

การสกัดสี้อมจากต้นขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk. ด้วยเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ



นายวสันต์ รัตนประสาท

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

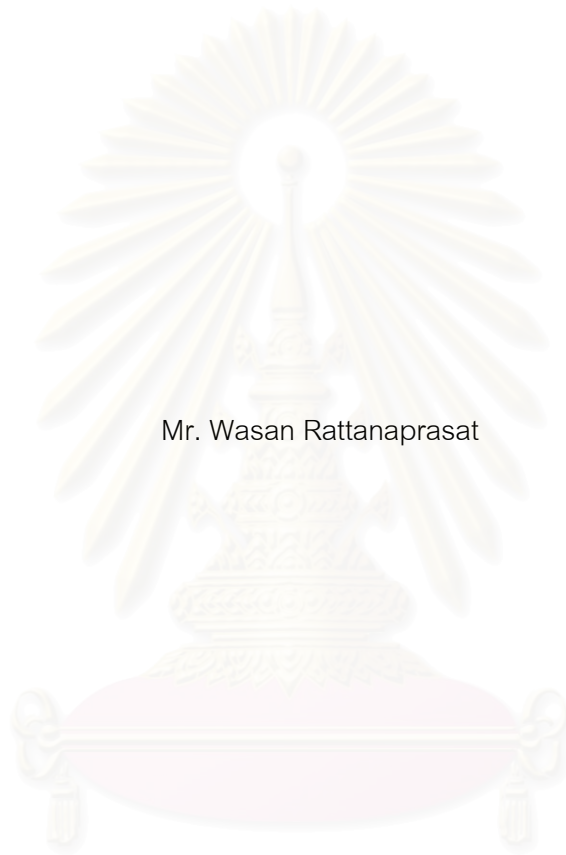
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2595-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYE EXTRACTION FROM JACKFRUIT *Artocarpus heterophyllus* Lamk.
STEMS USING RECYCLE EXTRACTOR



Mr. Wasan Rattanaprasat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology
Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2595-3

Copyright of Chulalongkorn University

วสันต์ รัตนประสาธ : การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk. ด้วยเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ (DYE EXTRACTION FROM JACKFRUIT *Artocarpus heterophyllus* Lamk. STEMS USING RECYCLE EXTRACTOR) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร. ธราพงษ์ วิฑิตศานต์ 91 หน้า. ISBN : 974-14-2595-3

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองสกัดสีย้อมจากไม้ขนุนด้วยตัวทำละลาย และนำสารสกัดมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย งานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในแบบแบดซ์ระดับปฏิบัติการ ส่วนที่ 2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ โดยใช้ภาวะในการสกัดจากที่ศึกษาแล้วในเครื่องสกัดแบบแบดซ์ระดับปฏิบัติการ ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในแบบแบดซ์ระดับปฏิบัติการ คือ ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 45 นาที อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ 1:40 กรัม: มิลลิลิตร และตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ คือ อุณหภูมิในการสกัดมีผลมากที่สุดถึง 58.18% รองลงมา คือ เวลาในการสกัดมีผล 35.76% และ อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายมีผลเพียง 2.95% ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ คือ ใช้สัดส่วนของอัตราการใช้ของตัวทำละลายในเครื่องสกัดต่อปริมาตรตัวทำละลายเป็น 1:2 ลิตรต่อนาที:ลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสี และสารมอรินประมาณร้อยละ 95 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ใช้ปริมาณเด็กซ์ทรีนที่ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น ได้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคุณภาพ คือ มีค่าแอกติวิตีน้ำ (a_w) เท่ากับ 0.278 ปริมาณความชื้น 2.50% ความเป็นกรด-เบส (pH) 7.07 ความหนาแน่นของผงสี 0.519 (กรัมต่อมิลลิลิตร) การดูดความชื้น 0.325 (กรัมต่อผงสี 10 กรัม) การละลาย 0.269 (กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง) ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 53.7 ค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว (a^*) เท่ากับ 16.73 และค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*) เท่ากับ 38.76 และปริมาณมอรินที่ร้อยละ 9.87

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต..... *วสันต์ รัตนประสาธ*.....
 สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *KI*.....
 ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772460623: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORDS: EXTRACTION, JACKFRUIT, DYE, FLAVONOID, MORIN

WASAN RATTANAPRASAT : DYE EXTRACTION FROM JACKFRUIT *Artocarpus heterophyllus* Lamk. STEMS USING RECYCLE EXTRACTOR. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D. 91 pp. ISBN 974-14-2595-3

This research studied the extraction of wood with solvent and sprays dry the outcome extract. The experiment consist of 3 parts which are: 1) study of extraction condition in laboratory scale, 2) study of extraction condition in recycle extractor by using optimum condition in laboratory scale, and 3) study of drying in spray dryer. The experimental result were found that:: 1) 50% ethanol by volume is the suitable solvent for extraction and optimum extracted condition in laboratory are at 80 degree celsius for 45 minutes with ratio of wood to solvent gram:milliliter of 1:40. The major parameter to the morin extraction was temperature the, 58.18%, following by time, 35.76% and ratio of wood to solvent, 2.95%, respectively. 2) The optimum condition of extraction in recycle extractor, the ratio of recirculation volume per minute to volume of liquid in reactor was 1:2 lit/min:lit and 150 minutes of extraction in recycle extractor give dye and morin product around 95% of the existed in wood, and 3) drying the extract in spray dryer along with antiadherent dextrin which amount 10% of outcome's weight gives the last product as yellow powder. Physical property of this product is water activity (a_w) 0.278, moisture content 2.50%, pH 7.07, bulk density 0.519 (gram/milliliter), hygroscopicity 0.325 (gram /10 gram of powder), solubility 0.269 (gram /water 10 milliliter at room temperature), Lightness (L^*) 53.7, Red-Green (a^*) 16.73, Yellow-Blue (b^*) 38.79, and morin content 9.87%

Department.....Chemical Technology.....Student's Signature.....*Wasan Rattanaprasat*

Field of Study.....Chemical Technology.....Advisor's Signature.....*T. Vitidsant*

Academic Year.....2006.....Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานนท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ความสะดวกเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปตี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เครื่อง Water Activity และเครื่องวัดสี

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความสะดวกเหลือ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัยการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารสีธรรมชาติ	4
2.1.1 กลุ่มอนุพันธ์ของเตตราไพโรล (Tetrapyrrole Derivative)	4
2.1.2 กลุ่มอนุพันธ์ของไอโซพรีนอยด์ (Isoprenoid Derivative).....	4
2.1.3 กลุ่มอนุพันธ์ของเบนโซไพแรน (Benzopyran Derivative)	4
2.1.4 สีชนิดอื่นๆ.....	5
2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของสีธรรมชาติ	5
2.2.1 ข้อดีของสีธรรมชาติ.....	5
2.2.2 ข้อจำกัดของสีธรรมชาติ	5
2.3 ขนุน	7
2.3.1 ประวัติความเป็นมา	9
2.3.2 ลักษณะทั่วไป.....	8
2.3.3 สรรพคุณตามตำรายา	9
2.3.4 ประโยชน์อื่นๆ	9

2.3.5 สารเคมีที่พบ	9
2.3.6 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา	10
2.4 สารฟลาโวนอยด์.....	10
2.4.1 การตรวจสอบและการแยกสารฟลาโวนอยด์.....	14
2.4.2 การใช้ประโยชน์ของสารฟลาโวนอยด์	15
2.5 การสกัด (Extraction).....	17
2.5.1 การสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง	17
2.5.2 กลไกการสกัด.....	18
2.5.3 การถ่ายโอนมวลสารในการสกัด	18
2.5.4 การดำเนินการในการสกัด	20
2.5.5 การเลือกตัวทำละลาย.....	21
2.6 การทำแห้ง (Drying)	22
2.6.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	23
2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้ง แบบพ่นฝอย.....	25
2.6.3 สารตัวกลาง	27
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
3 วิธีดำเนินงานวิจัย	30
3.1 รูปแบบการศึกษา.....	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	30
3.3 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	32
3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	33
3.4.1 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในระดับปฏิบัติการ.....	33
3.4.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ	36
3.4.3 ศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	37
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	42
4.1 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในระดับปฏิบัติการ.....	42
4.1.1 การศึกษาหาชนิดสารละลายที่เหมาะสมในการสกัด.....	42
4.1.2 การศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัด	45

4.1.3 การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด.....	55
4.1.4 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด	57
4.1.5 การศึกษาหาอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขมิ้นต่อปริมาณสารละลายที่ เหมาะสมในการสกัด	59
4.1.6 การศึกษาขนาดของไม้ขมิ้นที่ใช้สกัดต่อผลของการสกัด.....	61
4.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ	62
4.3 ศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	70
4.3.1 ศึกษาผลของสารปรุงแต่งต่อปริมาณสารอบแห้ง.....	70
4.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ.....	73
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการทดลอง	74
5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในระดับปฏิบัติการ.....	74
5.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ.....	75
5.1.3 ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง	78
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก.....	84
ภาคผนวก ข.....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตัวอย่างของพันธุ์ไม้ให้สีธรรมชาติในประเทศไทย.....	6
2.2 สารฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชต่างๆ.....	11
3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	34
3.2 ตารางแสดงภาวะที่ทำการทดลอง Experimental design และอันดับที่ทำการทดลอง	35
4.1 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้น้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor	43
4.2 น้ำหนักของผงสีและสารมอรินที่สกัดได้ ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ความเข้มข้นเอทานอลต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor	44
4.3 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของการสกัด.....	46
4.4 ค่าปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้จากภาวะที่ทำการออกแบบการทดลอง	47
4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี (ANOVA Table).....	49
4.6 ค่าผลกระทบของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อค่าปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี	55
4.7 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่ออุณหภูมิในการสกัด	56
4.8 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัด.....	58
4.9 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่ออัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย.....	60
4.10 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อขนาดไม้ขนุน	61
4.11 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 50 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร.....	63
4.12 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร.....	64
4.13 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร.....	67

4.14 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับ ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 200 ลิตรต่ออนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร.....	67
4.15 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงแห้งเมื่อใช้เด็กซ์ทรีนปริมาณต่างๆ	71
4.16 คุณภาพของผงสีธรรมชาติจากไม้ขนุนที่ผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้เด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 10 เป็นสารปรุงแต่ง	73
1ข ช่วง a_w และค่า a_w ขั้นต่ำที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้.....	87



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขนุน <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lamk.	8
2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารฟลาโวนอยด์มอร์ริน (Morin)	9
2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของฟลาเวน (Flavan).....	11
2.4 สูตรโครงสร้างของสารฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ.....	13
3.1 การสกัดด้วยเครื่อง Soxhlet Extractor	39
3.2 เครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการ	39
3.3 เครื่องสกัดไหลเวียนกลับ (Recycle Extractor)	40
3.4 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer).....	40
3.5 ไม้ขนุนที่ใช้ในการทดลอง	41
4.1 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ตัวทำละลาย ชนิดต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor	43
4.2 น้ำหนักของผงสีและสารมอร์รินที่สกัดได้ ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ความเข้มข้น เอทานอลต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor	45
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติแบบครึ่ง (Half normal probability plot) กับค่า Effect Estimate	48
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Studentized Residuals กับค่า Normal% probability	48
4.5 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัว ทำละลายที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้	51
4.6 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำอัตราส่วนของเวลาในการสกัดที่มีผลต่อ ปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้	52
4.7 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำอัตราส่วนของอุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อ ปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้	52
4.8 กราฟแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัว ทำละลายต่อเวลาในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้	53
4.9 กราฟแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัว ทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้	53

4.10 กราฟแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของเวลาต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อ ปริมาณสารมอร์นินในผงสีที่สกัดได้	54
4.11 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่อุณหภูมิ ในการสกัดที่ค่าต่างๆ	57
4.12 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่เวลา ในการสกัดที่ค่าต่างๆ	58
4.13 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่อัตราส่วน น้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายในการสกัดที่ค่าต่างๆ	60
4.14 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ขนาด ไม้ขนุนในการสกัดที่ช่วงต่างๆ	62
4.15 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับ ที่อัตราการไหลของ ตัวทำละลายในเครื่องสกัด 50 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร	64
4.16 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับ ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร	65
4.17 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับ ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร	68
4.18 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องไหลเวียนกลับ ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 200 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร	68
4.19 ปริมาณผงสีที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัว ทำละลายในเครื่องสกัดและปริมาตรตัวทำละลายต่างๆ	69
4.20 ปริมาณมอร์นินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัว ทำละลายในเครื่องสกัดและปริมาตรตัวทำละลายต่างๆ	69
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ผงแห้งกับปริมาณสารเด็กซ์ทรีน	71
4.22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงแห้ง	72
ก1 Calibration curve ของสารมาตรฐานมอร์นิน	85

รูปที่

หน้า

ก2	สเปกตรัมของสารมาตรฐานอิน.....	86
ก3	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากไม้ขนุน.....	86
ข2	CIELAB ซึ่งแสดง L^* , a^* , b^* Colour Space	90



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์รู้จักใช้สีธรรมชาติในการทำกิจกรรมต่างๆมาเป็นเวลานานแล้ว จนในปีคริสต์ศักราช 1856 ได้มีการค้นพบการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีเป็นครั้งแรก ซึ่งทำให้สีสังเคราะห์ค่อยๆถูกใช้แทนสีธรรมชาตินับตั้งแต่นั้นอย่างช้าๆ [1] ปัจจุบันส่วนใหญ่ผู้คนนิยมใช้สีสังเคราะห์ในการย้อมสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรม รวมถึงการย้อมสิ่งทอในระดับพื้นบ้าน เนื่องจากสีสังเคราะห์มีราคาไม่แพง สะดวกรวดเร็วในการย้อม สีที่ได้มีสีเข้ม สดใส และมีความคงทนดี สีสังเคราะห์มีให้เลือกใช้หลายชนิด หลายสี และมีสีที่เหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิด ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าสีสังเคราะห์จากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีเนื่องมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมสิ่งทอ แต่สีสังเคราะห์มีความเป็นพิษเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และมนุษย์ เนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์สีย้อมหลายชนิดมีความเป็นพิษสูงมาก และได้รับการพิสูจน์แล้วว่า เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-แนฟทิลเอมีน (2-naphthylamine) และเบนซีน (benzene) [2]

ปัจจุบันได้มีการฟื้นฟูความสนใจจากการใช้สีธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากผู้คนต่างให้ความสำคัญกับสุขภาพในแนวทางบำบัดมากขึ้น โดยมีความเชื่อว่าสีธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสีสังเคราะห์ โดยสีธรรมชาติจะสามารถย่อยสลาย และมีความเข้ากันได้กับธรรมชาติได้ดีกว่า ทำให้การนำสีที่สกัดจากธรรมชาติมาใช้แทนสีสังเคราะห์จึงได้รับความสนใจมากขึ้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากสีย้อมธรรมชาติกำลังได้รับความสนใจจากตลาดทั้งภายใน และต่างประเทศ [3] แต่การใช้สีธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากมีกรรมวิธีที่ยุ่งยาก และปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนวัตถุดิบ ดังนั้นการนำสีธรรมชาติมาแปรรูปให้อยู่ในรูปที่สะดวกใช้ จะสามารถช่วยให้ลดความยุ่งยากในกรรมวิธีลงได้ [4] นอกจากนี้สีธรรมชาติที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง หรือ เมาด์ซกรรม เป็นต้น ดังนั้นการศึกษา และพัฒนากระบวนการนำสีจากธรรมชาติจากพืชมาประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะสกัดสารให้สีเหลืองจากไม้ขนุน เพราะสีเหลืองสามารถที่จะนำมาย้อมทับหรือย้อมผสมกับสีอื่นเพื่อให้เกิดเป็นสีอื่นๆ ได้อีกมาก

ขนุน (JackFruit) เป็นพืชสมุนไพรที่สำคัญชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ สามารถเจริญเติบโตได้ในทุกสภาพพื้นที่ของประเทศไทย ลำต้นสูงประมาณ 8-15 ม. มียางขาวทั้งต้น เป็นไม้เนื้ออ่อน แก่นสีเหลือง แหล่งที่ผลิตสำคัญในประเทศไทยคือ ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี สงขลา กาญจนบุรี เพชรบุรี และนครราชสีมา มีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศรวม ประมาณ 260,000 ไร่ สามารถนำมาทำอาหารได้ทั้ง ยอดอ่อน ใบอ่อน และผล ในแก่นขนุนจะมีสีเหลืองจากสารฟลาโวนอยด์มอร์อิน (Morin) ซึ่งสามารถใช้เป็นสีผสมอาหาร และสีย้อมได้ [5]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตผงสีย้อมธรรมชาติจากต้นขนุน
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อผลได้ (Yield) ของสีย้อมธรรมชาติจากต้นขนุน และหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. หาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้สีเหลืองจากต้นขนุนในห้องปฏิบัติการ
2. หาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้สีจากต้นขนุนโดยใช้เครื่องสกัดไหลเวียนกลับขนาดใหญ่
3. ศึกษาการทำผลิตภัณฑ์แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมเครื่องสกัด และทดสอบการทำงานของเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ
3. หาภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสีจากแก่นขนุนในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ปริมาณผงสีที่สกัดได้ และปริมาณสารมอร์อินในผงสีที่สกัดได้ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC)
4. หาภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสีจากแก่นขนุนจากเครื่องสกัดไหลเวียนกลับขนาดใหญ่ และวิเคราะห์ปริมาณผงสีที่สกัดได้ และปริมาณสารมอร์อินในผงสีที่สกัดได้ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC)
5. ศึกษาการทำผลิตภัณฑ์แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

6. คุณสมบัติทางกายภาพของผงสีที่ได้ คือ ค่าแอกติวิตีน้ำ (Water Activity, a_w), ปริมาณความชื้น (Moisture Content), ความเป็นกรด-เบส (pH), การดูดความชื้น (Hygroscopicity), การละลาย (Solubility), ความหนาแน่นของผงสี (Bulk density) และค่าสีของผงสี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมของระบบการสกัดแก่นขนุนขนาดใหญ่ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้
2. ผลิตผงสีย้อมธรรมชาติที่สามารถเก็บได้นาน และใช้งานได้ เพื่อสามารถส่งขายไปยังต่างประเทศและลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารสีธรรมชาติ [6]

สารสีธรรมชาติเป็นสารที่มีอยู่ตามธรรมชาติในส่วนต่างๆ ของต้นพืช ได้แก่ ราก เปลือก แก่น ใบ ดอก เมล็ด และผล หรือจากซากของสัตว์ แสดงดังตารางที่ 2.1 สารสีธรรมชาติอาจแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของสารให้สี (Pigment) ได้ 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.1.1 กลุ่มอนุพันธ์ของเตตราไพโรล (Tetrapyrrole Derivative)

สารสีในกลุ่มนี้ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) และฮีม (Heme) คลอโรฟิลล์พบในพืชสีเขียวทั่วไป แต่เนื่องจากในโครงสร้างมีแมกนีเซียมเกาะอยู่ด้วยทำให้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก โดยแมกนีเซียมอาจถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนได้ง่ายมาก แม้จะใช้ความร้อนค่อนข้างต่ำ ทำให้สีเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล

2.1.2 กลุ่มอนุพันธ์ของไอโซพรีนอยด์ (Isoprenoid Derivative)

สารสีในกลุ่มนี้ได้แก่ คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) ชนิดต่างๆ ซึ่งรวมถึงสารสีสังเคราะห์ขึ้นในลักษณะของสารคาโรทีนอยด์ด้วย ได้แก่ เบตา-คาโรทีน (β -Carotene) , เบตา-อะโป-8-คาโรทีนาล (β -Apo-8-Carotenall) และแคนธาแซนทีน (Canthaxanthene) ซึ่งผลิตจากสารเบตา-ไอโอโนน (β -Ionone) สีประเภทนี้พบตามธรรมชาติทั้งในพืชและในสัตว์ ซึ่งจะมีสีเหลือง ส้มจนถึงแดง สารคาโรทีนอยด์นี้เท่าที่พบและทราบโครงสร้างแล้วมีมากกว่า 200 ชนิด และถ้ารวมกับสารคาโรทีนอยด์ที่สังเคราะห์ขึ้นและที่นำมาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบางอย่างแล้วมีมากกว่า 400 ชนิด

2.1.3 กลุ่มอนุพันธ์ของเบนโซไพแรน (Benzopyran Derivative)

สารสีในกลุ่มนี้เรียกว่า ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) พบได้ในพืชต่างๆแทบทุกส่วน ต้น ใบ ดอก ผล อับเรณู ราก และแก่น ประกอบไปด้วยกลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) มีสีตั้งแต่

ชมพู แดงเลือดหมู แดง ม่วง และน้ำเงิน ได้แก่ ไซยานิดิน (Cyanidin) , เดลฟินิดิน (Delphinidin) , เพลาร์โกนินิดิน (Pelargonidin) กลุ่มฟลาโวนอล (Flavonol) เป็นสารสีเหลือง ได้แก่ เควอร์เซติน (Quercetin) , มอริน (Morin) , ไมริเซติน (Myricetin) และกลุ่มฟลาโวน (Flavone) เป็นสารสีเหลือง ได้แก่ เอพิจเนนิน (Apigenin) , ลูติโอลลิน (Luteolin) เป็นต้น

2.1.4 สีชนิดอื่นๆ

ได้แก่ สีคาราเมล (Caramel) จากน้ำตาลเคี้ยวไหม้ , สีโคชินีล (Cochineal) จากแมลง (Coccus cacti) , สีเคอร์มิส (Kermes) จากแมลง (Coccus illicis) , สีจากครั่ง (Lac) , สีจากขมิ้น (Turmeric) , สีจากดอกคำฝอย (Safflower) เป็นต้น

2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของสีธรรมชาติ [7]

การย้อมสีธรรมชาติเป็นวิทยาการแขนงหนึ่งที่สืบทอดกันมาแต่โบราณ แต่ถูกทอดทิ้งไปเป็นเวลาหลายสิบปี เนื่องจากสีสังเคราะห์เข้ามามีบทบาทแทนที่ ถึงแม้ว่าสีสังเคราะห์จะใช้มากในปัจจุบัน แต่ก็มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ผลิตและผู้ใช้ ซ้ำยังเป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย นับว่าเป็นภัยที่ร้ายแรง ตรงกันข้ามกับสีธรรมชาติที่ส่วนใหญ่เป็นสีที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม

2.2.1 ข้อดีของสีธรรมชาติ

สีธรรมชาติเป็นสารประกอบที่พบตามธรรมชาติในพืช สัตว์และแร่ธาตุทั่วไป มีความปลอดภัยกว่าสีสังเคราะห์ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ผ้าที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติจะมีสีสดใสสวยงามกลมกลืน มีชีวิตชีวา สีที่ย้อมได้ไม่ฉูดฉาด สีอ่อนดูเย็นตากว่าสีสังเคราะห์ นอกจากนี้การใช้การใช้สีธรรมชาติยังมีส่วนสร้างความสัมพันธ์ระหว่างผู้ย้อมและผู้บริโภคกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2.2.2 ข้อจำกัดของสีธรรมชาติ

การย้อมสีธรรมชาติมักประสบปัญหาต่างๆ เช่น ขั้นตอนในการเตรียมน้ำสียุ่งยาก ต้องเสียเวลาในการเตรียมวัตถุดิบ การสกัดสีใช้เวลานานและสิ้นเปลืองพลังงาน ไม่มีสูตรการย้อมที่แน่นอน การย้อมแต่ละครั้งให้สีที่ไม่เหมือนเดิม สีธรรมชาติที่สกัดได้มักเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ มีสาร

อื่นเจอบนโดยเฉพาะสารที่มีกลิ่น เมื่อนำไปย้อมจึงได้สีที่ไม่ที่ไม่สดและอาจมีกลิ่นที่ไม่ต้องการ ผ้า ย้อมสีธรรมชาติบางสีเกิดปัญหาซีดจาง มีความคงทนของสีต่อแสงและซักด้า ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสีมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี ปริมาณสีที่สกัดได้มีปริมาณไม่เพียงพอต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมากในการสกัด ทำให้ไม่สามารถย้อมสิ่งทอได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้สีธรรมชาติยังมีสีสันทให้เลือกค่อนข้างจำกัด จึงไม่สามารถย้อมให้มีสีสันทตามที่ต้องการได้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของพันธุ์ไม้ให้สีธรรมชาติในประเทศไทย [8]

ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	วงศ์	ส่วนที่นำไปใช้	สีที่ได้
ยูคาลิปตัส	Eucalyptus	<i>Eucalyptus gunii</i>	Euphorbiaceae	ใบ เปลือก	เหลือง น้ำตาลอ่อน เบจ
หูกวาง	Dear ear	<i>Terminalia catappa linn</i>	Combretaceae	ใบ	เหลืองอมเขียว
ขนุน	Jack fruit	<i>Artocapus heterophylla</i>	Moraceae	ราก กิ่ง แก่นไม้	เหลือง
คำฝอย	Saf flower	<i>Carthamus tinctorius</i>	Compositae	ดอก	แดงอมส้ม
ขมิ้นชัน	Termeric	<i>Curcumar longa</i>	Zingiberaceae	ราก	เหลือง
คราม	Indigo	<i>Indigofera tinctoria</i>	Papilionaceae	ใบ	น้ำเงิน
ครั่ง	Lac	<i>Cocus lacca</i>	-	ขี้ครั่ง	แดงอมม่วง
คำแสด	Lipstick	<i>Bixa orellna</i>	Bixaceae	เมล็ด	ส้ม
มะเกลือ	Ebony	<i>Diospyros mollis</i>	Ebenaceae	ผลดิบ	ดำ
ไม้กลาง (นนทรี)	-	<i>Peltophom dasyrachcgr.</i> <i>Kurr</i>	Leguminosae	แก่นไม้	ชมพูหรือแดง
สีเสียด	Betel Palm	<i>Acacia catwchu</i>	Leguminosae	แก่นไม้	น้ำตาล

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของพันธุ์ไม้ให้สีธรรมชาติในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	วงศ์	ส่วนที่นำไปใช้	สีที่ได้
ไม้ลิ้นไหม	Indian trumpet	<i>Indicum vent</i>	Bignoniaceae	แก่นไม้	น้ำตาล
ยอป่า	Madder fam	<i>Morianda coreia</i>	Bubisceae	ราก	แดง
ไม้แดง	Iron wood	<i>Xylia xylocarpa</i>	Leguminosae	เปลือก	น้ำตาล
ฝาง	Sappan wood	<i>Caesalpinia sappan</i>	Leguminosae	แก่นไม้	ชมพูหรือแดง
ไม้ประดู่	Burmese ebony	<i>Pterocapus indicus</i>	Papilionceae	แก่นไม้	น้ำตาล
ไม้สมอ	Chebula Rets	<i>Terminalia chebula</i>	Combretaceae Checula Rets	แก่นไม้	แดงน้ำตาล
สะเดา	Neem Tree	<i>Agaditachta Indica</i>	Meliaceae	ใบ	เหลืองอมเขียว
ไม้เข	-	<i>Cudriana</i>	Moroceae	แก่นไม้	เหลือง

2.3 ขนุน

2.3.1 ประวัติความเป็นมา

ขนุนมีชื่อพื้นเมืองอื่นๆ ได้แก่ มะหนูน (เหนือ,ใต้), ขะนุ (ของ-จันทบุรี), นากอ (มลายู-ปัตตานี), ขะเนอ (เขมร), เนน (นครราชสีมา), นะยวยชะ (กะเหรี่ยง-กาญจนบุรี), ซีคีย, ปะหน้อย (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน), ล้าง (เงี้ยว-เหนือ), ปอหล่อบิค (จีน), หมักหมี้ (ตะวันออกเฉียงเหนือ), หมากกลาง ชื่ออังกฤษ ได้แก่ Jack Fruit Tree ชื่อวิทยาศาสตร์ ได้แก่ *Artocarpus heterophyllus*

Lamk. (*A. integrifolia* Linn.f.) วงศ์ Moraceae [9,10] ขนุนไม้ไซ้ไม้ผลถิ่นกำเนิดในประเทศไทย แต่นำเข้ามาปลูกนานจนเป็นพันธุ์ไม้ผลพื้นเมืองไทยไป ขนุนเป็นต้นไม้ผลยืนต้นเมืองร้อนขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง มีรสชาติหอมหวานเป็นที่นิยมทั่วไป แม้ในต่างประเทศ [11] แหล่งที่ผลิตสำคัญในประเทศคือ ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี สงขลา กาญจนบุรี เพชรบุรี และ นครราชสีมา มีพื้นที่ปลูกทั้งประเทศรวม ประมาณ 260,000 ไร่ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk.

2.3.2 ลักษณะทั่วไป [11]

ลักษณะเป็นไม้ขนาดใหญ่ ทรงพุ่มรูปทรงกระบอก ใบรูปร่างกลมรี เนื้อในเหนียวและหนา เหมือนแผ่นหนัง ปลาย ใบแหลมยาว 7 - 15 ซม. ก้านใบยาว 1 - 2.5 ซม. ใบสีเขียวเข้มเรียบเป็นมัน ท้องใบมีขน ดอกออกเป็นกลุ่ม ช่อดอกตัวเมียและตัวผู้จะอยู่บนต้นเดียวกัน ช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมียแยกกัน ช่อดอกตัวผู้จะออกตามต้นและโคนกิ่ง มีจำนวนมาก มีก้านยาว เมื่อผสมแล้ว จะหลุดไป ดอกตัวเมียเกิดตามลำต้นและกิ่งใหญ่ มีสีเขียวใหญ่กว่าดอกตัวผู้ เมื่อได้รับการผสม เกสรแล้ว ดอกตัวเมียจะเจริญเป็นผลแก่ภายใน 8 เดือน ผลจะเป็นผลรวม ผลกลมและยาวขนาดใหญ่หนัก 10-60 กิโลกรัม ในหนึ่งผลใหญ่จะมีผลย่อยหลายผล (เรียกยวง) เปลือกเป็นหนามถี่และสั้น เนื้อผลสีเหลือง เนื้อเป็นยวง มีเมล็ดอยู่ภายใน เมล็ดค่อนข้างกลมมีรสชาติหอมหวานเป็นที่นิยมทั่วไป สามารถเจริญเติบโตเร็วและเติบโตได้ในทุกสภาพพื้นที่ของประเทศไทย ลำต้นสูงประมาณ 60-70 ฟุต มียางขาวทั้งต้น เป็นไม้เนื้ออ่อน แก่นสีเหลือง

2.3.3 สรรพคุณตามตำรายา [9,12]

แก่น สมานแผล บำรุงกำลัง บำรุงเลือด รักษาแกมโรค แก้ท้องร่วง ระวังพิษร้อน สมานลำ
ไส้

ใบ รักษาอาการปวดหู หูเป็นน้ำหนวก รักษาแผลมีหนองเรื้อรัง

ราก แก้ไข้ แก้ท้องร่วง รักษาโรคผิวหนัง บำรุงเลือด รักษาแกมโรค รักษาเมะเร็ง

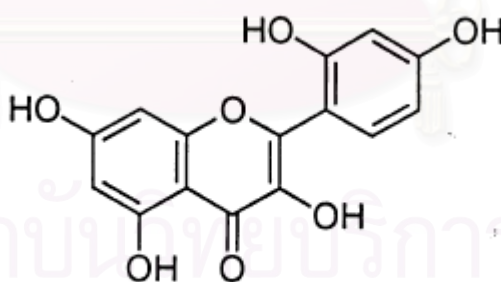
ผล ผลดิบแก้ท้องเสีย ฝาดสมาน ผลสุกเป็นยาระบาย แก้กระหายน้ำ เม่าสุรา บำรุงกำลัง
และช่วยย่อย ไล่ผล แก้พิษไข้

เมล็ด บำรุงน้ำมันในสตรีหลังคลอด แก้ปวดท้อง บำรุงร่างกาย บำรุงกำลัง

ยาง ใช้ทาแผล บวม อักเสบ แผลมีหนองเรื้อรัง แก้ต่อมน้ำเหลืองอักเสบที่เกิดจากแผลมี
หนองที่ผิวหนัง

2.3.4 ประโยชน์อื่นๆ

แก่นขนุน เรียกว่า กรัก [13] มีสีเหลืองจากสารฟลาโวนอยด์มอริน (Morin) แสดงดังรูปที่
2.2 ใช้เป็นสีผสมอาหาร ใช้ย้อมจีวรและผ้าต่างๆ ให้เป็นสีที่ เรียกว่า สีกรัก ส่าแห้งของขนุน ใช้ทำ
ชุดจุดไฟได้ [14]



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารฟลาโวนอยด์มอริน (Morin)

2.3.5 สารเคมีที่พบ [15]

เปลือกไม้ และแก่น สารเคมีที่พบ ได้แก่ Artocarpanone, Artocarpesin, Artocarpetin,
Artocarpin, Artonins, Cyanomaclurin, Cycloartocarpesin, Cycloartocarpin,

Cycloheterophyllin, Dihydromorin, Morin, Morin-calcium-chelate, Isocycloheterophyllin, Norartocarpetin, Norartocarpin, Oxydihydroartocarpesin, Cycloartenol, Cycloartenone, Cycloartenyl acetate และ β -sitosterol

ใบ สารเคมีที่พบ ได้แก่ Afzelechin-(4 α ->8)-catechin, Catechin, Cycloartenyl acetate และ Procyanidin

ราก สารเคมีที่พบ ได้แก่ Artoflavanone, Artonins, Cycloartocarpin, Heterophyllin, Cycloheterophyllin, Heteroflavanone, Betulin, Betulinic acid, Cycloartenol, Cycloartenone, Ursolic acid, 9-Hydroxytridecyldocosanoate, Heterophylol และ β -sitosterol

ผล สารเคมีที่พบ ได้แก่ Artostenone, Butyrospermol, Cycloartenol, Cycloartenone, 9,19-Cyclolanost-23-ene-3 β ,25-diol และ 9,19-Cyclolanost-23-ene-3 β ,24-diol

เมล็ด สารเคมีที่พบ ได้แก่ Acetylcholine, Artocarpus lectin CE-A-I, Artocarpus integra α -D-galactose specific lectin, Artocarpus integrifolia lectin, Aurantiamide acetate, Jaculins, Lymphoagglutinin และ Recinoleic acid

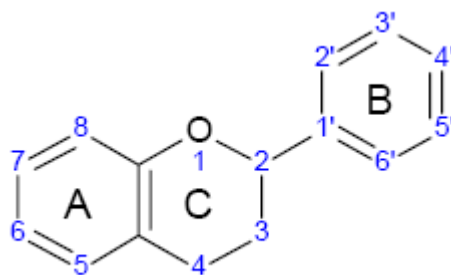
ยาง สารเคมีที่พบ ได้แก่ Cycloartenol, Cycloartenone, 9,19-Cyclolanost-3-one-24,25-diol(24R), 9,19-Cyclolanost-3-one-24,25-diol(24S) และ 4-Hydroxytridecyldocosanoate

2.3.6 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา [9]

จับกลุ่มกับออกซิเจนเม็ดเลือดแดง แบททีเรีย และสารในของเหลวของร่างกาย ยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอส ลดน้ำตาลในเลือด กระตุ้นการเจริญเพิ่มของเม็ดเลือดขาว

2.4 สารฟลาโวนอยด์ [16,17]

สารฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารกลุ่มสำคัญของสารพอลิฟีนอล (Polyphenols) มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาเวน (Flavan) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenyl benzopyran) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม เรียงกันเป็นระบบ C₆ - C₃ - C₆ โดยมีวงเบนซีน (C₆) 2 วง จับกันด้วยไฮโดรคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งอาจจัดเรียงเกิดเป็นวงที่ 3 หรือไม่เกิดก็ได้ สูตรโครงสร้างของฟลาเวนเป็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของฟลาเวน (Flavan)

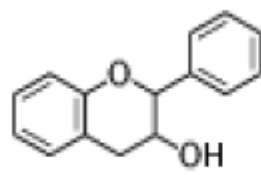
ในธรรมชาติพบว่ามีสารฟลาโวนอยด์อยู่ทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว ยกเว้นพวกสาหร่าย และพบอยู่ในทุกส่วนของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ , ราก , เนื้อไม้ , เปลือกต้น , ดอก , อับเรณู , ผลและเมล็ด ในสัตว์พบได้บ้าง แต่เชื่อว่ามาจากพืชที่สัตว์กินเข้าไปมากกว่าเกิดจากชีวสังเคราะห์ของสัตว์เอง สารฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้หลายกลุ่ม โดยการเข้าแทนที่ของไฮโดรเจนอะตอมในวงเบนซีนด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล เมทอกซิลและน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ สารฟลาโวนอยด์จากธรรมชาติที่พบบ่อยมากที่สุด ได้แก่ กลุ่มแอนโทไซยานิน , กลุ่มฟลาโวนอล และกลุ่มฟลาโวน ตัวอย่างของสารฟลาโวนอยด์ที่พบจากแหล่งต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 สารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกันออกไป จึงทำให้สารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปแสดงดังตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 สารฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชต่างๆ

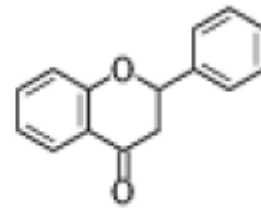
Species	Type of tissue	Flavonoids
<i>Ephedra aphylla</i>	shrub of <i>E. aphylla</i>	Di-C-glucosyl flavone, 2''-2'''-O- β -glucopyranosyl-vicenin II [18]
<i>Citrus sinensis</i>	juice	Narirutin-4'-glucoside and Hesperidin [19]
<i>Acacia farnesiana</i>	deseeded pods	Naringenin 7-O- β -(4''-6''-digalloylglucopyranoside) [20]
<i>Allium cepa</i> (red onion)	whole cell	Quercetin 3, 7, 4'-O-Triglucopyranoside [21]
<i>Citrus taitensis</i>	fruits	Dihydrorobinetin and 5, 7, 4'-Hydroxylisoflavone [22]

ตารางที่ 2.2 สารฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชต่างๆ (ต่อ)

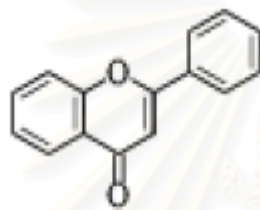
Species	Type of tissue	Flavonoids
<i>Salvia uliginosa</i>	Petals	Apigenin 7-O- β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 4 \rightarrow)- β -D-glucopyranoside [23]
<i>Citrus nobilis</i>	Juice	Nobiletin, 3, 3', 4', 5, 6, 7, 8-Heptamethoxyflavone [24]
<i>Chrysothamnus nauseosus</i>	Leaf	Apigenin, Isoscutellarein, Luteolin and Kaempferol [25]
<i>Bartramea pomiformis</i>	whole cell	Apigenin, Luteolin-7-O-Neohesperidoside [26]
<i>Mnium hornum</i>	whole cell	Philonotisflavone and Philonotisflavone-4 \rightarrow -methyl 2 \rightarrow , 3 \rightarrow -dihydrophilonotis flavone [27]
<i>Nymphaea caerulea</i>	flowers	3-(2 \rightarrow -acetylramnosides) of Myricetin and Quercetin [28]
<i>Pseudognaphlium robustum</i>	resinous exudates	5, 7, 8-trihydroxy-3-methoxyflavone 8-O (E)-2-methyl-2-butenate [29]
<i>Vaccinium angustifolium</i>	fruits	Anthocyanin [30]
<i>Helichrysum arenarium</i>	leaves	Kaempferol, Apigenin and Naringenin [31]
<i>Rhus retinorrhoea</i>	leaves	7-O-methylnaringenin, Eriodictyol and 7, 3',-O-dimethylquercetin [32]
<i>Salvia officinalis</i>	leaves	Flavone glycoside and Lutiolin Glycoside [33]
<i>Culcitium reflexum</i>	flowers	Rutin, Quercetin-3-O- β -D-galactopyranoside, Quercetin and Kaempferol [34]
<i>Helichrysum stoechas</i>	flowers	Naringenin glucoside, Quercetin glucoside, Kaempferol-3-O-glucoside and Apigenin [35]



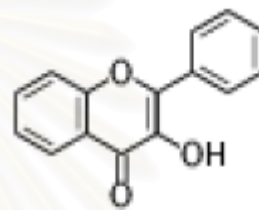
Flavan-3-ol (catechin)



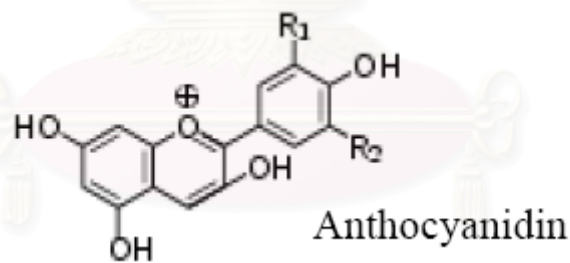
Flavanon



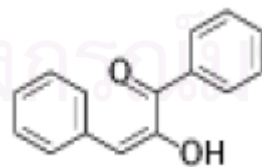
Flavon



Flavonol



Anthocyanidin



Chalkone

รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของสารฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ

2.4.1 การตรวจสอบและการแยกสารฟลาโวนอยด์ [36]

เทคนิคโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถใช้พิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร และยังสามารถใช้อธิบายโครงสร้างสารได้ด้วย เทคนิคโครมาโทกราฟีในการตรวจสอบแยกสารฟลาโวนอยด์มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

2.4.1.1 โครมาโทกราฟีชนิดกระดาษ (Paper Chromatography)

โครมาโทกราฟีชนิดกระดาษเป็นเทคนิคที่ใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อย และใช้ได้ผลดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการให้สารเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง ในตัวทำละลาย 2 ชนิด (Two-Dimension Paper Chromatography หรือ 2D-PC) ตำแหน่งของสารที่เคลื่อนที่ไปใน 2D-PC สามารถบ่งบอกสูตรโครงสร้างและชนิดของสารฟลาโวนอยด์ได้ เช่น ในการแยกสาร C-glycosylflavone จากต้น *Lemna minor* ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ TBA (t-butanol:acetic acid:water; 3:1:1 v/v) และกระดาษอะซิติก สามารถแยกสารในกลุ่ม C-glycosylflavone ได้ 9 ชนิดด้วยกัน

2.4.1.2 โครมาโทกราฟีชนิดผิวบาง (Thin Layer Chromatography)

โครมาโทกราฟีชนิดผิวบางเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการแยกสารจากธรรมชาติ เช่น ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน คาโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ และพอร์ไฟริน เป็นต้น เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับตัวอย่างหลายชนิด มีประสิทธิภาพสูงในการแยก รวดเร็ว ราคาถูก อีกทั้งยังใช้ปริมาณสารตัวอย่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โครมาโทกราฟีชนิดผิวบางเป็นเทคนิคที่สามารถนำเอามาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเอกลักษณ์และคุณภาพของสารได้ ในการตรวจสอบเอกลักษณ์การใช้ภาวะเดียวกัน พีชชนิดเดียวกันย่อมได้รูปแบบของโครมาโทแกรมที่เหมือนกัน กล่าวคือ จำนวนจุดสี และรูปร่างของจุดที่ปรากฏบนแผ่นโครมาโทกราฟีชนิดผิวบางจะเหมือนกัน การได้รูปแบบของแผ่นโครมาโทกราฟีชนิดผิวบางที่แตกต่างกันอาจหมายถึงการปนปลอมหรือเป็นวัตถุปลอมปน นอกจากนั้นหากควบคุมปริมาณที่ใช้และความเข้มข้นของจุดอาจใช้บอกปริมาณสารที่ทำการตรวจสอบอย่างคร่าวๆได้

2.4.1.3 โครมาโทกราฟีชนิดคอลัมน์ (Column Chromatography)

โครมาโทกราฟีชนิดคอลัมน์เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการแยกสารปริมาณมากกว่า 50 มิลลิกรัมขึ้นไป รวมทั้งการใช้แยกสารในระดับอุตสาหกรรมด้วย โครมาโทกราฟีชนิดคอลัมน์

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการแยกสารฟลาโวนอยด์ปริมาณมากๆ จากสารสกัดหยาบของพืช โดยอาศัยหลักการขึ้นกับสารที่ต้องการแยกว่ามีสมบัติการละลายในตัวชะ (eluent) ได้มากน้อยเพียงใด รวมทั้งสมบัติของตัวดูดซับว่าสามารถดูดซับสารนั้นๆ ไว้ได้มากน้อยเพียงใด การที่สารในของผสมสามารถแยกออกจากกันได้ เนื่องจากว่าสารแต่ละชนิดถูกดูดซับไว้โดยตัวดูดซับในอัตราที่ไม่เท่ากัน สารที่ถูกดูดซับได้มากกว่า ย่อมเคลื่อนที่ลงมาได้ช้ากว่าสารที่ถูกดูดซับน้อยกว่า สารที่มีสภาพมีขั้วสูง ถ้าใช้ตัวชะที่มีสภาพมีขั้วสูงด้วยจะสามารถชะสารนั้นๆ ออกมาได้มาก

2.4.1.4 โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography)

โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC) เป็นโครมาโทกราฟีชนิดคอลัมน์ แต่มีสารดูดซับขนาดเล็ก ขนาดใกล้เคียงกันใช้แรงดันขนาด 5000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในการเตรียมคอลัมน์ทำให้อัตราไหลของตัวชะอยู่ในอัตราที่เหมาะสมและคงที่ ใช้แยกสารฟลาโวนอยด์ได้ดี มีความสามารถในการแยกสูง มีความไวสูง แม้ว่าจะใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อยกว่า 50 นาโนกรัมก็สามารถแยกได้ ในการตรวจสอบและเลือกเก็บสารที่ต้องการ กระทำได้โดยอาศัยเครื่องอัลตราไวโอเล็ตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Ultraviolet Spectrophotometer) ซึ่งแสดงภาพของยอดการดูดกลืน (Absorbance Peak) ของสาร ด้วยวิธีนี้การเก็บสารจากคอลัมน์จะไม่ผิดพลาด HPLC เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบ, วิเคราะห์ และแยกสารทั้งสารฟลาโวนอยด์ และสารอื่นๆ จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอย่างได้ผลดี

2.4.2 การใช้ประโยชน์ของสารฟลาโวนอยด์

โดยทั่วไปเมื่อพูดถึงประโยชน์ของสารฟลาโวนอยด์ ส่วนใหญ่จะนึกถึงเพียงแต่ว่าเป็นสารที่ให้สีส้มสวยงาน เช่น สีเหลือง ชมพู ส้ม แดง ฟ้ำ และม่วง เพียงอย่างเดียว แต่ปัจจุบันได้มีการวิจัยค้นคว้ามากขึ้น ทำให้ทราบว่าสารฟลาโวนอยด์มีประโยชน์มาก โดยเฉพาะในการนำมาทำเป็นยา และมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลายประการด้วยกัน ได้แก่ [16]

2.4.2.1 ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารฟลาโวนอยด์หลายชนิดเป็นสารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้สารหลายชนิดเสื่อมคุณภาพ โดยเฉพาะพวกไขมันและน้ำมัน สารฟลาโวนอยด์สามารถป้อง

กั้นการเกิดอนุมูลอิสระได้โดยสารแอนติออกซิแดนท์จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงักไป [36]

จากรายงานการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารฟลาโวนอยด์เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติและมีสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ เช่น ฟลาวาโนน ฟลาโวน ฟลาโวนอล และแอนโธไซยานิน สารฟลาโวนอยด์ในกลุ่ม C-glucosylflavone ที่สกัดได้จากเปลือกมะนาว *C. lemon* เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบ linoleic acid autoxidation และ liposome system ส่วนสารเคอเซทิน (Quercetin) และคาเทชิน (Catechin) ที่สกัดได้จากพืชมีสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ [37] จากรายงานการศึกษาพบอีกว่าสารฟลาโวนอยด์พวกไมริเซทิน (Myricetin), อพิคาเทชิน (Epicatechin), นารินจีน (Naringin), รูทีน (Rutin), มอริน (Morin) และเคอเซทิน (Quercetin) ที่เติมลงไปใน canola oil มีสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ป้องกันการหืนที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารบีเอชเอและบีเอชที [38]

2.4.2.2 ป้องกันโรคหัวใจและระบบหลอดเลือด

โรคหัวใจมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากหลอดเลือดหัวใจเกิดการอุดตัน และการเปราะแตกง่ายของหลอดเลือด ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากไขมันในเลือดสูง LDL (Low Density Lipoprotein) เป็นลิปิดระบบหนึ่งที่ใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาการเกิดโรคหัวใจอุดตันอันเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของ Human LDL [36]

สารฟลาโวนอยด์ที่ได้จากพืชตระกูลส้มและมะนาว เช่น เฮสเปอริดีน (Hesperidin) และไดออสมิน (Diosmin) สามารถลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันได้ สารฟลาโวนอยด์พวกไซเนนเซทิน (Sinensetin) โนบิเลทิน (Nobiletin) และแทนเจอร์ทิน (Tangeretin) มีบทบาทในการห้ามเกล็ดเลือดไม่ให้จับตัวกัน ทำให้เลือดไม่เกิดการแข็งตัวเป็นก้อน สารฟลาโวนอยด์พวกไฮเปอโรไซด์ (Hyperoside), รูทีน (Rutin) และไวเทกซิน (Vitexin) มีฤทธิ์ลดความดันโลหิตสูง และบำรุงหัวใจ สารฟลาโวนอยด์พวกเคอเซทิน (Quercetin), มอริน (Morin), มาลวิดิดิน (Malvidin), ซิตรีน (Citrin), ลูติโอลิน (Luteolin) และไซยานิดิน (Cyanidin) มีฤทธิ์ลดความเปราะของหลอดเลือด ทำให้มีความทนทานเพิ่มขึ้น โดยสารฟลาโวนอยด์จะออกฤทธิ์เพิ่มความทนทานของหลอดเลือดและเสริมฤทธิ์กับไวตามินซี ถ้าร่างกายขาดไวตามินซีร่างกายสามารถนำสารฟลาโวนอยด์มาใช้ทดแทนได้ในกรณีที่มีเลือดออก [16]

2.4.2.3 ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ [16]

สารฟลาโวนอยด์พวกมอริน (Morin), นาริงเจนิน (Naringenin), เฮสเปอเรติน (Hesperetin) และแทกซิโฟลิน (Taxifolin) ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*, *E. coli*, *B. typhosus* สารฟลาโวนอยด์พวกเคอร์เซติน (Quercetin), เจนิสเตอิน (Genistein) ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และเชื้อ *Escherichia coli* สารฟลาโวนอยด์ฟิเซตินิดีน (fisetinidine) ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้หลายชนิด ได้แก่ *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus albus*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในมนุษย์ได้

2.5 การสกัด (Extraction)

การสกัดเป็นการแยกสารที่ละลายได้ (Solute) ออกจากวัตถุดิบ โดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent) การสกัดเป็นการแยกโดยอาศัยสัมพัทธ์สมดุล (Contact Equilibrium Separation Process) คือใช้ตัวทำละลายสัมผัสกับวัตถุดิบ และเกิดการถ่ายโอนมวลของสารที่ละลายได้จากวัตถุดิบมาที่สารละลาย จนกระทั่งเกิดสมดุลการสกัดถึงขั้นสุดลง แต่ในทางปฏิบัติอาจแยกสารละลายออกจากวัตถุดิบก่อนถึงจุดสมดุล การสกัดมีทั้งแบบการสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง (Liquid-solid extraction) คือการสกัดที่วัตถุดิบเป็นของแข็งและสารละลายเป็นของเหลว และแบบการสกัดในระบบของเหลว-ของเหลว (Liquid-liquid extraction) คือการสกัดที่วัตถุดิบและสารละลายต่างเป็นของเหลวที่มีสมบัติไม่ผสมกัน (Immiscible Liquid) [39]

2.5.1 การสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง

การสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง (Liquid-solid extraction) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการล้างออก (Leaching) เป็นวิธีการแยกส่วนที่ต้องการออกจากส่วนที่ไม่ต้องการโดยใช้การพา (Carrier) โดยอาศัยหลักการถ่ายโอนมวลสารของของแข็งไปยังตัวทำละลายของเหลว และความสามารถในการละลาย [40]

กระบวนการนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายทางวิศวกรรมเคมี โดยเฉพาะการสกัดสารจากธรรมชาติ เช่น การสกัดสารจากเมล็ดกาแฟ การสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช การสกัดสมุนไพร เป็นต้น โดย

ใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นน้ำ หรือตัวทำละลายอินทรีย์ การสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการสกัดสีย้อมธรรมชาติจากพืชหมายถึง การแยกเอาสารประกอบที่มีอยู่ในพืชออกมา โดยใช้ตัวทำละลายและวิธีที่เหมาะสม [41]

โดยทั่วไปการสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง จะประกอบไปด้วยกระบวนการสำคัญ 3 กระบวนการได้แก่

1. กระบวนการเปลี่ยนสถานะของตัวถูกละลายขณะที่มันละลายในตัวทำละลาย
2. กระบวนการแพร่ (diffusion) ของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่อยู่ภายในอนุภาคของแข็ง
3. กระบวนการถ่ายโอนมวลสารของตัวถูกละลายจากสารละลายที่อยู่ภายในอนุภาคของแข็งออกไปสู่สารละลายทั้งหมด

2.5.2 กลไกการสกัด [41]

การถ่ายเทตัวถูกละลายจากของแข็งไปยังของเหลว จะเกิดขึ้นสอดคล้องกับขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การแพร่ของตัวทำละลายเข้าสู่อนุภาคของแข็ง และการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย (ภายในอนุภาคของแข็ง) ขั้นนี้ตัวทำละลายจะแพร่เข้ามาภายในอนุภาคของแข็งเพื่อจับตัวถูกละลาย การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและตัวทำละลายของเหลว โดยการบดให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดระยะทางที่ตัวถูกละลายต้องผ่านให้สั้นลง สามารถช่วยเพิ่มความเร็วในการสกัดได้

ขั้นที่ 2 สารละลายที่ได้จากขั้นที่ 1 จะแพร่ออกมาที่ผิวของอนุภาคของแข็ง (ถือเป็นสารละลายอิ่มตัว)

ขั้นที่ 3 การถ่ายโอนมวลสารของตัวถูกละลายจากผิวของอนุภาคของแข็งออกไปสู่สารละลายทั้งหมด การกวนขณะการสกัดจะช่วยให้การถ่ายโอนมวลสารเกิดได้เร็วขึ้น

2.5.3 การถ่ายโอนมวลสารในการสกัด [40]

การถ่ายโอนมวลสารในการสกัด (Mass Transfer in Extraction) จะเกิดขึ้นได้ 3 กระบวนการดังที่กล่าวมาแล้วสำหรับการประเมินค่าการถ่ายโอนมวลสารของกระบวนการแรกคือ กระบวนการถ่ายโอนมวลสารภายในช่องว่างของพืชซึ่งทำได้ยากเพราะเราไม่สามารถจะคาดคะเนได้ว่าช่องว่างภายในพืชที่เกิดการถ่ายโอนนั้น มีรูปร่างอย่างไร ดังนั้นการพิจารณาการถ่ายโอนมวลสารใน

การสกัดอาจคาดคะเนได้จากกระบวนการที่สามคือการถ่ายโอนมวลสารจากเฟสสู่สารละลายทั้งหมด

สมมติว่าของแข็งถูกบดอยู่ในรูปทรงกลมแล้วมีของเหลวเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ อยู่รอบๆ ของแข็ง อัตราการถ่ายโอนเขียนได้เป็นสมการอนุพันธ์ ดังนี้

$$dM/dt = kA(C_S - C)/b \quad (1)$$

M = มวลของตัวถูกละลายที่ถูกถ่ายโอนออกมาในสารละลาย

k = mass transfer coefficient

A = พื้นที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลว

C_S = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะอิ่มตัวที่สัมผัสกับของแข็ง

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่เวลาใดๆ

b = effective thickness ของชั้นฟิล์มของของเหลวรอบๆ ของแข็ง

t = เวลา

เมื่อพิจารณากระบวนการทำงานแบบครั้งคราวแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) ซึ่งมี V เป็นปริมาตรของสารละลายซึ่งมีค่าคงที่

$$dM = VdC$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (1) จะได้

$$dC/dt = kA(C_S - C)/bV$$

t เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก C_0 ไปเป็น C หาได้จากการอินทิเกรต โดยให้ค่า b และ A คงที่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \int dC(C_S - C) &= \int (kA/bV)dt \\ \ln[(C_S - C_0)/(C_S - C)] &= (kA/bV)t \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อเริ่มการสกัดจะเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ $C_0 = 0$ จะได้ว่า

$$C_S/(C_S-C) = e^{(kA/bV)t}$$

$$(C_S-C)/C_S = e^{-(kA/bV)t}$$

$$1 - (C/C_S) = e^{-(kA/bV)t}$$

หรือ

$$C = C_S(1 - e^{-(kA/bV)t}) \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่าการสกัดจะขึ้นอยู่กับเวลาและ Mass transfer coefficient ถ้าให้ส่วนที่เหลือคงที่ ค่า Mass transfer coefficient โดยปกติจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นในการสกัดบางกรณีจึงใช้ความร้อนเข้าช่วยเพื่อเพิ่มค่า Mass transfer coefficient ให้อัตราการสกัดสูงขึ้น

2.5.4 การดำเนินการในการสกัด [40]

การดำเนินการ (Method of operation) ในการสกัดอาจทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบกึ่งต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง การสกัดแบบไม่ต่อเนื่องเป็นวิธีการที่ของแข็งของเหลวสัมผัสกันเป็นพั๊ๆ ไม่ต่อเนื่อง และได้ผลิตภัณฑ์ออกมา 1 ชุด การสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องเป็นลักษณะของของแข็งชุดเดียวถูกสกัดโดยของเหลวที่ไหลผ่านเข้ามาอย่างต่อเนื่องได้ผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่องด้วย สำหรับการสกัดแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอเป็นการสกัดที่ทั้งของเหลวและของแข็งได้สัมผัสกันอย่างต่อเนื่องได้ผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ นอกจากนี้การสกัดจะต้องขึ้นอยู่กับสมบัติสารที่ต้องการสกัดด้วยว่า สารที่ต้องการสกัดทนต่อความร้อนได้ดีหรือไม่ แต่ละวิธีจะให้ผลที่แตกต่างกัน เพราะมีข้อจำกัดและข้อได้เปรียบที่แตกต่างกัน

2.5.4.1 การสกัดแบบไหลซึมผ่าน (Percolation) [40]

การสกัดแบบไหลซึมผ่าน เป็นวิธีการสกัดที่ปล่อยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านชั้นของพืชหรือของแข็งที่บรรจุไว้อย่างดีในเครื่องมือที่มีตะแกรงรูปกรวยรองรับอยู่ สารละลายจะไหลออกมาตามรูปกรวยของตะแกรง การปล่อยให้ตัวทำละลายอาจใช้วิธีพ่นตัวทำละลายเป็นฝอย (spray) การกระจายบนชั้นของพืชหรือเทตัวทำละลายให้ค่อยๆซึมผ่านลงไปก็ได้

2.5.4.2 การสกัดแบบซ็อกเล็ต (Soxhlet extraction) [42]

การสกัดแบบซ็อกเล็ตเป็นกระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่อง โดยใช้ตัวทำละลายต้มที่อุณหภูมิไม่สูงมาก ตัวทำละลายจะถูกระเหยในขวดที่มีพืชที่ถูกบดย่อยแล้ว ซึ่งขวดแก้วเมื่อถูกให้ความร้อนก็จะทำให้ตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอ เมื่อถูกควบแน่นกลับมาก็จะกลั่นตัวไปเรื่อยๆ เพื่อสกัดซ้ำ จนสารละลายเข้มข้นมากพอ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการ ซึ่งการสกัดด้วยความร้อนจะทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมี

2.5.4.3 การหมัก (Maceration) [42]

เป็นกระบวนการสกัดสาร สำคัญจากพืช โดยวิธีหมักพืชกับตัวทำละลายในภาชนะที่ปิด เช่น ขวดปากกว้าง ขวดรูปชมพู่ หรือ โถ เป็นต้น ทิ้งไว้ 7 วัน หมั่นเขย่าหรือคนบ่อย ๆ เมื่อครบกำหนดเวลาจึงค่อย ๆ รินเอาสารสกัดออกพยายามบีบเอาสารละลายออกจากกากให้มากที่สุด รวมสารสกัดที่ได้นำไปกรอง การสกัดถ้าจะสกัดให้หมดจดอาจจำเป็นต้องสกัดซ้ำหลายครั้ง ๆ วิธีนี้มีข้อดีที่สารไม่ถูกความร้อน แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลายมาก

2.5.5 การเลือกตัวทำละลาย

การเลือกตัวทำละลายในการสกัด จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญดังนี้ [41]

1. ความสามารถในการละลายสารที่ต้องการสกัด
2. อัตราเร็วของการแทรกซึมสู่ตัวถูกละลาย
3. สามารถแยกออกจากสารที่ถูกสกัดได้โดยง่ายและนำกลับมาใช้ใหม่ได้
4. ความสะดวกในการแปรรูปสารละลายที่สกัดได้ให้เป็นไปตามที่ต้องการ
5. มีความคงตัว

6. มีความปลอดภัย ต้องไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ระเบิดง่าย
7. ไม่ทำปฏิกิริยากับเครื่องมือที่ใช้
8. มีราคาถูก

สารละลายแอลกอฮอล์เป็นสารละลายที่ได้รับความนิยมในการสกัดมากที่สุด เนื่องจากมีช่วงของการละลายไม่กว้างเท่าน้ำ [40] แต่แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่ดีกับพวก alkaloids, glycosides, resin และ essential oil แต่ไม่ละลายพวก gum , sugars หรือ albumins นอกจากนี้แอลกอฮอล์ยังช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของพวก yeasts, mold, fungi และ bacteria

ข้อดี -ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดโดยแอลกอฮอล์มักคงตัวไม่เกิด hydrolysis

-ป้องกันการเกิด yeasts , mold , fungi และ bacteria ได้

-ผสมกับน้ำได้ทุกสัดส่วน จึงสามารถใช้ได้ในรูป hydroalcoholic solvent

ข้อเสีย -ราคาแพง

-ระเหยง่าย

-อาจเกิด toxic ได้

2.6 การทำแห้ง (Drying) [43,44]

การทำแห้ง หมายถึง การถ่ายโอนของเหลว เช่น น้ำ ออกจากสารประกอบซึ่งอาจจะเป็นของแข็ง , กึ่งของแข็ง (Paste) หรือสารละลายไปยังแก๊สที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated gas) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นหรือของเหลวในระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตจากเชื้อจุลินทรีย์ การทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เป็นการเก็บรักษาคุณสมบัติที่ไว้ได้นาน มีใช้ในยามขาดแคลนนอกฤดูปลูกหรือในแหล่งห่างไกล และเพื่อลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทำให้สะดวกในการใช้ บรรจุ ขนส่ง และเก็บรักษา

การทำแห้งประกอบด้วย กระบวนการถ่ายโอนความร้อนเพื่อทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะ และกระบวนการถ่ายโอนมวลสารของของเหลวและไอ กลไกในการถ่ายโอนความร้อน (Mechanism of heat transfer) ประกอบด้วย

1. การพาความร้อน (Convection) จากแก๊สร้อนมายังสาร
2. การนำความร้อน (Conduction) จากผิวของสารประกอบที่ร้อนเข้าไปในเนื้อของสารประกอบ

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จากแก๊สร้อน จากผนังหรือแผ่นความร้อน ไปยังสารประกอบนั้น หรือสารประกอบมองเห็นแหล่งกำเนิดความร้อน

การเลือกวิธีทำแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น จะต้องนึกถึงปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญประกอบด้วย ชนิด และสมบัติของวัตถุดิบ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ความสามารถในการทำแห้งของเครื่องมือ และปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ วิธีการทำแห้งที่ดีที่สุด คือ การทำแห้งที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะ และคุณภาพตามที่ต้องการใช้ โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยในกรณีที่ต้องการผลิตผงสีในปริมาณมากๆ การทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงน่าจะมีความเหมาะสม และประหยัดที่สุด นอกจากนี้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่น รสได้โดยในระหว่างการทำแห้งจะมีการเติมสารเจือปนบางชนิดลงไปเพื่อป้องกันการลดลงของกลิ่น รสที่จะระเหยออกไปในระหว่างการทำแห้งได้

2.6.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้ของเหลวระเหยออกได้เร็ว โดยใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาคุณภาพคงเดิมใกล้เคียงสภาพสดมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากการทำแห้งแบบนี้จะมีลักษณะสม่ำเสมอ คือ มีขนาด รูปร่าง และปริมาณความชื้นเหลืออยู่น้อยในปริมาณที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

สำหรับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอย ควรเป็นสารที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด เป็นของเหลวที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids) อย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ และของเหลวต้องไหลได้ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของวัตถุดิบมีผลต่อความหนืด วัตถุดิบไม่ควรมีความหนืดสูงเกินไปเพราะจะทำให้ไหลยาก การทำให้วัตถุดิบมีความเข้มข้นอาจทำได้โดยการต้มระเหยน้ำออก หรือการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศเพื่อรักษากลิ่น รส และสีของวัตถุดิบ วัตถุดิบไม่ควรมีน้ำตาลสูงมาก เพราะจะทำให้แห้งไม่สนิทและเกาะติดผนังเครื่องทำแห้ง วัตถุดิบที่มีไขมันมากเกินไปไม่เหมาะกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพราะผงที่ได้จะแห้งไม่สนิท และจะละลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง หรือวัตถุดิบที่มีเส้นใย (Fiber) มากจะเกิดปัญหาการอุดตันของหัวฉีดได้ง่าย วัตถุดิบที่มีปริมาณเกลือและกรดสูงจะเกิดปัญหาการสึกกร่อนของภาชนะเครื่องทำแห้ง วัตถุดิบที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนใหญ่ก็มีแป้งและโปรตีนเป็นองค์ประกอบอาจมีไขมันหรือน้ำตาลบ้างเพียงเล็กน้อย และอาจมีสารตัวกลาง

(Carrier) บางชนิดเพื่อลดปัญหาการเกาะติดกับผนังของเครื่องทำแห้ง ควรอุ่นตัวอย่างให้ร้อนประมาณ 70-80 องศาเซลเซียสก่อนนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ยกเว้นอาหารโปรตีนที่ไม่ทนต่อความร้อน เช่น ไข่ขาว

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 ขั้นตอนการทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็กลงหรือเป็นละอองฝอย เพื่อให้สามารถระเหยน้ำออกจากของเหลวได้รวดเร็ว เนื่องจากอนุภาคของเหลวที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการรับความร้อนมาก การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพและใช้เวลาไม่กี่ปีก็น้ำก็จะแห้งเป็นผงตกลงมาในภาชนะ

ขั้นที่ 2 ขั้นตอนการสัมผัสระหว่างละอองของเหลวกับลมร้อน (Spray-Air Contact) ละอองของเหลวที่ได้จากการอัดฉีดในขั้นตอนแรก จะมีการสัมผัสกับลมร้อนทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไปจากละอองของเหลว การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของลมร้อนเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าทิศทางการไหลของลมร้อนเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็ว ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนมี 3 ทิศทาง คือ ลมร้อนเคลื่อนที่ขนานกับละอองของเหลว (Cocurrent Flow) ลมร้อนเคลื่อนที่สวนทางกับละอองของเหลว (Countercurrent Flow) และลมร้อนเคลื่อนที่แบบผสม (Mixed Flow)

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนการระเหย (Evaporation) เป็นช่วงการทำแห้งที่มีการระเหยน้ำออกจากอนุภาคของเหลวอย่างรวดเร็ว ผงแห้งที่ได้จะตกลงสู่ตอนล่างของภาชนะทำแห้งภายในเวลาไม่กี่วินาที เนื่องจากช่วงเวลาสั้นมากผงที่ได้จะยังมีคุณภาพดี และไม่ถูกทำลายโดยความร้อน

ขั้นที่ 4 ขั้นตอนการแยกผงออกจากเครื่องทำแห้ง (Product Recovery) หลังจากผงที่ได้ตกลงสู่ตอนล่างของภาชนะทำแห้ง ผงที่ได้จะมีน้ำหนักเบาและถูกดูดโดยแรงดูดจากพัดลม และส่งออกมาทางท่อลมออก ซึ่งขณะเดียวกันลมที่ถูกดูดออกมาก็จะพาความชื้นหรือไอน้ำที่ได้จากการระเหยของละอองของเหลวออกมาด้วย ผงที่ได้สามารถแยกออกจากลมร้อนได้โดยอาศัยกรรมวิธีไซโคลน (Cyclone) ให้ตกกระทบผนังท่อไซโคลน และตกลงมาในภาชนะที่รองรับ ผงที่ได้ควรเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้อง นิยมเก็บไว้ในขวดหรือกระป๋อง ซึ่งมักดูดเอาอากาศออก เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับผงได้ และป้องกันความชื้นจากอากาศซึ่งมีส่วนทำให้ผงจับกันเป็นก้อน (Caking) บางครั้งอาจบรรจุในภาชนะซึ่งมีก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน เพื่อรักษาคุณลักษณะของผงที่ได้ให้คงที่

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.6.2.1 ความเร็วของหัวเหวี่ยง (Atomizer Speed)

ความเร็วของหัวเหวี่ยงในขณะที่อัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ การเพิ่มความเร็วของหัวเหวี่ยงมีผลทำให้ละอองของเหลวที่ฉีดได้มีขนาดเล็กลง ผงที่ได้จะละเอียด และมีความหนาแน่นมาก

2.6.2.2 ความหนืดของวัตถุดิบ (Viscosity)

การเพิ่มความหนืดของวัตถุดิบ เช่น การเพิ่มความเข้มข้นวัตถุดิบและการลดอุณหภูมิของวัตถุดิบก่อนเข้าทำแห้ง ในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ มีผลทำให้ละอองของเหลวที่ฉีดได้มีขนาดใหญ่ขึ้น การระเหยน้ำเปลี่ยนแปลงไป ผงที่ได้จะมีขนาดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

2.6.2.3 อัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (Feed Rate)

การเพิ่มอัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ ในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ จะทำให้ละอองของเหลวที่ฉีดออกมามีขนาดใหญ่ขึ้น และผงที่ได้มีขนาดจะมีขนาดใหญ่และหยาบ

2.6.2.4 ชนิดของหัวฉีด (Atomizer)

การเลือกชนิดของหัวฉีดจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคผงและลักษณะการกระจายของขนาดผงที่ต้องการ ถ้าใช้หัวเหวี่ยงแบบโรตารี (Rotary Atomizer) ขนาดอนุภาคผงแห้งที่ได้จะอยู่ระหว่าง 20 – 150 ไมครอน และถ้าต้องการผงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถทำได้โดยผลิตในห้องทำแห้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าใช้หัวฉีดแบบใช้ความดัน (Pressure Nozzles) ขนาดอนุภาคผงแห้งที่ได้จะอยู่ระหว่าง 120 – 300 ไมครอน

2.6.2.5 ประสิทธิภาพในการทำของเหลวให้เป็นละอองฝอย

ประสิทธิภาพในการทำของเหลวให้เป็นละอองฝอย ขึ้นอยู่กับการออกแบบของระบบของหัวเหวี่ยง ตั้งแต่ความเร็วในการหมุนของวงล้อหัวเหวี่ยง จำนวนรอบหมุน ลักษณะของใบพัด (Vaness) ลักษณะของปลอกวงล้อ (Bushing) และปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้า

2.6.2.6 อุณหภูมิในการทำแห้ง (Drying Temperature)

การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำแห้ง (Inlet Temperature) ในขณะที่อัตราความเร็วลมคงที่ จะทำให้การระเหยน้ำเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำแห้งสูงเกินไป ผงที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำเนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผงจะมีลักษณะเป็นรูปพรุน หรือโปร่ง การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนหลังการทำแห้ง (Outlet Air Temperature) ในขณะที่อัตราความเร็วลมคงที่ จะทำให้ปริมาณความชื้นของผงที่ได้ลดลง ถ้าต้องการผงที่มีอนุภาคใหญ่เกาะกันเป็นเม็ดจะใช้อุณหภูมิของลมร้อนหลังการทำแห้งที่ระดับต่ำ ผงที่ได้จะมีคุณสมบัติละลายน้ำง่าย

2.6.2.7 ทิศทางและอัตราเร็วของลมร้อน (Air Flow)

อัตราเร็วของลมร้อนเป็นตัวควบคุมระยะเวลาในการทำแห้งของละอองของเหลว ถ้าระยะเวลาในการทำแห้งนานความชื้นในผงที่ได้จะลดต่ำลง การลดอัตราความเร็วของลมร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกผงออกจากเครื่องทำแห้ง ส่วนการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของลมร้อนภายในห้องทำแห้งเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงมาก เพราะถ้าทิศทางการไหลของลมร้อนเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนในห้องทำแห้งแบ่งออกได้เป็น 5 แบบ คือ เคลื่อนที่ขนานตามแนวราบกับละอองของเหลว (Horizontal Cocurrent) เคลื่อนที่ลงขนานตามแนวตั้งกับละอองของเหลว (Vertical Downward) เคลื่อนที่ขึ้นขนานตามแนวตั้งกับละอองของเหลว (Vertical Upward) เคลื่อนที่สวนทางตามแนวตั้งกับละอองของเหลว (Vertical Countercurrent) และเคลื่อนที่แบบผสม (Mixed Flow หรือ Complex Vertical Downward) โดยลมร้อนถูกพ่นเข้าด้านข้างก่อนไปทางด้านบนของห้องทำแห้ง ละอองของเหลวถูกพ่นออกจากด้านบน มีเครื่องดูดอากาศออกทางด้านบน ทำให้ลมร้อนเกิดการผสมวนเวียนกับละอองของเหลวภายในห้องทำแห้ง

2.6.3 สารตัวกลาง

สำหรับกระบวนการผลิตผงสีมักเกิดปัญหาที่สำคัญคือ การที่ผงสีที่ผลิตได้มีการเกาะติดกับผนังภายในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และจากการที่ผงสีที่ผลิตได้ดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นลักษณะเยิ้มเหนียวได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ เนื่องจากมีน้ำตาลความเข้มข้นสูง เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ในการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยควรมีสารตัวกลาง (Carrier) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่างซึ่งถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน หรือเป็นสารพวกที่ระเหยได้ง่าย โดยสารตัวกลางทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้ไว้แทน ทำให้ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง นอกจากนี้สารตัวกลางยังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อประหยัดเวลาในการทำแห้ง สารตัวกลางยังทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้มีความเข้มข้นน้อยลงอีกด้วย สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวพาได้แก่ มอลโตเด็คซ์ทรีน เด็กซ์ทรีน และนมผงขาดมันเนย เป็นต้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยูทหนา (2538) [40] ศึกษาการสกัดดอกคำฝอยแห้งด้วยตัวทำละลายและนำสารสกัดมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจาย (Spray Drier) โดยได้แบ่งงานออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกศึกษาชนิดตัวทำละลายในการสกัดกรดไลโนเลอิก ส่วนที่สองศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดกรดไลโนเลอิกจากดอกคำฝอยในเครื่องสกัดแบบ batch ระดับปฏิบัติการ ส่วนที่สามทำการสกัดดอกคำฝอยแห้งในเครื่องสกัดขนาดนำร่อง ส่วนที่สี่เป็นการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง โดยผลที่ได้พบว่า ใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยน้ำหนักเป็นตัวทำละลายที่ดีในการสกัด ภาวะในการสกัดในเครื่องสกัดแบบ batch ระดับปฏิบัติการ คือ สกัดด้วยภาวะการกวน ที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยอัตราส่วนน้ำหนักดอกคำฝอย 1 กรัมต่อเอทานอล 60 มิลลิลิตร การสกัดในเครื่องสกัดขนาดนำร่อง ได้ผลการสกัดร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 120 นาที การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้เป็นผงแห้งใช้เด็กซ์ทรีนเป็นสารตัวกลางช่วยในการลดการเกาะติด ปริมาณร้อยละ 100 ของน้ำหนักสารสกัด ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งสีเหลือง มีสมบัติดูดความชื้นได้ดีมาก

U. D. Chavan และคณะ (2544) [45] ศึกษาการสกัดสารคอนเดนเสดแทนนิน (Condensed tannin) จากต้นถั่วชนิดต่างๆกัน คือ beach pea, green pea และ grass pea โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ เมทานอล และอะซิโตนที่ความเข้มข้นแตกต่างกันและการเติมกรด

ไฮโดรคอลลิก พบว่าสารละลายอะซิโตนที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรและมีการเติมกรดไฮโดรคอลลิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการสกัดสารคอนเดนเสดแทนนิน ต้น beach pea มีปริมาณสารคอนเดนเสดแทนนินมากที่สุดคือ 11.6 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ Indian grass pea 1.54 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง, Canadian grass pea 109 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง และ green pea 72 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง เมื่อนำต้น beach pea มาวิเคราะห์พบว่าในเมล็ดที่สุกแล้วจะมีปริมาณสารคอนเดนเสดแทนนินมากที่สุดคือ 11.7 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้งและที่ในลำต้นและกิ่งก้านจะมีปริมาณสารคอนเดนเสดแทนนินน้อยที่สุดคือ 0.95 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง

วรรณทิศา (2545) [36] ศึกษาการสกัดสารฟลาโวนอยด์จากเปลือกมะนาว โดยสกัดสารเฮสเพอริดิน (Hesperidin) ซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทในการต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้เป็นผลให้เกิดโรคหลายชนิดในมนุษย์ โดยได้ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยศึกษาหาชนิดตัวทำละลายในการสกัดที่เหมาะสมจากตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น เมทานอล และเอทานอล จากนั้นได้ศึกษาหาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการสกัด พบว่าภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้เมทานอล เอทานอล และน้ำกลั่นสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 ชั่วโมง, ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนของเปลือกมะนาวต่อตัวทำละลาย 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร นอกจากนี้ยังใช้ตัวทำละลายผสมด้วยพบว่าการสกัดด้วยเมทานอล : น้ำ และเอทานอล : น้ำ ที่อัตราส่วน 6:4 มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 ชั่วโมง และที่อัตราส่วน 4:6 มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการสกัดด้วยเมทานอล : น้ำ จะได้ปริมาณสารเฮสเพอริดินมากที่สุด โดยมากกว่าการสกัดด้วยเมทานอล และเอทานอล : น้ำ 1.08 และ 1.01 เท่า

เสรี (2545) [44] ศึกษาการผลิตผงสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบแดงเพื่อนำไปใช้เป็นสีย้อม โดยการสกัดสารแอนโทไซยานินโดยได้ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้น้ำสกัด พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที ใช้อัตราส่วนของดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งต่อน้ำเท่ากับ 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร สารละลายที่สกัดได้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของ Delphinidin-3-glucoside ร้อยละ 0.496 คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 82.67 ของปริมาณสารแอนโทไซยานินที่มีในดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งเริ่มต้น มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 6.3 °Brix ค่าความเป็นกรดร้อยละ 12.61 ในรูปของกรดซิตริก และค่าความเป็นกรด-เบส (pH) 2.36 หลังจากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยใน

ระดับนำร่องโดยใช้เด็กซ์ทรินเป็นสารตัวกลางช่วยในการลดการเกาะติด ปริมาณร้อยละ 35 ของ น้ำหนักสารสกัดได้ผลผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ผงสีธรรมชาติจากดอกกระเจี๊ยบแดงร้อยละ 50 ของ ปริมาณกระเจี๊ยบแดงบดอบแห้งเริ่มต้น ผงสีที่ได้แบ่งเป็นผงสีที่ได้จากส่วนแยกผง (Cyclone separator) ร้อยละ 17.3 และผงสีที่ได้จากห้องทำแห้ง (Drying chamber) ร้อยละ 82.7 โดยผงสีที่ได้จากห้องทำแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในปริมาณมากมีค่าแอกติวิตีน้ำ (a_w) เท่ากับ 0.107 มี ปริมาณความชื้น 3.48% มีความเป็นกรด 21.5% ในรูปกรดซิตริก มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 26.32 ค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว (a^*) เท่ากับ 30.09 และค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*) เท่ากับ 38.79

K. H. Kim และคณะ (2548) [46] ศึกษา นำต้นข้าวสาลี (Buckwheat) มาสกัดสารรูทีน (Rutin) ซึ่งเป็นสารที่มีคุณประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และทางเภสัชกรรมอย่างมาก เนื่องจากเป็นสารต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (Antioxidants) โดยได้ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยได้ทำการศึกษาหาชนิดตัวทำละลายในการสกัดที่เหมาะสมจากตัวทำละลาย 5 ชนิด คือ น้ำกลั่น เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล และอะซิโตน จากนั้นได้ศึกษาหาอุณหภูมิ และ เวลาที่เหมาะสมในการสกัด พบว่าภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 โดย ปริมาตร สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถสกัดสารรูทีนได้ปริมาณ มากที่สุด คือ 936.2 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยที่ภาวะดังกล่าวนี้สามารถสกัดสารรูทีนที่มี ความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 51

B. Lapornik และคณะ (2548) [47] ศึกษาทดลองนำกากผลเรดเคอร์เรน แบล็คเคอร์เรน เรน และองุ่นที่เหลือใช้จากการคั้น นำมาสกัดสารพอลิฟีนอล และแอนโทไซยานินซึ่งมีอยู่ใน ปริมาณมาก โดยเฉพาะสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (Antioxidants) โดยได้ทำการศึกษาหาชนิดตัวทำละลายในการสกัดที่เหมาะสมจากตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น เมทานอล และเอทานอล และเวลาในการสกัดที่เหมาะสม การสกัดที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมทานอล และเอทานอล สามารถสกัดได้สารพอลิฟีนอล และแอนโทไซยานินได้มากกว่าสกัดในน้ำกลั่น ประมาณ 2 เท่าในกากผลเรดเคอร์เรน และแบล็คเคอร์เรน และมากกว่าประมาณ 7 เท่าในกาก ผลองุ่น ที่เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง โดยเมทานอลสามารถสกัดสารพอลิฟีนอล และแอนโทไซยา นินได้มากกว่าเอทานอลเล็กน้อยที่เวลาในการสกัดเท่ากัน โดยพบว่าในกากผลแบล็คเคอร์เรนจะมี ปริมาณสารพอลิฟีนอล และแอนโทไซยานินมากที่สุด และในกากผลเรดเคอร์เรนจะมีปริมาณ สารพอลิฟีนอล และแอนโทไซยานินน้อยที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสี้อมจากต้นขนุนในห้องปฏิบัติการ และเตรียมเครื่องสกัดขนาดนำร่องเพื่อทดสอบให้ได้ภาวะที่เหมาะสมของระบบการสกัดขนาดขยายส่วนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ และได้ผลิตภัณฑ์ผงสี้อมธรรมชาติเพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในการนำไปบริโภคได้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่อง Soxhlet Extractor

เครื่อง Soxhlet Extractor รุ่น SER 148/6 จากบริษัท VELP ใช้ Extraction Thimbles รุ่น MN 644 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร จากบริษัท VELP เป็นเครื่องมือสกัดแบบ Percolation ทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง ใช้เพื่อหาปริมาณสารสกัดทั้งหมดที่สกัดได้ในตัวทำละลายนั้นๆ แสดงดังรูปที่ 3.1

3.2.2 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator)

เครื่องระเหยแบบหมุนรุ่น EXELA A-3S จากบริษัท BUCHI เป็นเครื่องระเหยเข้มข้น โดยระเหยตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิต่ำ และลดความดันลงให้เกือบเป็นสุญญากาศ โดยใช้ Aspirator

เครื่องมือประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Distillation Flask ขนาด 500 ลบ.ซม. Condenser และ Receiving Flask โดย Distillation Flask จะหมุนอยู่ตลอดเวลาที่ทำงาน และแช่อยู่ในหม้ออ่างไอน้ำ เพื่อให้การกระจายของความร้อนทั่วถึง และสม่ำเสมอ เครื่องที่ดีจะต้องมีระบบการทำสุญญากาศที่ดี ระยะระหว่าง Distillation Flask และ Condenser สั้น และมีระบบทำความสะอาดของ Condenser ที่ดี

3.2.3 ตู้อบไฟฟ้า (Oven)

ตู้อบไฟฟ้ารุ่น RD115 จากบริษัท Binder ใช้เพื่ออบไม้ขนุน ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำมาสกัด และอบไล่ตัวทำละลายออกจากสารสกัดให้หมด หลังจากระเหยตัวทำละลายออกไปก่อนแล้วในเครื่องระเหย Rotary Evaporator

3.2.4 เครื่องชั่ง ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ

ชนิดชั่งได้ละเอียด 2 ตำแหน่ง

ชนิดชั่งได้ละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.2.5 เครื่องแก้ว

ได้แก่ Beaker , Volumetric Flask , Cylinder , Suction Flask ฯลฯ

3.2.6 ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

เพื่อเก็บไม้ขนุน ในการเตรียมวัสดุติดก่อนนำมาสกัด และเก็บสารสกัดที่ได้ หลังจากอบไล่ตัวทำละลายออกไปจนหมดในตู้อบไฟฟ้า

3.2.7 เครื่องสกัดแบบเบตซ์ระดับปฏิบัติการ

เป็นเครื่องมือสกัดที่ตัวทำละลายและตัวถูกละลายสัมผัสกันโดยตรง การทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง มีขนาดระดับปฏิบัติการ เพื่อทดลองหาภาวะต่างๆ ในการสกัด แสดงดังรูปที่ 3.2

เครื่องมือประกอบไปด้วยขวดก้นกลม 3 คอ ขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่บรรจุไม้ขนุนและตัวทำละลาย ขวดแก้ววางอยู่ในเครื่องอังไอน้ำที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ ส่วนขวาของขวดแก้วเสียบเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสารละลายสกัด ส่วนบนของขวดแก้วต่อกับใบพัดกวน ส่วนซ้ายของขวดแก้วต่อกับคอนเดนเซอร์ (Condenser)

3.2.8 เครื่องสกัดไหลเวียนกลับ (Recycle Extractor)

เป็นเครื่องสกัดขนาดใหญ่ การทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบไปด้วยถังรูปทรงกระบอก 2 ถัง คือ ถังให้ความร้อน (ซ้าย) และถังสกัด (ขวา) ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 308 หนา 3 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 77 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร มีขนาดความจุแต่ละถัง ถังละ 500 ลิตร เป็นถังมีฝาปิดสนิท มีท่อเชื่อมกันระหว่างถัง 2 ถัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ในถังให้ความร้อนมีท่อให้อิอน้ำร้อนไหลผ่านเพื่อให้ความร้อนและมีเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิภายในถัง ที่กั้นถังให้ความร้อนต่อท่อเข้ากับปั๊ม ท่อออกจากปั๊มต่อเข้ากับโรตารีมิเตอร์ (Rota meter) เพื่อวัดอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดและต่อท่อเข้ากับถังสกัดที่กั้นถัง ภายในถังสกัดจะบรรจุไปด้วยตะแกรงทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับบรรจุไม้ขนุน ลักษณะการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ คือ ใช้ปั๊มสูบตัวทำละลายจากถังให้ความร้อน โดยผ่านท่อด้านล่างไปสู่ถังสกัดซึ่งบรรจุไม้ขนุนไว้ ทำให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับไม้ขนุนได้โดยตรง โดยระดับของตัวทำละลายในถังสกัดจะสูงกว่าในถังให้ความร้อน ตัวทำละลายจึงไหลกลับสู่ถังสกัดอีกครั้ง ผ่านท่อที่เชื่อมระหว่างถังทั้ง 2

3.2.9 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น Mobile Minor Order NO. 093-199100 จากบริษัท GEA Niro A/S เป็นการทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้ของเหลวระเหยออกได้เร็ว โดยใช้เวลาในการทำให้แห้งที่สั้นมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีคุณภาพคงเดิมใกล้เคียงสภาพสดมาก แสดงดังรูปที่ 3.4

ประกอบด้วย หัวฉีดพ่น (Atomizer) ทำหน้าที่เป็นตัวฉีดหรือเหวี่ยงให้ของเหลวกระจายเป็นหยดของเหลว การป้อนสารละลายเข้าหัวฉีดใช้เครื่องสูบ (Feed Pump) ที่ปรับอัตราการป้อนได้ ภายในห้องทำแห้ง (Drying Chamber) ให้ลมร้อนจากแหล่งให้ความร้อน (Heater) และกรวยแยกสำหรับแยกผลิตภัณฑ์ผงแห้ง ออกจากอากาศร้อนที่ขึ้น ผงแห้งที่ได้แยกมาที่ภาชนะเก็บ ส่วนอากาศร้อนขึ้นแยกออกสู่อากาศภายนอก

3.2.10 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น V-530 จากบริษัท Jasco ใช้ในการหาค่า λ_{max} ของสารมอริน

3.2.11 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (High Performance Liquid Chromatograph, HPLC)

เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูงรุ่น LC-10ADvp จากบริษัท SHIMADZU ใช้ในการหาปริมาณสารมอรินที่สกัดได้

3.2.12 เครื่อง Water Activity

เครื่อง Water Activity รุ่น 3 Series 3TE จากบริษัท AQUA LAB ใช้ในการหาค่าแอกติวิตีน้ำ (Water Activity, a_w)

3.2.13 เครื่อง pH meter

เครื่อง pH meter รุ่น pH 900 BU จากบริษัท Presica ใช้ในการหาค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

3.2.14 เครื่องวัดสี

เครื่องวัดสีรุ่น CR-300 จากบริษัท MINOLTA ใช้ในการหาค่าสีของผงสี

3.3 สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ไม้ขนุน จาก จังหวัดปราจีนบุรี

3.3.2 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.3.3 เมทานอล (Methanol, HPLC Grade) บริษัท Fisher Scientific

- 3.3.4 เมทานอล (Methanol, Commercial Grade) บริษัท YCC
- 3.3.5 เอทานอล (Ethanol, Commercial Grade) บริษัท YCC
- 3.3.6 แอซีโตน (Acetone, Commercial Grade) บริษัท YCC
- 3.3.7 เฮกเซน (Hexane, Analytical Reagent Grade) บริษัท Fisher Scientific
- 3.3.8 กรดฟอร์มิก (Formic acid, Analytical Reagent Grade) บริษัท BDH
- 3.3.9 สารตัวอย่างมอริน (Morin, Analytical Reagent Grade) บริษัท Sigma
- 3.3.10 สารเด็กซ์ทรีน (Dextrin White, Analytical Reagent Grade) บริษัท HIMEDI

3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในระดับปฏิบัติการ

3.4.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำไม้ขนุนสดที่ถูกตัดแล้วมาบดย่อยให้มีขนาดเล็กๆ เตรียมตัวอย่างไม้ขนุนแห้ง โดยนำไปผ่านตะแกรง (Sieve) ขนาดช่องตะแกรง 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาดไม้ขนุน 4 ช่วงขนาด คือ เล็กกว่า 1, 1 - 2.36, 2.36 - 3.5 และ 3.5 - 4.75 มิลลิเมตร นำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้น เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป ดังรูปที่ 3.5

3.4.1.2 การศึกษาหาชนิดสารละลายที่เหมาะสมในการสกัด

ใช้เครื่อง Soxhlet Extractor เตรียมตัวอย่างไม้ขนุนแห้งขนาดเล็กลงกว่า 1 มิลลิเมตรปริมาณ 1 กรัม บรรจุใน Thimble ใส่ใน Soxhlet apparatus ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีหลายชนิด จากการทดลองตัวทำละลายที่ใช้คือ น้ำ , เอทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 95 โดยปริมาตร) , เมทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร) , แอซีโตน (ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร) และเฮกเซน เติมสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงใน glass cup ประกอบเข้ากับเครื่อง ปรับอุณหภูมิตามชนิดของตัวทำละลาย ใช้เวลาในการสกัดแบบจุ่ม (Immersion) 1 ชั่วโมง และใช้เวลาในการสกัดแบบชะ (Washing) ประมาณ 3 ชั่วโมง โดยสังเกตจากสีตัวทำละลายที่ออกจาก Thimble มีลักษณะใส ไม่มีสารละลายออกมาของสารสกัดอีก นำตัวทำละลายที่สกัดได้มาทำการระเหยแยกตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator) จนหนืดและอบไล่ตัวทำละลายออกจนหมดใน

เตาอบ แล้วเก็บให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักผงสีให้ทราบแน่นอน นำตัวอย่างสารสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณสารมอร์รินด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.4.1.3 การศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัด

นำตัวทำละลายที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 มาศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้ ในเครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการ จึงได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^k แฟกทอเรียล เนื่องจากการออกแบบชนิดนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่ต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวแปร 3 ชนิด คือ อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ต่ำ(-)	สูง(+)
อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย	1:10	1:50
เวลา	15	120
อุณหภูมิ	40	80

ดังนั้นต้องทำการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล ภาวะการทดลอง ณ. ที่นี้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมเป็น 16 การทดลอง ทำการทดลองหาปริมาณสารมอร์ริน ตามการทดลองที่ได้วางรูปแบบไว้ คือ 2^3 แฟกทอเรียล โดยอันดับที่ต้องทำการทดลองจะเป็นแบบสุ่ม โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองใช้โปรแกรม Design Expert เวอร์ชัน 6.0.10 แสดงดังตารางที่ 3.2

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมตัวทำละลายที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
2. เตรียมตัวอย่างไม้ขนุนแห้งขนาด 1 - 2.36 มิลลิเมตรในขวด 3 คอ ตามอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

3. นำขวดแก้วไปวางในหม้ออังไอน้ำ ส่วนซ้ายของขวดแก้วเสียบเทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิตัวทำละลายสกัด ส่วนบนของขวดแก้วต่อกับใบพัดกวนพร้อมมอเตอร์ ซึ่งตั้งความเร็วที่ 300 รอบต่อนาที ส่วนขวาของขวดแก้วต่อกับคอนเดนเซอร์ เริ่มจับเวลา หลังจากอุณหภูมิถึงค่าที่กำหนด

4. ทำการสกัดจนเสร็จ นำตัวทำละลายที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41

5. ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำมาทำการระเหยแยกตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator) จนแห้ง

6. อบไล่ตัวทำละลายออกจนหมดในเตาอบ แล้วเก็บให้เย็นในตู้ดูดความชื้น

7. ชั่งน้ำหนักผงสีให้ทราบแน่นอน

8. นำตัวอย่างสารสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณสารมอร์นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC)

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ทำการทดลอง Experimental design 2^3 factorial และอันดับที่ทำการทดลอง

การทดลองที่	อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อ ปริมาตรตัวทำละลาย (กรัม:มิลลิลิตร)	เวลา ในการสกัด (นาที)	อุณหภูมิ ในการสกัด (°C)
3	1:10	15	40
7	1:50	15	40
2	1:10	120	40
1	1:50	120	40
4	1:10	15	80
5	1:50	15	80
8	1:10	120	80
6	1:50	120	80

3.4.1.4 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

เมื่อทราบภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้แล้ว ทำการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยประกอบอุปกรณ์การทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1.3 โดยใช้ขนาดไม้ขนุน 1 – 2.36 มิลลิเมตร ทำการเปลี่ยนแปลงค่าการทดลองของตัวแปรอย่างละเอียด แล้ววิเคราะห์หาปริมาณผงสี และปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ ตามนี้

อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	1:10, 1:20, 1:30, 1:40 และ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร
เวลา	15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที
อุณหภูมิ	40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส

3.4.1.5 การศึกษาขนาดของไม้ขนุนที่ใช้สกัดต่อผลของการสกัด

เมื่อทราบภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว ทำการศึกษาขนาดของไม้ขนุนที่ใช้สกัดต่อผลของการสกัด โดยประกอบใช้อุปกรณ์การทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1.3 ใช้ภาวะในการสกัดที่ได้จากการทดลองข้อ 3.4.1.4 โดยใช้ไม้ขนุนแห้ง 4 ช่วงขนาด คือ เล็กกว่า 1, 1 - 2.36, 2.36 - 3.5 และ 3.5 - 4.75 มิลลิเมตร

3.4.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ

เครื่องสกัดไหลเวียนกลับเป็นเครื่องสกัดขนาดใหญ่ สามารถสกัดได้ครั้งละปริมาณ 200 – 500 ลิตร โดยนำเอาภาวะในการสกัดที่ได้จากการทดลองในเครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการเพื่อเตรียมสารละลายสกัดจำนวนมากสำหรับศึกษาการทำผลิตภัณฑ์แห้ง เตรียมตัวอย่างไม้ขนุนตามอัตราส่วนที่ได้จากข้อ 3.4.1.4 ใส่ลงในตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่บรรจุอยู่ในถังสกัด เต็มตัว ทำละลายที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 ปริมาตร 200 ลิตรลงในถังให้ความร้อน ปิดฝาถังให้ความร้อน และถังสกัดให้สนิท ให้ความร้อนโดยการผ่านไอน้ำเข้าที่ถังให้ความร้อน ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ได้จากข้อ 3.4.1.4 ระยะเวลาในการสกัด 150 นาที โดยใช้อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 50 และ 100 ลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลา 15, 30, 45, 60, 90, 120 และ 150 นาที ครั้งละ 100 มิลลิลิตร หาอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่เหมาะสมต่อเครื่องสกัด ทำซ้ำขั้นตอนเดิมโดยเพิ่มตัวทำละลายเป็น ปริมาตร 400 ลิตร ใช้อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 100 และ 200 ลิตรต่อนาที หาอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่เหมาะสมต่อเครื่องสกัด

3.4.3 ศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายโอนความร้อนสูงทำให้ของเหลวระเหยออกได้เร็ว โดยใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีคุณภาพคงเดิมใกล้เคียงสภาพสดมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีลักษณะสม่ำเสมอ คือ มีขนาด รูปร่าง และปริมาณความชื้นเหลืออยู่น้อยในปริมาณที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ดังนั้นการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งสารสกัดจากไม้ขนุนที่สุด

3.4.3.1 ศึกษาผลของสารปรุงแต่งต่อปริมาณสารอบแห้ง

การทำแห้งสารสกัดจากไม้ขนุนด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ผงแห้งเกาะติดผนังเครื่องอบ ทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ผงได้น้อย จึงต้องมีการเติมเด็กซ์ทรีนเป็นสารปรุงแต่งช่วยในการทำแห้ง โดยนำสารละลายที่ได้จากข้อ 3.4.2 นำมาทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเตาอบลดความดัน (Vacuum Oven) จนมีความเข้มข้นของปริมาณสารสกัดร้อยละประมาณ 0.2 กรัมต่อมิลลิลิตร เติมสารเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของสารสกัดนำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง ภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้ง คือ อัตราป้อนของสารละลายที่ 30 - 40 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิภายในเครื่องอบ 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายหลังจากการทำแห้งควบคุมในช่วง 85 - 90 องศาเซลเซียส และ Atomizing Pressure ที่ 2.5 บาร์ ทำแห้งสารละลายจนหมด เก็บผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้ทั้งหมด ซึ่งน้ำหนักหาปริมาณผลิตภัณฑ์ผงแห้งต่อน้ำหนักสารสกัด นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณสารมอรินด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC)

3.4.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

นำผงที่ได้จากข้อ 3.4.3 นำไปเก็บในตู้ดูดความชื้น นำไปวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของผงที่ได้ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.4.4.1 ค่าแอกติวิตีน้ำ (Water Activity, a_w) [48]

3.4.4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) [49]

3.4.4.3 ความเป็นกรด-เบส (pH) [50]

3.4.4.4 การดูดความชื้น (Hygroscopicity) [50]

3.4.4.5 การละลาย (Solubility) [50]

3.4.4.6 ความหนาแน่นของผงสี (Bulk Density) [51]

3.4.4.7 ค่าสีของผงสี [52]



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 การสกัดด้วยเครื่อง Soxhlet Extractor



รูปที่ 3.2 เครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการ



รูปที่ 3.3 เครื่องสกัดไหลเวียนกลับ (Recycle Extractor)



รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)



รูปที่ 3.5 ไม้ขนุนที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกได้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดระดับปฏิบัติการ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขมิ้นต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา อุณหภูมิ และ ขนาดของไม้ขมิ้น ส่วนที่ 2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ โดยใช้ภาวะในการสกัดจากการศึกษาการทดลองในเครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการเพื่อศึกษาอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด ส่วนที่ 3 ศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

4.1 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดระดับปฏิบัติการ

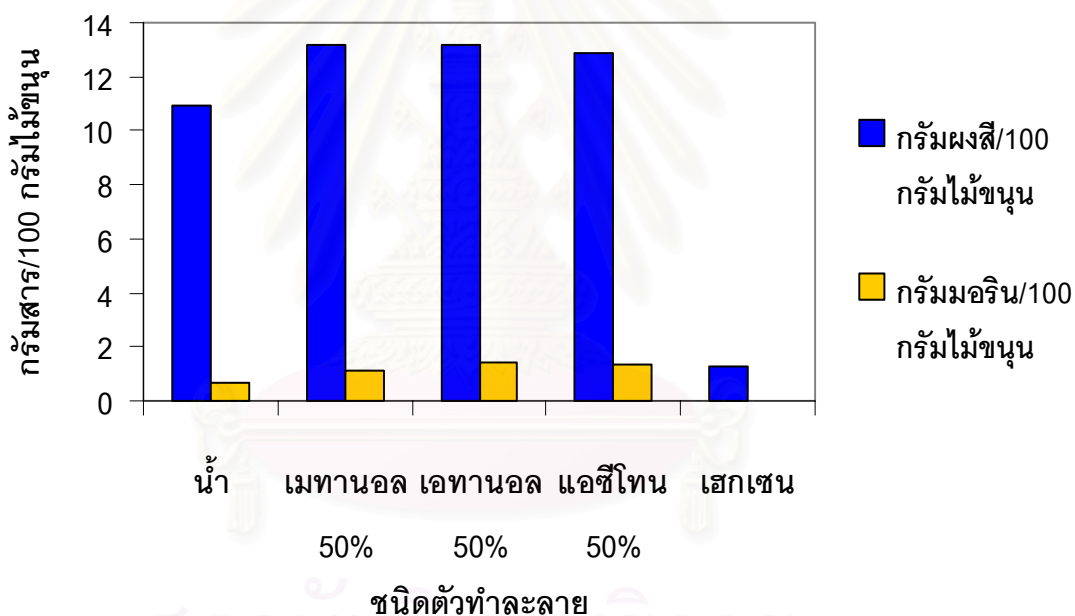
4.1.1 การศึกษาหาชนิดสารละลายที่เหมาะสมในการสกัด

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสี่อย่างจากต้นขมิ้น มีหลายชนิดสำหรับในการทดลอง ได้แก่ น้ำ , เมทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร), เอทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร), แอซีโตน (ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร) และเฮกเซน ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ไม้ขมิ้นแห้งขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ปริมาณ 1 กรัม ปริมาตรตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร สกัดในเครื่อง Soxhlet Extractor เป็นเวลานานพอ โดยสังเกตจากสีตัวทำละลายที่ออกจาก Thimble มีลักษณะใส ไม่มีสารละลายออกมาของสารสกัดอีก ระเหยแยกตัวทำละลายออก ซึ่งน้ำหนักผงสี และนำตัวอย่างผงสีไปวิเคราะห์หาปริมาณสารมอร์นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (HPLC) แสดงผลในตาราง 4.1 และรูปที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์ลินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor

ตัวทำละลาย	กรัมผงสี/100 กรัมไม้ขนุน	มิลลิกรัมมอร์ลิน/100 กรัมไม้ขนุน
น้ำ	10.95	706
เมทานอล 50%	13.15	1152
เอทานอล 50%	13.15	1407
แอสีโทน 50%	12.87	1347
เฮกเซน	1.25	0



รูปที่ 4.1 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์ลินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ผลของการสกัดไม้ขนุนด้วยสารละลายแต่ละชนิดในเครื่อง Soxhlet Extractor ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์ลินที่ได้ เป็นปริมาณทั้งหมดที่ตัวทำละลายนั้นสามารถสกัดได้ พบว่า เมทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร, เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร และแอสีโทนความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร สามารถสกัดผงสี และสารมอร์ลินจากไม้ขนุนได้ปริมาณมาก ขณะที่น้ำสามารถสกัดผงสี และสาร

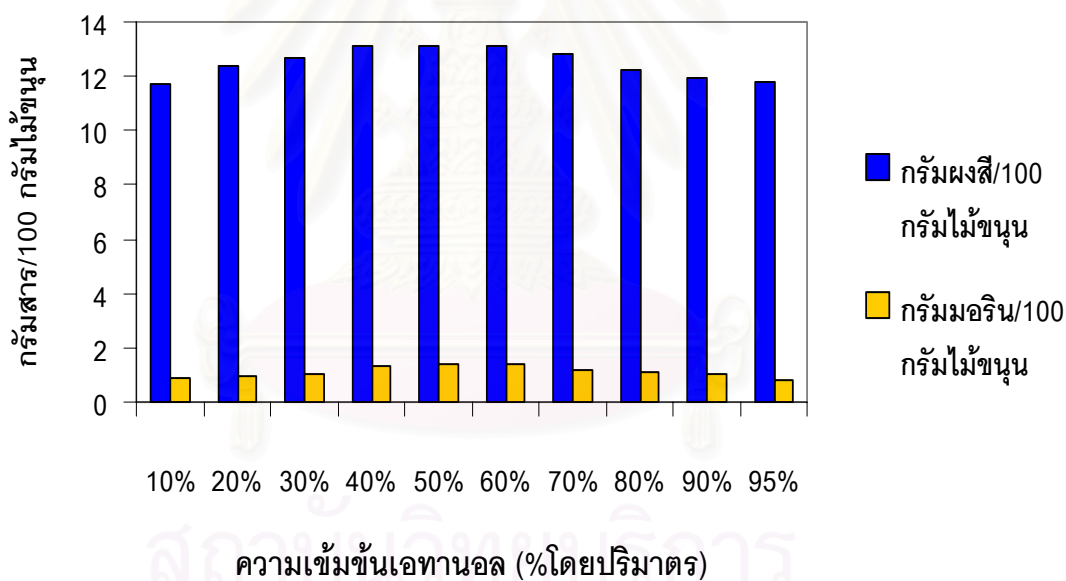
มอรินได้ปริมาณปานกลาง และขณะที่เฮกเซนไม่สามารถสกัดสารมอรินได้เลย ดังนั้นจึงนำเอทานอลมาหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสกัดด้วยเครื่อง Soxhlet Extractor เนื่องจากเอทานอลสามารถสกัดได้ผงสีและสารมอรินได้ปริมาณมากและมีความเป็นพิษน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเมทานอล และเอซีโตน

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้อ่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ความเข้มข้นเอทานอลต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor

ความเข้มข้นเอทานอล	กรัมผงสี/100 กรัมไม้ขนุน	มิลลิกรัมมอริน/100 กรัมไม้ขนุน
10%	11.68	872
20%	12.36	974
30%	12.64	1032
40%	13.12	1297
50%	13.15	1407
60%	13.14	1396
70%	12.85	1169
80%	12.2	1079
90%	11.93	1030
95%	11.82	846

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ผลของการสกัดไม้ขนุนด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ในเครื่อง Soxhlet Extractor ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่ได้ เป็นปริมาณทั้งหมดที่สามารถสกัดได้ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลจากร้อยละ 10 ไปเป็นร้อยละ 95 โดยปริมาตร พบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 11.68 กรัมและ 872 มิลลิกรัมตามลำดับ และมากที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร สามารถสกัดได้ผงสี 13.15 กรัม และได้สารมอริน 1407 มิลลิกรัม ต่อไม้ขนุน 100 กรัม แต่เมื่อความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตรปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มีค่าลดลง แต่เมื่อทดสอบความสามารถในการละลายของผงสีและสารมอริน พบว่าผงสีและสารมอรินสามารถละลายในเอทานอลได้ดีกว่าในน้ำ ดังนั้นความสามารถในการละลายจึงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่าเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50

โดยปริมาตร สามารถสกัดผงสีและสารมอร์รินได้มากที่สุด การเพิ่มขึ้นของปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลสามารถอธิบายได้ว่า สารที่อยู่ภายในไม้จะเกาะกันด้วยแรงระหว่างขั้ว และพันธะไฮโดรเจน โดยในช่วงความเข้มข้นในการสกัดที่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 50 โดยปริมาตร ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากความสามารถในการละลายของผงสีและสารมอร์รินในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันเมื่อความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้น ความเป็นขั้วและพันธะไฮโดรเจนของสารละลายจะลดลง จนเมื่อความเข้มข้นเอทานอลมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร ความเป็นขั้วและพันธะไฮโดรเจนของสารละลายจะลดลงจนไปน้อยกว่าแรงระหว่างขั้ว และพันธะไฮโดรเจนของสารที่เกาะอยู่ภายในไม้ ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง แม้ว่าความสามารถในการละลายของผงสีและสารมอร์รินจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังนั้นการเลือกตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดจะไม่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับแรงภายในด้วย ดังนั้นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด คือ เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.2 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้จากไม้ขนุนขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ชนิด คือ อัตราส่วนของน้ำหนักรวมต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิในการสกัด โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสม และผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการสกัด โดยทำการออกแบบการ

4.1.2 การศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัด

ปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้จากไม้ขนุนขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ชนิด คือ อัตราส่วนของน้ำหนักรวมต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิในการสกัด โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสม และผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการสกัด โดยทำการออกแบบการ

ทดลอง (Experimental Design) โดยเลือกตัวแปรที่นำมาทำการออกแบบการทดลอง 3 ตัวแปร คือ อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิในการสกัด เพื่อกำหนดภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อหาส่วนที่เหมาะสมของการทดลอง อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิ ให้ได้ปริมาณสารมอรินมากที่สุด และนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษา และพัฒนากระบวนการสกัดต่อไป

โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เป็นการออกแบบการทดลองที่ต้องการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าการตอบสนองของข้อมูล ซึ่งในการทดลองนี้ค่าการตอบสนองของข้อมูล คือ ปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ โดยกำหนดค่าตัวแปรดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของการสกัด

สัญลักษณ์	ตัวแปร	ต่ำ(-)	สูง(+)
A	อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย	1: 10	1: 40
B	เวลา	15	120
C	อุณหภูมิ	40	80

ดังนั้นต้องทำการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล ภาวะการทดลอง ณ. ที่นี้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมเป็น 16 การทดลอง ทำการทดลองหาปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี ตามการทดลองที่ได้วางรูปแบบไว้ คือ 2^3 แฟกทอเรียล ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4.4

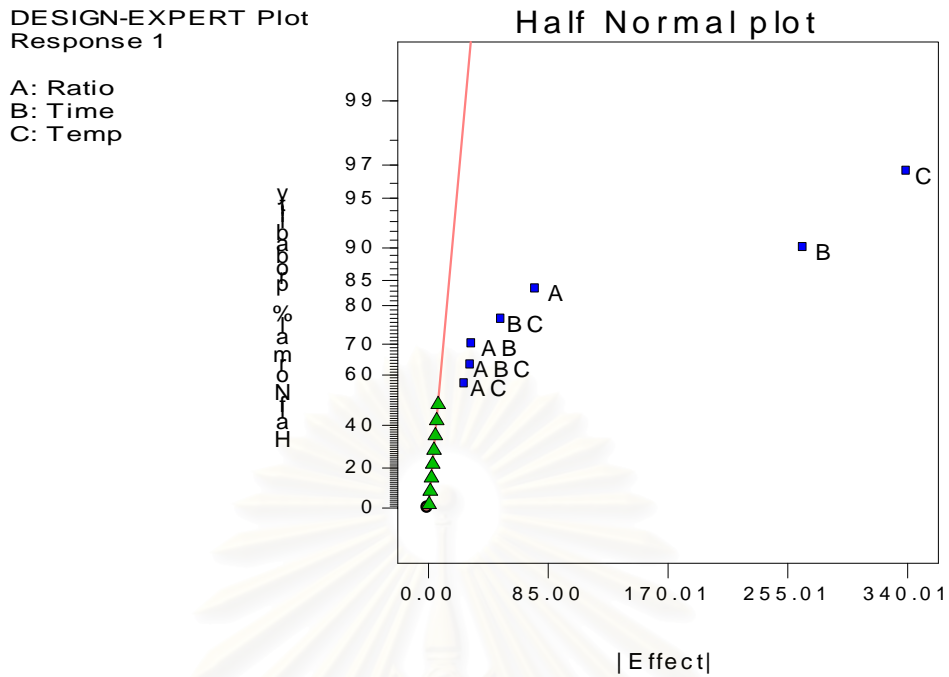
เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติแบบครึ่ง (Half normal probability plot) แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าตัวแปรที่คาดว่ามีส่วนต่อค่าปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี คือ อุณหภูมิในการสกัด (C) เวลาในการสกัด (B) อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (A) อันตรกิริยาของเวลาต่ออุณหภูมิในการสกัด (BC) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัด (AB) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด (ABC) และอันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด (AC) เนื่องจากค่า Effect ของตัวแปรเบี่ยงเบนออกจากเส้นกราฟของความสัมพันธ์ และเมื่อนำปัจจัยทั้งหมดเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Studentized

Residuals กับ Normal % probability พบว่าค่าทั้งหมดมีลักษณะอยู่ในแนวเส้นตรงซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวแบบปกติตามข้อตกลงของการออกแบบการทดลองของ 2^k แสดงดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้จากภาวะที่ทำการออกแบบการทดลอง

อัตราส่วนน้ำหนักรำข้าวต่อ ปริมาตรตัวทำละลาย (กรัม:มิลลิลิตร)	เวลา ในการสกัด (นาทีก)	อุณหภูมิ ในการสกัด (°C)	มิลลิกรัมมอริน/100 กรัม ไม่ขุ่น	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1:10	15	40	682	645
1:50	15	40	815	842
1:10	120	40	917	964
1:50	120	40	968	994
1:10	15	80	1018	999
1:50	15	80	1054	1065
1:10	120	80	1344	1312
1:50	120	80	1370	1385

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของตัวแปรต่างๆ มักจะพิจารณาจากค่า F_0 เป็นหลัก ถ้าค่า F_0 ของตัวแปรใดมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F_{α, v_1, v_2} (เมื่อ α คือระดับความเชื่อมั่นที่พิจารณา v_1 คือระดับขั้นความเสรี (Degree of freedom) ของตัวแปร และ v_2 คือระดับขั้นความเสรีของความคลาดเคลื่อน) แสดงว่าตัวแปรนั้นทำให้ผลตอบสนองเบี่ยงเบนจากสมมติฐานที่กำหนดไว้ใน การทดลอง จึงกล่าวได้ว่าตัวแปรนั้นมีผลกระทบต่อ การทดลองอย่างมีนัยสำคัญ หรืออีกนัยหนึ่งอาจพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อผลตอบสนองในการทดลอง ได้จากค่า P-value กล่าวคือถ้าค่า P-value ของตัวแปรใดมีค่าต่ำกว่าค่า α แสดงว่าตัวแปรนั้นมี ผลต่อผลตอบสนองในการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารมอรินที่สกัด ได้ในผงสีแสดงดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติแบบครึ่ง (Half normal probability plot) กับค่า Effect Estimate



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Studentized Residuals กับค่า Normal% probability

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี
(ANOVA Table)

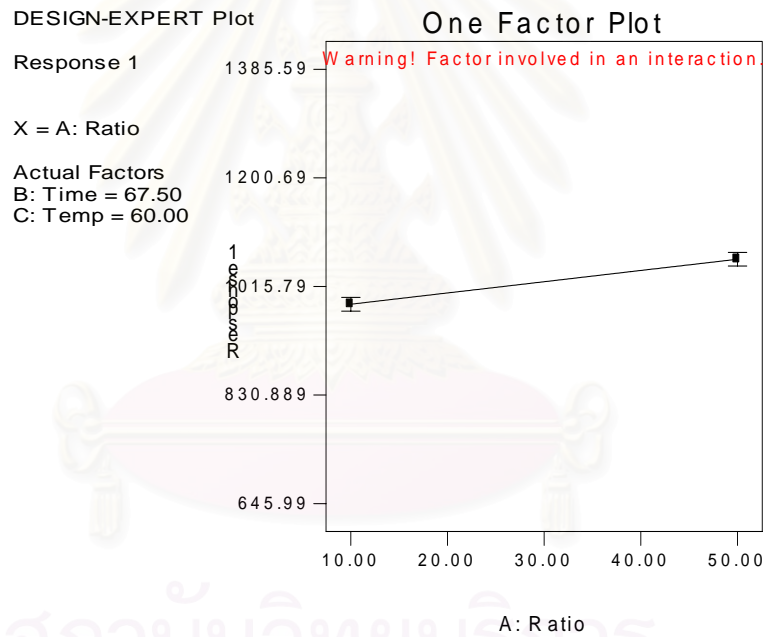
Source	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Square	F_0	P-value
A	23471.47	1	23471.47	56.95	<0.0001
B	284300	1	284300	689.77	<0.0001
C	462400	1	462400	1122.04	<0.0001
AB	3949.12	1	3949.12	9.58	0.0148
AC	2772.86	1	2772.86	6.73	0.0319
BC	10946.5	1	10946.5	26.56	0.0009
ABC	3730.28	1	3730.28	9.05	0.0169
Error	3297.12	8	3297.12		
Total	794900	15			

จากตารางที่ 4.5 ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% หรือระดับความสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 ซึ่งมีค่าวิกฤต $F_{0.05,1,8}$ (เปิดจากตาราง Percentage Points of the F Distribution) [53] เท่ากับ 5.32 จากความแปรปรวนของตัวแปรจะเห็นได้ว่าค่า F_0 ของคุณหมุมิในการสกัด (C) เวลาในการสกัด (B) อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (A) อันตรกิริยาของเวลาต่อคุณหมุมิในการสกัด (BC) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัด (AB) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาต่อคุณหมุมิในการสกัด (ABC) และอันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อคุณหมุมิในการสกัด (AC) พบว่ามีค่ามากกว่าค่าวิกฤต โดยพบว่าค่าของคุณหมุมิในการสกัด (C) เวลาในการสกัด (B) และอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (A) มีค่ามากกว่าค่าวิกฤตอย่างมาก และเมื่อพิจารณาค่า P-value ของคุณหมุมิในการสกัด (C) เวลาในการสกัด (B) อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (A) อันตรกิริยาของเวลาต่อคุณหมุมิในการสกัด (BC) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัด (AB) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อคุณหมุมิในการสกัด (ABC) และอันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตร

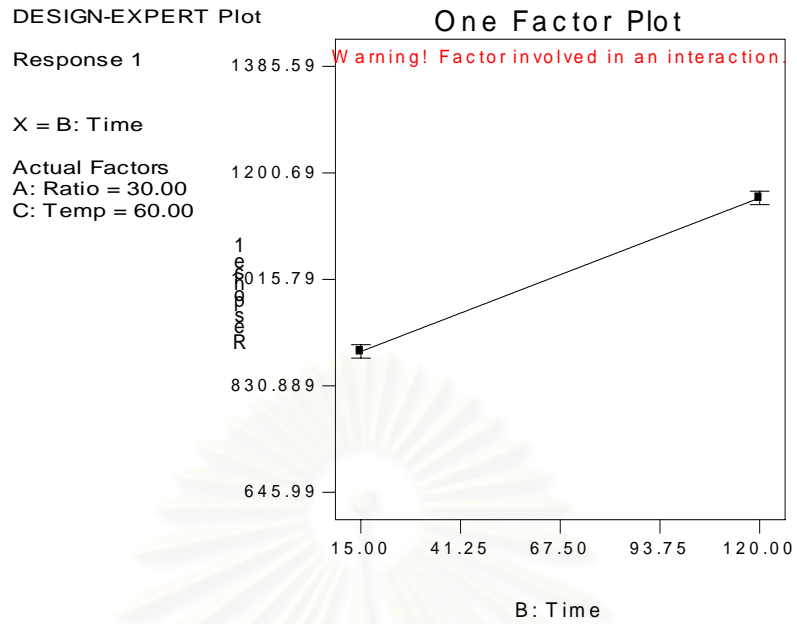
ตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด (AC) พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 และพบว่าค่าของอุณหภูมิในการสกัด (C) เวลาในการสกัด (B) และอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (A) มีค่าน้อยกว่า 0.05 อย่างมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสี คือ อุณหภูมิในการสกัด, เวลาในการสกัด, อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย, อันตรกิริยาของเวลาต่ออุณหภูมิในการสกัด, อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัด, อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด และอันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด

สำหรับผลกระทบของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อค่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสี แสดงดังรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากความชันของกราฟ ซึ่งกราฟมีความชันน้อยแสดงถึงอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายมีผลน้อยต่อค่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสี รูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟมีความชันมากแสดงถึงเวลาในการสกัดมีผลมากต่อค่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสี รูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการสกัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟมีความชันมากแสดงถึงอุณหภูมิในการสกัดมีผลมากต่อค่าปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสี รูปที่ 4.8 อันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์นในผงสีที่สกัดได้ พบว่าที่อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายค่าน้อย เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากจะได้ปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมากกว่าใช้เวลาในการสกัดน้อย และที่อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายค่ามากเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากจะได้ปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมากกว่าใช้เวลาในการสกัดน้อย และเมื่อพิจารณาจากความแตกต่างของความชันของกราฟ ซึ่งกราฟมีความแตกต่างของความชันน้อยแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัดมีผลน้อยต่อผลต่อปริมาณสารมอร์นในผงสีที่สกัดได้ รูปที่ 4.9 อันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์นในผงสีที่สกัดได้ พบว่าที่อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายค่าน้อยเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจะได้ปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมากกว่าใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำ และที่อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายค่ามากเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจะได้ปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ในผงสีมากกว่าใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำ และเมื่อพิจารณาจากความแตกต่างของความชันของ

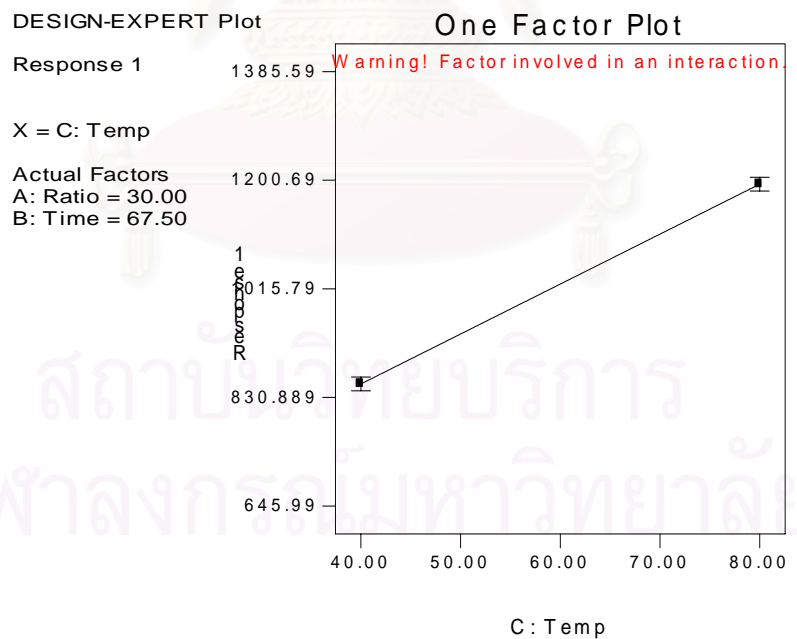
กราฟ ซึ่งกราฟมีความแตกต่างของความชันน้อยแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักรีดไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลน้อยต่อผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้ และรูปที่ 4.10 อันตรกิริยาต่อกันของเวลาในการสกัดต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้ พบว่าที่เวลาในการสกัดน้อยเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจะได้ปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้ในผงสีมากกว่าใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำ และที่เวลาในการสกัดมากเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจะได้ปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้ในผงสีมากกว่าใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำ และเมื่อพิจารณาจากความแตกต่างของความชันของกราฟ ซึ่งกราฟมีความแตกต่างของความชันน้อยแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของเวลาในการสกัดต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลน้อยต่อผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้



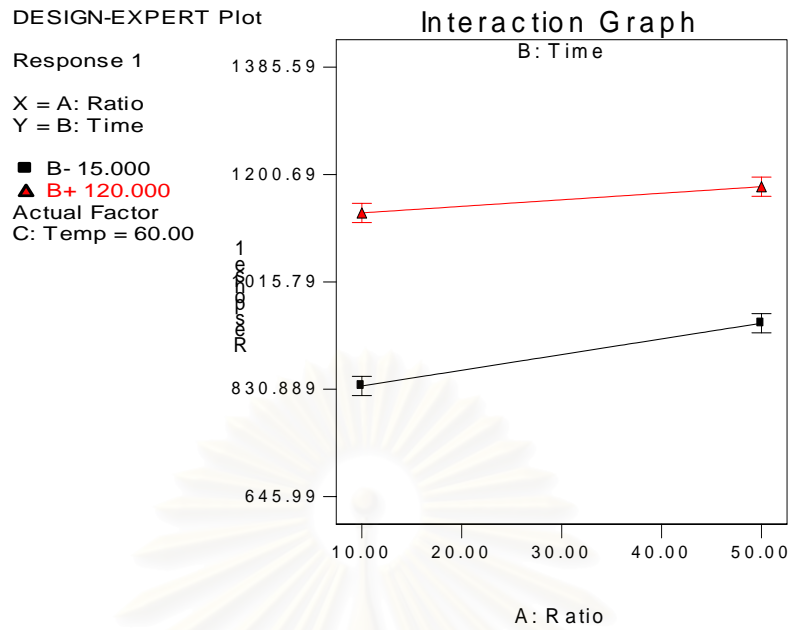
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของอัตราส่วนของน้ำหนักรีดไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้



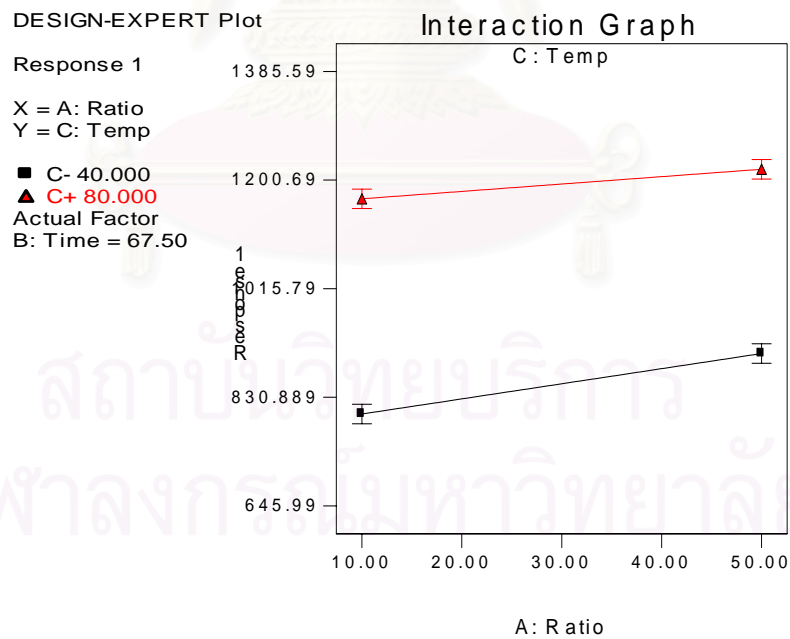
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของเวลาในการสกัด
ที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์อินในผงสีที่สกัดได้



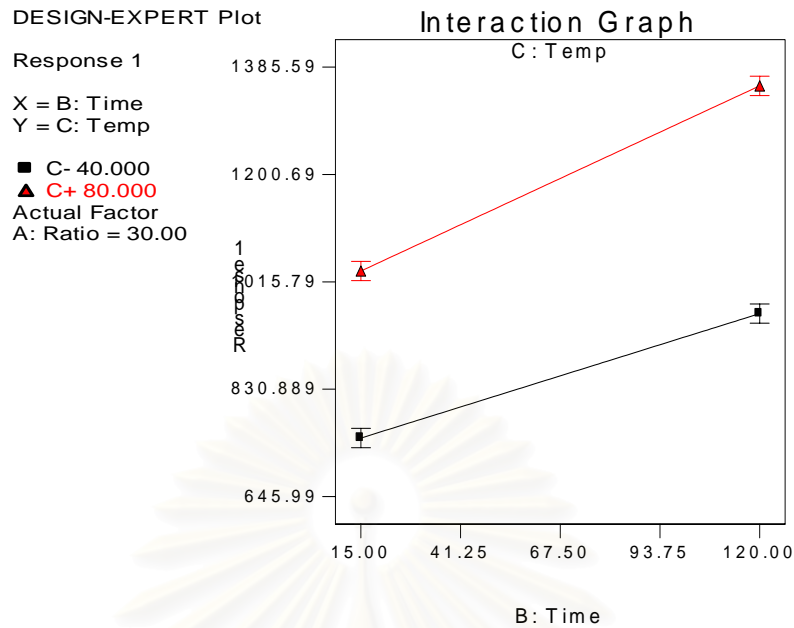
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของอุณหภูมิในการสกัด
ที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์อินในผงสีที่สกัดได้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงถึงอันตรกิริยาต่อกันของเวลาในการสกัดต่ออุณหภูมิในการสกัด ที่มีผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าผลกระทบของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อค่าปริมาณสารมอร์รินที่สกัดได้ในผงสีแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิในการสกัด (C) มีค่า % Contribution มากถึง 58.18 % ซึ่งมากที่สุดรองลงมา คือ เวลาในการสกัด (B) มีค่า % Contribution มากถึง 35.76 % รองลงมา คือ อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (A) มีค่า % Contribution 2.95 % ขณะที่อันตรกิริยาของเวลาต่ออุณหภูมิในการสกัด (BC) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักรองต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัด (AB) อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักรองต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด (ABC) และอันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักรองต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด (AC) มีค่า % Contribution เพียง 1.38, 0.5, 0.47 และ 0.35 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในการสกัด และเวลาในการสกัด และจากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักรองต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อเวลาในการสกัด, อันตรกิริยาของอัตราส่วนของน้ำหนักรองต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ออุณหภูมิในการสกัด และอันตรกิริยาของเวลาต่ออุณหภูมิในการสกัด มีผลน้อยต่อผลต่อปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าไม่มีอันตรกิริยาของตัวแปรต่อค่าปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้ และตัวแปรที่มีผลต่อค่าปริมาณสารมอร์รินในผงสีที่สกัดได้จึงมีเพียง อุณหภูมิในการสกัด เวลาในการสกัด และอัตราส่วนของน้ำหนักรองต่อปริมาตรตัวทำละลาย

ตาราง 4.6 ค่าผลกระทบของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อค่าปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสี

Term	Stdized Effects	Sum of Squares	% Contribution
A	76.60	23471.47	2.95
B	266.59	284300	35.76
C	340.01	462400	58.18
AB	-31.42	3949.12	0.5
AC	-26.33	2772.86	0.35
BC	52.31	10946.50	1.38
ABC	30.54	3730.28	0.47

4.1.3 การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด

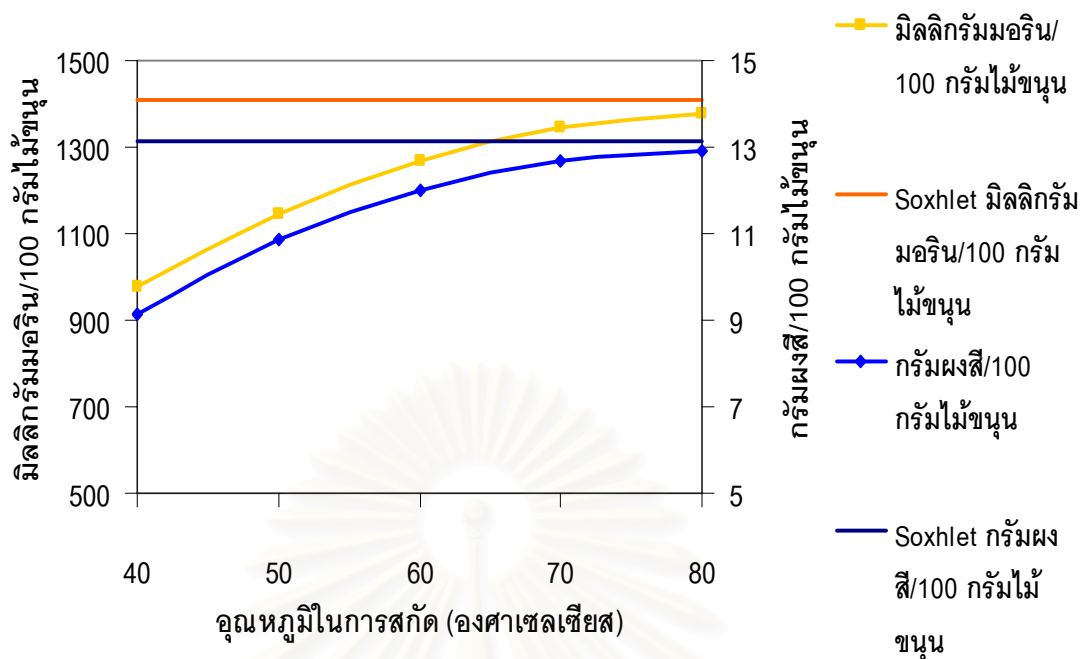
จากการศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัดพบว่าผลของอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้จากไม้ขนุนมากที่สุด จึงทำการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดเป็นอันดับแรก ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายค่าสูงสุดคือ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร ใช้เวลาในการสกัดค่าสูงสุดคือ 120 นาที โดยแปรค่าอุณหภูมิในการสกัด 5 ค่า คือ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินในสีข้มที่สกัดได้ แสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่ออุณหภูมิในการสกัด

อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุน ต่อปริมาตรตัวทำละลาย (กรัม:มิลลิลิตร)	เวลา ในการสกัด (นาที)	อุณหภูมิ ในการสกัด (°C)	กรัมผงสี/ 100 กรัม ไม้ขนุน	มิลลิกรัม มอริน/100 กรัม ไม้ขนุน
1:50	120	40	9.12	977
		50	10.86	1145
		60	11.98	1269
		70	12.66	1344
		80	12.91	1378

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจาก 40 องศาเซลเซียสไปเป็น 80 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.12 กรัมเป็น 12.91 กรัมและจาก 977 มิลลิกรัมเป็น 1378 มิลลิกรัมตามลำดับ และพบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มากที่สุดที่อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดสามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นจะมีผลให้อัตราเร็วในการสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Mass transfer coefficient) ภายในอนุภาคซึ่งน่าจะเป็นตัวควบคุมกระบวนการมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น ความสามารถในการละลายของตัวทำละลายมีค่าสูงขึ้นทำให้สารสามารถแพร่ออกมาได้เร็วขึ้นและมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นยังมีผลให้เนื้อไม้เกิดการอ่อนตัวลงและเปื่อยยุ่ยได้ดีขึ้นจึงทำให้การสกัดดีขึ้นด้วย ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด คือ 80 องศาเซลเซียส



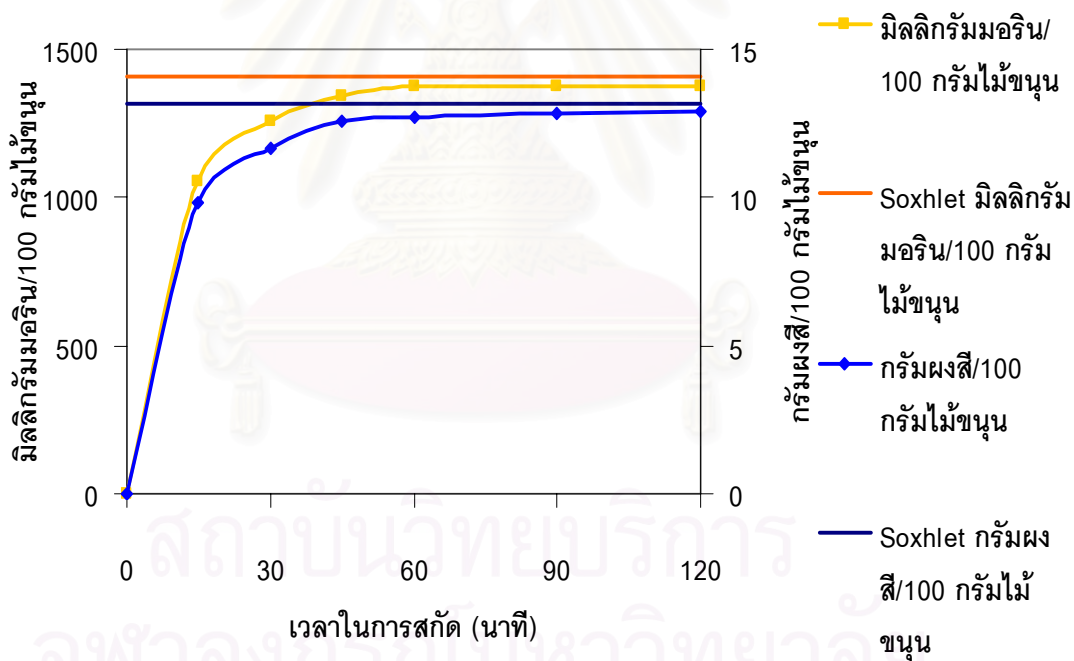
รูปที่ 4.11 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จากน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่อุณหภูมิในการสกัดที่ค่าต่างๆ

4.1.4 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด

เมื่อทราบค่าอุณหภูมิในการสกัดที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด เนื่องจากการศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัดพบว่าผลของเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้จากไม้ขนุนมากรองลงมาจากอุณหภูมิในการสกัด ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ค่าสูงสุดคือ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร โดยแปรค่าเวลาในการสกัด 6 ค่า คือ 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินในสีข้มที่สกัดได้ แสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัด

อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (กรัม:มิลลิลิตร)	เวลาในการสกัด (นาที)	อุณหภูมิในการสกัด (°C)	กรัมผงสี/100 กรัมไม้ขนุน	มิลลิกรัมมอริน/100 กรัมไม้ขนุน
1:50	15	80	9.85	1057
	30		11.65	1259
	45		12.55	1345
	60		12.71	1373
	90		12.82	1376
	120		12.91	1378



รูปที่ 4.12 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่เวลาในการสกัดที่ค่าต่างๆ

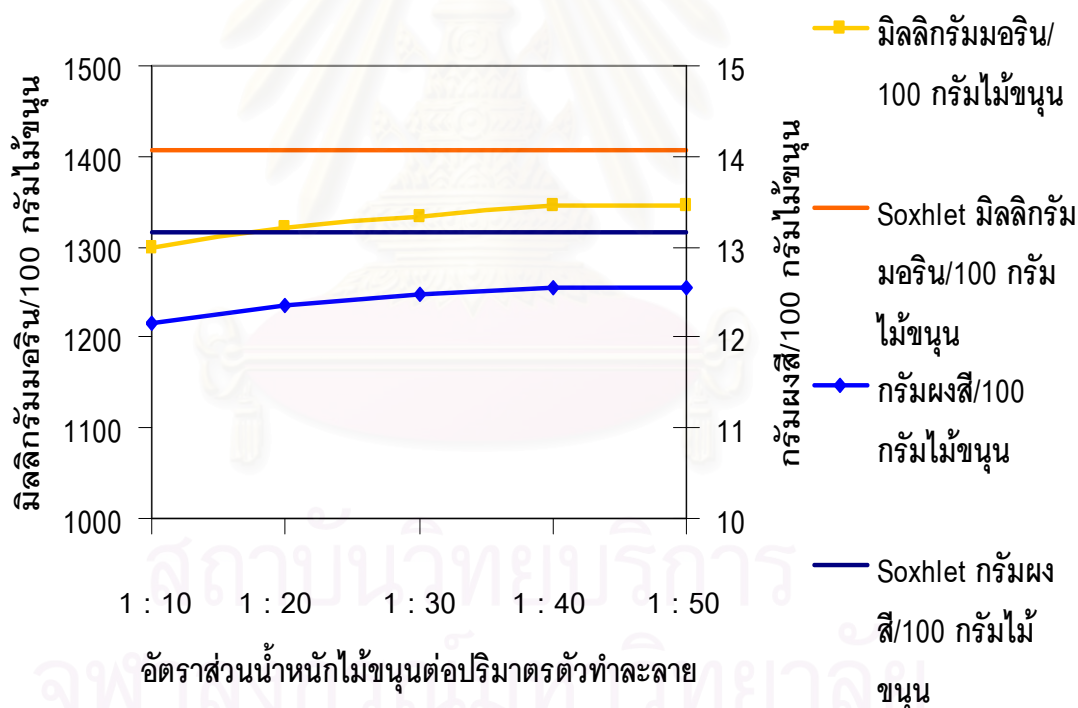
จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 15 นาทีไปเป็น 120 นาที พบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.85 กรัมเป็น 12.91 กรัมและจาก 1057 มิลลิกรัมเป็น 1378 มิลลิกรัมตามลำดับ และพบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นมากในเวลาในการสกัด 45 นาทีแรก จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดขึ้นปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นน้อยลงและมีแนวโน้มคงที่ การเพิ่มขึ้นของปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดสามารถอธิบายได้ว่า ที่เวลาในการสกัด 45 นาทีแรกค่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการสกัดเป็นแบบภาวะที่มีการกวน อัตราการแพร่ของสารสูง อัตราเร็วการสกัดจึงสูง และเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของความเข้มข้นภายใน กับที่ผิวนอกอนุภาคไม้ขนุนลดลง อัตราเร็วในการสกัดจึงลดลง และเริ่มคงที่เมื่อความแตกต่างของความเข้มข้นต่างกันน้อย ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการสกัด คือ 45 นาที

4.1.5 การศึกษาหาอัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาณสารละลายที่เหมาะสมในการสกัด

เมื่อทราบค่าอุณหภูมิและเวลาในการสกัดที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการศึกษาหาอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด เนื่องจากการศึกษาหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสมในการสกัดพบว่าผลของอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้จากไม้ขนุนมากรองลงมาจากอุณหภูมิและเวลาในการสกัด ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 45 นาที โดยแปรค่าอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร 5 ค่า คือ 1:10, 1:20, 1:30, 1:40 และ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินในสีย้อมที่สกัดได้ แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่ออัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย

อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย (กรัม:มิลลิลิตร)	เวลาในการสกัด (นาที)	อุณหภูมิในการสกัด (°C)	กรัมผงสี/ไม้ขนุน 100 กรัม	มิลลิกรัม มอริน/100 กรัม ไม้ขนุน
1:10			12.15	1300
1:20			12.35	1320
1:30	120	80	12.48	1334
1:40			12.55	1345
1:50			12.55	1345



รูปที่ 4.13 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้น้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายในการสกัดที่ค่าต่างๆ

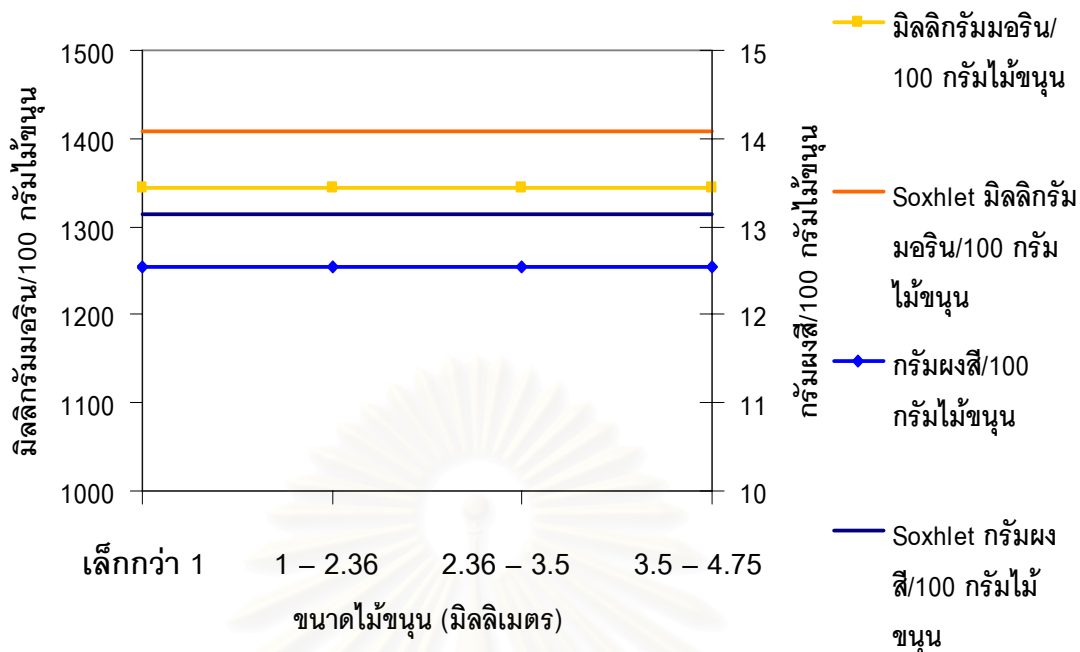
จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายในการสกัดปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์อินที่สกัดได้มีค่ามากขึ้นเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มคงที่โดยจะเริ่มคงที่ เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:40 กรัม:มิลลิลิตร การเพิ่มขึ้นของปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์อินที่สกัดได้ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไม้ขี้หนูต่อสารละลาย จุดสมดุลในการสกัดจะเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ เพราะว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์อินในอนุภาคของไม้ขี้หนูมีอยู่น้อย ความเข้มข้นภายในอนุภาคจึงเหลือน้อยลง ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกอนุภาคไม่ต่างกันมาก การแพร่ออกมาจึงน้อยลง ดังนั้นอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสมคือ 1:40 กรัม:มิลลิลิตร

4.1.6 การศึกษาขนาดของไม้ขี้หนูที่ใช้สกัดต่อผลของการสกัด

เมื่อทราบภาวะในการสกัดที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการศึกษานาขนาดของไม้ขี้หนูที่ใช้สกัดต่อผลของการสกัด ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 45 นาที ใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขี้หนูต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:40 กรัม:มิลลิลิตร โดยแปรค่าขนาดไม้ขี้หนู 4 ช่วงขนาด คือ เล็กกว่า 1, 1 - 2.36, 2.36 - 3.5 และ 3.5 - 4.75 มิลลิเมตร ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์อินในสีย้อมที่สกัดได้ แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์อินที่สกัดได้ต่อขนาดไม้ขี้หนู

ขนาดไม้ขี้หนู (มิลลิเมตร)	กรัมผงสี/100 กรัม	มิลลิกรัมมอร์อิน/100
	ไม้ขี้หนู	กรัมไม้ขี้หนู
เล็กกว่า 1	12.55	1345
1 - 2.36	12.55	1345
2.36 - 3.5	12.55	1344
3.5 - 4.75	12.55	1343



รูปที่ 4.14 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้น้ำหนักไม้ขนุน 100 กรัม ที่ขนาดไม้ขนุนในการสกัดที่ช่วงต่างๆ

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดไม้ขนุนที่ใช้ในการสกัด ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งไม่ตรงตามทฤษฎี เนื่องจากในกระบวนการสกัดจะเกิดการแพร่ของตัวทำละลายเข้าสู่เนื้อไม้ และเกิดการละลายของสารสีย้อมและสารมอรินในตัวทำละลายในเนื้อไม้ จากนั้นสารสีย้อม และสารมอรินจะแพร่ออกมาที่ผิวนอกสุดของเนื้อไม้ และเกิดการถ่ายโอนมวลสารออกสู่สารละลายทั้งหมด ดังนั้นขนาดของไม้ที่ใช้ในการสกัดจึงมีผลต่อการสกัด แต่จากผลการทดลองปริมาณผงสี และปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มีแนวโน้มคงที่ อาจเป็นผลมาจากไม้ขนุนที่ผ่านการบดแล้วนำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ทำให้การแพร่ออกมาของสารสีย้อม และสารมอรินมาที่ผิวนอกสุดของเนื้อไม้สามารถเกิดได้ตามด้านหน้าของเนื้อไม้ ดังนั้นขนาดของไม้ขนุนที่ใช้ในการสกัดจึงไม่มีผลต่อปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้

4.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ

เครื่องสกัดไหลเวียนกลับเป็นเครื่องสกัดขนาดใหญ่ ทำการสกัดได้ครั้งละปริมาณ 200 – 500 ลิตร การทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง โดยออกแบบให้ใช้ปั๊มสูบตัวทำละลายไหลผ่านตะแกรงที่บรรจุไม้ขนุนไว้ ทำให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับไม้ขนุนได้โดยตรง และยังทำให้การแยกกากไม้ขนุนที่เหลือจากการสกัดออกจากสารละลายสกัดสามารถทำได้อย่างสะดวก และการใช้

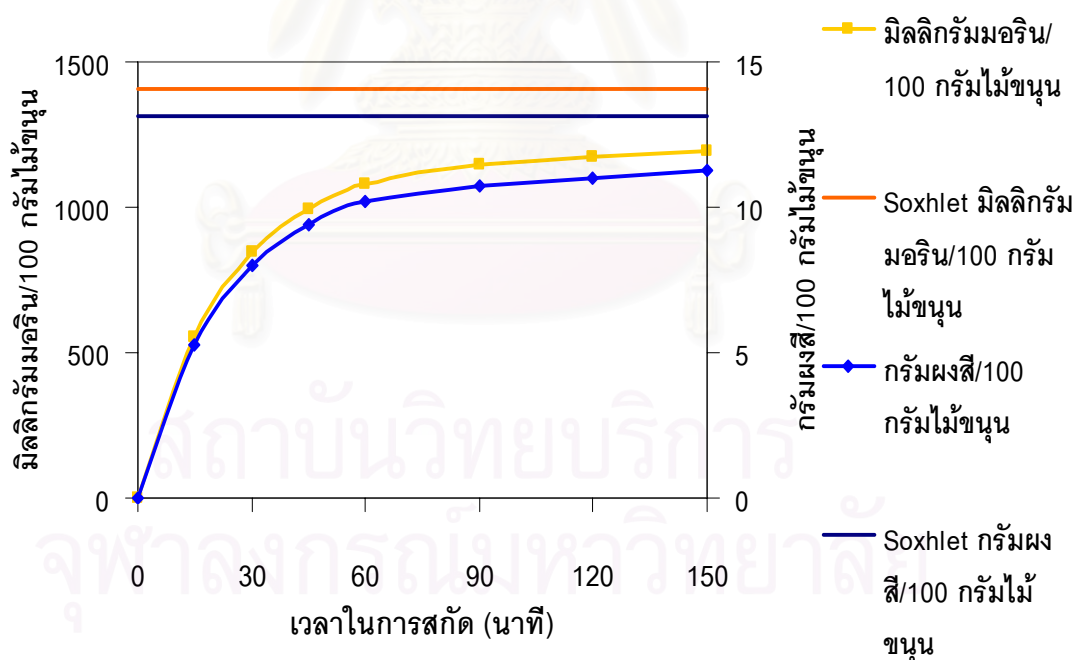
ตะแกรงยังทำให้สารละลายสกัดที่ได้มีกากไม้ขุ่นปนเพียงเล็กน้อย ทำให้สะดวกต่อการกรอง โดยในการทดลองเลือกเอาภาวะการสกัดจากการทดลองในเครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการ ภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขุ่นต่อปริมาณเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขุ่นต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร โดยใช้ไม้ขุ่น 4 กิโลกรัม ที่ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร คุณสมบัติในการสกัดควบคุมในช่วง 78 - 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 150 นาที การเลือกใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขุ่นต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร ภาวะดังกล่าวไม่ตรงตามภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในเครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขุ่นต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:40 กรัม:มิลลิลิตร เนื่องจากผลกระทบของอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขุ่นต่อปริมาตรตัวทำละลายมีผลต่อค่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และข้อจำกัดของปริมาณไม้ขุ่น ดังนั้นจึงทำการทดลองด้วยอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขุ่นต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นเป็น 1:50 (กรัม:มิลลิลิตร) เพื่อดูผลการสกัดต่อเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 50 และ 100 ลิตรต่อนาที ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นในสีย้อมที่สกัดได้แสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 และรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอร์นที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 50 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร

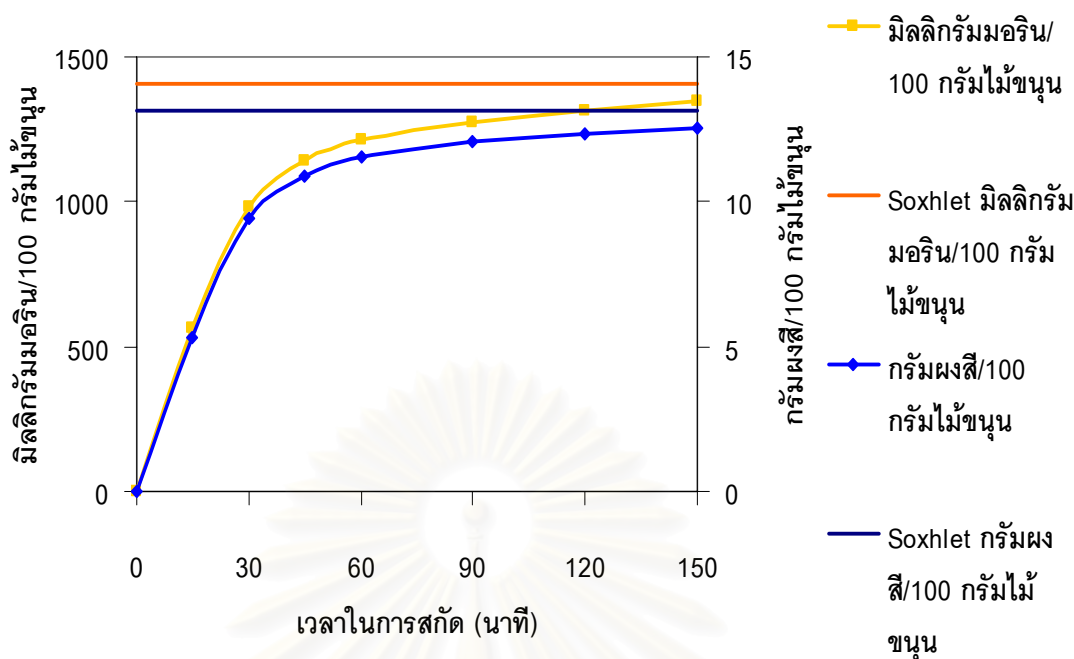
เวลา (นาที)	กรัมผงสี/100 กรัม ไม้ขุ่น	มิลลิกรัมมอร์น/100 กรัมไม้ ขุ่น
15	5.25	555
30	7.98	850
45	9.42	995
60	10.22	1081
90	10.76	1148
120	11.02	1174
150	11.25	1195

ตารางที่ 4.12 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร

เวลา (นาที)	กรัมผงสี/100 กรัม ไม้ขนุน	มิลลิกรัมมอริน/100 กรัมไม้ ขนุน
15	5.31	561
30	9.41	979
45	10.86	1143
60	11.52	1214
90	12.09	1273
120	12.35	1314
150	12.56	1345



รูปที่ 4.15 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 50 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร



รูปที่ 4.16 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 และรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 15 นาทีไปเป็น 150 นาที ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 50 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.25 กรัมเป็น 11.25 กรัมและจาก 555 มิลลิกรัมเป็น 1195 มิลลิกรัมตามลำดับ และพบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นมากในเวลาในการสกัด 60 นาทีแรก จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดขึ้นปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นน้อยลง โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสีร้อยละ 85.55 และสารมอรินร้อยละ 84.91 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที และที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 100 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.12 กรัมเป็น 12.56 กรัมและจาก 540 มิลลิกรัมเป็น 1345 มิลลิกรัมตามลำดับ และพบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นมากในเวลาในการสกัด 60 นาทีแรก จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดขึ้นปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นน้อยลง โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสีร้อยละ 95.51 และสารมอรินร้อยละ 95.59 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที จากผลการทดลองพบว่า ผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการทดลองในเครื่องสกัดแบบแบตช์ระดับห้องปฏิบัติการ คือ ปริมาณผง

สีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นมากในช่วงแรก และการเพิ่มขึ้นลดน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป และพบว่าอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด มีผลต่อปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มาก โดยเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ก็จะเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดทำให้มีการไหลเวียนของตัวทำละลาย ทำให้เกิดการกระจายตัวของความเข้มข้นสู่สารละลายทั้งหมด ทำให้ความเข้มข้นรอบอนุภาคไม้ขนุนลดลง นั่นคือ ความแตกต่างของความเข้มข้นภายในอนุภาคไม้ขนุนกับที่ผิวอนุภาคเพิ่มขึ้น อัตราการแพร่ของมวลสารจึงสูงขึ้น นอกจากนี้อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดทำให้ Fluid Film รอบๆ อนุภาคไม้ขนุนลดลง ซึ่งทำให้อัตราการแพร่เพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการสกัดจึงสูงขึ้น ดังนั้น อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่เหมาะสมในเครื่องสกัด ที่ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร คือ 100 ลิตรต่อนาที

ทำการทดลองขยายส่วน เพื่อเพิ่มกำลังในการสกัด ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่อัตราส่วนน้ำหนักรวมต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร โดยเพิ่มปริมาตรตัวทำละลายเป็น 400 ลิตร ใช้ไม้ขนุน 8 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิในการสกัดควบคุมในช่วง 78 - 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 150 นาที โดยใช้อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 100 และ 200 ลิตรต่อนาที ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินในสีย้อมที่สกัดได้ แสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14 และรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.13 และ 4.14 และรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 15 นาทีไปเป็น 150 นาที ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 100 ลิตรต่อนาที พบว่า ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.51 กรัมเป็น 11.21 กรัมและจาก 468 มิลลิกรัมเป็น 1180 มิลลิกรัมตามลำดับ และพบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นมากในเวลาในการสกัด 60 นาทีแรก จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดขึ้นปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นน้อยลง โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสีร้อยละ 85.25 และสารมอรินร้อยละ 83.82 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที และที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 200 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมไม้ขนุนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.31 กรัมเป็น 12.55 กรัมและจาก 561 มิลลิกรัมเป็น 1343 มิลลิกรัมตามลำดับ และพบว่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นมากในเวลาในการสกัด 60 นาทีแรก จากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดขึ้นปริมาณผงสี

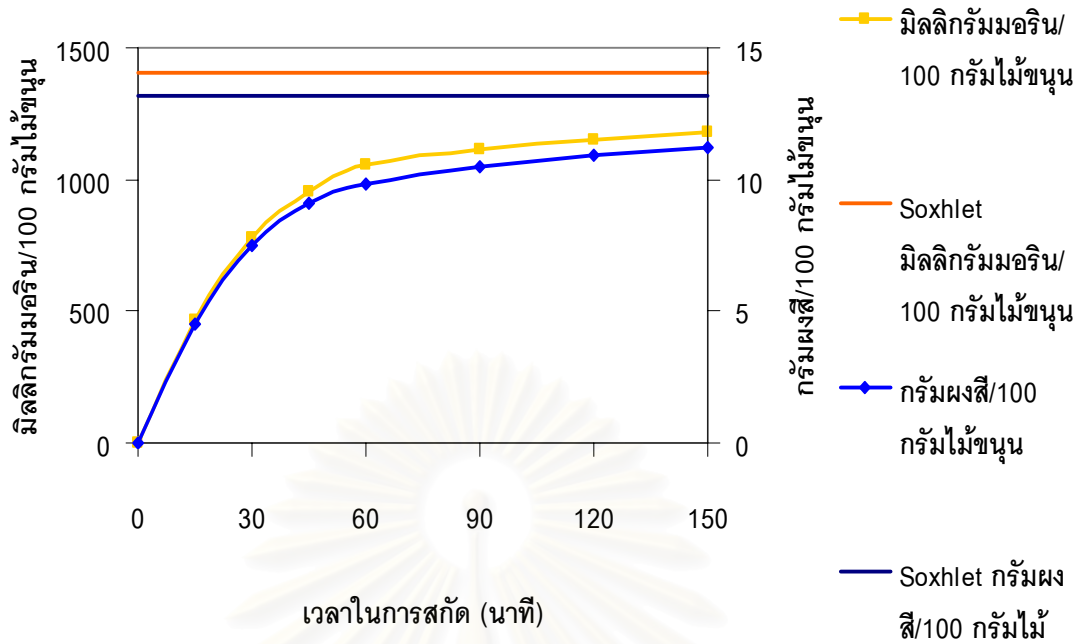
และปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นน้อยลง โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสีร้อยละ 95.44 และสารมอรินร้อยละ 95.45 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที

ตารางที่ 4.13 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร

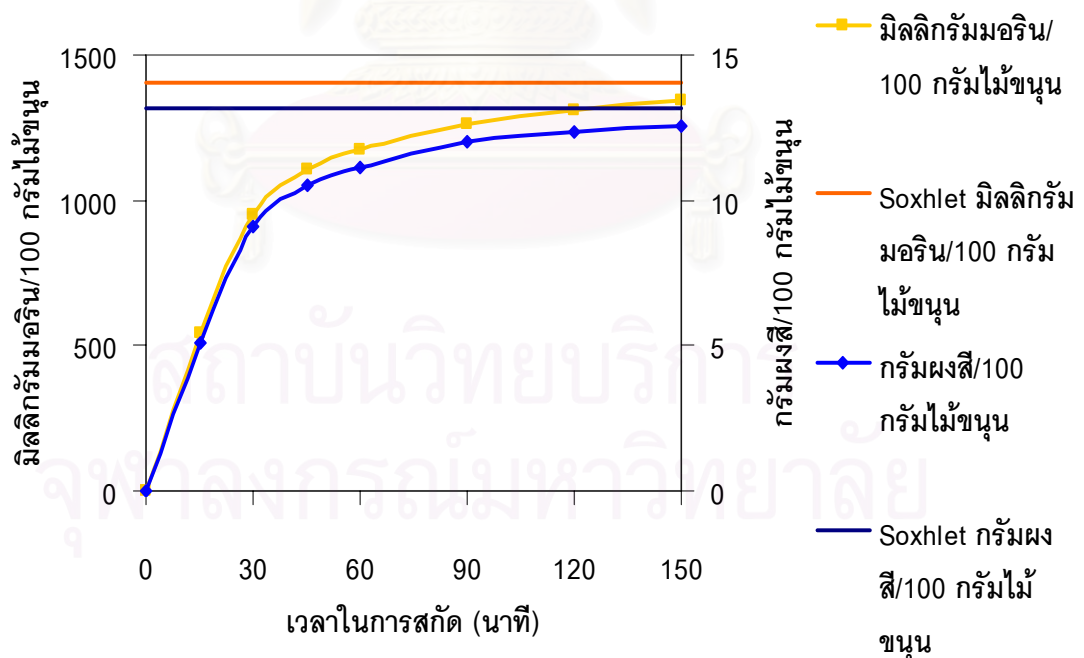
เวลา (นาที)	กรัมผงสี/100 กรัม	มิลลิกรัมมอริน/100 กรัมไม้
	ไม้ขนุน	ขนุน
15	4.51	468
30	7.48	780
45	9.11	951
60	9.86	1055
90	10.45	1112
120	10.95	1150
150	11.21	1180

ตารางที่ 4.14 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 200 ลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร

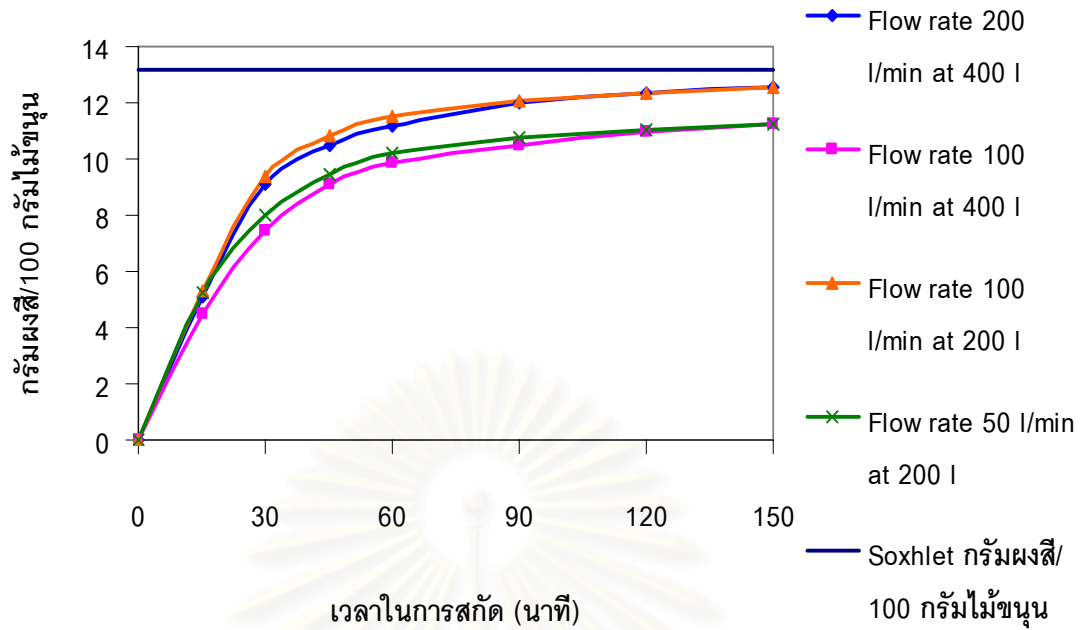
เวลา (นาที)	กรัมผงสี/100 กรัม	มิลลิกรัมมอริน/100 กรัมไม้
	ไม้ขนุน	ขนุน
15	5.12	540
30	9.08	950
45	10.51	1105
60	11.16	1174
90	11.98	1260
120	12.34	1310
150	12.55	1343



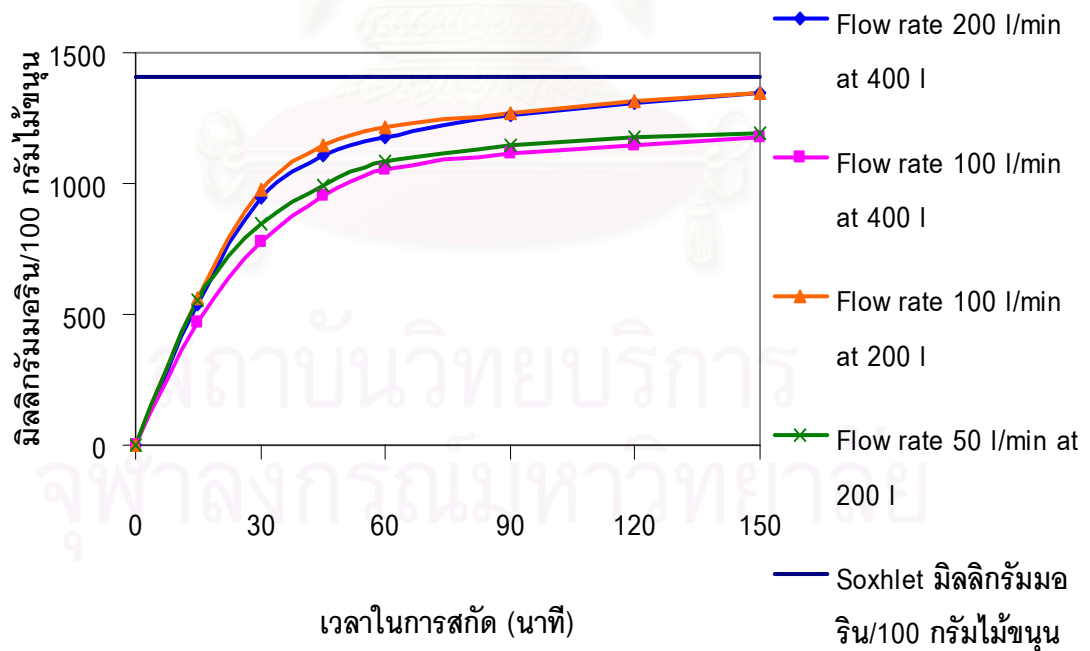
รูปที่ 4.17 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียน กลบที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่ออนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร



รูปที่ 4.18 ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียน กลบที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 200 ลิตรต่ออนาที ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร



รูปที่ 4.19 ปริมาณผงสีที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดและปริมาตรตัวทำละลายต่างๆ



รูปที่ 4.20 ปริมาณมอรินที่สกัดได้ต่อเวลาในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดและปริมาตรตัวทำละลายต่างๆ

จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 และรูปที่ 4.19 และ 4.20 พบว่า เมื่อปริมาตรตัวทำละลายเพิ่มขึ้นจาก 200 ลิตรเป็น 400 ลิตร ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดคงที่ที่ 100 ลิตรต่อนาที มีผลให้ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ลดลง แต่พบว่าที่ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 100 ลิตรต่อนาที ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับที่ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 50 ลิตรต่อนาที และที่ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 200 ลิตรต่อนาที ปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับที่ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร อัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัด 100 ลิตรต่อนาที เช่นกันโดยที่ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร มีค่าปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้สูงกว่าที่ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีลักษณะแนวโน้มของอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่ 1 : 2 ลิตรต่อนาที:ลิตร ดังนั้นอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่เหมาะสมในเครื่องสกัด ที่ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร คือ 200 ลิตรต่อนาที และสัดส่วนของอัตราการไหลของ ตัวทำละลายในเครื่องสกัดต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสมเป็น 1 : 2 ลิตรต่อนาที:ลิตร

4.3 ศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

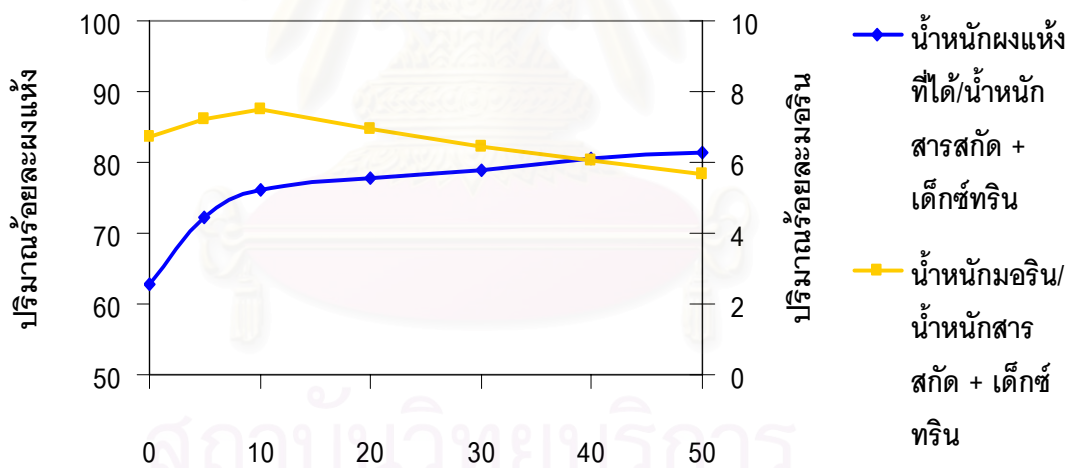
การทำแห้งสารละลายสกัดไม้ขนุน ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จะเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ผงแห้งเกาะติดผนังเครื่องอบ ทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ผงได้น้อย ต้องมีการเติมสารปรุงแต่ง ช่วยในการทำแห้ง เพื่อเป็นสารกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งติดผนังเครื่องอบแห้ง

4.3.1 ศึกษาผลของสารปรุงแต่งต่อปริมาณสารอบแห้ง

สารปรุงแต่งช่วยในการทำแห้ง คือ เด็กซ์ทรีน สารละลายสกัดทำให้เข้มข้นด้วยเตาอบลดความดัน (Vacuum Oven) จนมีความเข้มข้นของปริมาณสารสกัดร้อยละประมาณ 0.2 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณเด็กซ์ทรีนที่ใช้ในการทดลอง คือ ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของสารสกัด ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.21 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงแห้งแสดงดังรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.15 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงแห้งเมื่อใช้เด็กซ์ทรีนปริมาณต่างๆ

กรัมเด็กซ์ทรีน / 100 กรัมสารสกัด	กรัมผงแห้งที่ได้/100 กรัม สารสกัด + เด็กซ์ทรีน	กรัมมอลรีน/100 กรัมสารสกัด + เด็กซ์ทรีน
0	62.85	6.73
5	72.24	7.25
10	76.07	7.51
20	77.85	6.95
30	79.01	6.47
40	80.52	6.03
50	81.41	5.65



ร้อยละโดยน้ำหนักของเด็กซ์ทรีนที่ใช้

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ผงแห้งกับปริมาณสารเด็กซ์ทรีน



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงแห้ง

สารเด็กซ์ทรีน เป็นสารช่วยทำแห้ง เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งติดผนังเครื่องอบ โดยเด็กซ์ทรีนทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้แก่ผลิตภัณฑ์ และห่อหุ้มส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไว้ จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.21 เมื่อนำสารละลายสกัดมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงร้อยละ 62.85 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น และได้ปริมาณมอรินร้อยละ 6.73 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น เมื่อทดลองเติมสารเด็กซ์ทรีนที่ปริมาณร้อยละ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 เด็กซ์ทรีนต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น พบว่าได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 72.24, 76.07, 77.85, 79.01, 80.52 และ 81.41 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น และได้ปริมาณมอรินร้อยละ 7.25, 7.51, 6.95, 6.47, 6.03 และ 5.65 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น นั่นคือที่ปริมาณเด็กซ์ทรีนร้อยละ 50 ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งสูงสุด แต่เมื่อคิดเป็นปริมาณมอรินที่ได้พบว่าที่ปริมาณเด็กซ์ทรีนร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น ได้ปริมาณมอรินสูงสุดที่ร้อยละ 7.51 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเด็กซ์ทรีนมากขึ้นอีกจะได้ปริมาณร้อยละมอรินลดลง เนื่องจากมีสัดส่วนปริมาณเด็กซ์ทรีนมากขึ้น จากผลที่ได้นี้ สารปรุงแต่งเด็กซ์ทรีนที่เดิมช่วยในการทำแห้ง ใช้ปริมาณร้อยละ 10 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงแห้งแสดงดังรูปที่ 4.22

4.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผงสีที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้เด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 10 เป็นสารปรุงแต่ง มีลักษณะคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่ามีค่าแอกติวิตีน้ำ (a_w) เท่ากับ 0.278 ปริมาณความชื้น 2.50% ความเป็นกรด-เบส (pH) 7.07 ความหนาแน่นของผงสี 0.519 (กรัมต่อมิลลิลิตร) การดูดความชื้น 3.249 (กรัมต่อผงสี 10 กรัม) การละลาย 0.269 (กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง) ปริมาณมอรินที่ร้อยละ 9.87 และค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 53.7 ค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว (a^*) เท่ากับ 16.73 และ ค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*) เท่ากับ 38.76 โดยค่าสี L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness) ของสี ถ้าค่าสี L^* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้าค่าสี L^* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาว ค่าสี a^* ใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือเขียว (Red-Green) ถ้าค่าสี a^* เป็นค่าบวก หมายถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่าสี a^* เป็นค่าลบ หมายถึงความเป็นสีเขียว ค่าสี b^* ใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (Yellow-Blue) ถ้าค่าสี b^* เป็นค่าบวก หมายถึงความเป็นสีเหลือง และถ้าค่าสี b^* เป็นค่าลบ หมายถึงความเป็นสีน้ำเงิน จากค่าของผงสีแสดงว่าผงสีธรรมชาติจากไม้ขนุนที่ผลิตได้มีสีเหลืองออกแดง

ตารางที่ 4.16 คุณภาพของผงสีธรรมชาติจากไม้ขนุนที่ผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้เด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 10 เป็นสารปรุงแต่ง

ลักษณะคุณภาพของผงสี	
ค่าแอกติวิตีน้ำ (a_w)	0.278
ปริมาณความชื้น (%)	2.50
ความเป็นกรด-เบส (pH)	7.07
ความหนาแน่นของผงสี (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.519
การดูดความชื้น (กรัมต่อผงสี 10 กรัม)	0.325
การละลาย (กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง)	0.269
ค่าสีของผงสี	
ค่าความสว่าง (L^*)	53.7
ค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว (a^*)	16.73
ค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*)	38.76
ปริมาณมอริน (%)	9.87

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองทำการแปรรูปไม้ขนุนแห้ง ให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้ง เพื่อใช้เป็นผงสีย้อม และประโยชน์อื่นๆ สำหรับไม้ขนุน สารมอรินเป็นสารที่ให้สีเหลือง และมีสรรพคุณทางยาอีกมากมาย จึงเลือกสารมอรินเป็นสารสำคัญในการสกัด โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกได้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในแบบเบตซ์ระดับปฏิบัติการ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา อุณหภูมิ และขนาดของไม้ขนุน ส่วนที่ 2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับเพื่อเป็นการขยายส่วนให้สกัดได้ครั้งละปริมาณมาก โดยใช้ภาวะในการสกัดจากที่ศึกษาแล้วในเครื่องสกัดแบบเบตซ์ระดับปฏิบัติการเพื่อศึกษาอัตราการไหลของตัวทำละลายในเครื่องสกัดต่อปริมาตรตัวทำละลายที่สกัด ส่วนที่ 3 ศึกษาการทำแห้งสารสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาปริมาณสารปรุงแต่งที่เติมลงไปในการละลายสกัด กับปริมาณผงแห้งที่เก็บได้จากเครื่องอบแห้ง และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในระดับปฏิบัติการ

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา อุณหภูมิ และขนาดของไม้ขนุน

5.1.1.1 การศึกษาหาชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด

การสกัดสีย้อมจากไม้ขนุน ดังนั้นการเลือกชนิดของตัวทำละลาย ต้องคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยต่อการบริโภค ตัวทำละลายที่เลือกใช้ในการทดลอง มี 5 ชนิด ได้แก่ น้ำ เพราะการนำไม้ขนุนไปใช้เป็นสีย้อม นิยมนำไปสกัดโดยใช้น้ำเนื่องจากหาใช้ได้ง่าย ปลอดภัย และมีราคาถูก แต่จากผลการทดลองพบว่าน้ำสามารถสกัดผงสีและสารมอรินได้ปริมาณปานกลาง จึงนำตัวทำละลายอื่นมาใช้พบว่า เมทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร, เอทานอลที่ความเข้มข้น

ร้อยละ 50 โดยปริมาตร และแอสีโทนความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร สามารถสกัดผงสีและสารมอรินจากไม้ขนุนได้ปริมาณมาก และขณะที่เฮกเซนไม่สามารถสกัดสารมอรินได้เลย ดังนั้นจึงเลือกเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด เนื่องจากเอทานอลมีความเป็นพิษในการบริโภคน้อยกว่าเมทานอลและแอสีโทน อีกทั้งการแยกเอทานอลออกจากสารสกัด ทำได้ง่าย และเอทานอลสามารถนำกลับมาใช้สกัดได้อีก ลดความสิ้นเปลือง และได้ทำการหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมพบว่า เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร สามารถสกัดผงสีและสารมอรินจากไม้ขนุนได้ปริมาณมากที่สุด

5.1.1.2 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

การสกัดในเครื่องสกัดแบบแปดขั้วระดับปฏิบัติการ ใช้ตัวอย่างไม้ขนุนเพียงเล็กน้อย จึงไม่สิ้นเปลืองวัตถุดิบ และตัวทำละลาย การควบคุมตัวแปร และภาวะการสกัดไม่ยุ่งยาก จึงง่ายต่อการปฏิบัติ โดยปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จากไม้ขนุนขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ชนิด คือ อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิในการสกัด จากการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณสารมอรินที่สกัดได้จากไม้ขนุน คือ อุณหภูมิในการสกัดมีผลมากที่สุด โดยมีผลถึง 58.18 % รองลงมา คือ เวลาในการสกัดมีผล 35.76 % และ อัตราส่วนของน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายมีผลเพียง 2.95 % ขณะที่อันตรกิริยาของตัวแปรต่อค่าปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้ มีผลน้อยต่อผลต่อปริมาณสารมอรินในผงสีที่สกัดได้ และจากผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 45 นาที ใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ 1:40 กรัม:มิลลิลิตร และพบว่าขนาดของไม้ขนุนที่ใช้ในการสกัดจึงไม่มีผลต่อปริมาณผงสีและปริมาณสารมอรินที่สกัดได้

5.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดในเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ

เป็นการทดลองขยายส่วน เพื่อสกัดวัตถุดิบจำนวนมาก โดยเครื่องสกัดไหลเวียนกลับสามารถสกัดได้ครั้งละปริมาณ 200 – 500 ลิตร ใช้การสกัดด้วยวิธีตัวถูกละลายสัมผัสโดยตรงกับตัวทำละลาย จะให้ผลการสกัดระหว่างการทดลองสกัดในเครื่องมือขนาดเล็ก กับเครื่องมือขนาดใหญ่ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงนำภาวะการสกัดที่ได้จากการทดลองสกัดในเครื่องสกัดแบบแปดขั้วระดับปฏิบัติการมาใช้ได้ คือ อุณหภูมิในการสกัดที่ 78 - 80 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 150 นาที และ

อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายที่ 1:50 กรัม:มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ที่ปริมาตรตัวทำละลาย 200 ลิตร อัตราการไหลของ ตัวทำละลาย ในเครื่องสกัดที่ 100 ลิตรต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสีร้อยละ 95.51 และสารมอริน ร้อยละ 95.59 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที และที่ปริมาตรตัวทำละลาย 400 ลิตร อัตราการไหลของ ตัวทำละลายในเครื่องสกัดที่ 200 ลิตรต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดผงสีร้อยละ 95.44 และ สารมอรินร้อยละ 95.45 ที่เวลาในการสกัด 150 นาที และมีสัดส่วนของอัตราการไหลของ ตัวทำ ละลายในเครื่องสกัดต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสมเป็น 1 : 2 ลิตรต่อนาที:ลิตร

5.1.3 ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งสารสกัดจากไม้ขนุนด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จะเกิดปัญหา ผลิตภัณฑ์ผงแห้งเกาะติดผนังเครื่องอบ ทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ผงได้น้อย จึงต้องมีการเติมเด็กซ์ทรีน เป็นสารปรุงแต่งทำหน้าที่เป็นสารกันติดช่วยในการทำแห้ง ซึ่งเด็กซ์ทรีนมีความปลอดภัย และ นิยมใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารผง จากการทดลองพบว่า ปริมาณเติมเด็กซ์ทรีนที่เหมาะสม คือ ที่ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่มีปริมาณสารมอรินมากที่สุด ที่ ปริมาณมอรินที่ร้อยละ 7.51 ต่อน้ำหนักของแข็งเริ่มต้น ที่ภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้ง คือ อัตราป้อนของสารละลายที่ 30 - 40 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิภายในเครื่องอบ 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายหลังการทำแห้งควบคุมในช่วง 85 - 90 องศาเซลเซียส และ Atomizing Pressure ที่ 2.5 บาร์ ได้ผลิตภัณฑ์ผงสีที่มีลักษณะคุณภาพ คือ มีค่าแอกติวิตีน้ำ (a_w) เท่ากับ 0.278 ปริมาณความชื้น 2.50% ความเป็นกรด-เบส (pH) 7.07 ค่าความหนาแน่นของผงสี 0.519 (กรัมต่อมิลลิลิตร) การดูด ความชื้น 3.249 (กรัมต่อผงสี 10 กรัม) การละลาย 0.269 (กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร) ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 53.7 ค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว (a^*) เท่ากับ 16.73 และค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำ เงิน (b^*) เท่ากับ 38.76 และปริมาณมอรินที่ร้อยละ 9.87

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้ค่าอัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายในการสกัด ควรใช้ที่ค่า ต่ำๆ เช่น 1:10, 1:15 หรือ 1:20 กรัม:มิลลิลิตร แม้ว่าอัตราส่วนน้ำหนักร้อยต่อปริมาตรตัวทำ ละลายที่เหมาะสมคือ 1:40 กรัม:มิลลิลิตร เนื่องจากผลกระทบของอัตราส่วนน้ำหนักร้อยต่อ ปริมาตรตัวทำละลายมีผลต่อค่าปริมาณสารมอรินที่สกัดได้ในผงสีมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นเนื่อง

จากการลดความสิ้นเปลืองพลังงานในการทำแห้ง การใช้อัตราส่วนน้ำหนักไม้ขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายในการสกัดจึงควรใช้ที่ค่าน้อยๆ เนื่องจากจะได้สารละลายที่เข้มข้นกว่าแม้ประสิทธิภาพในการสกัดมีค่าน้อยกว่า

5.2.2 ควรมีการศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ของสารสกัดมากขึ้นเนื่องจากในสารสกัดมีส่วนประกอบของสารฟลาโวนอยด์อยู่หลายชนิด ซึ่งมีฤทธิ์ทางยาที่สำคัญ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Duff, D.G. and Sinclair, R.S. Giles's Laboratory Course in Dyeing. 4th ed. West Yorkshire: Society of Dyers and Colorists, (1989): 72-75, 95-98.
- [2] นันทยา ยานูมาศ. ความเป็นพิษและมลพิษของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. วารสารคัลเลอร์ 1 (6), (2539): 27-41.
- [3] ปานทิพย์ เปลี่ยนโมฬี. ผ้าทอมือย้อมสีธรรมชาติพลิกความนิยมมุ่งสู่ตลาดนอก. อุตสาหกรรมสาร 31 (4), (2531): 30-33
- [4] Dalby, G. Greener mordants for natural colouration. JSDC. 109, (1993): 8-9.
- [5] อนันต์เสวก เหว่ซึ่งเจริญ และ คณะ. การพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัว. ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติ. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเชียงใหม่, (2543): 52-125.
- [6] อัจฉริยา จารยะพันธุ์. การสกัดสีจากลูกพุดเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2530).
- [7] สงคราม เสนาธรรม และ อมราภรณ์ มีบำรุง. ม.ป.ป. เอกสารประกอบการสัมมนาการวิจัยสีย้อมธรรมชาติ. กองอุตสาหกรรมในครอบครัว กรุงเทพฯ, 13น. (โรเนียว).
- [8] Marja, M. Natural Dyeing in Thailand. Bangkok: White Lotus, (1993): 129-169.
- [9] นันทวัน บุญยะประภัสร์ และ อรุณช ไชคชัยเจริญพร. สมุนไพรพื้นบ้าน เล่ม 1. กรุงเทพฯ: ประชาชน, 2541
- [10] ดร. วิทย์ เทียงบุญธรรม. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์, 2531
- [11] หลวงบุเรศบำรุงการ. ขนุน สาก ขนุนสำปะลอ และจำปาละ. พระนคร: แพร์พิทยา, 2508
- [12] ภูมิพิชญ์ สุขาวรรณ. พืชสมุนไพรใช้เป็นยา. เล่ม 4. กรุงเทพฯ: อักษราพัฒนา
- [13] ธรรมเกียรติ กันอริ. วรรณพฤกษ์พรรณนา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ธารวิมล, 2540
- [14] เกสัชกรหญิงสุนทรี สิงหนุตตรา. สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ดอกเบี๋ย, 2540
- [15] วารุณี จิรวัดนาพงศ์. การศึกษาทางพฤกษเคมีของเนื้อไม้ขนุนสำปะลอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2538).
- [16] สุรัตนา อำนวยผล. สารฟลาโวนอยด์จากพืช. ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, (2531).

- [17] ลัดดาวัลย์ บุญรัตน์กรกิจ. เคมีอนุกรมวิธานของพืชที่มีฟลาโวนอยด์. คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, (2537).
- [18] Hussein, S.A.M., Barakat, H.H., Nawar, M.A.M. and Willuhn G. Flavonoids from *Ephedra aphylla*. *Phytochemistry*, (1997): 1529-1532.
- [19] Robards, K., Li, X., Antolovich M., and Boyd, S. Characterisation of *Citrus* by chromatographic analysis of flavonoids. *J. Sci. Food Agric.* 75,(1997): 87-101.
- [20] Barakat, H.H., Souleman, A.M., Hussein, S.A.M., Ibranhiem, O.A. and Nawwar, M.A.M. Flavonoid galloyl glucosides from the pods of *Acacia farnesiana*. *Phytochemistry*. 51, (1999): 132-142.
- [21] Fossen, T., Pederson, A.T. and Anderson, O.M. Flavonoid from red onion (*Allium cepa*). *Phytochemistry*. 47(2), (1998): 281-285
- [22] Saleh, M.M., Hashem, F. and Glombitza, K.W. Study of *Citrus taitensis* and radical scavenger activity of the flavonoids isolation. *Food Chemistry*. 63(3), (1998): 397-400.
- [23] Veitch, N.C., Grager, R.J., Irwin, J.L. and Takeda, K. Flavonoid celluobiosides from *Salvia uliginosa*. *Phytochemistry*. 48(2), (1998): 72-75, 95-98.
- [24] Kawaii, S., Tomono, Y., Katase, E., Ogawa, K., Nonomura-Nakano, M., Nesumi, H., Yoshida, T., Sugiura, M. and Yano, M. Quantitative study of fruit flavonoid in *Citrus* hybrids of king (*C. nobilis*) and Mukaku Kishu (*C. kinokuni*). *J. Agric. Food. Chem.* 49, (2001): 3982-3986.
- [25] Stevens, J.F., Wollenweber, E., Ivancic, M., Hsu, V.L., Sundberg, S. and Deinzer, M.L. Leaf surface flavonoid of *Chrysothamnus*. *Phytochemistry*. 51, (1999): 771-780.
- [26] Basile, A., Giordano, S., Lopez-Saez, J.A., Cobianchi, R.C. Antibacterial activity of pure flavonoid isolated from mosses. *Phytochemistry*. 52, (1999): 1479-1482.
- [27] Brindmeier, E., Geigerand, H. And Zinsmeister, H.D. Biflavonoids and 4, 2'-epoxy-3-phenylcoumarins from the moss *Mnium hornum*. *Phytochemistry*. 52, (1999): 297-302.
- [28] Fossen, T., Larsen, A., Kiremire, B.T. and Andersen, O.M. Flavonoids from blue flowers of *Nymphaea caerulea*. *Phytochemistry*. 51, (1999): 1133-1137.

- [29] Urzua, A., Mendoza, L., Tojo, E. and Rial, M.E. Acylated flavonoids from *Pseudognaphalium* species. J. Nat Prod, (1999): 381-382.
- [30] Kalt, W., McDonald, J.E. and Donner, H. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry product. Food Chemistry and Toxicology. 65(3), (2000): 390-393.
- [31] Czinner, E., Hagymasi, K., Blazovics, A., Szoke, E. and Lemberkovics, E. The in vitro effect of *Helichrysi flos* on microsomal lipid peroxidation. J. Ethanopharmac. 77(1), (2001): 31-35.
- [32] Ahmad, I and Beg, A.Z. Antimicrobial and phytochemical studies on 45 indian medicinal plants against multi-drug resistant human pathogens. J. Ethanopharmac. 74, (2001): 113-123.
- [33] Lu, Y and Foo, L.Y. Antioxidant activities of polyphenols from sage (*Salvia officinalis*). Food Chem. 75, (2001): 197-202.
- [34] Aquino, R., Morelli, S., Tomaino, A., Pellegrino, M., Saija, A., Grumetto, L., Puglia, C., Ventura, D. and Bonina, F. Antioxidant and photoprotective activity of a crude extract of *Culcitium reflexum* H.B.K. leaves and their major flavonoid. J. Ethanopharmac. Uncorrected Proof, (2001).
- [35] Carini, M., Aldini, G., Furlanetto, S., Stefani, R. and Facino, R.M. LC coupled to ion-trap MS for the rapid screening and detection of polyphenol antioxidants from *Helichrysum stoechas*. J. Phar. Biomed. Anal. 24, (2001): 517-526.
- [36] วรณทิตา ลากศิริ. การสกัดสารฟลาโวนอยด์จากเปลือกมะนาว. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์. (2545).
- [37] Moreno, M.I.N., Isla, M.I., Sampietro, A.R. and Vattuone, M.A. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of rgentina. J. Ethanopharmac. 71, (2000): 109-114.
- [38] Wanasundara, U.N. and Shahidi, F. Stabilization of canola oil with flavonoid. J. Food. Chem. 50(4), (1994): 393-396.
- [39] สมบัติ ขอทวีวัฒนา. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. วิทยานิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2527).

- [40] ยุทธนา สูงสุมาลย์. การสกัดกรดไลโนเลอิกจากดอกคำฝอย *Carthamus tinctorius* Linn. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2539).
- [41] ยรรยง สุขคล้าย. การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรฟ้าทลายโจรโดยใช้ถังกวนขนาดก่อนโรงงานต้นแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2547).
- [42] สุวานีย์ จันทร์สอาด. การสกัดสี้อมจากต้นขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk. สำหรับการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2548).
- [43] กำจร แซ่เจียง. ผงสี้อมจากกลีบดอกดาวเรือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2544).
- [44] เสรี สุขุมลพันธ์. การพัฒนาผงสี้อมธรรมชาติจากกระเจี๊ยบแดงเพื่อนำมาใช้เป็นสี้อมกระดาษสา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2545).
- [45] Chavan, U.D.; Shahidi, F; and Naczk, M. Extraction of condensed tannins from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) as affected by different solvents. Food Chemistry 75, (2001): 509-512.
- [46] Kim, K.H.; Lee, K.W.; Kim, D.Y.; Park, H.H.; Kwon, I.B. and Lee, H.J. Optimal recovery of high-purity rutin crystals from the whole plant of *Fagopyrum esculentum* Moench (buckwheat) by extraction, fractionation, and recrystallization. Bioresource Technology 96, (2005): 1709-1712.
- [47] Lapornik, B.; Prosek, M. and Wondra, A.G. Comparison of extracts prepared from by-products using different solvents and extraction time. Journal of Food Engineering 71, (2005): 214–222.
- [48] รศ.ดร.รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ ดร.ไพศาล วุฒิจำนงค์. การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. เอกสารประกอบการสัมมนา-อบรมวิชาการด้านอุตสาหกรรมอาหาร, (2545)
- [49] A.O.A.C. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. (1995): 1145p
- [50] Al-kahtani, H.A. and Hassan, B.H. Spray drying of roselle (*Hibiscus sabdariffa*, L.) Extract. Journal of Food Sci. 55(4), (1990): 1073–1076.

- [51] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม. มอก. 1142-
กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ, (2536): 18น.
- [52] Hunter, R.S. and Harold, R.W. The Measurement of Appearance. John Wiley &
Sons Inc NewYork (1987): 162-194.
- [53] Douglas, C.M. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons Inc (1997):
644-645.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์สารมอร์ินด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง (High Performance Liquid Chromatograph, HPLC)

1. เครื่องมือ และ อุปกรณ์

- 1.1 SHIMADZU System Controller SCL-10Avp
- 1.2 GL Sciences Inertsil Japan Column ODS-3 5 μ m 4.6 x 250 mm
- 1.3 SHIMADZU Auto injector SIL-10ADvp
- 1.4 SHIMADZU UV-Vis Detector SPD-10Avp
- 1.5 SHIMADZU Column Oven CTO-10ACvp
- 1.6 SHIMADZU Degasser DGU-14A

2. สารเคมี

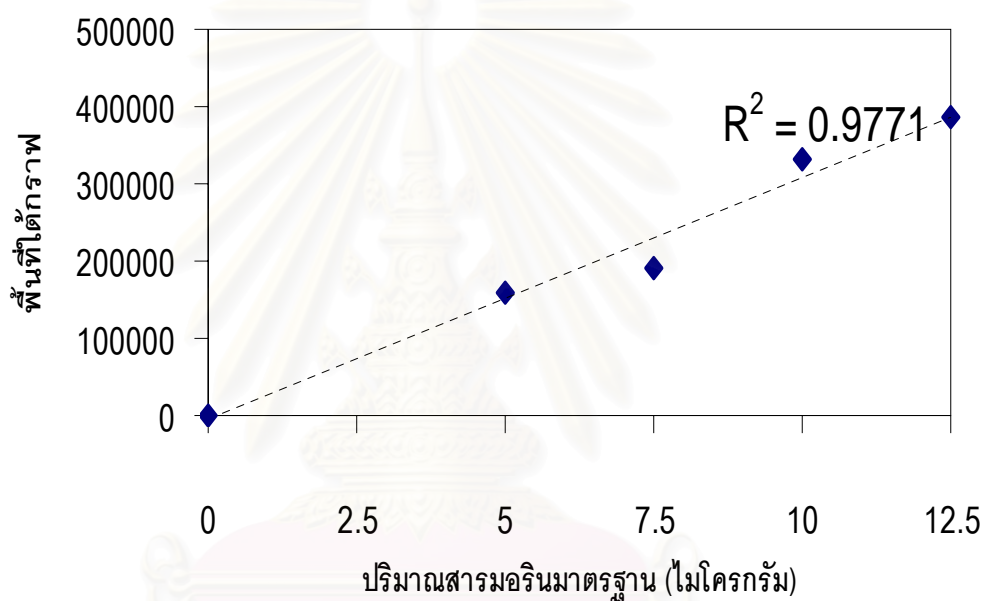
- 2.1 สารตัวอย่างมอร์ิน (Morin, Analytical Reagent Grade) บริษัท Sigma
- 2.2 วัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase) กรดฟอร์มิก : เมทานอล : น้ำ ที่อัตราส่วน
1 : 59 : 40

3. วิธีการ

- 3.1 ตั้งค่าภาวะต่างๆ
 - 3.1.1 อัตราการไหล (Flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที
 - 3.1.2 อุณหภูมิ Oven 40 องศาเซลเซียส
 - 3.1.3 HPLC Spectrophotometer UV 358 นาโนเมตร

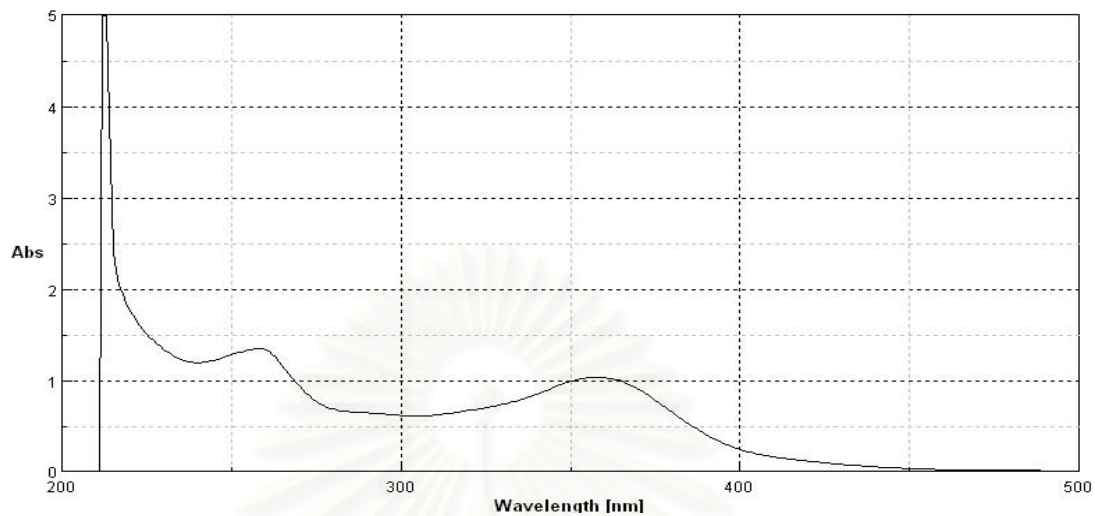
3.2 คีตสารละลายมาตรฐานมอร์นความเข้มข้น 5 - 12.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 20 ไมโครลิตร พื้นที่ใต้กราฟที่ได้นำมาเขียนกราฟมาตรฐานเพื่อใช้หาปริมาณสาร ตัวอย่าง จากนั้นคีตสารตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางที่เหมาะสม เพื่อให้พื้นที่ใต้กราฟที่ได้ อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ถูกหน่วง (Retention Time) ประมาณ 5.75 วินาที

$$\text{ปริมาณสารมอร์น (ไมโครกรัม)} = \text{พื้นที่ใต้กราฟ} \times (3 \times 10^{-5}) + 0.3418$$

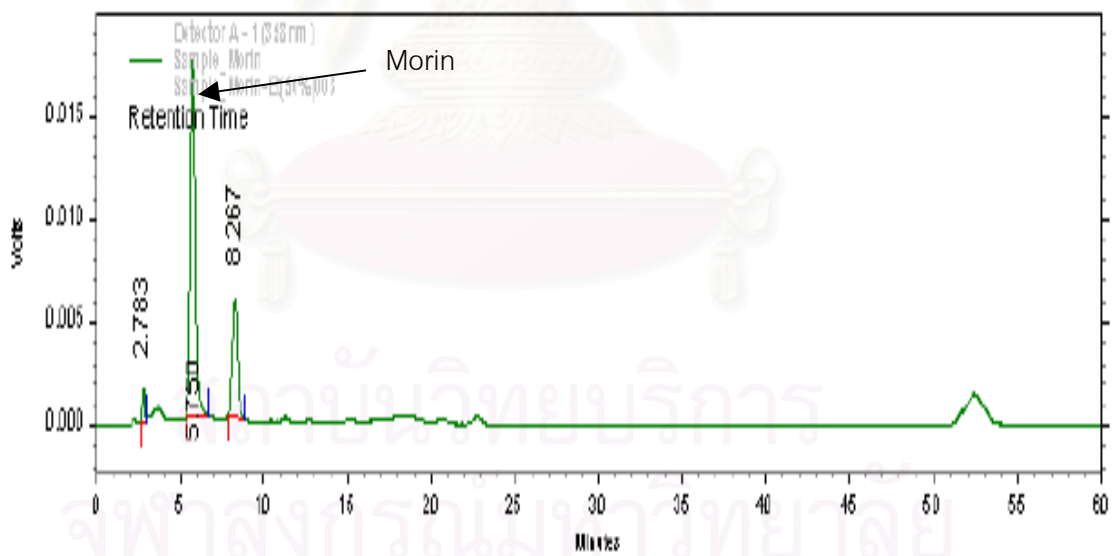


รูปที่ ก1 Calibration curve ของสารมาตรฐานมอร์น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก2 สเปกตรัมของสารมาตรฐานมอริน



รูปที่ ก3 โคโรมาโทแกรมของสารสกัดจากไม้ขนุน

ภาคผนวก ข.

วิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพของผงสีที่ได้

1. ค่าแอกติวิตีน้ำ (Water Activity, a_w)

ค่าแอกติวิตีน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุม และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่าแอกติวิตีน้ำเป็นปัจจัยที่ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เราสามารถใช้ค่าแอกติวิตีน้ำในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุม และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่าแอกติวิตีน้ำที่จำกัด โดยเราจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าแอกติวิตีน้ำต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ แสดงดังตารางที่ 1ข

ตารางที่ 1ข ช่วง a_w และค่า a_w ขั้นต่ำที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้

จุลินทรีย์	ช่วง a_w	a_w ขั้นต่ำ
แบคทีเรียส่วนใหญ่	1.00 - 0.91	0.91
ยีสต์ส่วนใหญ่	0.91 - 0.87	0.87
ราส่วนใหญ่	0.87 - 0.80	0.80
แบคทีเรียที่ทนความเข้มข้นของเกลือสูง (Halophilic Bacteria)	0.80 - 0.75	0.75
ราที่ทนความแห้งแล้งสูง (Xerophilic Molds)	0.75 - 0.65	0.65
ยีสต์ที่ทนความเข้มข้นของน้ำสูง (Osmophilic Yeast)	0.65 - 0.60	0.60
ไม่มีการแพร่ของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	0.50 - 0.25	-

2. วิธีการหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

อบจานหาความชื้นชนิดอลูมิเนียมพร้อมด้วยฝาปิดในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน อบดังตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ในจานอลูมิเนียม ประมาณ 5 กรัม นำไปอบในตู้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส นานประมาณ 5 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอลูมิเนียมไว้เล็กน้อย จากนั้นปิดฝาอลูมิเนียมแล้วชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม คำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นของตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณความชื้นร้อยละของน้ำหนัkdังตัวอย่าง} = \frac{100 (W_1 - W_2)}{W_1 - W}$$

- เมื่อ
- W = น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดเป็นกรัม
 - W₁ = น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างก่อนอบเป็นกรัม
 - W₂ = น้ำหนักของจานอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างหลังอบเป็นกรัม

3. วิธีการหาความเป็นกรดต่าง (pH)

วัดโดยชั่งน้ำหนักผงสีจำนวน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร วัดค่าด้วย pH meter

4. วิธีการหาการดูดความชื้น (Hygroscopicity)

ชั่งน้ำหนักผงสีจำนวน 10 กรัม ลงใน plate บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นแล้วตั้งทิ้งไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยควบคุมให้มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 65% บันทึกน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทุกๆ ช่วงเวลา และบันทึกน้ำหนักสุดท้ายเมื่อเวลาผ่านไป 360 นาทีเพื่อเปรียบเทียบ

5. วิธีการหาการละลาย (Solubility)

ชั่งน้ำหนักผงสีแดงจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 100 มิลลิลิตร กวนสารละลายด้วยเครื่องกวน ที่ระดับ 5 เป็น เวลา 90 วินาที แบ่งสารละลายจำนวน 10 มิลลิลิตร นำมากรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 ซึ่งน้ำหนักคงที่แล้ว นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำมาชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่ ค่าการละลายเปรียบเทียบจากจำนวนตะกอนที่เหลืออยู่ห่างจากหักน้ำหนักกระดาษกรองออกแล้วเป็นกรัม

6. วิธีการหาความหนาแน่นของผงสี (Bulk Density)

วัดโดยชั่งน้ำหนักผงสี 20 กรัม บรรจุในกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร ยกขึ้นสูงจากเดิม 10 เซนติเมตร ภายในเวลา 1 วินาที โดยไม่ไห้กระบอกตวงเหวี่ยงหรือสับสนัด ลดกระบอกตวงลงมาที่ตำแหน่งเดิมภายในเวลา 1 วินาที แล้วหมุนกระบอกตวงไปประมาณ 10 องศา ปฏิบัติเช่นเดียวกันนี้ 15 ครั้ง แล้วอ่านปริมาตรของตัวอย่าง ทำการบันทึกค่าของปริมาตรของผงสี

7. วิธีการหาค่าความแตกต่างของสี (Colour difference, ΔE^*)

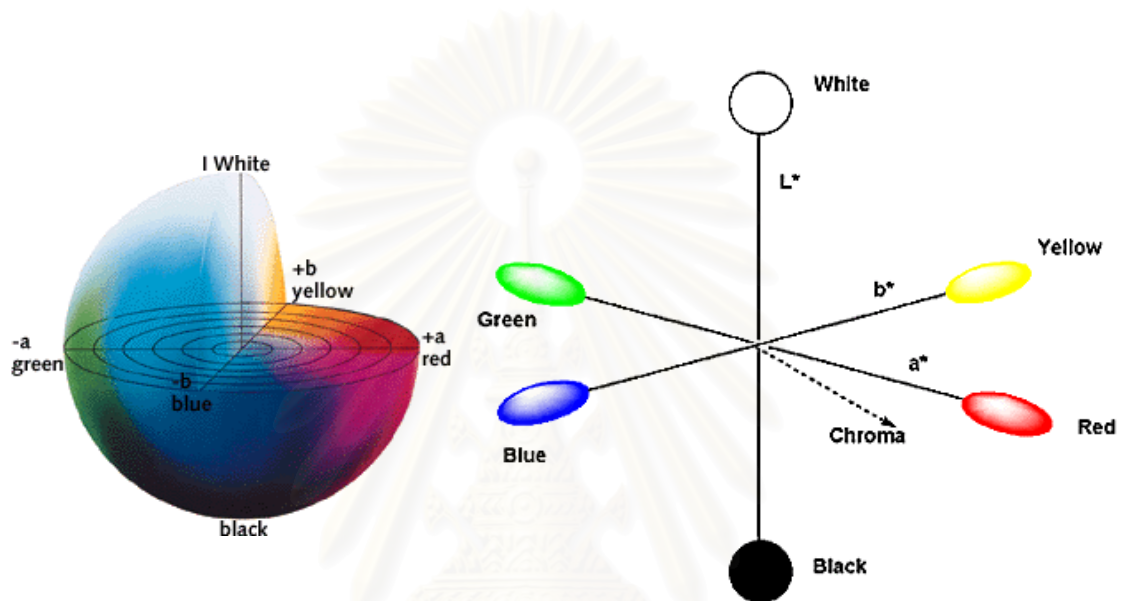
ค่าความแตกต่างของสี หมายถึงความแตกต่างของสีหนึ่งกับของอีกสีหนึ่ง ค่าความแตกต่างของค่าสีที่วัดได้ควรเป็นตัวเลขที่สามารถบอกความแตกต่างของสีได้เหมือนกับที่ตามนุษย์มองเห็น ค่าความแตกต่างของสีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ CIE $L^* a^* b^*$ Colour Difference Equation ซึ่งการวัดความแตกต่างของสีของตัวอย่าง 2 ชิ้นที่ต้องการทดสอบว่ามีสีแตกต่างกันหรือไม่สามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง (ΔL^*) ถ้าค่าสี L^* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้าค่าสี L^* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาว ค่าความแตกต่างระหว่างความเป็นสีแดง-เขียว (Δa^*) ถ้าค่าสี a^* เป็นค่าบวก หมายถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่าสี a^* เป็นค่าลบ หมายถึงความเป็นสีเขียว และค่าความแตกต่างระหว่างความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (Δb^*) ถ้าค่าสี b^* เป็นค่าบวก หมายถึงความเป็นสีเหลือง และถ้าค่าสี b^* เป็นค่าลบ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน และความแตกต่างของค่าสีโดยรวม (ΔE^*) ดังนี้

ΔL^* = ค่าสี L^* ของตัวอย่างที่ 1 - ค่าสี L^* ของตัวอย่างที่ 2

Δa^* = ค่าสี a^* ของตัวอย่างที่ 1 - ค่าสี a^* ของตัวอย่างที่ 2

Δb^* = ค่าสี b^* ของตัวอย่างที่ 1 - ค่าสี b^* ของตัวอย่างที่ 2

ΔE^* = $[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$



รูปที่ ๗1 CIELAB ซึ่งแสดง L^* , a^* , b^* Colour Space

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วสันต์ รัตนประสาธ เกิดวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร ศึกษาสำเร็จการปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย