric Flow Injection Determination of Ethanol in Distilled Spirits and Wines Involving Permeation through a Silicon Tubular Membrane. *Journal of the Japan Society for Analytical Chemistry*. 14: 1005-1008.
- Muncharoen, S.; et al. (2009). Quality Control of Gasohol using a Micro-Unit for Membrane less Gas Diffusion. *Microchimica Acta*. 164: 203-210.
- Pereira, P.F.; et al. (2012). Fast Batch Injection Analysis System for on-site Determination of Ethanol in Gasohol and Fuel Ethanol. *Talanta*. 90: 99-102
- Pinyou, P.; Youngvises, N.;& Jakmunee, J. (2011). Flow Injection Colorimetric Method using Acidic Ceric Nitrate as Reagent for Determination of Ethanol. *Talanta*. 84: 745-751.

- Ratanawimarnwong, N.; et al. (2013). New Membraneless Vaporization Unit Coupled with Flow Systems for Analysis of Ethanol. *Analytica Chimica Acta*. 796: 61-67.
- Seo, H.-B.; et al. (2009). Measurement of Ethanol Concentration using Solvent Extraction and Dichromate Oxidation and its Application to Bioethanol Production Process. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 36: 285-292.
- Shawn, Y. (2014, November 7). *Peristaltic Pump Wear Factors*. Retrieved August 15, 2016, from <http://blue-white.com/articles/pumps/>
- Shrivastava, A.;& Gupta, V.B. (2011). Methods for the Determination of Limit of Detection and Limit of Quantitation of the Analytical Methods. *Chronicles of Young Scientists*. 2: 21-25
- Silva, C.R.; et al. (2013). A Multi-Purpose Flow Manifold for the Spectrophotometric Determination of Sulphide, Sulphite and Ethanol Involving Gas Diffusion: Application to Wine and Molasses Analysis. *Talanta*. 113: 118-122.
- Šrámková, I.; et al. (2014). Automated in-Syringe Single-Drop Head-Space Micro-Extraction Applied to the Determination of Ethanol in Wine Samples. *Analytica Chimica Acta*. 828: 53-60.
- Sumbhate, S.; et al. (2012). Colorimetric Method for the Estimation of Ethanol in Alcoholic-Drinks. *Journal of Analytical Techniques*. 1: 1-6.
- Vicente, S.; et al. (2006). Exploiting Gas Diffusion for Non-Invasive Sampling in Flow Analysis: Determination of Ethanol in Alcoholic Beverages. *Journal of Physical Chemistry Letters*. 78: 23-29.
- Wang, M.-L.; Wang, J.-T.;& Choong, Y.-M. (2004). Simultaneous Quantification of Methanol and Ethanol in Alcoholic Beverage Using a Rapid Gas Chromatographic Method Coupling with Dual Internal Standards. *Food Chemistry*. 86: 609-615.
- Yarita, T.; et al. (2002). Determination of Ethanol in Alcoholic Beverages by High Performance Liquid Chromatography–Flame Ionization Detection using Pure Water As Mobile Phase. *Journal of Chromatography A*. 976: 387-391.
- Yebra-Biurrun, M.C. (2009). *Flow Injection: Past, Present and Future*. New York: Nova Science. Retrieved August 15, 2016, from <http://www.slideshare.net/RonaldTalvat/flow-injection-analysis-of-marine-samples>

- Yu, H.; et al. (2009, April). Novel polydimethylsiloxane (PDMS) based microchannel fabrication method for lab-on-a-chip application. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 137(2): pp. 754–761
- Zhang, J.X.J.;& Hoshino, K. (2013, December 4). Microfluidics and Micro Total Analytical Systems. In *Molecular Sensors and Nanodevices*. pp.114-119. Amsterdam: William Andrew.





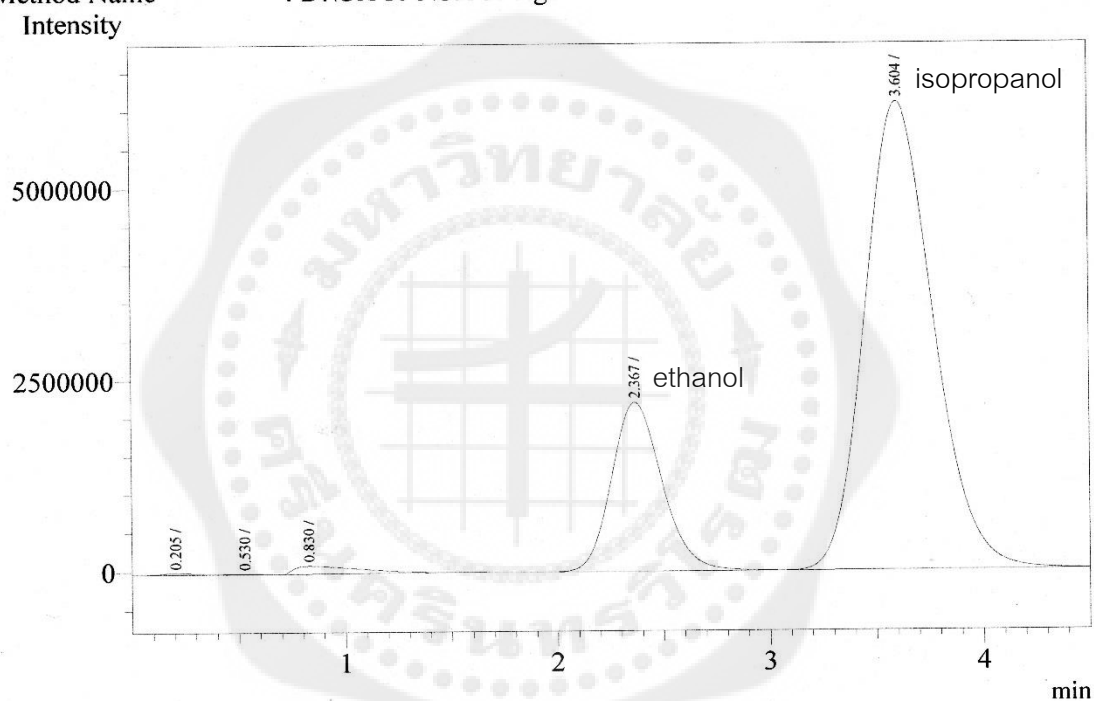
ภาพประกอบ 22 โคโรมาโทแกรมแสดงผลการวิเคราะห์เอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (วิสกี้ไทย และเปียร์) และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10 E20 และ E85) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

## เครื่องต้มแอลกอฮอล์ ประเภทเบียร์ ตัวอย่างที่ 1

## Sample 1

Analysis Date & Time : 16/3/2560 15:35:11  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\Beersample\_1.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



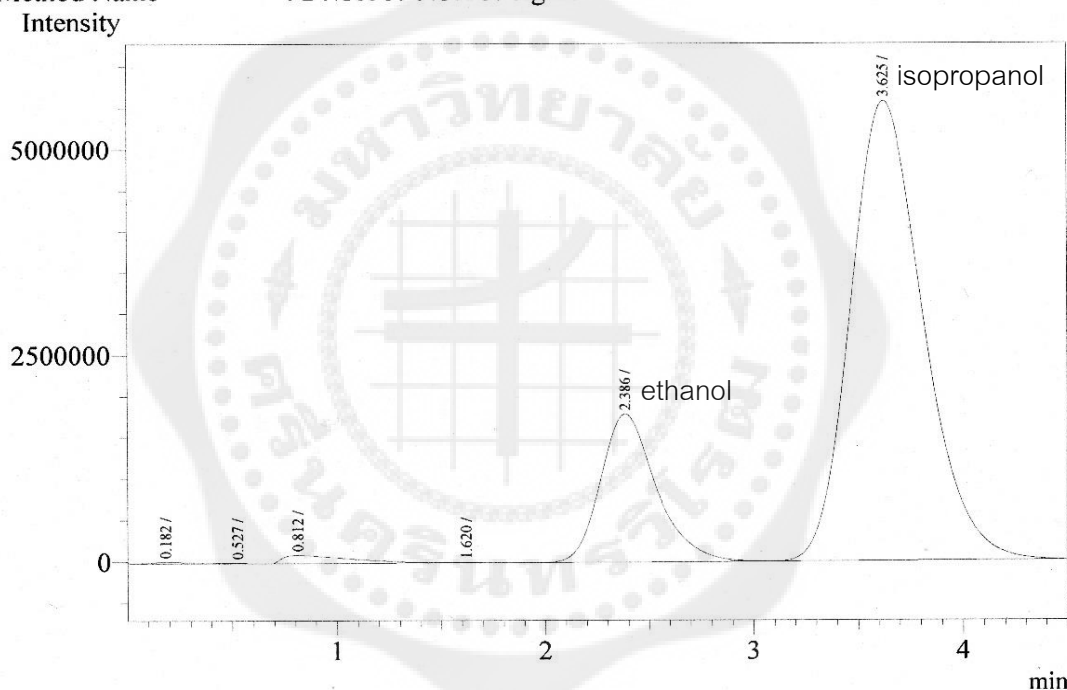
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.205	293223	18499	0.168			
2	0.530	37131	5977	0.021	V		
3	0.830	2188977	103230	1.254			
4	2.367	36320648	2201339	20.803			ethanol
5	3.604	135752193	6099201	77.754			isopropanol
Total		174592172	8428246				

## เครื่องต้มแอลกอฮอล์ ประเภทเบียร์ ตัวอย่างที่ 2

## Sample 2

Analysis Date & Time : 16/3/2560 16:19:38  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Imam\Beer\_sample.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



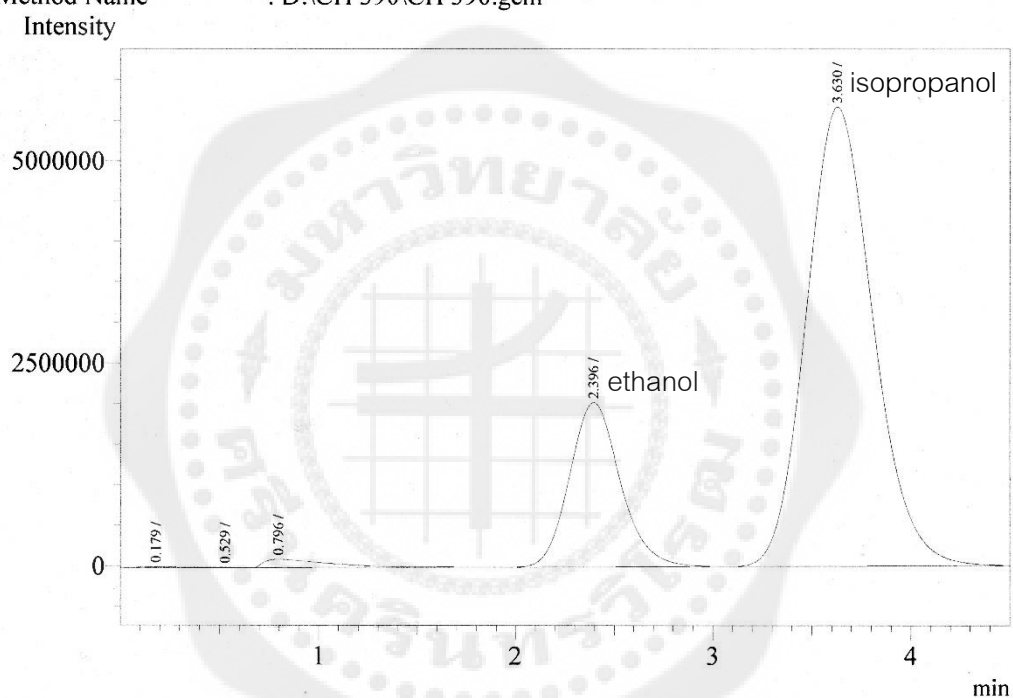
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.182	244479	15906	0.145			
2	0.527	22035	4260	0.013	V		
3	0.812	2251521	97818	1.332	S		
4	1.620	3978	508	0.002	T		
5	2.386	33101921	1788742	19.590			
6	3.625	133346434	5566639	78.917			
Total		168970368	7473873				

## เครื่องต้มแอลกอฮอล์ ประเภทเบียร์ ตัวอย่างที่ 3

## Sample 3

Analysis Date & Time : 16/3/2560 17:03:36  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\Beer\_sample\_3.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



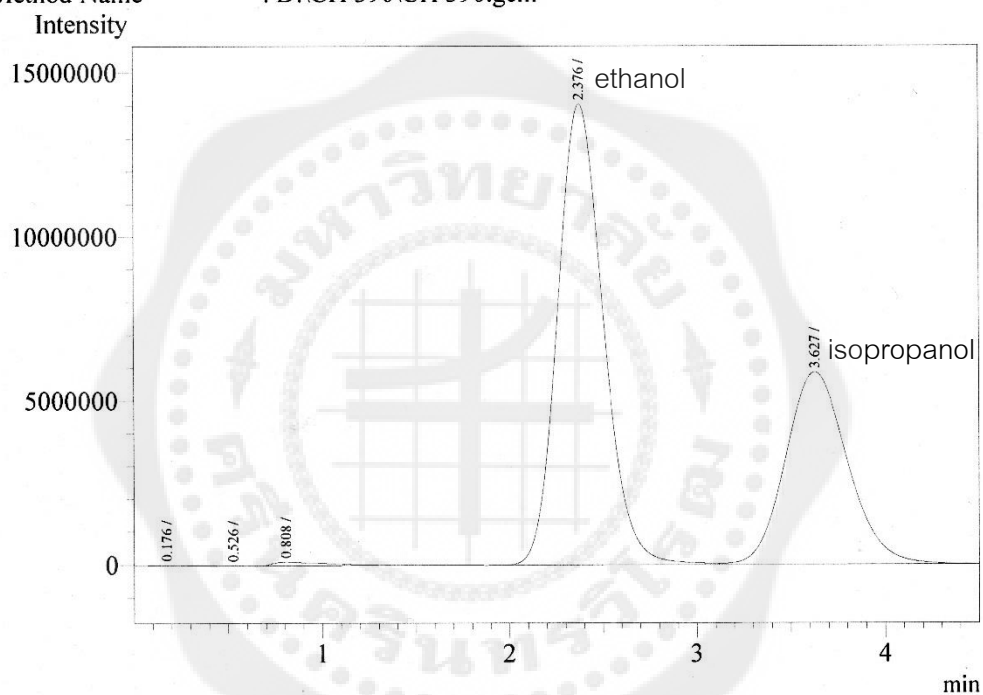
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.179	213189	14304	0.125		
2	0.529	18393	3842	0.011	V	
3	0.796	2350759	101898	1.374		
4	2.396	36431551	2030938	21.287		ethanol
5	3.630	132131927	5668172	77.204		isopropanol
Total		171145819	7819154			

## เครื่องต้มแอลกอฮอล์ ประเภทวิสกี้ ตัวอย่างที่ 4

## Sample 4

Analysis Date & Time : 16/3/2560 15:15:57  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Imam\Whiskey\_sample\_4.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm

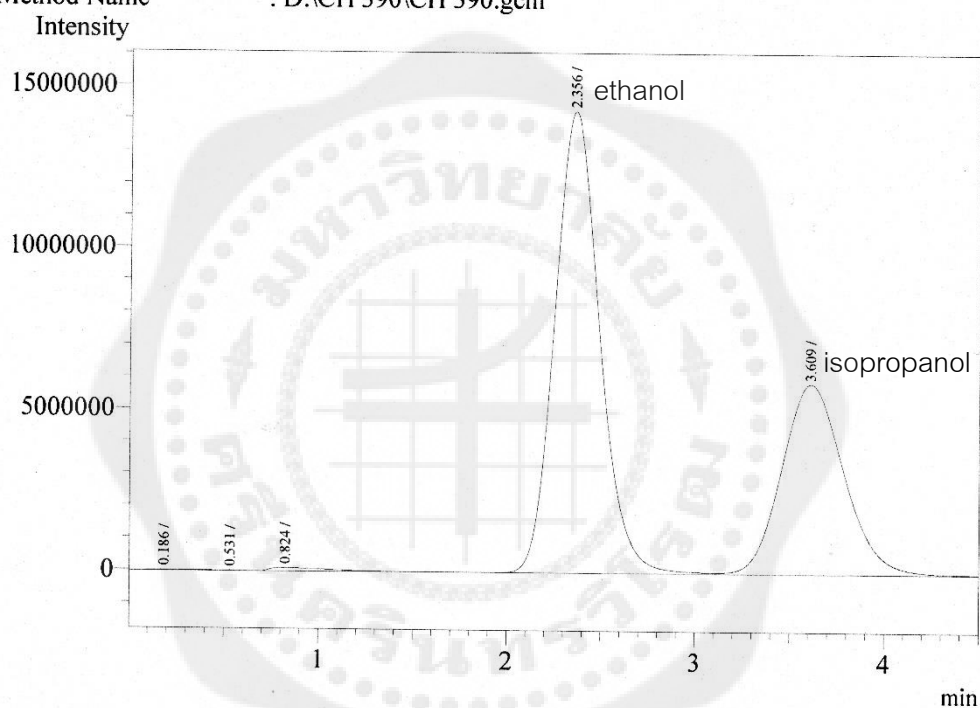


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.176	315985	21742	0.085			
2	0.526	28205	5412	0.008	V		
3	0.808	2170414	103641	0.581			
4	2.376	237818700	14046025	63.631			
5	3.627	133415925	5852719	35.697	V		
Total		373749229	20029539				

## เครื่องต้มแอลกอฮอล์ ประเภทวิสกี้ ตัวอย่างที่ 5

Sample 5

Analysis Date & Time : 16/3/2560 15:23:47  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :  
 Data Name : D:\1mam\Whiskey\_sample\_5.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



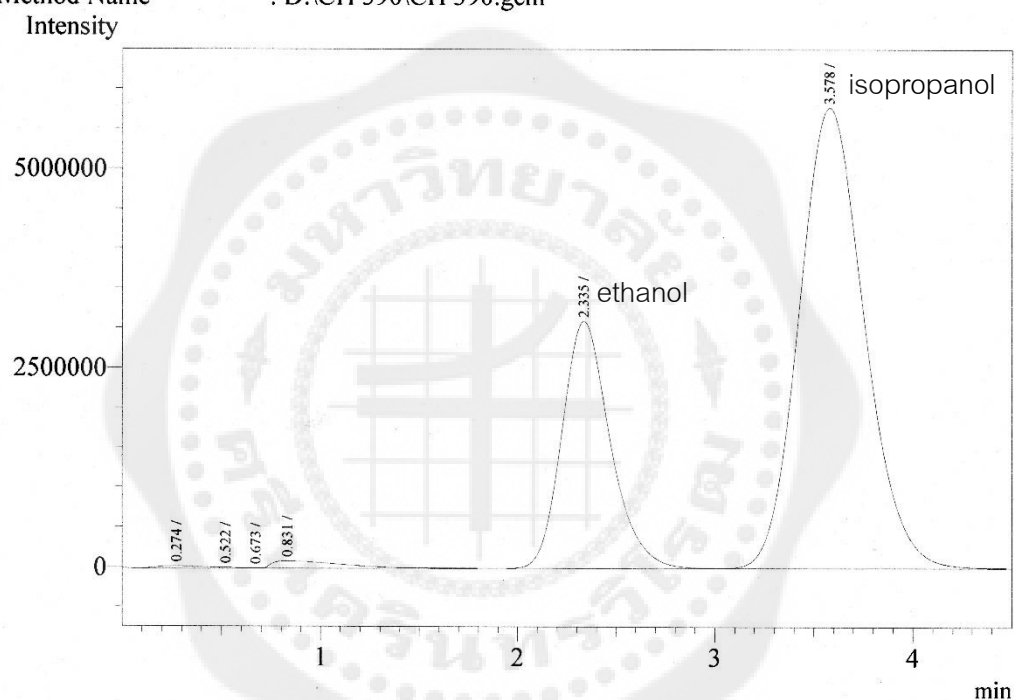
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.186	319253	21181	0.085			
2	0.531	39012	6607	0.010	V		
3	0.824	2140454	102561	0.573			
4	2.356	237525034	14276195	63.606			
5	3.609	133410159	5874180	35.725	V		
Total		373433912	20280724				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E10 ตัวอย่างที่ 6

## Sample 6

Analysis Date & Time : 21/4/2560 13:30:46  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Imam\gasohol\E10\_Sample\_6.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



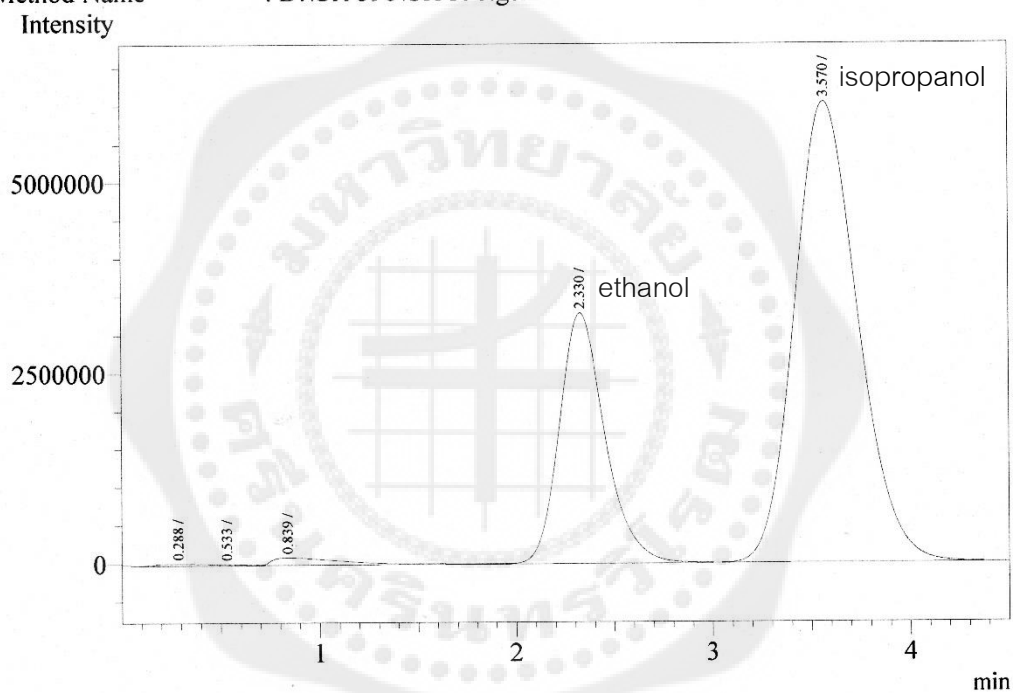
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.274	517170	30991	0.276			
2	0.522	98768	15685	0.053	V		
3	0.673	16728	5328	0.009	V		
4	0.831	2359609	94764	1.258	V		
5	2.335	52609633	3098867	28.054	V		
6	3.578	131928682	5775338	70.350	V		
Total		187530590	9020973				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E10 ตัวอย่างที่ 7

## Sample 7

Analysis Date & Time : 21/4/2560 13:57:31  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\gasohol\E10\_Sample\_7.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



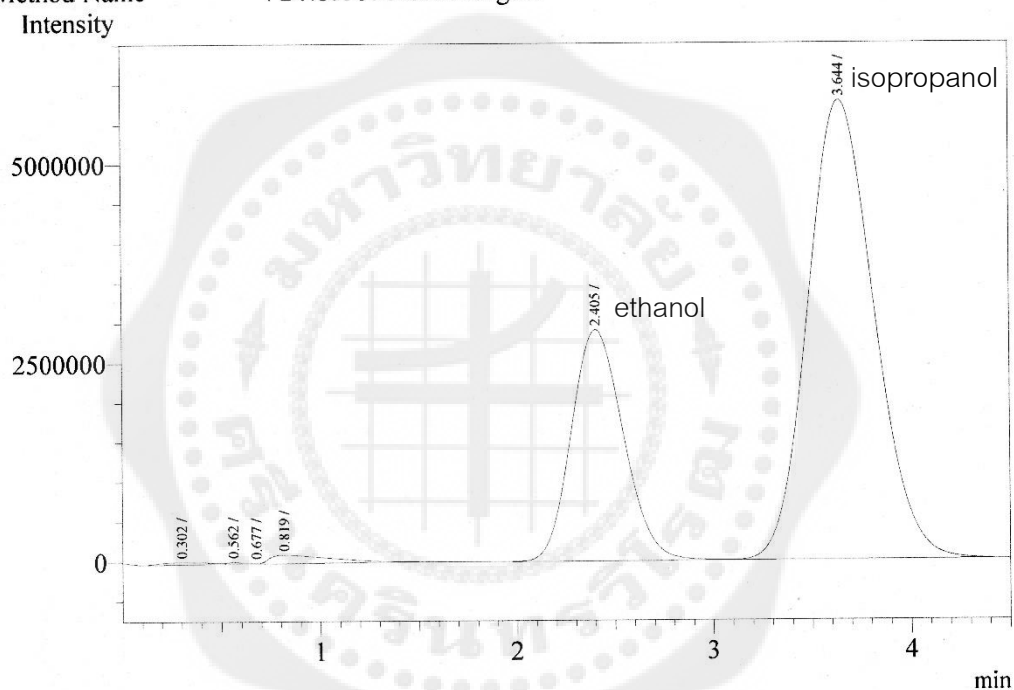
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.288	454315	26501	0.238			
2	0.533	137897	16590	0.072	V		
3	0.839	2483408	98893	1.301	V		
4	2.330	53214351	3285565	27.887	V		
5	3.570	134532251	6047519	70.501	V		
Total		190822222	9475068				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E10 ตัวอย่างที่ 8

## Sample 8

Analysis Date & Time : 21/4/2560 13:25:14  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\gasohol\E10\_8.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm

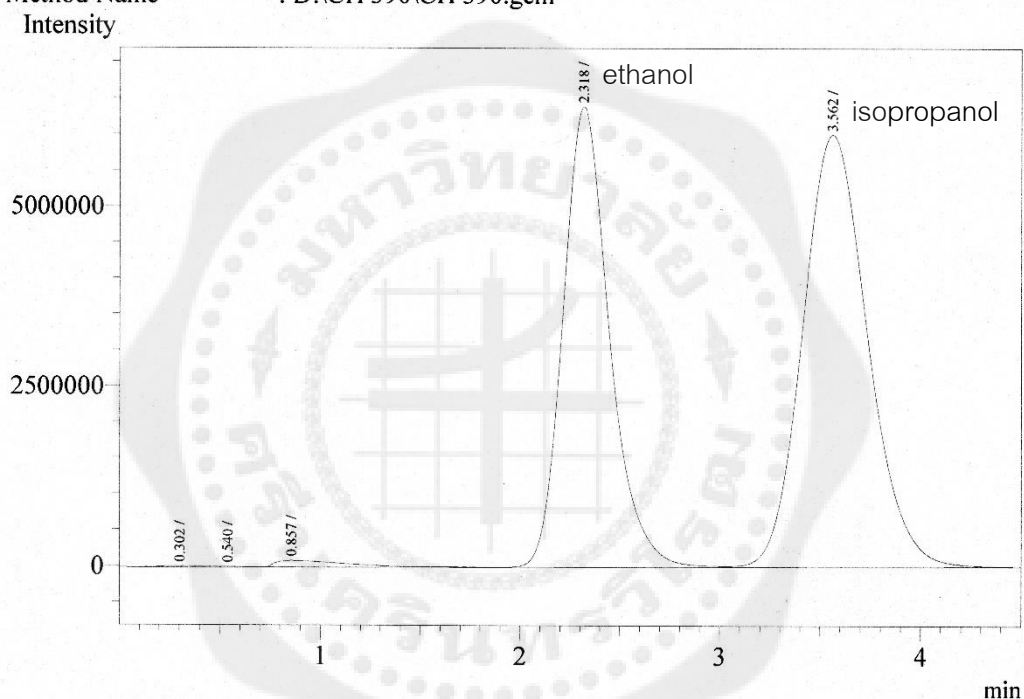


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.302	501468	28710	0.263			
2	0.562	130397	23161	0.068	V		
3	0.677	27805	10195	0.015	V		
4	0.819	2297731	106314	1.204	V		
5	2.405	53613382	2909472	28.100			ethanol
6	3.644	134227348	5777411	70.350	V		isopropanol
Total		190798131	8855263				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E20 ตัวอย่างที่ 9

Sample 9  
 Analysis Date & Time : 21/4/2560 15:04:31  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\gasohol\E20\_9.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



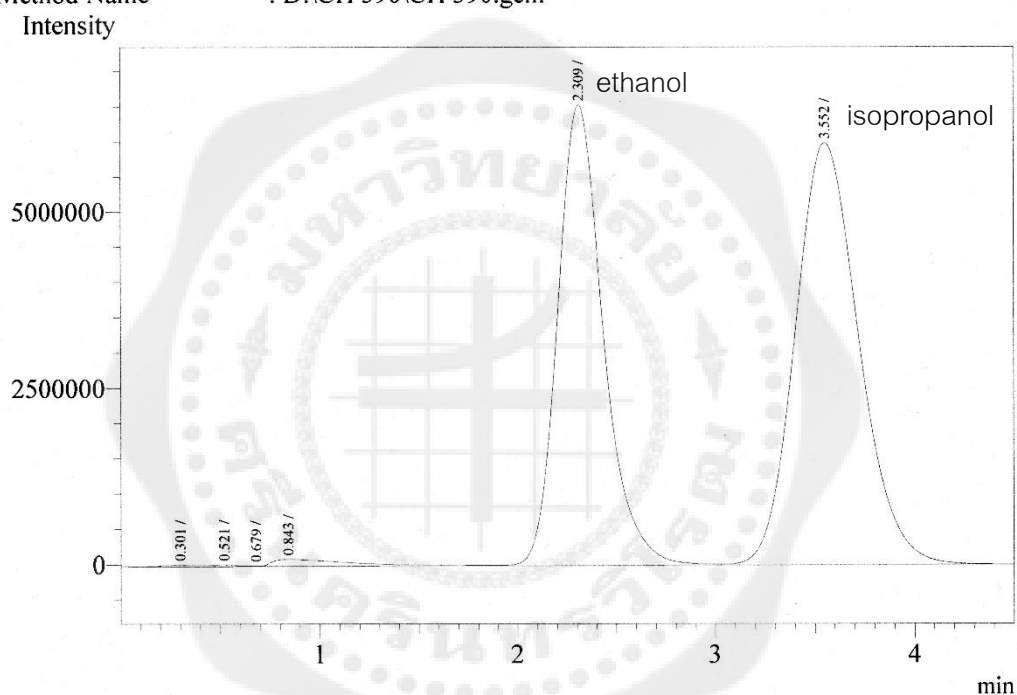
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.302	307466	18396	0.128			
2	0.540	86752	11153	0.036	V		
3	0.857	2279010	91893	0.949	V		
4	2.318	103596531	6394521	43.128	V		ethanol
5	3.562	133937904	6000978	55.759	V		isopropanol
Total		240207663	12516941				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E20 ตัวอย่างที่ 10

Sample 10

Analysis Date & Time : 21/4/2560 15:27:54  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\gasohol\E20\_10.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



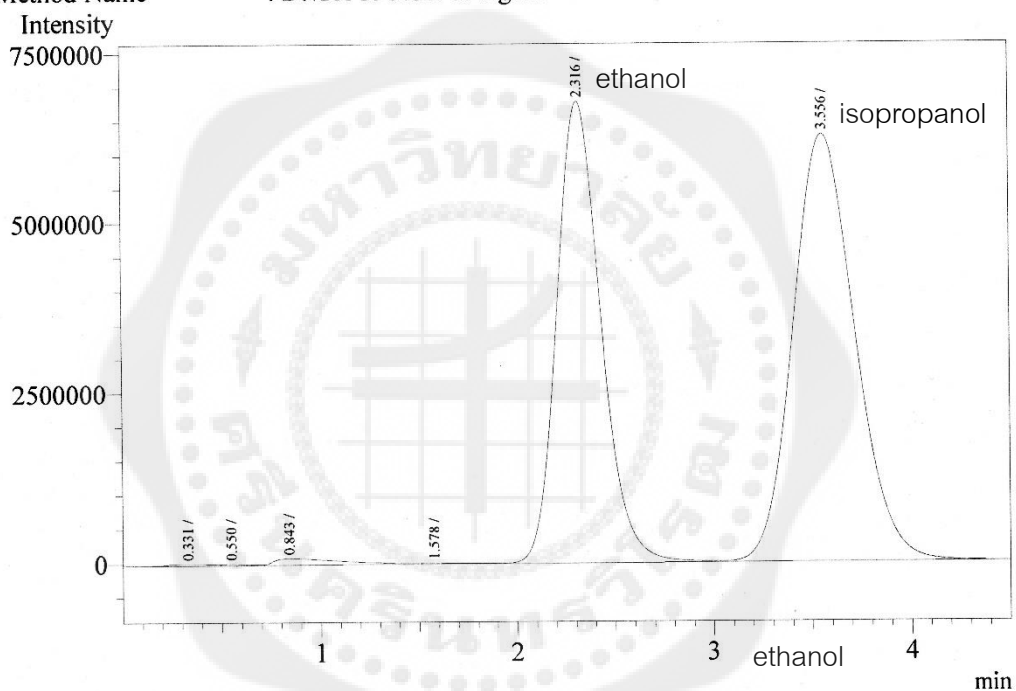
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.301	394915	25794	0.164			
2	0.521	179690	24052	0.075	V		
3	0.679	33395	10147	0.014	V		
4	0.843	2859994	99712	1.186	V		
5	2.309	104763326	6536126	43.446	V		
6	3.552	132903898	5989528	55.116	V		
Total		241135218	12685359				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E20 ตัวอย่างที่ 11

## Sample 11

Analysis Date & Time : 21/4/2560 18:02:43  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\mam\gasohol\E20\_11.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



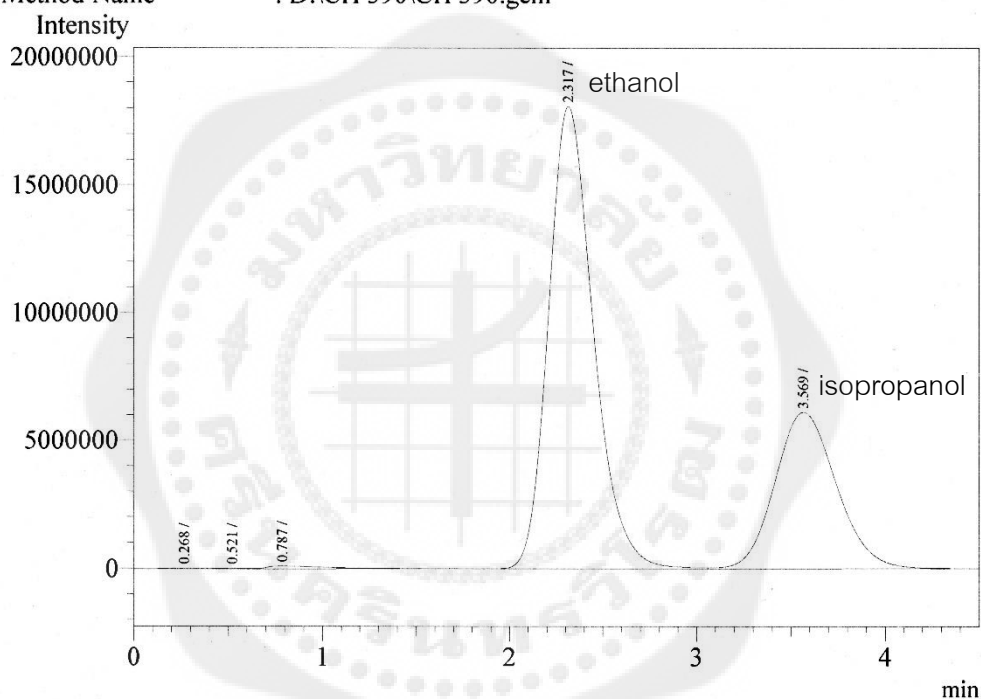
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.331	376850	23338	0.154			
2	0.550	202286	22649	0.083	V		
3	0.843	2413631	97872	0.986	V		
4	1.578	228113	13165	0.093	V		
5	2.316	105622468	6784074	43.155	V		ethanol
6	3.556	135907826	6282906	55.529	V		isopropanol
Total		244751174	13224004				

## น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประเภท E85 ตัวอย่างที่ 12

## Sample 12

Analysis Date & Time : 21/4/2560 17:15:22  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : alcohol  
 Sample ID : 1  
 Sample Type : Standard  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : D:\1mam\gasohol\E85\_Sample\_12.gcd  
 Method Name : D:\CH 390\CH 390.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.268	413302	24220	0.093			
2	0.521	126981	17864	0.029	V		
3	0.787	2105855	101322	0.475	V		
4	2.317	302336496	18087660	68.223			
5	3.569	138175539	6100348	31.180	V		
Total		443158173	24331414				



## ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล นางสาวธัญญลักษณ์ สมแสง  
 วันเดือนปีเกิด 26 มกราคม 2534  
 สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 148 หมู่ที่ 10 ตำบลไม้เรียง อำเภอฉวาง  
 จังหวัดนครศรีธรรมราช 80260

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษา 1 - 3  
 จาก โรงเรียนฉวางรัชดาภิเษก จังหวัดนครศรีธรรมราช

พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษา 4 - 6  
 จาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาภาคใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช

พ.ศ. 2553 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี  
 จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2557 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
 จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร