

การสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันโดยใช้  
สารพอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทน โมโนโอเลอเตต



นายพรเกียรติ สมหวัง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1402-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

24 ก.ย. 2546

I 20390774

EXTRACTION OF CURCUMINOIDS FROM TURMERIC USING  
POLYOXYETHYLENE SORBITAN MONOOLEATE

Mr. Pornkiat Somwang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2001

ISBN 974-03-1402-3


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันโดยใช้สารพอลิออกซีเอทิลีน  
ซอร์บิแทน โมโนโอเลอเตด  
โดย                              นายพรเกียรติ สมหวัง  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญหลง

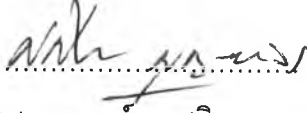
---

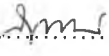
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....  ..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญหลง)

.....  ..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรุ่ง ปรีชานนท์)

.....  ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.เจดศักดิ์ ไชยคณา)

พรเกียรติ สมหวัง : การสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากรากขมิ้นชันโดยใช้สาร  
พอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทน โมโนโอเลอเตด.(EXTRACTION OF CURCUMINOIDS  
FROM TURMERIC USING POLYOXYETHYLENE SORBITAN MONOOLEATE)  
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ศศิธร บุญ-หลง, 181 หน้า. ISBN 974-03-1402-3

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน เพื่อใช้เป็นสารให้สีธรรมชาติใน  
อุตสาหกรรมอาหารโดยใช้สารพอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทน โมโนโอเลอเตด (ทวิน 80) เป็นตัวทำละลาย ได้  
แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรก เป็นส่วนการเตรียมวัตถุดิบ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการ  
สกัดน้ำมันระเหยระหว่างวิธีการกวนด้วยน้ำร้อนและ วิธีการกวนด้วยไอน้ำโดยตรง เพื่อหาวิธีการสกัดและเวลา  
การสกัดที่เหมาะสม ในส่วนที่สอง ทำการศึกษาค่าของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจาก  
ขมิ้นชัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเร็วรอบการปั่นกวน  
อุณหภูมิการสกัด เวลาการสกัด อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ขนาดผงขมิ้นชัน  
ค่าความเข้มข้นของสารทวิน 80 ในตัวทำละลาย และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในส่วนสุดท้าย เป็นการวิเคราะห์  
การลงทุนเพื่อตั้งโรงงานผลิตสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันในประเทศไทย สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการกวนด้วยไอน้ำโดยตรง เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม  
วัตถุดิบ โดยมีระยะเวลาการกวนที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ชั่วโมง และพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด  
สารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน คือ เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20  
นาที โดยให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี.  
และค่าความเร็วรอบการปั่นกวนมีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถ  
ผ่านตะแกรงร่อนเมช 60 ได้ และใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารทวิน 80 ในตัวทำละลายเท่ากับ  
3 % โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงระหว่าง 6.3 ถึง 6.7 ซึ่งสภาวะดังกล่าวให้ค่าร้อยละ  
การสกัดสูงสุด เท่ากับ 99.6 % ในการวิเคราะห์การลงทุนเพื่อสร้างโรงงานผลิตสารเคอร์คูมินอยด์ พบว่า  
ต้องใช้เงินลงทุนประมาณ 18 ล้านบาท โครงการดังกล่าวให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนก่อนและหลังคิดภาษี  
คิดเป็น 15.71, 13.35 % ตามลำดับ และระยะเวลาการคืนทุน 3.97 ปี นับเป็นโครงการหนึ่งที่น่าสนใจใน  
สำหรับการลงทุนในขั้นอุตสาหกรรม

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา...2544.....

## 4170424121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: CURCUMINOIDS, EXTRACTION , TURMERIC, POLYOXYETHYLENE SORBITAN MONOOLEATE

PORNKIAT SOMWANG: EXTRACTION OF CURCUMINOIDS FROM TURMERIC USING POLYOXYETHYLENE SORBITAN MONOOLEATE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SASITHORN BOON-LONG, DR.3<sup>e</sup> CYCLE,181 pp.  
ISBN 974-03-1402-3

Extraction of curcuminoids from turmeric for use as natural food colorant using polyoxyethylene sorbitan monooleate (tween 80) as solvent was studied. The study was divided into three sections. In the first section, removal of volatile oil from turmeric was studied by comparing between water distillation and direct steam distillation methods. Optimum conditions of various factors for extraction of curcuminoids from turmeric were investigated in the second section. The factors were temperature and time of extraction, speed of mixing, ratio of turmeric weight to solvent volume, particle size of turmeric, concentration of tween 80 in the solvent and pH value. In the last section, a basic economic analysis was performed for investment on curcuminoids production plant in Thailand.

Results showed that the method of direct steam distillation for removal of volatile oil from turmeric was suitable and the time of extraction was 5 hours. Optimum conditions for curcuminoids extraction were as follow: extraction temperature of 60<sup>o</sup>C for 20 minutes; mixing speed of 340 revolutions per minute; ratio of turmeric weight to solvent volume was 1 gram per cubic centimeter; particle size of turmeric were those that passed through 60-mesh screen; concentration of tween 80 in solvent was 3 percent by weight and pH value ranging between 6.3 to 6.7. Under these conditions maximum amount of curcuminoids extracted was 99.6%. Estimation of investment cost in establishing a 6,000 cubic meters per year curcuminoids plant showed a total capital investment of approximately 18 million baht, with rate of return on investment before tax of 15.71% and after tax of 13.35% giving a pay back period of 3.97 year. Therefore it is considered to be an attractive project for investment on an industrial scale.

Department.....CHEMICAL ENGINEERING.....Student's signature.....*Pornkiat Somwang*  
Field of study.....CHEMICAL ENGINEERING.....Advisor's signature.....*Asst. Prof. Sasithorn Boon-Long*  
Academic year....2001.....Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญหลง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงสำหรับการให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา จงวิศาล ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรุ่ง ปริษานนท์ อาจารย์ ดร.เจดศักดิ์ ไชยคุนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และ แก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ห้องแล็บชีวเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์วิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณพงศ์ไท ทาสระคุ ที่ช่วยผู้วิจัยสร้างเครื่องมือการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ อาจารย์ นิจศิริ เรืองรังษี และ คุณกรรมงาม อินคัม ที่แนะนำหัวข้อนี้ให้แก่ผู้วิจัย และพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

สุดท้าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้กำลังใจ ความเข้าใจแก่ผู้วิจัย ซึ่งช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ และให้ความสนับสนุนทางการเงินตลอดการวิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ด

### บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.2 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 ขมิ้นชัน.....	5
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	5
2.1.2 การนำเข้าส่งออกขมิ้นชันในตลาดโลก.....	6
2.1.3 การขยายพันธุ์ขมิ้น.....	7
2.1.4 การเตรียมขมิ้นชันเพื่อส่งออกตลาด.....	8
2.1.5 ประโยชน์ของขมิ้นชัน.....	10
2.2 สารเคอร์คูมินอยด์.....	12
2.3 รูปแบบสารสกัดจากขมิ้นชัน.....	13
2.3.1 ชั้นสีจากขมิ้น.....	13
2.3.2 ผงเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์.....	14
2.4 น้ำมันระเหยจากขมิ้น.....	17
2.4.1 การสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่น.....	19
2.4.2 การสกัดน้ำมันระเหยด้วยตัวทำละลาย.....	22
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์.....	23

บทที่	หน้า
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว.....	27
2.6.1 การรวมตัวในรูปไมเซลล์.....	29
2.6.2 การละลายของสารละลายลดแรงตึงผิว.....	30
2.6.3 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว.....	31
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	34
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	39
3.3 วิธีการทดลอง.....	43
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบ.....	43
3.3.2 ขั้นตอนการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	46
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	49
4.1 การทดลองเพื่อหาวิธีการเตรียมวัสดุดิบที่เหมาะสม.....	49
4.1.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันระเหย ระหว่างวิธีการกั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกั่นด้วยไอน้ำโดยตรง.....	50
4.1.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่เหลืออยู่ ในผงขมิ้นชันหลังสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกั่นด้วยไอน้ำโดยตรง.....	51
4.2 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	53
4.2.1 ผลของความเร็วยรอบการปั่นกวน ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	53
4.2.2 ผลของอุณหภูมิและเวลา ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	57
4.2.3 ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	64
4.2.4 ผลของขนาดผงขมิ้นชันต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	68
4.2.5 ผลของความเข้มข้นของสารทวิน 80 ในตัวทำละลาย ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	71
4.2.6 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	75



## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5. การวิเคราะห์การลงทุน.....	81
5.1 รายละเอียดกระบวนการผลิตสารเคอร์คิวมินอยด์จากขมิ้นชัน.....	81
5.2 การประเมินเงินลงทุนในการสร้างโรงงานผลิตสารเคอร์คิวมินอยด์.....	85
5.3 การประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์โดยรวม.....	90
5.4 อัตราผลตอบแทนการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน.....	96
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	102
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก.....	106
ภาคผนวก ข.....	110
ภาคผนวก ค.....	134
ภาคผนวก ง.....	177
ภาคผนวก จ.....	178
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	181

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงมูลค่าการนำเข้าสารให้สีธรรมชาติจากพืชและสัตว์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ถึง 2544.....	2
2.1 ขมิ้นชัน <i>Curcuma domestica</i> Val.....	6
2.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารเคอร์คูมินอยด์.....	12
2.3 เครื่องกลั่นน้ำมันระเหยแบบใช้น้ำระดับอุตสาหกรรม.....	22
2.4 แสดงการจัดเรียงตัวของโมเซลล์ในสารละลาย.....	29
2.5 แสดงตำแหน่งการละลายของสารอินทรีย์ภายในโมเซลล์.....	30
3.1 อุปกรณ์การกลั่นด้วยน้ำร้อน.....	41
3.2 อุปกรณ์การกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง.....	41
3.3 อุปกรณ์การสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน.....	42
3.4 แสดงขั้นตอนการสกัดน้ำมันระเหยออกจากขมิ้นชัน.....	45
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำมันระเหยที่กลั่นได้ กับเวลาการสกัดเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง.....	50
4.2 เปรียบเทียบค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน หลังการสกัด ระหว่างวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง.....	50
4.3 เปรียบเทียบค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน หลังสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง.....	52
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการสกัดกับความเร็วรอบการปั่นกววน ในช่วงระหว่าง 200 ถึง 540 รอบต่อนาที.....	54
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการสกัดกับอุณหภูมิและเวลาการสกัด ที่อุณหภูมิ 35 ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	58
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชัน ต่อปริมาตรตัวทำละลาย กับค่าร้อยละการสกัด ในช่วงอัตราส่วน ตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.....	65
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผงขมิ้นชันกับค่าร้อยละการสกัด.....	69
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารทวิน 80 กับค่าร้อยละการสกัด.....	72

4.9	แสดงลักษณะไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวจำพวก พอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิเทน เอสเทอร์ และ ตำแหน่งของตัวถูกละลายภายในไมเซลล์.....	73
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว กับค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะอิ่มตัว.....	74
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย กับค่าร้อยละการ-สกัด ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของ ตัวทำละลายระหว่าง 3 ถึง 7.....	77
5.1	แผนภูมิกระบวนการ.....	83
5.2	แสดงต้นทุนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนผลิตภัณฑ์โดยรวม สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเคมี.....	91
ก-1	อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน.....	107
ก-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับ ค่าความเข้มข้น ของสารเคอร์คูมินอยด์.....	109
ค-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วการตกตะกอนกับขนาดผงขมิ้นชัน.....	137
ค-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาและขนาดของถังปั่นกวนรวมราคา เครื่องปั่นกวนและแจ็กเก็ต.....	140
ค-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และอัตราส่วน-ระหว่างค่าความเร็วรอบการปั่นกวน ก่อนและหลัง การขยายกำลังผลิต.....	141
ค-4	แสดงระหว่างค่าเพาเวอร์อินน์เบอร์กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์สำหรับ ใบกวนรูปแบบต่าง ๆ .....	143
ค-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาและขนาดของถังแนวตั้ง.....	147
ค-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ กับปัจจัยการผสม สำหรับการผสมของเหลวซึ่งเข้ากันได้ ใน turbine-agitated baffled vessel.....	154
ค-7	แสดงขอบเขตทั่วไปของการใช้งานเซนทริฟูจัลปั๊ม.....	174
ค-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความสูงและกำลังงานของปั๊ม กับอัตราการไหลของสารสำหรับปั๊มแบบเซนทริฟูจัล.....	175

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อกำหนดของผงขมิ้นชั้นในทางการค้า.....	11
2.2 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันระเหยจากขมิ้นชั้น พร้อมทั้งสูตรโครงสร้างแบ่งแยกตามจำพวกสาร.....	18
2.3 แสดงชนิดของสารลดแรงตึงผิวประเภทต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารพร้อมทั้งค่าHLB.....	28
3.1 แสดงสภาวะการทดลองในขั้นตอนการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชั้น.....	35
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการปั่นกวน กับ ค่าร้อยละการสกัด ในช่วงความเร็วรอบการปั่นกวน ตั้งแต่ 200 ถึง 540 รอบต่อนาที และเวลาการสกัด ตั้งแต่ 0 ถึง 80 นาที.....	53
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัดเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ การปั่นกวนในช่วงระหว่าง 340 ถึง 540 รอบต่อนาที.....	56
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการสกัดกับค่าร้อยละการสกัด ที่อุณหภูมิการสกัด 35,40,45,50,55,60,65,70 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด ตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที.....	57
4.4 แสดงค่าความหนาแน่นและความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	61
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดจาก 20 นาที เป็น 40 นาที.....	63
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขมิ้นชั้น ต่อปริมาตรตัวทำละลาย กับ ค่าร้อยละการสกัด ในช่วงอัตราส่วนตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.....	64
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด กับการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขมิ้นชั้นต่อปริมาตรตัวทำละลาย.....	67
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผงขมิ้นชั้นต่อการสกัด เคอร์คูมินอยด์ที่ขนาดผงขมิ้นชั้น < เมช 30 ระหว่างเมช 30-60 ระหว่างเมช 60-140 ระหว่างเมช 140-170 > เมช 170.....	68

ตารางที่	หน้า
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารทวิน 80 ในตัวทำละลายต่อ ค่าร้อยละการสกัด ที่ค่าความเข้มข้น 0.5,1,5,10,20 % โดยน้ำหนัก.....	71
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ เมื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้กรดซิตริก (citric acid).....	76
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ เมื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์.....	76
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายกับค่าร้อยละการสกัด ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3 ถึง 7.....	77
4.13 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากชุดการทดลองที่ 4.2.1 ถึง 4.2.5 และไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	79
4.14 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังการทดลอง โดยให้ความร้อนแก่ระบบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที.....	80
5.1 แสดงค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินเงินลงทุนเริ่มแรกสำหรับสร้างโรงงาน.....	85
5.2 แสดงต้นทุนอุปกรณ์หลักสำหรับโรงงานผลิตสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน โดยใช้สารละลายทวิน 80 เป็นตัวทำละลาย.....	88
5.3 แสดงเกณฑ์เบื้องต้นในการประเมินต้นทุนซ่อมบำรุง แบ่งตามสภาวะการดำเนินงาน.....	93
ข-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรตัวทำละลายกับเวลาการสกัด เปรียบเทียบระหว่างวิธีการกั่นด้วยน้ำร้อนและวิธีการกั่นด้วยไอน้ำ.....	110
ข-2 เปรียบเทียบค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน หลังการสกัดระหว่างวิธีการกั่นด้วยน้ำร้อนและวิธีการกั่นด้วยไอน้ำ.....	111
ข-3 เปรียบเทียบค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน หลังการสกัดด้วยวิธีการกั่นด้วยไอน้ำ.....	113



ตารางที่	หน้า
ข-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด กับค่าการดูดกลืนแสง และ ค่าร้อยละการสกัดในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันที่ อุณหภูมิการสกัด 55 องศาเซลเซียส.....	123
ข-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด กับค่าการดูดกลืนแสง และ ค่าร้อยละการสกัดในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันที่ อุณหภูมิการสกัด 60 องศาเซลเซียส.....	124
ข-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด กับค่าการดูดกลืนแสง และ ค่าร้อยละการสกัดในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันที่ อุณหภูมิการสกัด 65 องศาเซลเซียส.....	125
ข-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัด กับค่าการดูดกลืนแสง และ ค่าร้อยละการสกัดในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันที่ อุณหภูมิการสกัด 70 องศาเซลเซียส.....	126
ข-17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน.ขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย กับค่าการดูดกลืนแสง และ ค่าร้อยละการสกัด ในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน.....	127
ข-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผงขมิ้นชัน กับค่าการดูดกลืนแสง และ ค่าร้อยละการสกัด ในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน.....	128
ข-19 แสดงร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ก่อนและหลังสกัด น้ำมันหอมระเหย ออกจากขมิ้นชัน พร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ เคอร์คูมินอยด์สูญเสียระหว่างการสกัด.....	129
ข-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารทวิน 80 กับค่าการดูดกลืนแสง และค่าร้อยละการสกัด ในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน.....	130
ข-21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้น ของสารเคอร์คูมินอยด์ในตัวทำละลาย ที่ค่าความเข้มข้น ของสารทวิน 80 ในตัวทำละลาย เท่ากับ 0.5,1,5,10,20 %โดยน้ำหนัก.....	131

ตารางที่	หน้า
ข-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย และค่าร้อยละการสกัด ในการสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน.....	132
ข-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับค่าความเข้มข้น ของสารเคอร์คูมินอยด์ในตัวทำละลาย ที่ค่าความเข้มข้นของสารทวิน 80 ในตัวทำละลาย เท่ากับ 0.5,1,5,10,20 %โดยน้ำหนัก.....	133
ค-1 แสดงราคาของถังสกัดพร้อมทั้งราคาพลังงานที่ใช้ในสกัดต่อปี.....	150
ค-2 แสดงเกณฑ์ในการเลือกค่าความเร็วมวลสารที่เหมาะสมสำหรับถังผสม.....	150
ค-3 แสดงความเกณฑ์เบื้องต้นในการเลือกจำนวนใบพัดสำหรับถังกวน.....	153
ค-4 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างราคาและกำลังงานของเครื่องปั่นกวน ในปี ค.ศ. 1987.....	153
ค-5 สรุปราคาของถังเตรียมตัวทำละลาย ราคาเครื่องปั่นกวน พร้อมทั้งราคา พลังงานที่ใช้ในการเตรียมตัวทำละลายต่อปี.....	155
ค-6 สรุปราคาของถังผสม ราคาเครื่องปั่นกวน พร้อมทั้งราคา พลังงานที่ใช้ในการเตรียมตัวทำละลายต่อปี.....	164
ค-7 แสดงค่าความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการไหลภายในท่อสแตนเลส.....	171
ค-8 แสดงระดับของของเหลวในอุปกรณ์หลัก และตำแหน่งที่บ่อนสาร เข้าสู่อุปกรณ์หลักเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหา กำลังงาน ชนิดและราคาของปั๊ม P102 P103 และP104.....	176
ค-9 สรุปผลการคำนวณค่ากำลังงาน ชนิดและราคา ของเครื่องสูบน้ำ P101 ,P102 ,P103 P104 พร้อมทั้งราคาพลังงานที่ใช้สำหรับปั๊มแต่ละชนิดต่อปี.....	176
ง-1 แสดงเลขดัชนีราคาโรงงานอุตสาหกรรม.....	177
จ-1 แสดงค่าร้อยละการสกัดและค่าร้อยละการเบี่ยงเบนของผลการทดลอง ที่อุณหภูมิการสกัด 60 องศาเซลเซียส เวลาการสกัด 20 นาที.....	179
จ-2 แสดงค่าร้อยละการสกัด และค่าร้อยละการเบี่ยงเบนของผลการทดลอง ที่อุณหภูมิการสกัดตั้งแต่ 35 ถึง 70 องศา-เซลเซียส และเวลาการสกัด 0 ถึง 120 นาที.....	180



## สัญลักษณ์

$k_L$	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer coefficient)
$D_{AB}$	ค่าการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusivity)
$\delta$	ค่าความหนาของชั้นฟิล์มขอบเขต (boundary layer thickness)
$L$	ความยาวคุณลักษณะ (characteristic length)
$N_A$	อัตราการถ่ายโอนมวลสาร (rate of mass transfer)
$A$	พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสของแข็ง-ของเหลว (external surface area)
$C_{AS}$	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส (the concentration of solute at solid-liquid interphase)
$C_A$	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่เวลา $t$ ใด ๆ (the concentration of solute in bulk solution at time $t$ )
$V$	ปริมาตรของตัวทำละลาย
$\%R(t)$	ค่าร้อยละการสกัด (%recovery) ที่เวลา $t$ ใด ๆ
$M_0$	ปริมาณสารเคอร์คิวมินอยด์เริ่มต้นในผงขมิ้นชัน