วิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมสำหรับ
วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น

INDIRECT COLORIMETRIC METHOD FOR
DETERMINATION OF ETHANOL IN BEER AND LIQUOR

ณัฐธิดา ใจหาร
บุณยกร อุปพรพงศ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDIRECT COLORIMETRIC METHOD FOR DETERMINATION OF ETHANOL IN BEER AND LIQUOR

NATTIDA JAIHARN
BOONYAKORN UPAPORNPONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	วิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น Indirect Colorimetric Method for Determination of Ethanol in Beer and Liquor
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐธิดา ใจหาร รหัสนักศึกษา 58050468 นายบุณยกร อุปพรพงศ์ รหัสนักศึกษา 58050494
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง กรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ วิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐธิดา ใจหาร รหัสนักศึกษา 58050468
นายบุณยกร อุปพรพงศ์ รหัสนักศึกษา 58050494

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาวิธีการตรวจวัดสีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น อาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของโคบอลต์ (II) กับลิแกนด์ Cl^- หรือ H_2O โดยสารเชิงซ้อน $[CoCl_6]^{4-}$ มีสีน้ำเงิน และ $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ มีสีชมพู สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์นี้ใช้สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ในเอทานอล ความเข้มข้น 4 %w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเอทานอลปริมาตร 0.08 มิลลิลิตรในหลอดทดลองเป็นเวลา 20 นาที บันทึกภาพสีสารละลายด้วยกล้องของโทรศัพท์มือถือ ประมวลผลหาความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีแดงกับปริมาณเอทานอล มีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นของเอทานอล 5-40 %v/v ให้สมการเส้นตรงคือ I_R = -0.8943 [EtOH] + 39.424 มีค่า R^2 = 0.9837 วิธีที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วง 0.15-2.99% (n=3)

คำสำคัญ : โคบอลต์คลอไรด์ ความเข้มสีแดง เบียร์ สุรากลั่น เอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Indirect Colorimetric Method for Determination of Ethanol in Beer and Liquor		
Students	Miss Nattida	Jaiharn	Student ID 58050468
	Mr. Boonyakorn	Upapornpong	Student ID 58050494
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditweangkum		

Abstract

This special project aimed to develop a colorimetric method for determination of ethanol in beer and liquor based on complex formation of cobalt (II) with Cl^- or H_2O ligand. The color of $[CoCl_6]^{4-}$ complex was blue and $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ complex was pink. The optimum condition was achieved by mixing 0.80 mL of 4 %w/v cobalt (II) chloride solution in ethanol with 0.08 mL of ethanol standard solution in a test tube for 20 min. The solution in test tube was photoed by a camera in smartphone. The color intensity (RGB) was evaluated by Image J™ program. The calibration graph plotted between red intensity and quantity of ethanol was linear by the ethanol concentration in range of 5-40 %v/v with equation of I_R = -0.8943 [EtOH] + 39.424 and R^2 = 0.9837. The precision of this developed method was obtained by relative standard deviation in range of 0.15-2.99% (n=3)

Keywords : Cobalt chloride, Red intensity, Beer, Liquor, Ethanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น ประธานกรรมการสอบโครงงานพิเศษ และ ผศ.ดร. เสาวภาคย์ ธีราทรง กรรมการสอบโครงงานพิเศษ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะ รวมถึงคณาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้ทางด้านวิชาการ จนทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ คุณสุภัทร บานเย็น คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ คุณกัญญา มงคลโภชน์ และ คุณทองสุข ภู่ร้อย บุคลากรของภาควิชาเคมีที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการทดลองมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ช่วยสนับสนุนด้านการศึกษา ให้ความรัก ความเข้าใจและเป็นกำลังใจสำคัญตลอดมา และขอบคุณกัลยาณมิตรทุก ๆ ท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

โครงงานพิเศษฉบับนี้หากมีประโยชน์และมีคุณค่าต่อผู้ที่นำไปศึกษาต่อ คณะผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งหมดแด่อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน บิดามารดา รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน แต่หากโครงงานพิเศษฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ณัฐธิดา ใจหาร

บุณยกร อุปพรพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 แอลกอฮอล์ 3
2.1.1 ลักษณะเฉพาะของเอทานอล 4
2.1.2 การผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ 5
2.1.3 การนำแอลกอฮอล์ไปใช้งาน 7
2.2 เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ 9
2.3 เบียร์ 12
2.3.1 วัตถุดิบที่สำคัญ 12
2.3.2 กรรมวิธีการผลิต 13
2.4 สุราขาว หรือ เหล้าขาว 14
2.4.1 การหมักแอลกอฮอล์ 14
2.4.2 ทฤษฎีการกลั่น 15
2.5 โคบอลต์ (II) คลอไรด์ 16
2.6 โปรแกรม Image J™ 17
2.7 ระบบสี 17
2.7.1 ระบบสีแบบ RGB 18
2.7.2 ระบบสีแบบ CYMK 18
2.7.3 ระบบสีแบบ HSB 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7.4 ระบบสีแบบ Lab 19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 23
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 23
3.1.1 อุปกรณ์ 23
3.1.2 สารเคมี 23
3.2 การเตรียมสารละลาย 24
3.2.1 สารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v. 24
3.2.2 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ ความเข้มข้น 4 %w/v และ 10 %v/v 24
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง 24
3.3.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 24
3.3.2 การศึกษาค่าความเข้มสีที่ใช้ในการตรวจวัด 25
3.3.3 การศึกษาผลของปริมาตรสารละลายเอทานอล 25
3.3.4 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 25
3.3.5 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง 26
3.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ 26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 28
4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 28
4.2 ผลการศึกษาค่าความเข้มสีที่ใช้ในการตรวจวัด 29
4.3 ผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายเอทานอล 30
4.4 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทดลอง 32
4.5 กราฟมาตรฐาน 33
4.6 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง 34
4.7 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ 35
4.7.1 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง 36
4.7.2 ผลการศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ 36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 37
5.1 สรุปผลการวิจัย 37
5.2 ข้อเสนอแนะ 38
เอกสารอ้างอิง 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก..... 42
ภาคผนวก ก..... 43
ภาคผนวก ข..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงลักษณะเฉพาะของเอทานอล..... 4
2.2 ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผสมในเครื่องดื่มแต่ละประเภท..... 8
2.3 สมบัติของโคบอลต์คลอไรด์..... 16
4.1 แสดงค่าความเข้มสีที่แตกต่างกัน..... 29
4.2 แสดงสมการเส้นตรงและ R^2 เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าความเข้มสีต่างกัน..... 29
4.3 แสดงค่าความเข้มสีแดงเมื่อใช้สารละลายเอทานอล 0.04, 0.08 และ 0.16 มิลลิลิตร..... 30
4.4 แสดงสมการเส้นตรงและ R^2 เมื่อใช้สารละลายเอทานอลปริมาตรต่างกัน..... 31
4.5 แสดงค่าความเข้มสีแดงเมื่อใช้เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที..... 32
4.6 แสดงสมการเส้นตรงและ R^2 เมื่อใช้เวลาต่างกัน..... 32
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล (%v/v) กับ ค่าความเข้มสีแดง..... 33
4.8 แสดงค่าความเข้มสีแดงของสารละลายตัวอย่างเบียร์..... 34
4.9 แสดงค่าความเข้มสีแดงของสารละลายตัวอย่างสุรากลั่น..... 35
4.10 แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่มีในสารละลายตัวอย่าง (%v/v)..... 35
4.11 แสดงผลค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)..... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 (ก) โครงสร้างของเอทานอล (ข) โครงสร้างสามมิติของเอทานอล..... 4

2.2 (ก) โคบอลต์ (II) คลอไรด์ (ข) โคบอลต์ (II) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต..... 16

2.3 ระบบสี RGB..... 18

2.4 ระบบสี CMYK..... 18

2.5 ระบบสี HSB..... 19

2.6 ระบบสี Lab..... 20

3.1 การถ่ายภาพสารละลายด้วยกล้องของโทรศัพท์..... 24

4.1 สีของสารละลายเมื่อใช้ความเข้มข้นของโคบอลต์ (II) คลอไรด์ที่แตกต่างกัน..... 28

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสี (ก) ค่าความเข้มสีแดง (ข) ค่าความเข้มสีเขียว (ค) ค่าความเข้มสีน้ำเงิน (ง) ค่าความแตกต่างความเข้มสี..... 30

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดงที่ปริมาตรเอทานอลแตกต่างกัน..... 31

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดงที่เวลาแตกต่างกัน (ก) เวลา 10 นาที (ข) เวลา 20 นาที (ค) เวลา 30 นาที (ง) เวลา 40 นาที..... 33

4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายเอทานอล..... 34

ก.1 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และ การเปิดรูปภาพที่ต้องการ..... 43

ก.2 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และ การวัดค่าสี..... 44

ก.3 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และ การแสดงค่า Red Green Blue..... 44

ข.1 ตำแหน่งการวางโทรศัพท์..... 45

ข.2 การถ่ายภาพ..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา [1]

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์เป็นเครื่องดื่มที่คนไทยคุ้นชิน จากการรวบรวมข้อมูลของศูนย์วิจัยปัญหาสุรา (ศวส.) และสำนักงานสถิติแห่งชาติพบว่าปริมาณการดื่มแอลกอฮอล์ของคนไทยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.1 ลิตรต่อคนต่อปี อีกทั้งข้อมูลจากกรมสรรพสามิตบ่งชี้ว่าปริมาณเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นำเข้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.2 ต่อปี และพบว่านักดื่มในประชากรผู้ใหญ่ (อายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป) คิดเป็นร้อยละ 54 และเด็กอายุระหว่าง 15-19 ปี คิดเป็นร้อยละ 30.4 ภาคที่มีการดื่มสุรามากที่สุดคือ ภาคเหนือ โดยจังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดที่มีการดื่มสุรามากที่สุดในประเทศไทย ถือเป็นจังหวัดที่ดัชนีความเสี่ยงต่อปัญหาแอลกอฮอล์สูงสุดในประเทศไทย จังหวัดถัดมาคือ จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดแพร่ จังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดเชียงใหม่

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ผลิตและจำหน่ายนั้นมีมากมายหลากหลายประเภท ซึ่งทั้งหมดอยู่ในความควบคุมของกรมสรรพสามิต มีการกำหนดปริมาณแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มแต่ละชนิด ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลเพื่อควบคุมคุณภาพ วิธีทั่วไปสำหรับวิเคราะห์เอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ คือ วิธี Gas Chromatography และ High Performance Liquid Chromatography ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงและต้องใช้ความชำนาญในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังมีวิธี Spectrophotometry ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกแต่ก็ยังต้องใช้เครื่องมือในการตรวจวัด ในงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาวิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมด้วยการถ่ายภาพสีของสารละลายในหลอดทดลองและแปรผลภาพด้วยโปรแกรม ImageJ™ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง อาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างโคบอลต์ (II) กับลิแกนด์ Cl^- และ H_2O ซึ่งให้สีของสารละลายที่แตกต่างกันสัมพันธ์กับปริมาณน้ำ เป็นวิธีแบบอ้อมในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดสีแบบอ้อมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของโคบอลต์ (II)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของโคบอลต์ (II) กับลิแกนด์ H_2O และ Cl^-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ประยุกต์วิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมที่พัฒนาขึ้นสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมโดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของโคบอลต์ (II) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แอลกอฮอล์ [2,3]

นักมานุษยวิทยายังไม่พบหลักฐานที่แสดงให้เรารู้แน่ชัดว่ามนุษย์เริ่มรู้จักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ตั้งแต่เมื่อใด แต่นักวิทยาศาสตร์นั้นได้รู้ว่าธรรมชาติรู้จักสร้างเครื่องดื่มประเภทนี้มานานนับล้านปีแล้ว เพราะเวลาเชื้อหมักหรือยีสต์ที่อาศัยอยู่ในผลไม้เริ่มย่อยอาหารจะเปลี่ยนน้ำตาลที่มีอยู่ในผลไม้ให้เป็นอาหารของมันแล้วปลดปล่อยของเสีย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล ออกมา เมื่อเอทานอลมีความเข้มข้นมากขึ้น ๆ ถึง 16% ยีสต์ก็จะตาย เอทานอลที่มีก็จะทำให้ของเหลวเป็นแอลกอฮอล์ มนุษย์ในสมัยก่อนประวัติศาสตร์อาจรู้จักดื่มแอลกอฮอล์โดยบังเอิญได้ดื่มน้ำผึ้งที่ถูกปล่อยทิ้งในอากาศนาน ๆ และพบวิธีทำแอลกอฮอล์โดยใช้วิธีหมักผลไม้เป็นเวลานาน ๆ ก็สามารถมีแอลกอฮอล์ไว้ดื่มกินได้ทันที และเมื่อได้ประจักษ์ว่าแอลกอฮอล์เป็นเครื่องดื่มที่กระตุ้นเร้าจิตใจได้ดี เทคโนโลยีการทำแอลกอฮอล์จึงได้ถูกถ่ายทอดสืบต่อกันมา

คำว่า "แอลกอฮอล์" มาจากภาษาอารบิกคำว่า al-kohl ที่ชาวอาหรับใช้เรียกเครื่องดื่มประเภทยาดองของมึนเมาต่าง ๆ เช่น รัม บรั่นดี วิสกี้ เหล้า สาเก ไวน์องุ่น เบียร์ เป็นต้น ซึ่งในอดีตแอลกอฮอล์สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติก่อนที่มนุษย์จะรู้จักวิธีการผลิตแอลกอฮอล์เป็นครั้งแรกจากการที่เมื่อเวลาผลไม้สุกแล้วตกจากต้นลงในน้ำเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดของเหลวข้นสามารถนำมาดื่มได้ ทำให้ผู้ดื่มรู้สึกกระชุ่มกระชวย และกระปรี้กระเปร่า โดยปกติแอลกอฮอล์มีหลายชนิดตามน้ำหนักของโมเลกุลที่ประกอบขึ้นมา เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ เมทิลแอลกอฮอล์ บิวทิลแอลกอฮอล์ และโพรพิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น แอลกอฮอล์ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และนำไปใช้ด้านการอุปโภคบริโภคมากที่สุด คือ เอทิลแอลกอฮอล์ ดังนั้นในที่นี้แอลกอฮอล์จะหมายถึง เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์มีสูตรทางเคมี คือ C_2H_5OH ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เป็นไฮดรอกซิลดิริเวทีฟของไฮโดรคาร์บอนเกิดจากการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมด้วย hydroxyl group (OH) ต่ออยู่กับสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอน โดยคำว่า เอทานอล ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2435 มาจากคำว่า ethane ร่วมกับ "ol" ส่วนสุดท้ายของ "แอลกอฮอล์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ลักษณะเฉพาะของเอทานอล [4]

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะเฉพาะของเอทานอล [4]

สถานะ	ของเหลว ใส ไม่มีสี ระเหยง่าย และมีกลิ่นเฉพาะตัว
น้ำหนักโมเลกุล	46.07 กรัม/โมล
จุดเยือกแข็ง	-114.1 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	78.32 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ	14 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิวิกฤต	243.1 องศาเซลเซียส
ความดันวิกฤต	6383.48 kpa
ความหนาแน่น	0.7893 กรัม/มิลลิลิตร
การละลายน้ำ	ละลายได้ดีมาก และสามารถละลายเข้ากันได้ดีกับน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เมทิลแอลกอฮอล์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5-7

รูปที่ 2.1 (ก) โครงสร้างของเอทานอล
(ข) โครงสร้างสามมิติของเอทานอล [5]

โดยทั่วไปเอทิลแอลกอฮอล์ผลิตได้จากกระบวนการหมักโดยใช้วัตถุดิบประเภทน้ำตาล กลูโคสเป็นสารตั้งต้นเปลี่ยนโมเลกุลของน้ำตาลด้วยยีสต์ และเข้าสู่กระบวนการกลั่นโดยนำเอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักไปกลั่นที่ความดันบรรยากาศให้ได้ออกมาเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยาและเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง ผลิตอาหาร และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ รวมทั้งใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรม การสังเคราะห์สารเคมีพวกอีเทอร์ เอทิลีน กรดแอซีติก และใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ [6]

การผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติทางชีวเคมี เรียกอีกอย่างว่า การผลิตไบโอเอทานอล เป็นการผลิตโดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรจำพวก แป้ง น้ำตาล และเซลลูโลส สามารถแบ่งวัตถุดิบได้ 3 ประเภท ดังนี้

- วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ธัญพืช ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ

- วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล บีทรูท ข้าวฟ่างหวาน

- วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด เศษไม้ เศษกระดาษ ขี้เลื่อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบจากธรรมชาติ มีสมการการย่อย ดังนี้

$$\underset{\text{(Starch)}}{(C_6H_{12}O_5)_n} + nH_2O \xrightarrow{\text{Enzyme}} \underset{\text{(Sugar)}}{n\,C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{Yeast}} \underset{\text{(Ethanol)}}{2n\,C_2H_5OH} + 2nCO_2$$

1. การผลิตแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบประเภทแป้ง (Conventionnal Process)

การผลิตแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบประเภทแป้งนิยมใช้มันสำปะหลัง หรือมันสำปะหลังชนิดเส้น ในบางประเทศใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ เช่น ประเทศในแถบทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกาและตอนเหนือของประเทศจีน วัตถุดิบที่นำมาใช้ต้องผ่านการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ปรับความเข้มข้นความเป็นกรด - ด่าง (ค่า pH) และควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการหมัก การผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้มันสำปะหลังที่จะใช้เป็นวัตถุดิบต้องผ่าน 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation of Feedstock) มันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ต้องผ่านกระบวนการการแยกเหง้า การทำความสะอาด การบดให้ละเอียดเป็นแป้ง การผสมน้ำ และนำเข้าสู่กระบวนการย่อยแป้ง

ขั้นตอนที่ 2 การย่อยแป้ง (Liquefaction and Saccharification) การย่อยแป้งคือการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อให้มีสภาพพร้อมที่จะเข้าสู่การหมักแอลกอฮอล์ด้วยยีสต์ในขั้นต่อไป การย่อยแป้งแบ่งได้ 2 ลักษณะตามสารที่นำมาใช้ย่อย ได้แก่

- การย่อยแป้งด้วยกรด (Acid Hydrolysis) วิธีนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมเนื่องจากการใช้กรดจะเกิดการกัดกร่อนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการได้ง่าย

- การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis) วิธีนี้ได้รับความนิยมมากกว่าการย่อยแป้งด้วยกรด เนื่องจากสะดวก ประหยัดต้นทุน ช่วยรักษาเครื่องมือและเครื่องจักรของกระบวนการผลิต และเป็นการช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมหัวเชื้อและการหมัก (Yeast proliferation and Fermentation) ต้องคำนึงถึงชนิดของคาร์โบไฮเดรตหรือวัตถุดิบที่ใช้ เช่น วัตถุดิบประเภทแป้งหรือน้ำตาลทั่วไป จะใช้ยีสต์จำพวก Saccharomyces sp. โดยทั่วไปนิยมใช้ S. cerevisiae เนื่องจากสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ดี และทนต่อความเข้มข้นน้ำตาลที่สูงได้ การเตรียมหัวเชื้อเพื่อให้ได้จุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับใช้ในการหมักประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

- การเตรียมอุปกรณ์ จะต้องทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกชนิดด้วยความร้อน รวมถึงการเลี้ยงเชื้อและการขยายเชื้อที่ต้องใช้ไอน้ำอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115-125 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30-40 นาที

- การเตรียมเชื้อจากห้องปฏิบัติการ เริ่มจากทำในขวดวัดปริมาตร เพิ่มจำนวนจนได้ปริมาณเชื้อเพียงพอสำหรับการนำไปเลี้ยงในถังเลี้ยงเชื้อ

- การเลี้ยงเชื้อในถังเลี้ยง ต้องเตรียมอาหารให้เพียงพอ และป้องกันการติดเชื้ออื่น ๆ จากนั้นกวนส่วนผสมในถัง แล้วจึงเติมอากาศที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เพื่อเร่งการทำงานของยีสต์ Succharomyces cerevisiae SC90 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 29-32 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นช่วงที่ยีสต์เจริญเติบโตได้ดี

- การเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบ เนื่องจากต้องมีการตรวจสอบปริมาณยีสต์ก่อนการหมักเพื่อให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation) การกลั่นแอลกอฮอล์เป็นขั้นตอนที่ทำให้แอลกอฮอล์มีความบริสุทธิ์ และแยกแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำส่า หากใช้การกลั่นลำดับส่วนจะแยกแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ได้ถึงร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร ในกรณีที่จะแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง (แก๊สโซฮอล์) ต้องทำให้แอลกอฮอล์มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ซึ่งต้องกลั่นแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์
ตัวอย่างเทคโนโลยีที่ใช้กลั่นแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ เช่น

- การดูดซับด้วย Molecular sieve
- การกลั่นด้วยอะซีโอโทรป (Azeotropic distillation)
- เทคโนโลยีแผ่นเยื่อบาง (Membrane technology)
- การสกัด (Countercurrent Extraction)
- การดูดน้ำโดยตรง (Quicklime Process)

2. การผลิตแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบประเภทน้ำตาล (Molasses)

ประเทศไทยเพาะปลูกอ้อยเป็นจำนวนมาก และผลิตน้ำตาลเพื่อการส่งออกเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากบราซิล และออสเตรเลีย การผลิตน้ำตาลจากอ้อย 1 ตันจะเกิดกากน้ำตาลประมาณ 50-58 กิโลกรัม ส่งผลให้ไทยเป็นผู้ส่งออกกากน้ำตาลรายใหญ่ของโลก แต่ก็ยังมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนวัตถุดิบ เพราะมีตลาดรองรับทั้งภายใน และต่างประเทศ ทั้งยังขึ้นอยู่กับปริมาณอ้อย และการผลิตกากน้ำตาลในแต่ละปีอีกด้วย กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลิตแอลกอฮอล์ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในแก๊สโซฮอล์ การผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล จะคล้ายกับการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง เพียงแต่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากนำกากน้ำตาลมาเจือจางด้วยน้ำและหมักไว้ประมาณ 48 ชั่วโมงจึงได้แอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้เอทานอลร้อยละ 95 สุดท้ายจึงนำไปผ่านกระบวนการแยกน้ำเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์มีข้อดี คือ ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมเพียงแต่ต้องทำการเจือจางกากน้ำตาลให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมเท่านั้น ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ ส่วนข้อเสียคือ ทำให้เกิดตะกรันในหอกลั่น ส่งผลให้ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง และแอลกอฮอล์ที่ได้จากการผลิตด้วยกากน้ำตาลยังมีสีเข้ม ซึ่งยากแก่การกำจัดสีให้หมดไป

3. การผลิตแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบประเภทเส้นใยเซลลูโลส

วัตถุดิบประเภทเส้นใยที่จะใช้ผลิตแอลกอฮอล์ต้องผ่านกระบวนการย่อยเซลลูโลสเพื่อให้กลายเป็นน้ำตาลก่อนด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ปรับความเข้มข้น ความเป็นกรด-ด่าง และควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งขั้นตอนการผลิตจะคล้ายกับการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง แต่การใช้วัตถุดิบประเภทเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นแอลกอฮอล์ยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเชิงการค้าอยู่

2.1.3 การนำแอลกอฮอล์ไปใช้งาน [7]

แอลกอฮอล์เป็นสารที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ด้านอาหารและเครื่องดื่ม ด้านการแพทย์และสาธารณสุข และอุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การนำไปใช้เป็นอาหารและเครื่องดื่ม

แอลกอฮอล์ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มหลายประเภท เช่น สุรา เบียร์ โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผสมในเครื่องดื่มต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นส่วนผสมเครื่องดื่มจะเป็นแอลกอฮอล์ที่ผลิตจากกระบวนการหมัก ส่วนแอลกอฮอล์แปลงสภาพจะถูกใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มและอาหารบางชนิด เช่น น้ำผลไม้และน้ำส้มสายชูกลั่นขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแอลกอฮอล์และวัตถุดิบที่ผสมในเครื่องดื่มแต่ละประเภท [7]

ชนิดเครื่องดื่ม	ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	วัตถุดิบที่ใช้ผลิตแอลกอฮอล์
เบียร์	10-15 (3.2-4.0)	เมล็ดพืช หรือ ข้าวมอลต์
ไวน์	15-20	ผลไม้
บรั่นดี	45-60	กลั่นจากไวน์ หรือ ผลไม้
วิสกี้	45-60	ข้าวบาร์เลย์
วอดก้า	40-50	มันฝรั่ง
ยิน	40-48.5	กลั่นจากพืช
รัม	40-95	กลั่นจากกากน้ำตาล

นอกจากนี้ยังนำแอลกอฮอล์มาใช้อุปโภคในรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ของใช้ส่วนตัว เช่น น้ำยาบ้วนปาก สเปรย์ฉีดผม ยาฆ่าเชื้อทำความสะอาด สบู่ล้างมือ สเปรย์กันแดด ยาแก้ไอ เครื่องสำอาง โคโลจน์ และน้ำหอม ใช้เป็นองค์ประกอบทางเคมี และเภสัชกรรม ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้มีการแปลงสภาพ มีส่วนผสมระหว่างแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95 ดีกรี หรือแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 96 ดีกรี, แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 99.5 ดีกรี เพื่อป้องกันการรับประทาน สารที่ใช้แปลงสภาพแอลกอฮอล์ ได้แก่ Bitrex, DEP เป็นต้น

2. การนำไปใช้ทางการแพทย์ เภสัชกรรม และสาธารณสุข

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในทางการแพทย์สามารถใช้ได้ทั้งแอลกอฮอล์แปลงสภาพ และแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ที่ถูกนำมาใช้ประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล แอลกอฮอล์ที่กล่าวมาข้างต้นจะใช้ผลิตเป็นน้ำยาสำหรับล้างแผล ฆ่าเชื้อโรค และเป็นตัวทำละลายในยาแก้ไอ

3. การนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถใช้ได้ทั้งแอลกอฮอล์แปลงสภาพบางสูตร และแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ที่ถูกนำมาใช้ประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล แอลกอฮอล์ที่กล่าวมาสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอะซิโทนเป็นตัวทำละลาย เช่น การผลิตสีหมึกพิมพ์ น้ำมันขัดเงา สารเคลือบผิว สารเคลือบแผ่นซีดี และแผ่นดีวีดี เป็นสารทำความสะอาดชิ้นงาน เช่น การทำความสะอาดชิ้นงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต้องใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 96 ดีกรี และแอลกอฮอล์ 99.9 ดีกรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์อาจเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 ดีกรี หรือเรียกว่า Anhydrous Ethanol หรือแอลกอฮอล์ที่มีสารปนเปื้อน ซึ่งต้องผ่านการปรับปรุงคุณลักษณะก่อน โดยการเพิ่มค่าออกเทนหรือลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนตรัสออกไซด์บางชนิดก่อน แอลกอฮอล์ที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลายชนิด เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ โพรพิวแอลกอฮอล์ และบิวทิลแอลกอฮอล์

2.2 เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ [8]

แบ่งประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้ 3 แบบได้แก่

1. แบ่งตามกรรมวิธีในการผลิต

- สุราแช่ หรือ สุราหมัก (Fermentation) คือ สุราที่ได้จากการหมักวัตถุดิบกับรา และยีสต์ รวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีความแรงของแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี เช่น ไวน์ แชมเปญ สาโท ไวน์คูลเลอร์ สปาร์คกลิ้งไวน์ เบียร์ เป็นต้น

- สุรากลั่น (Distillation) คือ การนำเอาสุราแช่มากลั่น เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น และรวมถึงสุรากลั่นที่ผสมกับสุราแช่แล้ว แต่มีความแรงแอลกอฮอล์เกินกว่า 15 ดีกรี เช่น วิสกี้ บรั่นดี คอนยัค วอดก้า จิน รัม เตกีล่า เหล้าขาว ลิเคียว เป็นต้น

2. แบ่งตามขั้นตอนในการเตรียมการก่อนดื่ม

- เครื่องดื่มที่สามารถดื่มได้ทันที (Ready to Drink) ไม่ต้องมีขั้นตอนในการปรุงหรือผสมอีก ได้แก่ ไวน์ บรั่นดี คอนยัค เบียร์ เครื่องดื่ม RTD (เช่น บาคาร์ดี้ สปาย) รวมทั้งเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์อื่นๆด้วย

- เครื่องดื่มที่มีการเตรียมการก่อนดื่ม (Prepared Beverage) คือ เครื่องดื่มที่ต้องมีการปรุงหรือผสมก่อนดื่ม เช่น วิสกี้ ค็อกเทล

3. แบ่งตามช่วงเวลาของมื้ออาหาร

- เครื่องดื่มก่อนอาหาร (Aperitif) ใช้ดื่มเพื่อดับกระหาย หรือเรียกน้ำย่อย

- เครื่องดื่มระหว่างมื้ออาหาร เช่น ไวน์ ใช้ดื่มควบคู่กับการรับประทานอาหาร

- เครื่องดื่มหลังอาหาร (Digestif) มักเป็นเครื่องดื่มหรือเหล้าที่มีรสหวานเพื่อช่วยในการย่อยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

1. แอพเพอริทิฟ (Aperitif) คือเหล้าที่นิยมดื่มก่อนอาหาร เป็นเครื่องดื่มเก่าแก่จัดอยู่ในประเภทเหล้ายา ซึ่งนิยมมากในประเทศฝรั่งเศส และอิตาลี ทำจากเหล้าสมุนไพร และเครื่องเทศ แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- เวอร์มุท (Vermouth) เป็นเหล้ายาทำจากรากไม้ และเครื่องเทศ มีกลิ่นและรสชาติแตกต่างกันออกไปคล้ายกับยาบำรุงเลือดของไทย เวอร์มุทเป็นสุราหมักชนิดหนึ่ง ทำมาจากองุ่น และได้ผ่านการปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยพืชสมุนไพร เครื่องเทศสามารถเรียกอีกอย่างว่า อโรมาติกไวน์ หรือ แอปเพอร์ริทิฟไวน์ เพราะเป็นสุราที่ทำมาจากเหล้าองุ่นถึง 75% ต้นกำเนิดของเวอร์มุทมาจากประเทศอิตาลี นอกจากอิตาลีแล้วฝรั่งเศสก็เป็นอีกประเทศที่ผลิตเวอร์มุทอย่างแพร่หลาย การทำเวอร์มุทค่อนข้างยุ่งยากส่วนสำคัญคือ เหล้าองุ่น โดยทั่วไปใช้องุ่นขาวที่ไม่มีรสชาติ Vermouth มีหลายยี่ห้อ เช่น Martini, Barbero, Dubonet เป็นต้น โดยมีลักษณะงานที่ใช้แตกต่างกัน

- บิตเตอร์ (Bitter) เป็นเหล้ายาที่มีรสขม ชาวยุโรปนิยมดื่มแก้โรคกระเพาะ ซึ่งชาวยุโรปเชื่อว่า Bitter จะช่วยย่อยอาหารได้ Bitter บางชนิดมีรสขมมาก หรือบางชนิดมีรสขมอมหวาน เช่น Campari, Fernet Branca, Branca Menta, Angostura Bitter เป็นต้น

- อนิซ (Anis) เป็นเหล้ายาสีเหลืองใสทำจากเมล็ดของ Anis กลิ่นหอมเย็น ๆ นิยมดื่มแก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ เช่น Pernod, Ricard, Pastis เป็นเหล้าที่มีดีกรีสูงที่สุดในบรรดาเหล้าด้วยกัน

2. สปิริต (Spirit) คือ สุราที่ได้จากการกลั่นทั้งหมด ได้แก่

- บรั่นดี (Brandy) เกิดจากการหมักองุ่นให้เป็นไวน์ แล้วจึงนำมากลั่นเป็นบรั่นดี จากนั้นนำไปเก็บบ่มให้ได้สี กลิ่น รสที่ดี บรั่นดีที่มีขายตามตลาดทั่ว ๆ ไป แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

- Domestic Brandy (บรั่นดีพื้นเมือง) คือบรั่นดีที่ผลิตจากองุ่น แล้วนำมากลั่นเป็นบรั่นดีอีกที เช่น Regency Brandy, German Brandy

- Premium Brandy (บรั่นดีเกรดสูง) เป็นบรั่นดีราคาแพงที่เก็บบ่มไว้ในถังไม้โอ๊กนาน ๆ โดยระบุคุณภาพเป็นอักษรย่อหรือชื่อพิเศษ

- Fruit Brandy (บรั่นดีผลไม้) คือบรั่นดีที่ทำจากผลไม้อื่น ๆ ที่ไม่ใช่ผลองุ่นซึ่งจะให้กลิ่นรสแตกต่างกันไป

- วิสกี้ (Whisky,Whiskey) คือ สุรากลั่นที่ทำจากข้าว ข้าวโพด หรือ Grain ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดก็ได้ โดยนำมาหมักแล้วกลั่นให้มีดีกรีสูงขึ้น จากนั้นนำไปเก็บบ่มในถังไม้โอ๊กเพื่อให้ได้สี กลิ่น และรสที่ดีขึ้น บางชนิดนำไปปรุงแต่ง สี กลิ่น รสอีกครั้งก่อนบรรจุเพื่อให้ได้มาตรฐานตามความนิยมของผู้บริโภค วิสกี้จะมีเอกลักษณ์ในด้านกลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยิน (Gin) ยินเป็นสุราอีกชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นของการหมักของกากน้ำตาล, เมล็ดธัญพืช เช่น เมล็ดข้าวโพด, เมล็ดข้าวบาร์เล่ย์, เมล็ดข้าวไรย์ และเมล็ดข้าวอื่น ๆ ยินเป็นสุราขาว ใส ไม่มีสี มีกลิ่นรสสดชื่นของผลจูนิเปอร์ สมุนไพรและเครื่องเทศต่าง ๆ ทำให้ยินแตกต่างจากสุราทั่วไป กลิ่นและรสชาติก็แตกต่างกันไปเพราะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งวิธีการผลิตและส่วนผสม ยินที่รู้จักกันดี เช่น Bombay, Sapphire, Beefeater, Gordon, Gilbey's สำหรับประเทศไทย เหล้าที่มีกลิ่นคล้ายเหล้ายินต่างประเทศที่เกิดขึ้นรายแรก คือ อังเคิล ทอม จี (Uncle Tom-G)

- รัม (Rum) จัดเป็นประเภท Spirit เป็นเหล้าที่กลั่นจากอ้อยหรือกากน้ำตาล ผลิตมากตามหมู่เกาะฝั่งทะเลคาร์ลิเบียน

- วอดก้า (Vodka) วอดก้าเป็นเหล้าสีขาวใส มีกลิ่นเพียงเล็กน้อย มีดีกรี 40-60 เป็นเหล้าที่หมักจากข้าว มันฝรั่ง และอ้อย แล้วแต่วัตถุดิบของผู้ผลิตประเทศนั้น ๆ ผ่านการกรองและดูดกลิ่นจนเหลือสีเจือปน และกลิ่นน้อยที่สุด บางชนิดนิยมแช่สมุนไพร หรือเครื่องเทศเพื่อให้เป็นเหล้ายา วอดก้ามีต้นกำเนิดในแถบยุโรปตะวันออก ซึ่งมีอากาศหนาวเย็น ผู้คนแสวงหาเครื่องดื่มที่จะช่วยต่อสู้กับความหนาวเย็นได้ วอดก้าเป็นนิวโทรล์ สปิริต (Neutral Spirt) คือ สุราที่มีความเป็นกลาง คือ ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี และไม่มีรส วัตถุดิบในการผลิตของวอดก้านั้นมีหลายชนิดนับตั้งแต่ มันฝรั่ง, เมล็ดข้าว เช่นเมล็ดข้าวโพด และเมล็ดข้าวสาลี แต่ส่วนมากจะใช้ธัญพืชในการผลิต นอกจากนี้วอดก้ายังได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเมื่อดื่มแล้วจะทำให้เกิดอาการเมาค้างในวันรุ่งขึ้นได้น้อยที่สุดในบรรดาสุราทุกชนิด

- เตกีล่า (Tequila) เป็นเหล้าสีขาวกลิ่นแรง ปกติเตกีล่าจะมีสีขาว แต่บางชนิดมีสีเหลืองทองจากการเก็บบ่มในถังไม้ ปกตินิยมดื่มเหล้าเตกีล่าโดยไม่ผสม ในแถบประเทศไทย หลักในการผลิตเตกีล่าคือต้นบลูอากาเว่ จะต้องใช้เวลาปลูกนาน 8 – 12 ปี ถึงจะนำมาใช้ผลิตเตกิล่าได้

- ไวน์ (Wine) คือ สุราหมักที่ทำจากองุ่น หรือผลไม้หมักอื่น ๆ สมดุลเคมีธรรมชาติขององุ่นทำให้หมักโดยไม่ต้องเพิ่มน้ำตาล กรด เอ็นไซม์ น้ำหรือสารอาหารอื่น ยีสต์บริโภคน้ำตาลในองุ่นแล้วเปลี่ยนเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ พันธุ์ขององุ่นและสายพันธุ์ของยีสต์ที่ต่างกันทำให้ได้ไวน์คนละแบบ แบบที่รู้จักกันดีเกิดจากอันตรกิริยาที่ซับซ้อนยิ่งระหว่างการเจริญทางชีวเคมีของผลไม้ ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการหมัก แหล่งที่ปลูก (terrior) และการระบุแหล่ง (appellation) ตลอดจนการแทรกแซงของมนุษย์ในกระบวนการโดยรวม โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- สตีล ไวน์ (Still Wine) หรือไวน์ไม่มีฟอง เป็นไวน์ที่ผลิตจากองุ่น และมีปริมาณแอลกอฮอล์ 9-14% แบ่งออกได้ประเภทตามสีของไวน์ ซึ่งมีวิธีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันตรงวัตถุดิบคือ พันธุ์องุ่น

- สปาร์คลิ้ง ไวน์ (Sparkling Wine) หรือไวน์มีฟอง เป็นไวน์ที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนอยู่ สปาร์คลิ้งไวน์ส่วนใหญ่ใช้ดื่มฉลองชัยชนะ ความสำเร็จ เช่น แชมเปญ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอปเพอร์ริทีฟ ไวน์ (Aperitif Wine) คือไวน์เจริญอาหารหรือไวน์ปรุงแต่งกลิ่นรส ใช้ดื่มเพื่อเรียกน้ำย่อยก่อนรับประทานอาหารไวน์ประเภทนี้ที่นักดื่มรู้จักดี คือเวอร์มุท ซึ่งปรุงแต่งให้มีกลิ่นหอมเครื่องเทศและสมุนไพร

- ฟอร์ทิฟายด์ ไวน์ (Fortified Wine) เป็นไวน์ปรุงแต่งให้มีดีกรีสูงกว่าไวน์ธรรมดา โดยนำสตีลไวน์ธรรมดาไปเคล้าผสมกับเหล้าบรั่นดี ก่อนทำการบรรจุขวด

2.3 เบียร์ [9]

เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แรกของโลกที่ได้จากการหมัก

2.3.1 วัตถุดิบที่สำคัญ

- ข้าวมอลต์

ได้มาจากข้าวบาร์เลย์ซึ่งเป็นธัญพืชที่นิยมปลูกในประเทศที่มีภูมิอากาศเย็นปลูกกันมาก ประเทศไทยมีการนำสายพันธุ์ข้าวบาร์เลย์เข้ามาปลูกในแถบภาคเหนือแต่ยังมีปริมาณไม่มากนัก ข้าวบาร์เลย์ที่เก็บเกี่ยวแล้วจะนำไปเปลี่ยนสภาพให้เป็นข้าวมอลต์ ในขั้นตอนแรกจะนำข้าวบาร์เลย์ไปแช่น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียสเพื่อให้เมล็ดได้รับความชื้นพร้อมกับได้รับออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เซลล์ของเมล็ดได้รับการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการงอกของรากอ่อนและใบอ่อน จากนั้นจึงนำเมล็ดข้าวบาร์เลย์ไปผึ่ง ซึ่งมีการเป่าลมที่มีความเย็นประมาณ 18 องศาเซลเซียสแล้วจึงนำเมล็ดข้าวไปอบให้แห้งอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส ข้าวที่อบเสร็จแล้วนี้เรียกว่าข้าวมอลต์ ซึ่งจะนำไปขัดเอารากอ่อน และใบอ่อนออก การอบให้แห้งนั้นอุณหภูมิของการอบจะเป็นตัวชี้ว่าข้าวมอลต์ที่อบแล้วจะเป็นข้าวมอลต์ประเภทใด เช่น ถ้าอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสจะทำให้เปลือกข้าวและเมล็ดเป็นสีดำ จึงเรียกข้าวมอลต์ชนิดนี้ว่ามอลต์ดำ หรือ คาราเมลมอลต์ เป็นต้น

- น้ำ

เป็นวัตถุดิบที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง เนื่องจากเบียร์มีส่วนประกอบที่เป็นน้ำมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพของน้ำที่ใช้สำหรับการผลิตเบียร์ขึ้นอยู่กับลักษณะของเบียร์ที่จะผลิต และจะมีผลต่อรสชาติของเบียร์ หรือมีผลต่อความเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เป็นต้นว่าสารที่ให้ความขมที่มีอยู่ในดอกฮ็อพจะให้ความขมแก่เบียร์ได้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความกระด้างและค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ

- ดอกฮ็อพ

เป็นพืชล้มลุกประเภทไม้เลื้อย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Humulus lupulus นิยมปลูกกันมากในประเทศแถบยุโรป เช่นประเทศเยอรมนี อังกฤษ สาธารณรัฐเชค นอกจากนี้มีในประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ในแถบเอเชียจะมีการปลูกฮ็อพในประเทศจีน และญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยีสต์

หรือทั่วไปเรียกว่า ส่า จัดเป็นจุลินทรีย์ประเภทราที่สามารถใช้น้ำตาลจากมอลต์เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และเพิ่มประชากร การใช้น้ำตาลเป็นอาหารของยีสต์ทำให้เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การหมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอื่น ๆ ควบคู่กันไปด้วย แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ ยีสต์ชนิดลอยหรือท็อปยีสต์ และยีสต์ชนิดจมหรือบ็อททอมยีสต์

2.3.2 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตเบียร์เริ่มจากการนำข้าวมอลต์มาบดให้เมล็ดแตกพร้อมทั้งใส่น้ำผสมลงไปในถังผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ ในสมัยก่อนนั้นนิยมทำด้วยทองแดง ทองแดงเองนอกจากจะมีความสวยงามแล้วยังเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทำให้ความร้อนสามารถผ่านไปที่ของผสมในถังผสมได้เร็วขึ้น ปัจจุบันทองแดงมีราคาแพงขึ้น และจะต้องเสียเวลาบำรุงรักษามาก จึงมีการคิดค้นนำวัสดุสแตนเลสมาทำเป็นถังผสมสำหรับผสมข้าวและต้มเบียร์ ซึ่งนอกจากราคาจะถูกกว่าทองแดงแล้ว ยังสามารถทำความสะอาดด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งประหยัด ปลอดภัย และไม่เสียเวลาในการดูแลรักษามากนัก เมื่อผสมข้าวและน้ำลงไปในถังผสมแล้วจึงให้ความร้อนที่เหมาะสมเพื่อให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในข้าวมอลต์เปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลมอลโตส หลังจากนั้นจึงแยกเอาของเหลวออกจากกากข้าว ของเหลวดังกล่าวเรียกว่า เวิร์ท ซึ่งจะมีความหวานของน้ำตาลมอลโตสอยู่จากนั้นจึงต้มเวิร์ทให้เดือดพร้อมทั้งใส่ดอกฮ็อพ เมื่อต้มเวิร์ทจนได้ที่แล้วจะปล่อยให้ตกตะกอน หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลงพร้อมทั้งใส่ยีสต์และเติมลมเพื่อการเจริญของยีสต์ แล้วนำไปหมักในถังหมัก อุณหภูมิของการหมักขึ้นอยู่กับชนิดของเบียร์ และชนิดของยีสต์ที่ใช้ โดยทั่วไปถ้าใช้ท็อปยีสต์จะหมักที่ประมาณ 20-22 องศาเซลเซียส ถ้าใช้บ็อททอมยีสต์จะหมักที่ 8-13 องศาเซลเซียส การหมักจะใช้เวลาประมาณ 5 วันสำหรับท็อปยีสต์ ส่วนบ็อททอมยีสต์ใช้เวลา 7-10 วัน หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการหมักแล้วจึงแยกยีสต์ออก เบียร์ที่ได้ในช่วงนี้เรียกว่า กรีนเบียร์ ซึ่งจะต้องนำไปเก็บบ่มต่อไปอีกระยะหนึ่ง โดยการควบคุมความเย็นและแรงดันภายในถังบ่มเพื่อให้เบียร์ใสขึ้น และมีรสชาติที่กลมกล่อม หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกเอาตะกอนแขวนลอย และยีสต์ที่ตกค้างออก จึงจะได้เบียร์ที่ใสพร้อมดื่ม เบียร์ที่กรองพร้อมดื่มแล้วนี้เรียกกันว่าดราฟท์เบียร์ หรือที่นิยมเรียกว่า เบียร์สด ซึ่งในสมัยก่อนจะมีการบรรจุลงถังไม้ ต่อมามีการนำถังที่เป็นวัสดุอะลูมิเนียมมาแทน เนื่องจากไม้มีน้ำหนักมากยากต่อการดูแลรักษา แต่ก็พบว่าผิวของอะลูมิเนียมเมื่อสัมผัสกับเบียร์ซึ่งมีสภาพเป็นกรดเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเป็นรูพรุน จึงมีการคิดเอาวัสดุสแตนเลสมาทำเป็นถังสำหรับใส่เบียร์ดแทน ซึ่งสะดวกต่อการขนส่ง เคลื่อนย้าย และบำรุงรักษา แสงสว่างซึ่งมีอัลตราไวโอเลต (UV) สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบียร์ได้ มีผลทำให้สีของเบียร์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการบรรจุเบียร์ลงในภาชนะที่เป็นขวด จึงนิยมใช้ขวดที่มีสี เช่น สีน้ำตาล หรือสีเขียว ซึ่งจะช่วยป้องกันแสงอัลตราไวโอเลตผ่านได้

2.4 สุราขาว หรือ เหล้าขาว [10]

คือสุรากลั่นที่ปราศจากการย้อมหรือสิ่งผสม มีแรงแอลกอฮอล์ต่ำกว่า 80 ดีกรี เป็นสุราที่ได้จากการควบคุมการหมัก และกลั่นอย่างพิถีพิถัน มีการตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพทุกขั้นตอนในกระบวนการผลิต และได้รับการอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม น้ำที่นำมาใช้ปรุงแต่งปรับดีกรีสุราเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากแร่ธาตุ จึงทำให้ได้น้ำสุราที่ใส และรสชาติชวนดื่ม

2.4.1 การหมักแอลกอฮอล์

ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลฟรุคโตสให้เป็นแอลกอฮอล์ และมีผลพลอยได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตามทฤษฎีจะได้แอลกอฮอล์ประมาณ 50 % จากปริมาณน้ำตาลที่ใช้แต่ในทางปฏิบัติมักไม่ถึงเพราะจะเกิดผลพลอยได้เป็นสารให้กลิ่นรสอีกหลายชนิด ดังนั้นหากหมักน้ำตาลที่มีปริมาณน้ำตาล 20 บริกส์หรือ 200 กรัมต่อลิตร จะได้แอลกอฮอล์ประมาณ 100 กรัมต่อลิตร หรือ 10 % หรือต่ำกว่านี้เล็กน้อย แต่เมื่อคำนวณเป็นปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะต้องใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของแอลกอฮอล์มาหาร คือ 0.7893 ทำให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นมากกว่า 10 % เช่นถ้ามีแอลกอฮอล์ 96.3 กรัมต่อลิตรจะได้ 12.2 % โดยปริมาตรในการหมัก ยีสต์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรก หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะช้าลงจนถึงช่วงที่ไม่เพิ่มจำนวนขึ้น แต่ในช่วงนี้ก็ยังมีการเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ขึ้นเรื่อย ๆ และปริมาณน้ำตาลก็ลดลง และมีการสร้างสารให้กลิ่นรสต่าง ๆ ในช่วงนี้ด้วย ดังนั้นจึงต้องหมักไว้แม้ยีสต์จะหยุดเพิ่มจำนวนแล้วก็ตาม

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักยีสต์

- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงในน้ำหมักเป็นขั้นตอนที่ปฏิบัติมาเป็นปกติแล้ว ทั้งนี้เพื่อควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ธรรมชาติ โดยจะลดปริมาณยีสต์เริ่มต้นในน้ำหมักลงประมาณ 10 เท่า และทำให้เกิดระยะพักตัวประมาณ 1-2 วัน ก่อนจะเริ่มเกิดการหมัก

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเจริญของยีสต์ และระยะเวลาของการหมัก ปริมาณของยีสต์ชนิดต่าง ๆ และปฏิกิริยาชีวเคมีของยีสต์ที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี และรสชาติของสุรา อัตราการเจริญของยีสต์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 10-25 °C การหมักควรควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไป โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 25 °C แต่การหมักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ยีสต์เครียด และผลิตฟูเซลออยล์ ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และอุณหภูมิที่สูงไปอาจทำให้ยีสต์ชะงักการเจริญได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณน้ำตาล

อัตราการหมักของยีสต์จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงเกิน 200 กรัมต่อลิตร เนื่องจากผลของความเข้มข้นต่อเซลล์ยีสต์ ดังนั้นการหมักกากน้ำตาลจึงไม่ควรเตรียมน้ำหมักให้มีของแข็งทั้งหมดเกิน 24 องศาบริกส์ และการเตรียมหัวเชื้อยีสต์ไม่ควรใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลมากเกินไป หากต้องการจำนวนยีสต์มากอาจลดน้ำตาลลงจากน้ำหมัก คืออาจเหลือเพียง 10 องศาบริกส์

- ไนโตรเจน

กรดอะมิโนอิสระและอิออนของแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักที่ยีสต์ใช้ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ สำหรับในน้ำองุ่น และข้าวมีไนโตรเจนเพียงพอ แต่ในวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น กากน้ำตาลอาจมีไม่เพียงพอ นอกจากนั้นยีสต์ยังต้องการไนโตรเจนมากขึ้นเมื่อน้ำหมักมีปริมาณน้ำตาลสูง จึงมีการเติมไนโตรเจนลงในน้ำหมัก เพื่อให้แน่ใจว่าไนโตรเจนจะไม่เป็นตัวจำกัดการหมัก หากน้ำหมักมีไนโตรเจนไม่ดพียงพอ ยีสต์จะผลิตกลิ่นก๊าซไข่เน่า และจะทำให้สุรามีกลิ่นไม่พึงประสงค์

- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

น้ำองุ่นและน้ำผลไม้ มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.0-4.0 ขึ้นกับปริมาณกรดในน้ำผลไม้ ค่า pH ที่เหมาะสมกับการเจริญของยีสต์อยู่ในช่วง 3.5-4.0 และหาก pH สูงมาก อาจเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรีย แต่ถ้าค่า pH ต่ำไปจะทำให้ยีสต์เจริญได้ช้าลง ในการหมักจึงอาจต้องตรวจความเป็นกรดด่างของน้ำหมักก่อนการหมัก

- วิตามิน เกลือแร่ สารปนเปื้อน

ในน้ำหมักปกติมักมีวิตามินเกลือแร่เพียงพอต่อการเจริญของยีสต์ แต่ถ้านำน้ำตาลทรายมาละลายน้ำ จะไม่เกิดการหมักเพราะขาดสารอาหาร ส่วนผลไม้ที่มีการพ่นยาฆ่าแมลงอาจมีผลต่อการหมักของยีสต์ได้

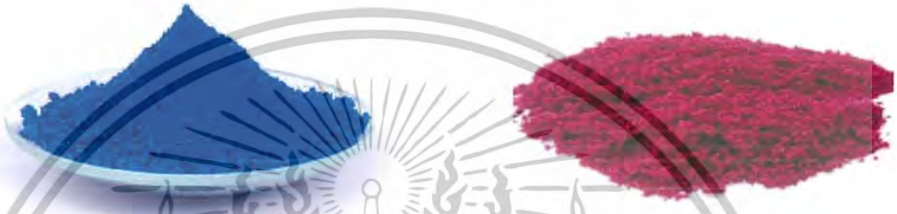
2.4.2 ทฤษฎีการกลั่น

การกลั่น คือการแยกสารตั้งแต่ 2 ชนิดที่อยู่ในของผสมออกจากกันโดยอาศัยหลักความแตกต่างของจุดเดือด และหลักการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างสองสถานะ สำหรับการกลั่นสุราของผสมนั้นคือน้ำส่าที่มีน้ำผสมอยู่กับแอลกอฮอล์และสารอื่น ๆ เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ และฟูเซลออยส์ น้ำบริสุทธิ์มีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แอลกอฮอล์มีจุดเดือดที่ 78.3 องศา แต่น้ำผสมกับแอลกอฮอล์จะมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำเดือดแต่สูงกว่าแอลกอฮอล์ ถ้ามีน้ำส่าที่มีแอลกอฮอล์ 10 % จะมีจุดเดือดที่ 93 องศาแต่ไอที่ระเหยที่อุณหภูมิเดียวกันนี้จะมีความเข้มข้น ของแอลกอฮอล์ที่ 55 % และเมื่อนำไอส่วนนี้มาควบแน่นก็จะได้ของเหลวที่มีแอลกอฮอล์ 55 % เช่นกัน และเมื่อนำแอลกอฮอล์ 55 % นี้มากลั่นอีกครั้งมันจะเดือดที่อุณหภูมิ 82.5 องศา และจะได้ไอที่มีแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเป็น 82 % จึงเป็นสาเหตุที่โรงเหล้าจะกลั่นหลายครั้งเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูงๆ แล้วจึงนำมาเจือน้ำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แรงแอลกอฮอล์ตามต้องการ ทั้งนี้เพื่อขจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออกไปแต่การทำให้แอลกอฮอล์เข้มข้นสูง ๆ สามารถใช้หอกลั่นแทนการกลั่นหลายๆครั้งได้ โดยเมื่อไอของสุราระเหยขึ้นไปแล้วก็นำไปควบแน่น และแบ่งของเหลวให้ไหลกลับลงมาในหอกลั่น เพื่อให้ไหลสวนทางกับไอที่ระเหยขึ้นมา ไอที่ระเหยขึ้นมาก็จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับของเหลวที่ไหลลงมา และทำให้น้ำควบแน่นไปอยู่กับของเหลว และแอลกอฮอล์จะระเหยจากของเหลวไปอยู่ในส่วนไอ ทำให้ได้ผลเหมือนกับมีการกลั่นและควบแน่นหลายครั้งในหอกลั่น โดยไม่ต้องนำไปกลั่นใหม่

2.5 โคบอลต์ (II) คลอไรด์ [11]



(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 (ก) โคบอลต์ (II) คลอไรด์ $CoCl_2$ [12]
(ข) โคบอลต์ (II) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ [13]

ตารางที่ 2.3 สมบัติของโคบอลต์คลอไรด์ [11]

ชื่อตาม IUPAC	Cobalt (II) chloride
ชื่ออื่น ๆ	Cobaltous chloride, Cobalt dichloride, Muriate of cobalt
ลักษณะทั่วไป	เป็นผงผลึกสีน้ำเงิน
สมบัติทางเคมี	ทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น เป็นกรดอย่างอ่อนและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี
จุดเดือด	1,049 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	86 องศาเซลเซียส
น้ำหนักโมเลกุล	237.95
ความหนาแน่น	3.35 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความดันไอ	40 มม.ปรอท
การระเหิด	500 องศาเซลเซียส
การละลายน้ำ	สามารถละลายน้ำได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 โปรแกรม Image J™ [14]

โปรแกรม Image J™ คือ โปรแกรมวิเคราะห์ขนาดของวัตถุบนภาพถ่ายเป็นโปรแกรมของสถาบันวิจัย National Institute of Mental Health (NIMH) ประเทศสหรัฐอเมริกา ถูกออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์ขนาด และพื้นที่ของวัตถุบนภาพถ่ายได้ในหน่วย pixel ของรูปนั้น หรือหน่วยพื้นที่ตามที่ต้องการ สามารถใช้ได้กับเครื่องแมคอินทอช หรือพีซีธรรมดา (Personal Computer) ที่มีโปรแกรม Java ตั้งแต่เวอร์ชั่น 1.4 ขึ้นไป โปรแกรม Image J™ เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์อย่างมากในงานวิจัยที่จำเป็นต้องวัดระยะ หรือพื้นที่ของวัตถุบนภาพที่ถ่ายจากกล้อง microscope หรือ Scanning electron microscope (SEM) หรือกล้องอื่นๆ

โปรแกรม Image J™ ทำงานโดยใช้คำสั่ง Analyze, Process และคำสั่งอื่นๆ บันทึกไฟล์ในรูปแบบ 8-bit, 16-bit, 32-bit และไฟล์ที่ตัวโปรแกรมอ่านได้ต้องบันทึกเป็นไฟล์ TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, หรือ raw โปรแกรม Image J™ สามารถเปิดภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พร้อม ๆ กันหลายภาพได้ในเวลาเดียวกัน สามารถคำนวณสัดส่วนพื้นที่ของวัตถุบนภาพได้ในหน่วย pixel ของรูปนั้น หรือหน่วยพื้นที่ตามมาตรฐาน เช่น ตารางมิลลิเมตร วัดระยะความยาวของวัตถุบนภาพ วัดความหนาแน่นของรูปภาพแล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่ง จัดทำค่าต่าง ๆ ในรูปสถิติ สามารถกำหนด Scale, Rotate, Flips ภาพได้ ซูมภาพได้ และเปิดภาพพร้อมกันหลายภาพได้ ข้อดีของ Image J™ คือ การที่เป็นโปรแกรมแจกฟรี (freeware) และอนุญาตให้ผู้ใช้แก้ไขตัวโปรแกรมและหา Plugin อื่น ๆ เพื่อมาช่วยแก้ไขปัญหาในการวิเคราะห์ภาพ สามารถศึกษาได้ในเว็บไซต์ของ Image J™ ในหมวด Plugin ที่มีการพัฒนามาให้ดาวน์โหลดใช้ได้ และหากต้องการแก้ไข code เองก็สามารถทำได้โดยการโหลดโปรแกรม BBEdit ซึ่งเป็นตัว edit code หรือโปรแกรม ANT ซึ่งเป็น Build Tool อีกหนึ่งตัวช่วยในการแก้ไข

2.7. ระบบสี (Color System) [15]

โดยทั่วไปสีในธรรมชาติและสีที่สร้างขึ้น จะมีรูปแบบการมองเห็นของสีที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการมองเห็นสีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไปนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ เช่น

1. ระบบสีแบบ RGB ตามหลักการแสดงสีของเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ระบบสีแบบ CMYK ตามหลักการแสดงสีของเครื่องพิมพ์
3. ระบบสีแบบ HSB ตามหลักการมองเห็นสีของสายตามนุษย์
4. ระบบสีแบบ Lab ตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ระบบสีแบบ RGB

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สีคือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ในสัดส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตามองเห็นได้โดยปกติ และจุดที่สีทั้งสามสีรวมกันจะกลายเป็นสีขาว นิยมเรียกการผสมสีแบบนี้ว่าแบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวก ซึ่งเป็นการผสมสีขั้นที่ 1 หรือถ้านำเอา Red Green Blue มาผสมครั้งละ 2 สี ก็จะทำให้เกิดสีใหม่ เช่น

Blue + Green = Cyan Red + Green = Yellow Red + Blue = Magenta

รูปที่ 2.3 ระบบสี RGB [16]

2.7.2 ระบบสีแบบ CYMK

เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ออกทางกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยสีพื้นฐานคือ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และเมื่อนำสีทั้ง 3 สีมาผสมกันจะเกิดเป็นสีดำ (Black) แต่จะไม่ดำสนิทเนื่องจากหมึกพิมพ์มีความไม่บริสุทธิ์ โดยเรียกการผสมสีทั้ง 3 สีข้างต้นว่า Subtractive Color หรือการผสมสีแบบลบ หลักการเกิดสีของระบบนี้คือ หมึกสีหนึ่งจะดูดกลืนสีจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่าง ๆ เช่นสีฟ้าดูดกลืนสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีนี้ในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB

รูปที่ 2.4 ระบบสี CMYK [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

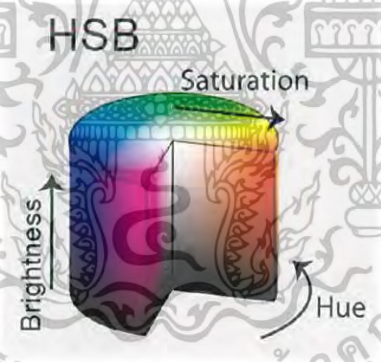
2.7.3 ระบบสีแบบ HSB

ระบบสี HSB เป็นระบบสีพื้นฐานในการมองเห็นสีด้วยสายตาของมนุษย์ ประกอบด้วยลักษณะของสี 3 ลักษณะ คือ

1. Hue คือ สีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเข้ามายังตา ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ได้ ซึ่งแต่ละสีจะแตกต่างกันตามความยาวของคลื่นแสงที่มากระทบวัตถุ และสะท้อนกลับ Hue ถูกวัดโดยตำแหน่งการแสดงสีบน Standard Color Wheel ซึ่งถูกแทนด้วยองศา 0 ถึง 360 องศา แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วมักจะเรียกการแสดงสีนั้น ๆ เป็นชื่อของสีเลย เช่น สีแดง สีม่วง สีเหลือง

2. Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก ถ้าถูกวัดโดยตำแหน่งบน Standard Color Wheel ค่า Saturation จะเพิ่มขึ้นจากจุดกึ่งกลางจนถึงเส้นขอบโดยค่าที่เส้นขอบจะมีสีที่ชัดเจนและอิ่มตัวที่สุด

3. Brightness คือ ระดับความสว่างและความมืดของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 ความสว่างจะน้อยซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสว่างมากที่สุด ยิ่งมีค่า Brightness มากจะทำให้สีนั้นสว่างมากขึ้น

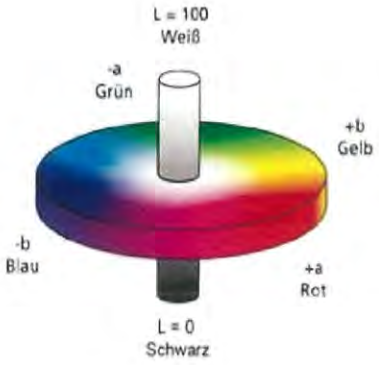


รูปที่ 2.5 ระบบสี HSB [18]

2.7.4 ระบบสีแบบ Lab

ระบบสีแบบ Lab เป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นโดย CIE (Commission International Eclarirage) เพื่อให้เป็นสีมาตรฐานกลางของการวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และใช้ได้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นจอคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกน และอื่นส่วนประกอบของโหมดสีนี้ได้แก่ L หรือ Luminance เป็นการกำหนดความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 จะกลายเป็นสีขาว A เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง B เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ระบบสี Lab [19]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรณ์กนก อายุสุข, สุพัตรา จิ่มอาษา และ คณิต กฤษณังกูร [20] ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทรกราฟี เตรียมสารตัวอย่างโดยอาศัยหลักการกระจายตัวของเอทานอลระหว่างวัฏภาคของน้ำและวัฏภาคของแก๊สในระบบ static headspace โดยไม่อาศัยสารอ้างอิงแต่ใช้วิธีการแก้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (*K*) ซึ่งการหาปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์โดยการเก็บตัวอย่างในวัฏภาคแก๊สปริมาตร 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง GC บันทึกผลค่าพื้นที่ใต้พีคแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณเอทานอลทั้งหมดที่มีอยู่ในเครื่องดื่มแต่ละชนิดและเปรียบเทียบกับค่าที่รายงานไว้บนฉลากของผลิตภัณฑ์

Piyanut Pinyou, Napaporn Youngvises และ Jaroon Jakmunee [21] พัฒนาวิธี Flow injection analysis สำหรับวิเคราะห์เอทานอล โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของเอทานอลกับ ceric ในตัวกลางที่เป็นกรด ได้ผลิตภัณฑ์ของสารเชิงซ้อน Ce(IV) - ethanol ซึ่งมีสีแดง ในระบบ Flow injection analysis สารละลายมาตรฐานหรือสารตัวอย่างถูกฉีดเข้าไปในกระแสตัวพาของน้ำปราศจากไอออนและเคลื่อนที่ไปยังหน่วยการแพร่กระจายของแก๊ส ซึ่งเอทานอลสามารถซึมผ่านเมมเบรน PTFE เข้าสู่กระแสตัวรับเพื่อไปทำปฏิกิริยากับ ceric ammonium nitrate ที่อยู่ในกรดไนตริก แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Colorimeter ที่ใช้ LED สีน้ำเงินเป็นแหล่งกำเนิดแสง สัญญาณที่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jingjing Deng , Guoyue Shi และ Tianshu Zhou [22] ศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงของสีเพื่อวิเคราะห์ความแรงของแอลกอฮอล์ (Alcoholic Strength ; AS) ในตัวอย่างสุราโดยใช้ Lanthanide infinite coordination polymer (Ln-ICP) และตรวจวัดด้วยเทคนิค Ratiometric fluorescence ศึกษาการใช้ ICP ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ องค์ประกอบแรกคือ Supramolecular ที่มีโครงสร้างของ ligand 2,2'-thiodiacetic acid (TDA) กับโลหะไอออน Eu^{3+} และอีกองค์ประกอบ คือ Fluorescense dye หรือสีย้อมเรืองแสง ซึ่งเป็นตัวที่ไปกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี โดยเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอวิธีการใหม่โดยทดสอบแบบ Spot เป็นวิธีที่สามารถแยกความเข้มข้นของเอทานอลได้อย่างชัดเจนอีกทั้งยังสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า

Stefano Cinti, Mattia Basso Danila Moscone และ Fabiana Arduini [23] พัฒนาไบโอเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีแบบกระดาษเพื่อวิเคราะห์เอทานอลในเบียร์ เนื่องจากกระดาษมีสีขาวสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีได้และมีความละเอียดสูง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับในการตรวจวัดเอทานอลจึงนำไปศึกษาควบคู่กับวัสดุนาโน โดยนาโนคอมโพสิตที่เกิดจาก Carbon Black (CB) และอนุภาคนาโน Prussian Blue (PBNPs) เรียกว่า CB/PBNPs ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจจับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์แอลกอฮอล์ออกซิเดส (AOx) กับเอทานอล เป็นการหาเอทานอลทางอ้อมโดยหาจากความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่ได้

Oziel R. Marinho, Manoel J.A. Lima, Fábio R.P. Rocha, Boaventura F. Reis และ Marcos Y. Kamogawa [24] พัฒนาวิธีตรวจวัดปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์กลั่นโดยใช้ภาพถ่ายบนสมาร์ทโฟน อาศัยปริมาณเอทานอลที่มีผลต่อการดูดกลืนแสงของฟีนอล์ฟทาลีน ผลกระทบนี้เกิดจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเอทานอลมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างเรโซแนนซ์ของ phthaleins และการปิด lactone ring ความเข้มสีจะถูกวัด และแปลงเป็นค่า RGB ด้วยสมาร์ทโฟนโดยใช้แอปพลิเคชั่นฟรี การวิเคราะห์นี้เป็นการวิเคราะห์ภายใต้ระยะโฟกัสและการส่องสว่างจากกล้องสมาร์ทโฟน ได้ค่าความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 10.0 ถึง 70.0 (%v/v) (r^2 = 0.998 , n = 8) สัมประสิทธิ์ของการแปรผัน 1.2 % (n = 6) และขีดจำกัดของการตรวจวัด (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.7 %) ประมาณ 2.1 (%v/v) ประเมินความแม่นยำโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์กับวิธีของ AOAC ในระดับความเชื่อมั่น 95 % วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ได้จริง วิเคราะห์ได้รวดเร็ว เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเพียง 10.8 ไมโครกรัม) และเหมาะสำหรับการตรวจหาเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์กลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กนกวรรณ ฟีสันเทียะ และ ยุภาพร สมีน้อย [25] พัฒนาวิธีการวิเคราะห์แอลกอฮอล์โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ทำงานร่วมกับเอมไซม์ โดยอาศัยการเกิดสี มีหลักการคือ เอทานอลถูกเร่งให้เกิดปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์แอลกอฮอล์ออกซิเดส (AOX) ในสภาวะที่มีออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ติดตามปริมาณ (H_2O_2) ที่เกิดขึ้นโดยใช้ซับสเตรทที่เปลี่ยนสีได้ (3,3',5,5'-tetramethylbenzidine, TMB) และเอนไซม์ฮอร์สราดิสเปอร์-ออกซิเดส (HPR) จะทำให้ TMB เปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเขียวปนน้ำเงิน สามารถตรวจวัดความเข้มสีบนอุปกรณ์แบบกระดาษด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ (ImageJ) ซึ่งความเข้มสีของ TMB ที่เปลี่ยนแปลงไปจะแปรผันตรงกับปริมาณ H_2O_2 จึงสามารถหาปริมาณเอทานอลที่มีในตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. ปิเปตขนาด 1, 2, 5 และ 10 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ช้อนตักสาร
6. กระจกนาฬิกา
7. หลอดทดลองขนาด 13x100 มิลลิเมตร
8. หลอดหยด
9. แท่งแก้วคนสาร
10. ลูกยาง
11. โทรศัพท์มือถือ OPPO รุ่น F1S ประเทศจีน
12. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AC 201 S บริษัท Sartorius ประเทศเยอรมัน

3.1.2 สารเคมี

1. โคบอลต์ (II) คลอไรด์ (Cobalt Chloride : $CoCl_2 \cdot 6H_2O$) เกรดคุณภาพวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent ประเทศอังกฤษ

2. เอทานอล (Ethanol : C_2H_5OH) บริสุทธิ์ 99.9% เกรดคุณภาพวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent ประเทศอังกฤษ

3. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 สารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v

1. ปิเปต Absolute ethanol (99.9 %) ปริมาตร 1.25, 2.50, 5.00, 7.50 และ 10.00 มิลลิลิตร ถ่ายสารใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตรแต่ละใบ

2. ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 23.75, 22.50, 20.00, 17.50 และ 15.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อ 1 แต่ละใบตามลำดับ เขย่าสารละลายเพื่อให้ผสมเข้ากัน ได้สารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v

3.2.2 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ ความเข้มข้น 4 %w/v และ 10 %v/v

1. ชั่ง $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ มา 4.0 และ 10.0 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์

2. ละลายด้วย Absolute ethanol (99.9 %) ถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

3. ปรับปริมาตรด้วย Absolute ethanol (99.9 %) จนถึงขีดปรับปริมาตร ได้สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ ความเข้มข้น 4 %w/v และ 10 %w/v ที่มีสีม่วงน้ำเงิน

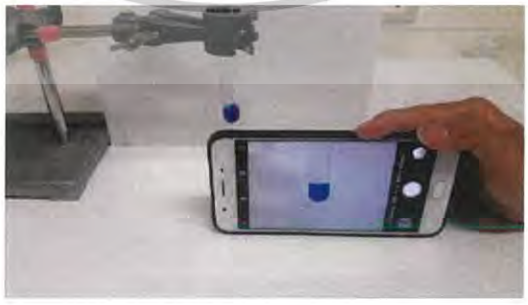
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4 %w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 2 หลอด

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5 และ 10 %v/v ปริมาตรอย่างละ 0.08 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 2 หลอด ตามลำดับ ทิ้งไว้ 20 นาที

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การถ่ายภาพสารละลายด้วยกล้องของโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสี (RGB) กับความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)

6. ทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์เป็น 10%v/v

3.3.2 การศึกษาค่าความเข้มสีที่ใช้ในการตรวจวัด

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4 %w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 5 หลอด

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v ปริมาตรอย่างละ 0.08 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด ตามลำดับ ทิ้งไว้ 20 นาที

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีต่าง ๆ คือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และค่าแตกต่างความเข้มสี กับความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)

3.3.3 การศึกษาผลของปริมาตรเอทานอล

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4 %w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 5 หลอด

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v ปริมาตรอย่างละ 0.04 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด ตามลำดับ ทิ้งไว้ 20 นาที

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสี (RGB) กับความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)

6. ทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเอทานอลเป็น 0.08 และ 0.16 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.3.4 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4 %w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 5 หลอด

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v ปริมาตรอย่างละ 0.08 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด ตามลำดับ ทิ้งไว้ 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสี (RGB) กับความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)

6. ทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทดลองเป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ

3.3.5 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4 %w/v มา 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 5 หลอด

2. ปิเปตสารตัวอย่างมา 0.08 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ทิ้งไว้ 20 นาที

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสี (RGB) กับความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)

6. ทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนชนิดของสารตัวอย่างจนทำครบทุกตัว

3.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

3.3.6.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง

คือการประเมินความเป็นเส้นตรงระหว่างค่าสัญญาณจากการวิเคราะห์กับความเข้มข้นของสารที่ต้องการศึกษา โดยประเมินตลอดช่วง (range) ที่ระบุสำหรับการวิเคราะห์นั้น โดยทำการทดลองดังนี้

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4 %w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 5 หลอด

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเอทานอล ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v ปริมาตรอย่างละ 0.08 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด ตามลำดับ ทิ้งไว้ 20 นาที

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลและค่าความเข้มสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

เป็นคุณลักษณะที่แสดงความสามารถในการทดสอบสารตัวอย่างซ้ำกันหลายครั้ง แล้วได้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาหาค่า relative standard deviation (%RSD) หรือ coefficient of variation (CV)

จากสูตร $\%RSD = \left(\frac{SD}{\bar{X}}\right) \times 100$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์

ทำการทดลองดังนี้

1. ปิเปตสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 4%w/v ปริมาตร 0.80 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 13x100 mm จำนวน 5 หลอด

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตรอย่างละ 0.08 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 5 หลอด ตามลำดับ ทิ้งไว้ 20 นาที

3. เขย่าสารให้เข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโดยถ่ายภาพด้วยกล้องของโทรศัพท์

4. นำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™

5. ทำซ้ำข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนชนิดของสารตัวอย่างจนครบทุกตัว

6. ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์โดยวิธีตรวจวัดสีอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของโคบอลต์ (II) กับลิแกนด์ Cl^- และ H_2O ให้สีสารละลายที่แตกต่างกันคือ

1. โคบอลต์ (II) คลอไรด์ ในตัวทำละลายเป็นเอทานอล 99.9% เกิดสารเชิงซ้อน $[CoCl_6]^{4-}$ ให้สีของสารละลายเป็นน้ำเงิน

2. โคบอลต์ (II) คลอไรด์ ในตัวทำละลายเป็นน้ำ เกิดสารเชิงซ้อน $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ ให้สีของสารละลายเป็นสีชมพู

สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์นี้ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย มีสีน้ำเงินเข้ม เมื่อผสมกับตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย น้ำจะเป็นลิแกนด์ไปแทนที่ลิแกนด์ Cl^- ได้ ทำให้ได้สารละลายสีชมพูเกิดขึ้นแปรผันตามปริมาณของน้ำ ในการทดลองนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลทางอ้อมโดยติดตามจากปริมาณน้ำ

4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์

จากการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ แสดงผลดังรูปที่ 4.1

5 %v/v EtOH 10 %v/v EtOH

(ก) $[CoCl_2]$ 4 %w/v

5 %v/v EtOH 10 %v/v EtOH

(ข) $[CoCl_2]$ 10 %w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 สีของสารละลายเมื่อใช้ความเข้มข้นของโคบอลต์ (II) คลอไรด์แตกต่างกัน

ตอนเริ่มต้นสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ในเอทานอลมีสีน้ำเงิน เมื่อทดลองผสมสารละลายเอทานอลลงไปในสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ พบว่าการใช้สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ เข้มข้น 4 %w/v เห็นการเปลี่ยนแปลงโทนสีได้ชัดเจนกว่าการใช้สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ เข้มข้น 10 %w/v ซึ่งสารละลายยังคงมีสีน้ำเงินเข้มไม่เปลี่ยนแปลงโทนสีให้เห็นชัดเจน ดังนั้นในการทดลองจึงใช้สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 4 %w/v สำหรับการทดลองต่อไป

4.2 ผลการศึกษาค่าความเข้มสีที่ใช้ในการตรวจวัด

จากการศึกษาผลของค่าความเข้มสีที่แตกต่างกัน ให้ค่าความเข้มสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และค่าความแตกต่างความเข้มสี (ED) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มสีที่แตกต่างกัน

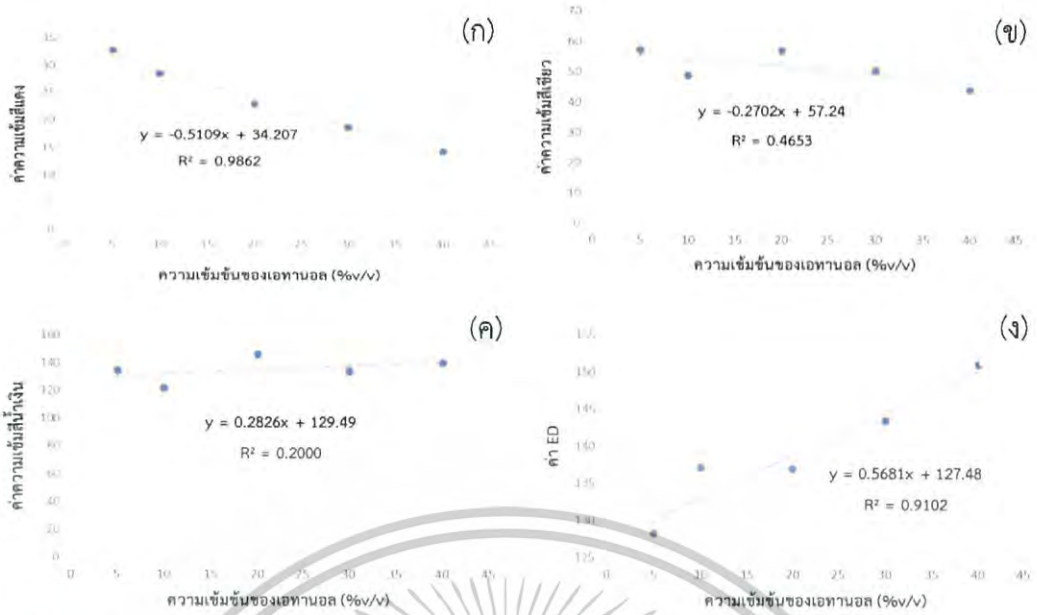
ความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)	ค่าความเข้มสี			
	สีแดง	สีเขียว	สีน้ำเงิน	ED
5	32.783	57.358	134.472	128.212
10	28.466	48.896	121.917	137.196
20	22.995	57.064	146.377	136.991
30	18.797	50.467	134.184	143.501
40	14.342	44.047	140.161	151.150

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีต่าง ๆ ได้สมการเส้นตรงและค่า R^2 ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงสมการเส้นตรงและ R^2 เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าความเข้มสีต่างกัน

ค่าความเข้มสี	สมการเส้นตรง	R^2
สีแดง	y = -0.5109x + 34.207	0.9862
สีเขียว	y = -0.2702x + 57.240	0.4653
สีน้ำเงิน	y = 0.2826x + 129.49	0.2000
ED	y = 0.5681x + 127.48	0.9102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสี (ก) ค่าความเข้มสีแดง (ข) ค่าความเข้มสีเขียว (ค) ค่าความเข้มสีน้ำเงิน (ง) ค่าความแตกต่างความเข้มสี

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความเข้มสีต่าง ๆ ที่ได้จากการแปรผลจากโปรแกรม Image J™ ค่าความเข้มสีแดงให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดและทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีแดงชัดเจนในช่วงความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ทดลอง ในการทดลองนี้จึงเลือกค่าความเข้มสีแดงมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลต่อไป

4.3 ผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายเอทานอล

จากการศึกษาผลของปริมาตรสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่แตกต่างกัน ให้ค่าความเข้มสีแดง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มสีแดง เมื่อใช้สารละลายเอทานอลปริมาตร 0.04, 0.08 และ 0.16 มิลลิลิตร

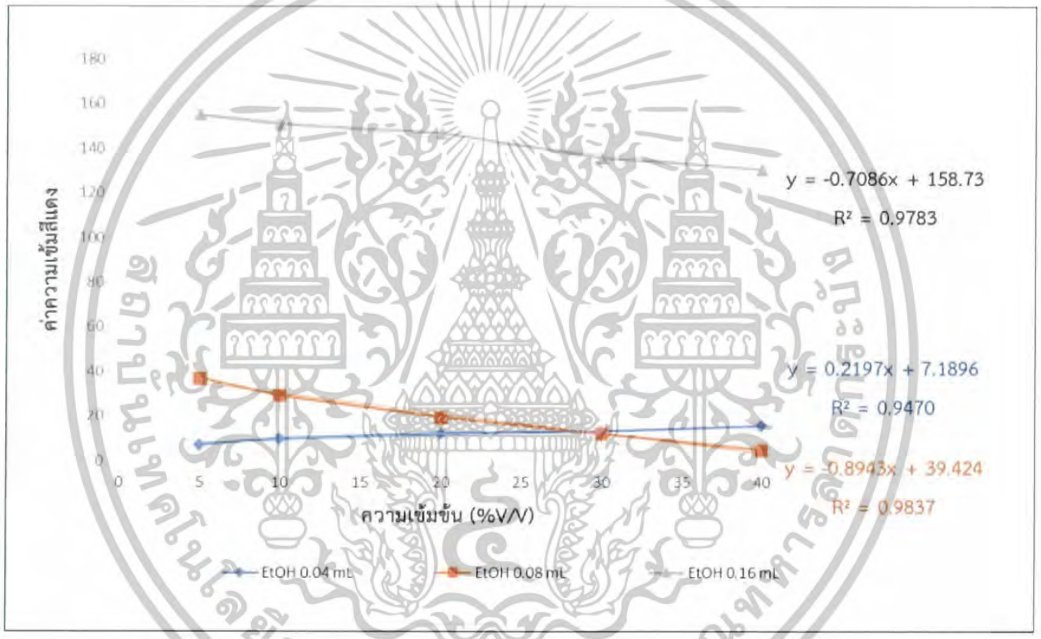
ความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)	ค่าความเข้มสีแดง		
	ปริมาตรของสารละลายเอทานอล (mL)		
	0.04	0.08	0.16
5	7.362	37.072	155.097
10	10.070	29.386	150.775
20	12.402	19.671	146.878
30	13.331	12.200	135.778
40	15.848	4.893	130.733

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้จากตาราง 4.3 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดง ได้สมการเส้นตรงและค่า R^2 ดังตาราง 4.4 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 แสดงสมการเส้นตรงและ R^2 เมื่อใช้สารละลายเอทานอลปริมาตรต่างกัน

ปริมาตรเอทานอล (mL)	สมการเส้นตรง	R^2
0.04	y = 0.2197x + 7.1896	0.9470
0.08	y = -0.8843x + 39.424	0.9837
0.16	y = -0.7086x + 158.73	0.9783



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดงที่ปริมาตรเอทานอลแตกต่างกัน

เมื่อใช้สารละลายเอทานอลปริมาตร 0.04 มิลลิลิตร ให้สมการเส้นตรงมีความชันเป็นบวกเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าความเข้มสีแดงของทุกความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารละลายเอทานอลปริมาตร 0.04 มิลลิลิตร น้อยเกินไปสำหรับการเกิดปฏิกิริยาที่จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจน ส่วนการใช้สารละลายเอทานอลปริมาตร 0.08 และ 0.16 มิลลิลิตร ให้ความชันเป็นลบ โดยการใช้สารละลายเอทานอลปริมาตร 0.08 มิลลิลิตร ให้ความชันมากที่สุด จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีแดงชัดเจนในช่วงความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ทดลอง การใช้สารละลายเอทานอลปริมาตร 0.16 มิลลิลิตร ให้ค่าความชันน้อยกว่าการใช้ปริมาตร 0.08 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปได้ว่าการใช้สารละลายเอทานอลในปริมาตรที่มากเกินกว่า 0.08 มิลลิลิตร จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีแดงมีความแตกต่างกันลดลงในช่วงความเข้มข้นที่ทำการทดลอง ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สารละลายเอทานอลที่ปริมาตร 0.08 มิลลิลิตร สำหรับการทดลองต่อไป

4.4 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกัน ให้ค่าความเข้มสีแดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มสีแดงเมื่อใช้เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที

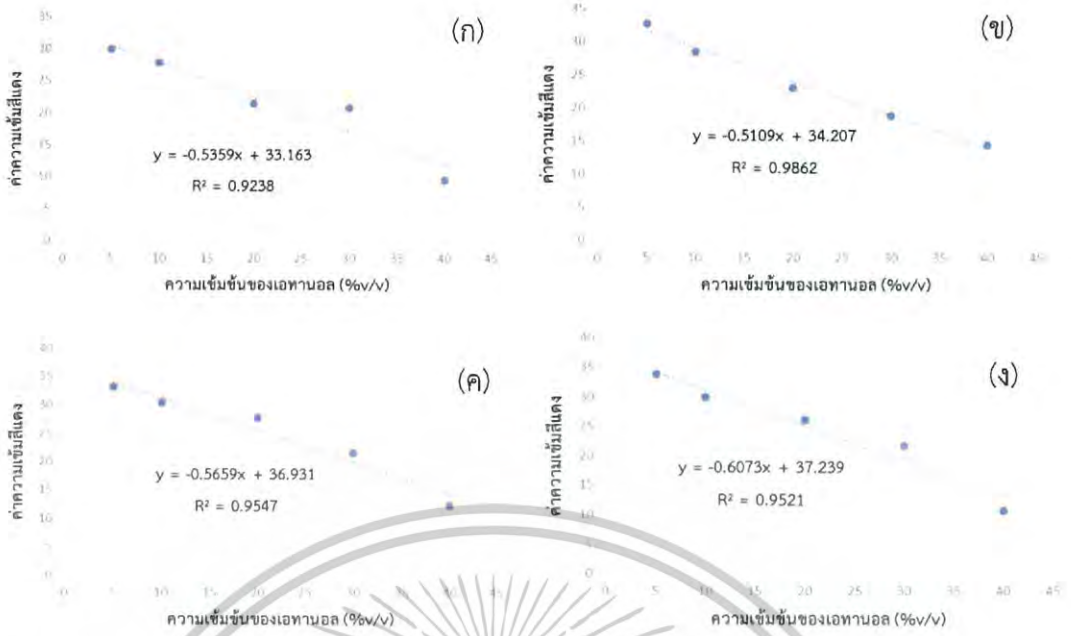
ความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)	ค่าความเข้มสีแดง เวลาที่ใช้ในการทดลอง (min)			
	10	20	30	40
5	29.944	32.783	33.315	33.867
10	27.879	27.466	30.417	29.936
20	21.452	22.995	27.741	26.160
30	20.737	18.797	21.555	21.751
40	9.536	14.342	12.357	10.715

เมื่อนำค่าที่ได้จากตาราง 4.5 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดง ได้สมการเส้นตรงและค่า R^2 ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 แสดงสมการเส้นตรงและ R^2 เมื่อใช้เวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ (นาที)	สมการเส้นตรง	R^2
10	y = -0.5359x + 33.163	0.9238
20	y = -0.5109x + 34.207	0.9862
30	y = -0.5659x + 36.931	0.9547
40	Y = -0.6073x + 37.239	0.9521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดงที่เวลาแตกต่างกัน (ก) 10 นาที (ข) 20 นาที (ค) 30 นาที (ง) 40 นาที

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการใช้เวลาในการทดลองแตกต่างกัน ที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที ให้สมการเส้นตรงมีความชันเป็นลบทั้งหมด โดยการทดลองที่เวลา 20 นาทีให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดและทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีแดง มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ทดลอง ในการทดลองนี้จะเลือกเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 20 นาที สำหรับการทดลองต่อไป

4.5 กราฟมาตรฐาน

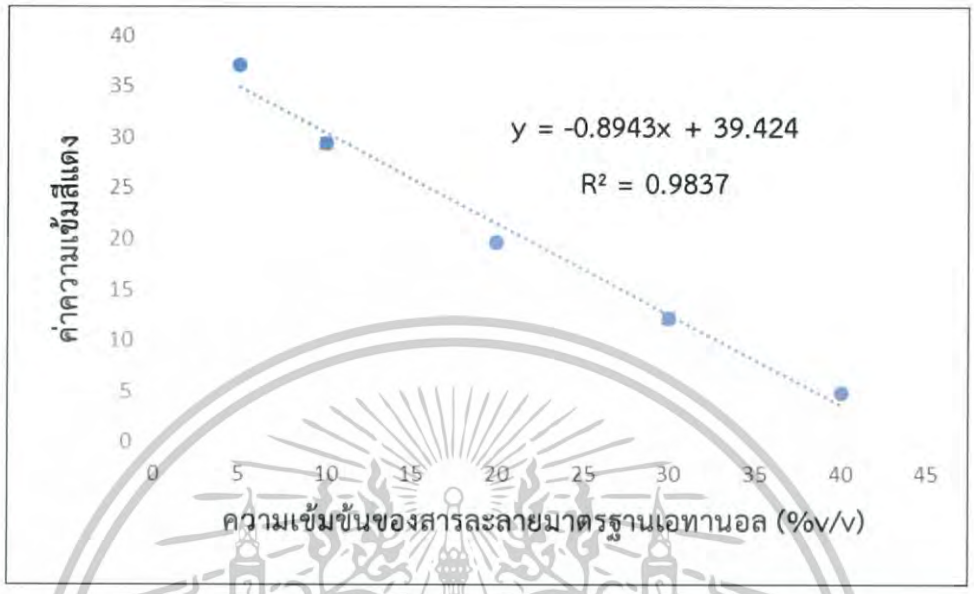
จากการทดลองโดยใช้ปริมาตรของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 0.80 มิลลิลิตรและปริมาตรของสารละลายเอทานอล 0.08 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้น 5, 10, 20, 30 และ 40 %v/v ได้ค่าความเข้มสีแดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล (%v/v) กับค่าความเข้มสีแดง

ความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)	ค่าความเข้มสีแดง	SD
5	37.072	0.409
10	29.386	0.537
20	19.671	0.158
30	12.200	0.539
40	4.893	0.173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาพลอตกราฟ จะได้กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลและค่าความเข้มสีแดง ดังรูปที่ 4.5 จากกราฟ มีสมการเส้นตรงคือ y = -0.8943x + 39.424 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9837



รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายเอทานอล

4.6 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง

จากการศึกษาหาความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่อยู่ในตัวอย่าง ได้ค่าความเข้มสีแดง ดังตาราง 4.8-4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความเข้มสีแดงของสารละลายตัวอย่างเบียร์

ตัวอย่างเบียร์	ค่าความเข้มสีแดง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
A	34.516	34.847	34.611	34.658	0.170
B	32.589	32.505	32.501	32.532	0.050
C	34.148	34.153	34.437	34.246	0.165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความเข้มสีแดงของสารละลายตัวอย่างสุรากลั่น

ตัวอย่างสุรากลั่น	ค่าความเข้มสีแดง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
D	11.853	11.881	11.722	11.819	0.085
E	7.541	7.749	7.706	7.665	0.110
F	4.999	4.712	4.814	4.842	0.145

นำค่าเฉลี่ยความเข้มสีแดงที่ได้ไปแทนลงในสมการของกราฟมาตรฐาน $y = -0.8943x + 39.424$ คำนวณย้อนกลับเพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอลที่มีในสารละลายตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงความเข้มข้นของเอทานอลที่มีในสารละลายตัวอย่าง (%v/v)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของเอทานอล (%v/v)	ความเข้มข้นของเอทานอลบนฉลาก (%v/v)
A	5.14 ± 0.19	5
B	7.54 ± 0.06	5
C	5.61 ± 0.19	5
D	29.77 ± 0.10	28
E	35.58 ± 0.12	40
F	38.76 ± 0.16	40

จากการศึกษาหาความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายตัวอย่าง ในตัวอย่างกลุ่มเบียร์ พบว่ามีค่าความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 5.14, 7.54 และ 5.61 %v/v ในตัวอย่างกลุ่มสุรากลั่น พบว่ามีค่าความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 29.77, 35.58 และ 38.76 %v/v ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่ระบุไว้ข้างฉลากของผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเบียร์และสุรากลั่น

4.7 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Validation)

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ โดยประเมินจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

มีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 5.0-40.0 %v/v มีสมการเส้นตรงคือ y = -0.8943x + 39.424 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9837

4.7.2 ผลการศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

การศึกษาความเที่ยงของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ทดสอบโดยการวัดค่าความเข้มสีแดงของสารตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง นำผลที่ได้มาหาค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) จากสมการ $\%RSD = (SD/\bar{X}) \times 100$ แสดงผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยความเข้มสีแดง	SD	%RSD
A	34.658	0.170	0.49
B	32.532	0.050	0.15
C	34.246	0.165	0.48
D	11.819	0.085	0.72
E	7.665	0.110	1.44
F	4.842	0.145	2.99

จากการคำนวณหาค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ผลที่ได้มีค่า %RSD อยู่ในช่วง 0.15 – 2.99 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยใช้วิธีแบบอ้อมอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของโคบอลต์ (II) กับลิแกนด์ต่างชนิดกัน จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีตรวจวัดสีแบบอ้อมและการตรวจสอบความถูกต้องของวิธี (Validation) ว่าให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้หรือไม่ สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. การศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารละลาย พบว่าปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายทั้งสอง คือ ปริมาตรโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 0.8 มิลลิลิตรต่อปริมาตรเอทานอล 0.08 มิลลิลิตร เป็นปริมาตรที่เห็นสีของสารละลายและค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีแดงชัดเจน

2. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าที่เวลา 20 นาทีเหมาะสำหรับการทดลองมากที่สุด เนื่องจากทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีแดงชัดเจนในช่วงความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ทดลอง และหลังจาก 20 นาที ค่าความเข้มสีแดงมีแนวโน้มคงที่

3. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเอทานอลมีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 5-40 %v/v มีสมการเส้นตรงคือ $y = -0.8943x + 39.424$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9837

4. การวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอลในตัวอย่างเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ 6 ตัวอย่าง ในตัวอย่างกลุ่มเบียร์พบว่ามีค่าความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 5.14, 7.54 และ 5.61 %v/v ในตัวอย่างกลุ่มเหล้าขาวพบว่ามีค่าความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 29.77, 35.58 และ 38.76 %v/v ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่ระบุไว้ข้างขวดของผลิตภัณฑ์

5. การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ โดยทำการทดสอบตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง คำนวณหาค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) พบว่าอยู่ในช่วง 0.15 – 2.99 % ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการตรวจวัดสีแบบอ้อมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่นที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเบียร์และสุรากลั่นในเบื้องต้นได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในตัวอย่างเบียร์และสุรากลั่นของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในเบียร์และสุรากลั่นที่พัฒนาขึ้นนี้ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Thaihealth. 2561. **ปัญหาการดื่มแอลกอฮอล์.** [Online]. Available : https://www.thaihealth.or.th/Content/แก้ปัญหาการดื่มแอลกอฮอล์ต้องเริ่มที่ชุมชน.html.

[2] Physicslab. 2561. **ประวัติความเป็นมาของแอลกอฮอออล์.** [Online]. Available : https://www.mwit.ac.th/~physicslab/content_01/.../histry_liquor.doc.

[3] องค์การสุรากรมสรรพสามิต. 2560. **แอลกอฮอล์คืออะไร.** [Online]. Available : https://www.liquor.or.th/aic/detail/แอลกอฮอล์-คืออะไร.

[4] Atiphat. 2461. **ลักษณะเฉพาะของเอทานอล.** [Online]. Available : https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/67734/-blo-sciche-sci.

[5] Soscity. 2560. **โครงสร้างเอทานอล.** [Online]. Available : https://soscity.co/life/eat/why-does-alcohol-make-my-throat-burn/.

[6] องค์การสุรากรมสรรพสามิต. 2560. **การผลิตแอลกอฮอล์.** [Online]. Available : https://www.liquor.or.th/aic/detail/วัตถุดิบที่ใช้ผลิตแอลกอฮอล์.

[7] องค์การสุรากรมสรรพสามิต. 2560. **การนำแอลกอฮอล์ไปใช้งาน.** [Online]. Available : https://www.liquor.or.th/aic/detail/การนำ แอลกอฮอล์ไปใช้งาน.

[8] Ready Planet Engine. 2552. **ประเภทของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์.** [Online]. Available : http://www.chaopraya.biz/index.php?lay=show&ac=article&Id=538698405&Ntype=8.

[9] Kanchanapisek. 2560. **เบียร์.** [Online]. Available : http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=23&chap=10&page=t23-10- infodetail05.html.

[10] Surathai. 2560. **สุราขาว.** [Online]. Available : https://surathai.wordpress.com/2011/05/15/thaidistill/.

[11] HJChem. 2561. **โคบอลต์(II)คลอไรด์.** [Online]. Available : http://th.hongjinchemical.com/inorganic-chemcial/cobalt-salt/cobalt-chloride-cas- 7791-13-1.html.

[12] Alibaba. 2561. **โคบอลต์(II)คลอไรด์.** [Online]. Available : https://www.alibaba.com/productdetail/Low-price-cobalt-chloride-anhydrous CoCl2_60765331941.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] Hongjinchemical. 2561. **โคบอลต์(II)คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต.** [Online]. Available : http://th.hongjinchemical.com/inorganic-chemcial/cobalt-salt/cobalt-chloride-cas7791-13-1.html.

[14] ComDigest. 2558. **โปรแกรม Image J.** [Online]. Available : http://comdigest.blogspot.com/2015/10/imagej.html.

[15] ComtoBook. 2561. **ระบบสี.** [Online]. Available : http://www.comtobook.com/index.php/news/item/86-2017-11-23-03-44-55.

[16] Gogoprint. 2561. **ระบบสี RGB.** [Online]. Available : https://www.gogoprint.co.th/บล็อก/ความแตกต่างของcmyk-rgb/.

[17] Gogoprint. 2561. **ระบบสี CMYK.** [Online]. Available : https://www.gogoprint.co.th/บล็อก/ความแตกต่างของcmyk-rgb/.

[18] Kroolaung. 2561. **ระบบสี HSB.** [Online]. Available : https://sites.google.com/site/pongnuntipisek/3-rabb-si.

[19] สุวิมล พวงสุยะ. 2561. **ระบบสี Lab.** [Online]. Available : https://sites.google.com/site/photoshopbykrumon/hnwy-kar-reiyn-ru4.

[20] กรณ์กนก อายุสุข, สุพัตรา จิ่มอาษา และ คณิต กฤษณังกูร. 2549. "การหาปริมาณเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งละลายและเทคนิคแก๊สโครมาโทรกราฟี." **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 29 (3) : 389-403.

[21] Piyanut Pinyou, Napaporn Youngvises and Jaroon Jakmunee. 2011. "Flow injection colorimetric method using acidic ceric nitrate as reagent for determination of ethanol." ***Talanta***. 84 : 745–751.

[22] Jingjing Deng, Guoyue Shi and Tianshu Zhou. 2016. "Colorimetric assay for on the spot alcoholic strength sensing in spirit samples based on dual-responsive lanthanide coordination polymer particles with ratiometric fluorescence." ***Analytica Chimica Acta***. 942 : 96-103.

[23] Stefano Cinti, Mattia Basso Danila Moscone and Fabiana Arduini. 2017. "A paper-based nanomodified electrochemical biosensor for ethanol detection in beers." ***Analytica Chimica Acta***. 960 : 123-130.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] Oziel R. Marinho, Manoel J.A. Lima, Fábio R.P. Rocha, Boaventura F. Reis and Marcos Y. Kamogawa. 2017. "A greener, fast, and cost-effective smartphone-based digital image procedure for quantification of ethanol in distilled beverages." *Microchemical Journal*. 147 : 437-443.

[25] กนกวรรณ ฟีสันเทียะ และ ยุภาพร สมีน้อย. 2557. "อุปกรณ์แบบกระดาษสำหรับวิเคราะห์แอลกอฮอล์โดยอาศัยการตรวจวัดทางเอนไซม์." **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษการประชุม วิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย**. ครั้งที่ 6 : 160-167.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

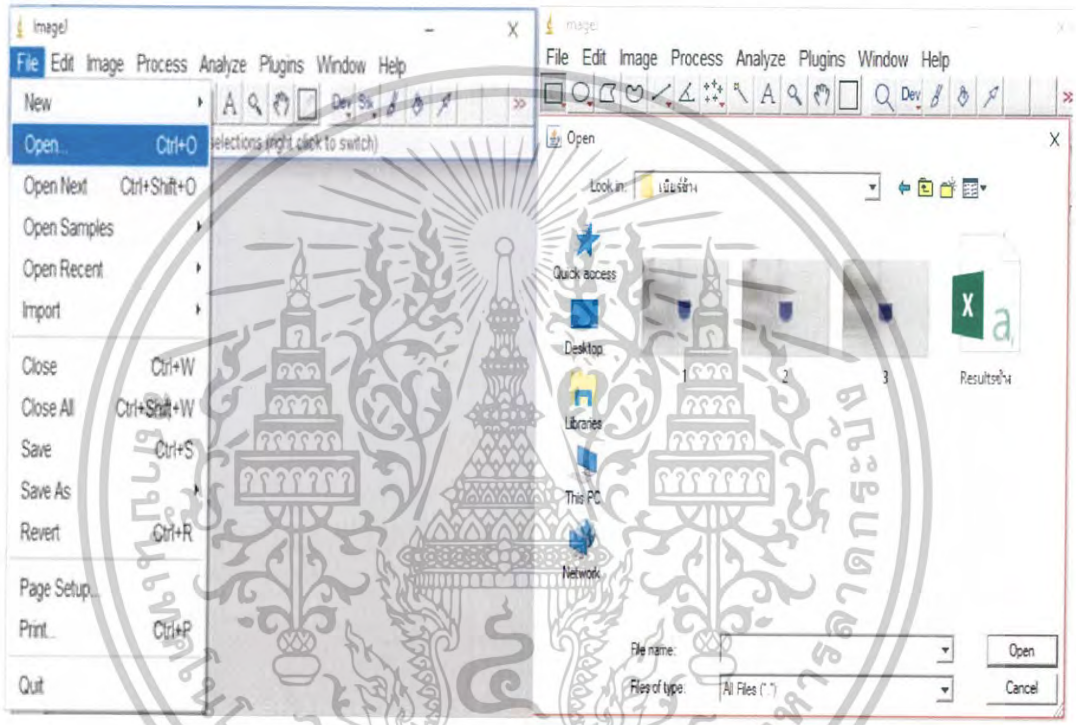
ภาคผนวก ก

การบันทึกค่าความเข้มสีจากโปรแกรม Image J™

ขั้นตอนและวิธีการใช้งานโปรแกรม

1. ลงโปรแกรม Image J™

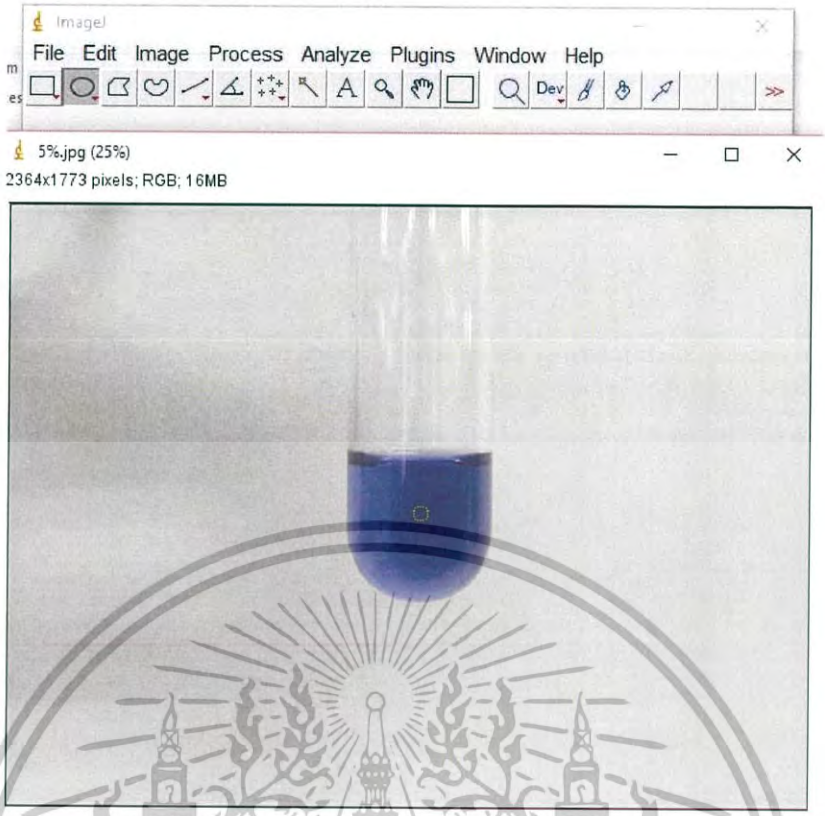
2. เปิดโปรแกรม Image J™ จากนั้นเข้าไปที่ File คลิก Open เลือกรูปภาพที่ต้องการวัดค่าสี



รูปที่ ก.1 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และการเปิดรูปภาพที่ต้องการ

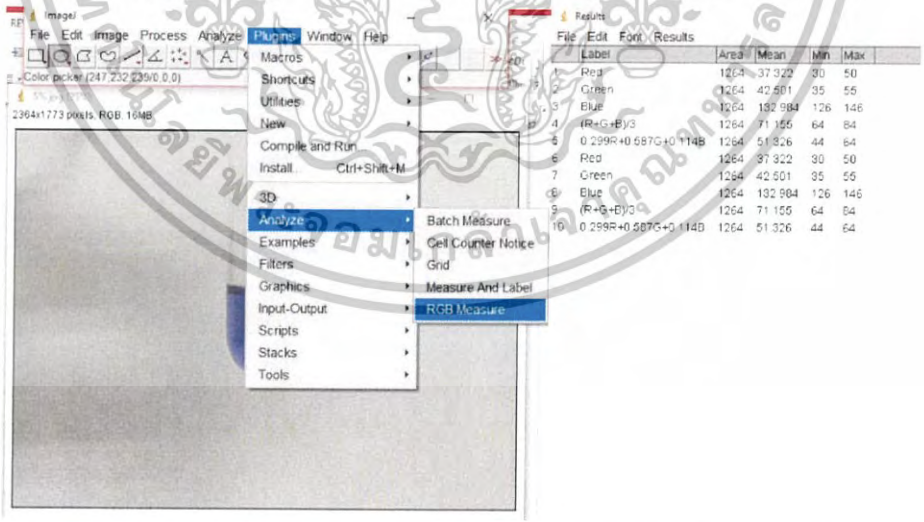
3. เมื่อเปิดรูปแล้วคลิกเม้าส์ซ้าย + SHIFT ลากวงกลมให้ได้อัตราส่วนของ W และ H ที่เท่ากัน โดยใช้อัตราส่วน 40:40 ครอบจุดที่ต้องการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และการวัดค่าสี

4. เมื่อกำหนดวงกลมที่บริเวณที่ต้องการวัด Red Green และ Blue โดยเลือก Plugins Analyze RGB Measure จะได้ค่า Red Green Blue ออกมา



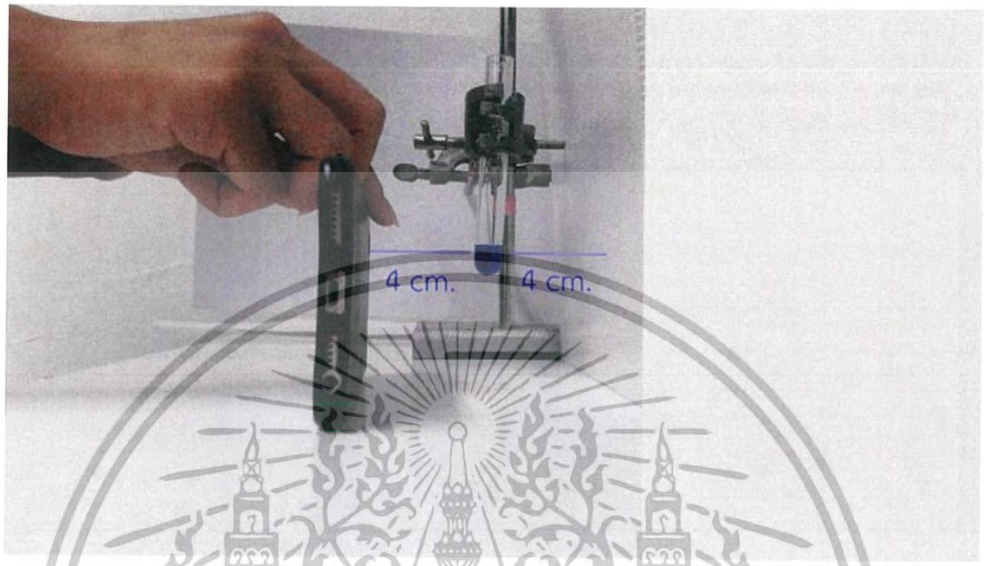
รูปที่ ก.3 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และการแสดงค่า Red Green Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การบันทึกภาพจากโทรศัพท์มือถือ

1. การบันทึกภาพต้องวางที่ตำแหน่งเดิมทุกครั้งที่ทำการทดลอง



รูปที่ ข.1 ตำแหน่งการวางโทรศัพท์

2. คลิกที่หน้าจอเพื่อกดโฟกัสรูปภาพ

รูปที่ ข.2 การถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้