



การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคสกัด
คาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวดระดับนำร่อง

โดย

นายชยานนท์ เภาโบรมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคสกัด
คาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวดระดับนำร่อง

โดย

นายชยานนท์ เกาโบรมย์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



COST ANALYSIS OF PILOT-SCALE PLANT FOR SUGARCANE WAX
EXTRACTION USING SUPERCRITICAL CO₂ TECHNIQUE

BY

MR CHAYANONE PAOBOROME



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ENGINEERING
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY MANAGEMENT)

DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายชยานนท์ เกาโบรมย์

เรื่อง

การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการสกัดไข้อยู่ด้วยเทคนิคสกัดคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวดระดับนำร่อง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤชตานุรักษ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



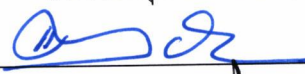
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันวิสาข์ สกลภาพ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



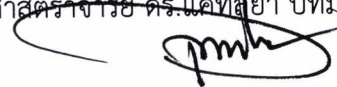
(ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร.แควลิยา ปัทมพรหม)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคสกัดคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวดระดับนำร่อง
ชื่อผู้เขียน	นายชยานนท์ เกาโบราณย์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.วันวิสาข์ สกลภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

กากหม้อกรองเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการขั้นตอนการทำน้ำอ้อยให้ใส ในโรงงานน้ำตาล ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่างเช่น ไข ซึ่งไขอ้อยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือสารประกอบโพลีโคซานอลได้ โพลีโคซานอลเป็นสารประกอบที่มีมูลค่าสูงในปัจจุบันแต่ยังไม่มีต้นแบบการผลิตระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองระดับนำร่องด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดกับตัวทำละลายร่วมเอทานอล โดยมีอัตราป้อนกากหม้อกรอง 60 กิโลกรัม/วัน โดยกำหนดตัวแปรความดันที่ 100, 150 และ 200 บาร์ อุณหภูมิที่ 50 และ 70 องศาเซลเซียส และเวลาที่ 60 และ 30 นาที ตามลำดับ จำนวนสภาวะทั้งหมด 12 สภาวะ ผลการทดลองพบว่าสภาวะการสกัดที่ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 60 นาที ให้ค่าผลได้ของไขอ้อยแห้งสูงที่สุด เท่ากับ 134.62 กรัมต่อกากหม้อกรองแห้ง 10 กิโลกรัม ในการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองระดับนำร่องด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดเป็นการเปรียบเทียบระหว่างโครงการที่มีการลงทุนค่าเครื่องจักรกับโครงการเช่าเครื่องจักรพบว่า ผลการประเมินราคาขายไขอ้อยสกัดด้วยวิธีของไหลวิกฤตยิ่งยวดภายใต้สภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับโครงการที่มีการลงทุนค่าเครื่องจักร โดยกำหนดระยะเวลาคืนทุนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3 ปี 5 ปี และ 7 ปี พบว่าราคาขาย ณ จุดคุ้มทุน เท่ากับ 26.5, 21.6 และ 19.6

บาทต่อกรัมไข่อ้อย ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับการลงทุนจากการเช่าเครื่องสกัดไข่อ้อยพบว่า ราคาขายอยู่ที่ 11.74 บาทต่อกรัม พบว่าราคาขายไข่อ้อยสำหรับโครงการที่ลงทุนซื้อเครื่องจักรจะต้องตั้งราคาขายสูงกว่าโครงการเช่าเครื่องจักรประมาณ 0.7-1.25 เท่า ความดันในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 150 บาร์ เป็น 200 บาร์ทำให้ราคาขายไข่อ้อยลดลง 41.97% อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น จาก 50 องศาเซลเซียสเป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้ราคาขายไข่อ้อยลดลง 29.63 % และเวลาในการสกัด นานขึ้นจาก 30 นาทีเป็น 60 นาที ทำให้ราคาขายไข่อ้อยลดลง 22.22 %

คำสำคัญ: ไข่อ้อย, กากหม้อกรอง, การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤติยิ่งยวด, การวิเคราะห์ต้นทุน



Thesis Title	COST ANALYSIS OF PILOT-SCALE PLANT FOR SUGARCANE WAX EXTRACTION USING SUPERCRITICAL CO ₂ TECHNIQUE
Author	Mr. Chayanone Paoborome
Degree	Master of engineering
Department/Faculty/University	Energy and Environmental Technology Management Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Wanwisa Skolpap, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Kittiwut Kasemwong, Ph.D.
Academic Years	2015

ABSTRACT

Filter cake or press mud is a waste collected from sugarcane juice treatment in a sugar production process. It contains several chemical components such as ester wax and fatty alcohol which can be extracted as policosanol. Policosanol is highly valued in the market; nevertheless, the industrial-scale production and purification of policosanol in Thailand has not yet been developed. The research aimed to study economic feasibility of a pilot-scale manufacturing for further scaling up to its industrial scale of sugarcane wax extraction from filter cake by using supercritical CO₂ technique. Sugarcane wax was extracted from 60 kg filter cake/day by supercritical CO₂ extraction with ethanol as co-solvent. To investigate optimal operating condition for sugarcane wax extraction the effect of studied parameters on sugarcane wax yield was studied by a variation of pressure, i.e., 100, 150 and 200 bar, a variation of temperature, i.e., 50 and 70°C and a variation of extraction time, i.e., 30 and 60 minutes. Amongst 12 experimental conditions the highest yield of 134.62 g dried wax per 10 kg of dried filter cake was achieved under supercritical CO₂ extraction condition of 200 bar, 70°C and 60 minutes. The economic feasibility for

pilot-scale of sugarcane wax extraction using supercritical CO₂ technique was compared between equipment investment and renting equipment projects. The sales price of sugarcane wax for the project of equipment investment was calculated by variation of payback period such as 3 years, 5 years and 7 years. The corresponding break-even sales prices per one-gram sugarcane wax extracted under the optimal extraction condition were 26.5, 21.6 and 19.6 baht, respectively. Comparing to the break-even sales price of 11.74 per one-gram sugarcane wax extracted from the rental equipment project the sugarcane wax sales price of the project of equipment investment was about 0.7- to 1.25-fold higher than that of the rental equipment project. The values of experimental parameters were adversely affected the sugarcane wax sales price. At the increase of extraction pressure from 150 to 200 bar and the increase of temperature from 50 to 70°C the sales price was decreased about 41.97% and 29.63%, respectively. Moreover, at the increase of extraction time from 30 to 60 minutes the sales price was decreased about 22.22%.

Keywords: Sugarcane wax, Press mud, Supercritical CO₂ extraction technique, Cost analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างสูงของ รองศาสตราจารย์ ดร.วันวิสาข์ สกลภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินการวิจัยและการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.แคทลียา ปัทมพรหม ที่ให้ความกรุณาร่วมเป็นประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ให้กับผู้วิจัยและขอขอบพระคุณ ดร.สุวัชชัย จรัสโสภณ นักวิจัยแห่งสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในความช่วยเหลือเรื่องการทดลองและคำแนะนำต่างๆ รวมถึงผู้ช่วยวิจัยและวิศวกรของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติและทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ขอขอบคุณพี่ขวัญมนัส มิตรสุพรรณ เจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ช่วยเหลือแนะนำในการนำส่งเอกสารต่างๆและสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ศรีรัตนา ภูศิริภิญโญ บุพการีผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัย

นายชยานนท์ เภาโบรมย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	2
1.1.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลและกากหม้อกรอง	2
1.1.2 ไซอ้อยและสารโพลีโคซานอล	4
1.2 วัตถุประสงค์	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ประเภทของการสกัดในระดับอุตสาหกรรม	8
2.1.1 การกลั่นโดยไซไอน้ำ	8
2.1.2 การใช้แรงบีบอัดในการสกัดน้ำมัน	8

2.1.3 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย	9
2.1.4 การสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	14
3.1 สถานที่	14
3.2 อุปกรณ์	14
3.3 หลักการทำงานของเครื่อง Supercritical CO ₂ Extraction	16
3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษา	18
3.5 ขั้นตอนที่ทำการศึกษา	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	20
4.1 ผลการทดลอง	20
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	23
4.2.1 ผลของเวลาการสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ที่มีต่อค่าผลได้ (yield) ของไซอ้อย	23
4.2.2 ผลของความดันในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ที่มีต่อค่าผลได้ (yield) ของไซอ้อย	24
4.2.3 ผลของอุณหภูมิในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ที่มีต่อค่าผลได้ (yield) ของไซอ้อย	26
4.3 วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์	27
4.3.1 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จุดคุ้มทุน 3 ปี	29
4.3.2 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จุดคุ้มทุน 5 ปี	30
4.3.3 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จุดคุ้มทุน 7 ปี	31
4.3.4 การคำนวณค่าเสื่อมราคา จาก Straight Line Method	32
4.4 ผลของอุณหภูมิในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ต่อราคาขายไซอ้อย ณ จุดคุ้มทุน	33

4.5 ผลของความดันในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ต่อราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุน	34
4.6 ผลของระยะเวลาในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ต่อราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุน	35
4.7 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ต่อราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุน	36
4.7.1 ผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on investment, ROI)	36
4.7.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	41
5.1 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
รายการอ้างอิง	43
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก กระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 5ปี และ 7ปี	47
ภาคผนวก ข รายการคำนวณค่าไฟฟ้า	58
ประวัติผู้เขียน	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ข้อมูลธาตุอาหารต่างๆในกากหมักกรองเก่าและใหม่	3
3.1 ตัวอย่างการจัดการทดลองแบบ Two-level factorial	18
4.1 ผลการทดลองและปริมาณน้ำหนักรายไข่อ้อยที่สกัดได้	20
4.2 สมมติฐานการวิเคราะห์ด้านการเงิน	27
4.3 ผลตอบแทนการลงทุนที่คำนวณได้จากค่าผลได้ของไข่อ้อยที่สกัด ภายใต้ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาที	37
4.4 เปรียบเทียบราคาขายของไข่อ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ	38
4.5 กระแสเงินปัจจุบันจากการเช่าเครื่องที่จุดคຸ້ມທຸນภายใน 12 เดือน	40

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	4
1.2	5
3.1	15
3.2	15
3.3	16
4.1	22
4.2	23
4.3	24
4.4	25
4.5	26
4.6	29
4.7	30
4.8	31
4.9	32
4.10	33

- 4.11 ความสัมพันธ์ราคาขายไฮอ้อย ณ จุดคุ้มทุนกับระยะเวลาคืนทุน
ภายใต้ต้นทุน 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลา 60 นาที
เมื่อเปรียบเทียบความดัน 150 และ 200 บาร์ 34
- 4.12 ความสัมพันธ์ราคาขายไฮอ้อย ณ จุดคุ้มทุนกับระยะเวลาคืนทุน
ภายใต้ต้นทุน 70 องศาเซลเซียสและความดัน 200 บาร์
เมื่อเปรียบเทียบเวลา 30 และ 60 นาที 35
- 4.13 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ จากการเช่าเครื่อง ณ จุดคุ้มทุน
เมื่อกำหนดระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 12 เดือน 37



รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
pH	Potential of Hydrogen
N	Nitrogen
P ₂ O ₅	Phosphorus Pentoxide
K ₂ O	Potassium oxide
MgO	Magnesium oxide
CaO	Calcium oxide
S	Sulfur
LDL	Low-density lipoprotein
HDL	High-density lipoprotein
CO ₂	Carbon dioxide
MPa	mega pascal
°C	degree Celsius
SFE	Supercritical fluid extraction
KVAR	kilovolt-amperes reactive
kV	kilovolt
F _t	Float time
SPP	Simple Payback period

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยของประเทศไทยได้รับการพัฒนาจนกลายเป็นอุตสาหกรรมเกษตรขนาดใหญ่ โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตอ้อยรายใหญ่อันดับสี่ของโลก รองจากบราซิล อินเดีย และจีน และเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับสองของโลก รองจากบราซิล ผลผลิตน้ำตาลของไทยส่วนใหญ่ร้อยละ 75 จะถูกส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศส่วนที่เหลือจะเป็นการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ การนำเข้าน้ำตาลจากต่างประเทศจะมีปริมาณไม่มากนักเนื่องจากผลผลิตน้ำตาลภายในประเทศผลิตได้มากกว่าความต้องการใช้ในประเทศ ประกอบกับภาชน้ำเข้าที่ค่อนข้างสูง โดยรายได้และมูลค่ารวมของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลในประเทศไทยทั้งระบบมีมูลค่าประมาณ 200,000 ล้านบาท จากข้อมูลสถิติการเกษตรของไทยในปี 2557/2558 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกอ้อยภายในประเทศ ประมาณ 8.52 ล้านไร่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกษตรกรเปลี่ยนจากการปลูกข้าวเป็นหลักเป็นปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นแทน ทำให้ผลผลิตอ้อยป้อนเข้าโรงงานอยู่ที่ 103.1 ล้านตัน โดยสามารถผลิตน้ำตาลได้ 10.37 ล้านตันและกากน้ำตาลประมาณ 4.55 ล้านตันตามลำดับ ส่งผลให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอ้อยและน้ำตาลเป็นจำนวนมาก เช่น การผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล หรือ ไบโอดีเซล และอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากเศษซากของอ้อยเช่น ปุ๋ยอินทรีย์, กระจาดอ้อย, ไม้ปาดคิลและอื่นๆ เป็นต้น สามารถเพิ่มมูลค่าโดยตรงกับอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลในประเทศไทย อีกทั้งยังสามารถช่วยยกระดับราคาและสินค้าในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆได้อีกด้วย (ที่มา: ข้อมูลอ้อยและน้ำตาลทรายเพื่อใช้ประกอบการเยี่ยมชมโรงงานน้ำตาลในกลุ่มราชบุรีและโครงสร้างโรงงานน้ำตาลในจังหวัดกาญจนบุรี, สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, วันจันทร์ที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2557)

ในขั้นตอนการทำใสของน้ำอ้อยของกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อยโรงงานต้องนำน้ำอ้อยผ่านเครื่องกรอง จะได้น้ำอ้อยที่มีสิ่งเจือปนอยู่น้อย และผลพลอยได้คือกากหม้อกรอง ถึงแม้ว่ากากหม้อกรองประกอบด้วยไซอ้อยซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเวชสำอาง เช่น แชมพู ครีมนวดผม โลชั่น อุตสาหกรรมเคลือบอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์ ถ้าเป็นไซอ้อยที่มีเกรดอาหารสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารเสริม จากผลการวิจัย^[1,2] ระบุว่าในไซอ้อยที่สกัดได้จากกากหม้อกรองของกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล มีสารประกอบโพลีโคซานอล (Policosanol) เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งสารนี้มีคุณสมบัติลดความดันโลหิต ลดไขมันแอลดีแอล ลดไตรกลีเซอไรด์ ลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในกระแสเลือดและช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจได้^[3,4,5] ซึ่งเหมาะเป็นอย่างยิ่งที่จะมีการพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมหรือยา ซึ่งถ้าสามารถนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศได้สำเร็จจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงจะได้อาหารเสริมที่มีราคาสมเหตุสมผลและเป็นทางเลือกอีกตัวหนึ่งสำหรับผู้บริโภค

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การสกัดไขมันจากส่วนประกอบของพืช เช่น รำข้าว หรืออ้อย และการนำไขมันไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเภสัชภัณฑ์ นอกจากนี้ไขมันเหล่านี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ โพลีโคซานอล (Policosanol) การผลิตสารโพลีโคซานอล (Policosanol) เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในเชิงพาณิชย์นั้นมีมานานและส่วนใหญ่พบในต่างประเทศเช่นใน อเมริกา ยุโรป หรือเอเชียใต้ ซึ่งแตกต่างจากอุตสาหกรรมการผลิตโพลีโคซานอลจากส่วนประกอบของพืชในประเทศไทย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีเพียงการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ยังไม่มีการศึกษาในระดับนำร่องเพื่อต่อยอดในระดับอุตสาหกรรม ในปัจจุบันความนิยมในการดูแลสุขภาพกันมากขึ้นทั้งคนในวัยทำงานและผู้สูงอายุ รวมทั้งกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติ ทำให้ความต้องการผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและสมุนไพรไทย มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการเติบโตอุตสาหกรรมอาหาร ในปัจจุบันสารโพลีโคซานอลสามารถสกัดจากไขรำข้าวหรือไขอ้อยยังมีราคาขายที่ค่อนข้างสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ปริมาณกากหม้อกรองที่เหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลในประเทศไทยประมาณ 1.5-3 ตันต่อปี ^[6] ซึ่งโรงงานแจกจ่ายให้กับเกษตรกรเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย ดังนั้นการสกัดไขมันจากกากหม้อกรองที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากหม้อกรองและลดการนำเข้าไขมันจากส่วนประกอบของพืชได้อีกด้วยในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานต้นแบบสำหรับสกัดไขมัน งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการสกัดไขมันในระดับนำร่องเพื่อนำไปสู่การต่อยอดเป็นกระบวนการสกัดระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.1.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลจากกากหม้อกรอง

ในขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลโดยทั่วไป (ภาพที่ 1.1) จะเริ่มจากการสกัดน้ำอ้อยโดยผ่านอ้อยเข้าไปในชุดลูกหีบ จากนั้นกากอ้อยที่ผ่านการสกัดน้ำอ้อยแล้วจะถูกนำไปเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายในเตาหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำมาใช้ในการผลิตต่างๆภายในโรงงานน้ำตาล จากนั้นกระบวนการต่อไปคือการทำใส่น้ำอ้อย (Juice Purification Process) น้ำอ้อยที่สกัดได้ทั้งหมดจะเข้าสู่กระบวนการทำใสเพราะในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยนั้นจะมีสิ่งสกปรกต่างๆ จึงต้องแยกเอาส่วนที่ไม่ต้องการเหล่านี้ออกโดยผ่านวิธีการต่าง ๆ เช่นการผ่านชุดเครื่องกรองต่างๆ และโดยวิธีเคมี เช่นการตกตะกอนสิ่งปนเปื้อนด้วยปูนขาว เป็นต้น อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการผลิตนี้จะได้ของเสียจากการผลิตส่วนหนึ่งเรียกว่ากากหม้อกรอง

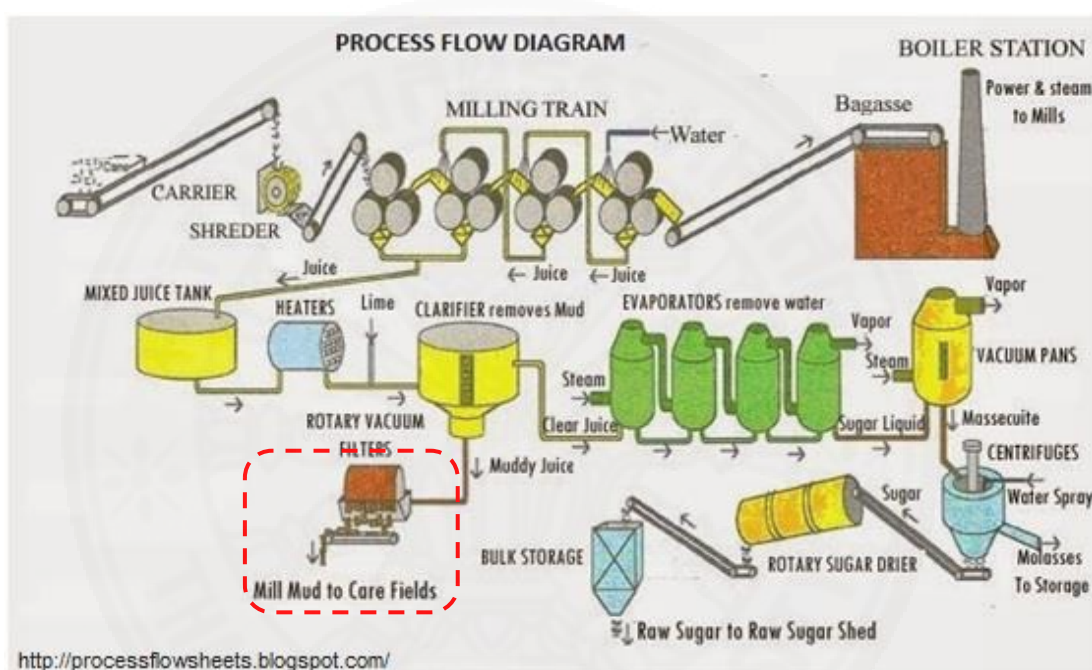
กากหม้อกรอง (Filter Press Cake) คือกากตะกอนที่แยกจากน้ำอ้อยในขั้นตอนการทำน้ำอ้อยให้ใส (Clarification) โดยการกรองผ่านหม้อกรองสุญญากาศ (Vacuum rotary filter) ปริมาณที่ได้จะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระบบการผลิต โรงงานน้ำตาลที่ใช้ระบบ Sulphitation จะมีกากหม้อกรองประมาณ 3-5% ของน้ำหนักอ้อย โรงงานน้ำตาลที่ใช้ระบบ carbonation จะมีกากหม้อกรองประมาณ 7-9% ของน้ำหนักอ้อย โดยปกติกากหม้อกรองเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล และการใช้ประโยชน์จากกากหม้อกรองยังไม่พบมากนัก นอกเหนือจากเกษตรกรบางส่วนจะนำกากหม้อกรองไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งเหมาะสำหรับดินที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส (ดังตารางที่ 1.1) หรือมีการนำกากหม้อกรองไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ การสะสมกากหม้อกรองที่แห้งมากอาจถูกเป็นไฟได้เองเนื่องจากความร้อนที่สะสม นอกจากนี้ในกากหม้อกรองนี้ยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการสกัดไขมันและสารโพลีโคซานอล (Policosanol) จากไขอ้อยได้อีกด้วย

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลธาตุอาหารต่างๆในกากหม้อกรองเก่าและใหม่

รายละเอียดธาตุอาหารต่าง ๆ	ตัวอย่างที่ 1(พ.ศ.2518)	ตัวอย่างที่ 2(พ.ศ. 2519)
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนรวม (N)	2.53	2.63
เปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตรวม (P_2O_5)	8.82	8.79
เปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	8.64	8.53
เปอร์เซ็นต์โปแตสเซียมรวม (K_2O)	0.32	0.49
เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมรวม (MgO)	1.22	1.19
เปอร์เซ็นต์แคลเซียมรวม (CaO)	19.02	17.16
เปอร์เซ็นต์กำมะถันรวม (S)	0.00	0.00
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	8.94	67.36
ความเป็น กรด - ต่าง (pH)	7.40	8.30

ที่มา: งานวิเคราะห์ปุ๋ยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร ^[7]

ส่วนน้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้วจะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้ม (Multiple Evaporator) เพื่อระเหยเอาส่วนของน้ำออกโดยประมาณ 65-75% โดยน้ำอ้อยชั้นที่ออกมาจากหม้อต้มลูกสุดท้ายจะถูกเรียกว่า น้ำเชื่อม (Syrup) หลังจากนั้นน้ำเชื่อมที่ได้จากการต้มจะถูกนำเข้าหม้อเคี้ยวระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อเคี้ยวและระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัวและที่จุดนี้ผลึกน้ำตาลจะเกิดขึ้นมา โดยที่ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี้ยวนี้รวมเรียกว่า แมสซิควิท (Massecurite) แมสซิควิทที่ได้จากการเคี้ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาล โดยใช้เครื่องปั่น (Centrifugal) และผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็ผลผลิตที่ถูกเรียกว่าน้ำตาลดิบ

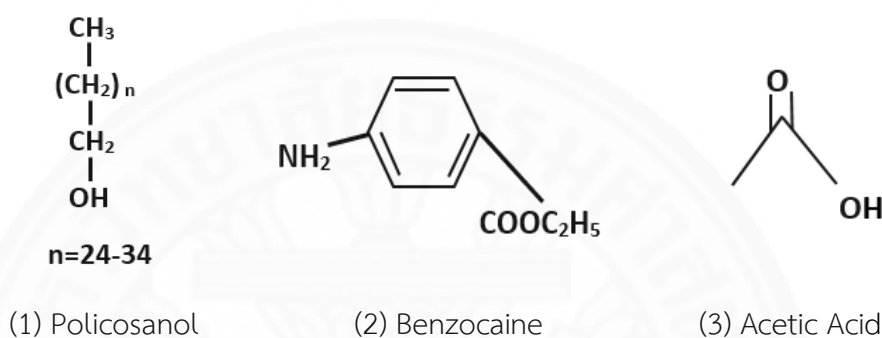


ภาพที่ 1.1 กากหม้อกรองจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล [8]

1.1.2 ไซอ้อยและสารโพลีโคซานอล

ส่วนประกอบของไซอ้อยประกอบด้วยส่วนผสมของแอลกอฮอล์แบบห่วงโซ่ยาวที่มีความยาว (C18-C32 คาร์บอน) ประมาณ 70% และส่วนประกอบของกรดไขมันประเภทอื่น ๆ และเรซิน ไซอ้อยก่อนทำให้บริสุทธิ์จะประกอบด้วยเรซินมากถึง 25 เปอร์เซ็นต์และส่วนของสารประกอบโพลีโคซานอลมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ไซจากอ้อยจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ในกรณีของการบริโภค โดยไม่ได้ตั้งใจก็จะถูกขับถ่ายออกตามธรรมชาติ ลักษณะสีของไซอ้อยจะมีสีเหลืองอ่อน โดยมีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 75 ถึง 80 องศาเซลเซียส ทำให้มันยังคงรูปแม้ว่าสัมผัสกับแสงแดดโดยตรง

สารโพลีโคซานอลเป็นส่วนผสมของแอลิฟาติกแอลกอฮอล์พันธะยาว (C20-C36 คาร์บอน) ที่พบได้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติเช่น ไชราข้าว ไซเปิล็อกอ้อย มันเทศ หรือไซฟิงเป็นต้น ส่วนประกอบหลักของโพลีโคซานอลคือ ออกตะโคซานอล ($\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{27}\text{-OH}$) (C28) ประมาณ 66% แต่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆรองลงมาเช่น ไตรอะโคซานอล (C30) 12% เฮกซะโคซานอล (C26) 7% เตตระโคซานอล (C24) และไขมันแอลกอฮอล์อื่นๆประมาณ 15%



ภาพที่ 1.2 โครงสร้างสารโพลีโคซานอลเทียบกับสารประกอบประเภทอื่น

จากการศึกษาในระดับคลินิกและปริคลินิกซึ่งถูกตีพิมพ์ในวารสารทางการแพทย์และทางวิทยาศาสตร์หลายฉบับแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีของสารประกอบโพลีโคซานอลจากไซออยที่ช่วยในการเผาผลาญและลดปริมาณไขมันโคเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL-Cholesterol) โดยเฉลี่ยได้มากถึงร้อยละ 33%^[9] จากการกระตุ้นให้ตับทำงานมีประสิทธิภาพทำลายหรือเผาผลาญไขมันโคเลสเตอรอลที่เกิดจากการสะสมในร่างกายได้ดียิ่งขึ้นและยังสามารถช่วยกระตุ้นการสร้างไขมันโคเลสเตอรอลชนิดดี (HDL-Cholesterol) ซึ่งจะทำหน้าที่นำพาไขมันที่สะสมและอุดตันตามผนังหลอดเลือดกลับไปทำลายที่ตับและลดการอุดตันและการจับตัวกันของเกล็ดเลือดได้ช่วยป้องกันภาวะความหนาตัวของผนังหลอดเลือดและฟื้นฟูสมรรถภาพการทำงานของหัวใจและตับ^[9] จากการศึกษาอ้างอิงจากอาสาสมัครจำนวนหนึ่งที่รับประทานโพลีโคซานอลในระดับที่มีการควบคุมไว้^[5] ซึ่งการรับประทานโพลีโคซานอลประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อวันเป็นระยะเวลาต่อเนื่องนานมากกว่า 3 ปี จะมีความปลอดภัยสูงและไม่พบผลข้างเคียงจากการศึกษาในครั้งนี้ต่อผู้ป่วย สารโพลีโคซานอลนอกจากจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันและโรคหัวใจโดยรวมแล้วผลดีอีกประการหนึ่งของสารโพลีโคซานอลคือช่วยในการควบคุมระดับไขมันในผิวหนังรวมถึงความมันบนผิวและหนังศีรษะอีกทั้งยังสามารถช่วยการกระตุ้นการหมุนเวียนของเลือดที่บริเวณผิวหนัง สารโพลีโคซานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการการ

เจริญเติบโตของสิวช่วยป้องกันการเกิดสิว^[10] ดังนั้นจึงมีการนำสารโพลีโคซานอลมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยอาศัยคุณสมบัติการควบคุมความมันยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเพิ่มความชุ่มชื้นอ่อนโยนต่อผิวได้ดี โดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางปกติจะใช้โพลีโคซานอลเป็นส่วนผสมประมาณ 1% - 5% ของน้ำหนักรวม เช่นในครีมทาผิว โลชั่น ลิปสติค หรือเจลแต่งผมทั้งนี้ยังสามารถใช้สารโพลีโคซานอลเป็นส่วนประกอบเพื่อทดแทนสารลาโนลินหรือไขมันจากสัตว์ประเภทอื่นๆ ได้และกระบวนการของสกัดด้วยตัวทำละลายอิสระที่ใช้กับสารโพลีโคซานอลยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่ต่ำอีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดในระดับนำร่อง
2. ศึกษาผลของตัวแปรสภาวะ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และเวลา ที่มีต่อผลได้ของไขอ้อย
3. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดในระดับนำร่อง โดยการเปรียบเทียบระหว่างโครงการที่ลงทุนซื้อเครื่องจักรเองกับโครงการเช่าเครื่องจักร

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 กากหม้อกรองที่เตรียมมาจากโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งที่ได้การเก็บเกี่ยวอ้อยโดยไม่ใช้วิธีการเผา เพราะการเผาทำให้อ้อยสูญเสียไขอ้อย
- 1.3.2 การสกัดไขอ้อย จากกากหม้อกรองซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานน้ำตาลด้วยวิธีเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด (Supercritical CO₂ Extraction) ร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลถึงสกัดระดับนำร่องมีปริมาตร 50 ลิตร สามารถปรับอุณหภูมิในช่วง 50 องศาเซลเซียส ถึง 75 องศาเซลเซียส และแรงดันระหว่าง 180 บาร์ ถึง 200 บาร์
- 1.3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุนของกระบวนการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองโดยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด โดยศึกษาต้นทุนของการผลิตในส่วนต่างๆ เช่นต้นทุนจากเครื่องจักรและการก่อสร้าง ต้นทุนการดำเนินการ ค่าไฟฟ้าและแรงงาน รวมถึงต้นทุนปริมาณสารเคมีที่ใช้ เทียบกับการลงทุนการเช่าเครื่อง โดยใช้ตัวแปรในการตัดสินใจ ได้แก่ มูลค่า

ปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment, ROI) และ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ลดปัญหาการกำจัดเศษกากหม้อกรองที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตภายในโรงงาน น้ำตาลและ เป็นการเพิ่มมูลค่าจากวัตถุดิบเหลือใช้

1.4.2 ได้สถานะที่เหมาะสมในการสกัดไขอ้อยจากวิธีวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตไขอ้อยและส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมของประเทศโดยรวม

1.4.3 เป็นการพัฒนาต่อยอดกระบวนการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองในระดับนำร่องมาเป็นระดับอุตสาหกรรมและสามารถลดการนำเข้าสารโพลีโคซานอลหรือแวกซ์ไขมันประเภทอื่นจากต่างประเทศ

1.4.4 เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจสำหรับผู้ประกอบการเพื่อการลงทุนและส่งเสริมให้เกิดมูลค่าเพิ่มจากวัตถุดิบเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตอ้อยและน้ำตาลมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารเสริมยาและเครื่องสำอางภายในประเทศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสกัดเป็นเทคนิคที่สำคัญในการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายแยกเอาสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยความสามารถในการละลายเฉพาะตัวของสารในตัวทำละลายที่ใช้ สารผสมนั้น อาจเป็นสารผสมที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีหรือเป็นสารที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติได้

2.1 ประเภทของการสกัดในระดับอุตสาหกรรม

2.1.1 การกลั่นโดยไอน้ำ (Steam distillation) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยอาศัยเทคนิคการกลั่นของเหลว 2 ชนิดซึ่งไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Heterogeneous liquid) เช่น น้ำและน้ำมันหอมระเหย

ข้อดีของการกลั่นด้วยไอน้ำมี คือ วิธีและอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิดและใช้กับน้ำมันหอมระเหยได้มีคุณภาพดีมีความบริสุทธิ์สูง หรือแม้แต่สารสำคัญบางชนิดเช่นสาร Chamazulene จริง ๆ แล้วไม่ได้มีอยู่ตามธรรมชาติแต่จะเกิดขึ้นภายใต้กระบวนการกลั่นด้วยไอน้ำเท่านั้น

ข้อเสียของการกลั่นด้วยไอน้ำ คือ กระบวนการจะต้องใช้ไอน้ำที่มีความร้อนจึงไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีสารธรรมชาติสำคัญที่ถูกทำลายได้ง่ายเมื่อเจอกับความร้อน เช่น สารสำคัญบางชนิดในดอกมะลิจะสลายไปเมื่อเจอกับความร้อนจึงทำให้ไม่สามารถใช้กระบวนการกลั่นด้วยไอน้ำในการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากดอกมะลิได้ แต่ปัญหานี้อาจถูกแก้ไขได้ด้วยการใช้ระบบการกลั่นภายใต้แรงดันสูงเพื่อลดอุณหภูมิของไอน้ำให้น้อยลงแต่ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการสกัดกลิ่นหอมจากดอกมะลิหรือพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีปัญหาข้างต้นจึงมีการนำกระบวนการสกัดด้วยวิธีการอื่นมาใช้แทน เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลายหรือสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์^[11]

2.1.2 การใช้แรงบีบอัดในการสกัดน้ำมัน (Expression of oil) วิธีนี้นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันจากผิวส้ม (Cold pressing oil) น้ำมันที่สกัดได้จะอยู่ในรูปสารละลายอิมัลชันซึ่งสามารถแยก ส่วนที่เป็นน้ำออกจากน้ำมันที่สกัดได้โดยการไขเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

ข้อดี คือ การแยกโดยวิธีนี้น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่ได้จากการกลั่นเนื่องจากไม่มีความร้อนในขั้นตอนของการสกัดและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ

ข้อเสีย คือสารสกัดที่ได้จากวิธีนี้จะมีอายุไม่นานประมาณ 6 เดือนถึง 1 ปีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการเก็บรักษา ^[11]

2.1.3 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent extraction) ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ตัวทำละลายในระดับอุตสาหกรรม ต้องนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่าง (Pretreatment) ก่อนนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย การเลือกวิธีการและชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบและชนิดของสารสกัดที่ต้องการ คุณสมบัติของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดได้แก่ ความมีขั้ว (Polarity) คุณสมบัติด้านความมีขั้วของตัวทำละลายสามารถใช้เป็นต้นแบบ สำหรับรูปแบบขององค์ประกอบของสารสกัดที่ได้ ทำให้สามารถทราบได้ว่าองค์ประกอบใดจะถูกสกัดออกมาภายใต้สภาวะการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ, จุดเดือด (Boiling point) จุดเดือดของตัวทำละลายภายใต้ความดันบรรยากาศหรือระบบสุญญากาศที่ใช้จะมี อิทธิพลต่อโปรไฟล์ของสารสกัดที่ได้ ดังนั้นการเปลี่ยนตัวทำละลายจากเมทานอลเป็นเอทานอล หรือ ไอโซโพรพานอลที่ความดันบรรยากาศจะเปลี่ยนโปรไฟล์ของ น้ำหนักโมเลกุลของสารสกัด ยิ่งใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูงจะสามารถสกัดองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆได้, ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของตัวทำละลายจะเป็นตัวกำหนดความสามารถของตัวทำละลายในการแทรกซึมเข้าไปในชิ้นส่วนของวัตถุดิบ ดังนั้นความหนืดของตัวทำละลายจึงเป็น ตัวกำหนดประสิทธิภาพในการสกัดเนื่องจากจะลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายและวัตถุดิบ ยิ่งตัวทำละลายมีความหนืดต่ำจะทำให้มีประสิทธิภาพ ในการสกัดสูง , ความร้อนแฝงของการระเหย (Latent heat of evaporation) การใช้ตัวทำละลายที่มีความร้อนแฝงในการระเหยต่ำมีข้อดีคือสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดโดยใช้พลังงาน น้อยกว่าตัวทำละลายที่มีความร้อนแฝงของการระเหยสูง, อุณหภูมิและความดัน (Temperature/Pressure) อุณหภูมิในการ Reflux ตัวทำละลายจะขึ้นอยู่กับความดันโดยปกติอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 15 องศาเซลเซียส เมื่อความดันภายในระบบลดลงครั้งหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำการกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะสุญญากาศ ข้อดีของกระบวนการสกัดนี้คือน้ำมันหอมที่ได้จะมีกลิ่นหอมที่ใกล้เคียงกับกลิ่นหอมจากวัตถุดิบจริง ๆ มากกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำและมีกลิ่นหอมติดทนนานกว่า จึงได้รับความนิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอมเป็นหลัก

ส่วนข้อเสียของวิธีนี้คือ ความบริสุทธิ์ของน้ำมันหอมสกัดจะไม่ได้ดีเท่าการสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ และมีสารตกค้างจากตัวทำละลายเป็นต้น ^[11]

2.1.4 การสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย (Extraction with CO₂ as a Solvent) เทคนิคการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสกัดสารให้กลิ่นรสในชิ้นส่วนของพืชที่แห้งซึ่งประกอบด้วยน้ำมันหรือไขเป็นต้น การสกัดโดยวิธีนี้มีข้อดีว่าการสกัดโดยวิธีอื่นเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีกลิ่นและรส ปลอดภัยเมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารและเป็นสารที่ไม่ติดไฟ สามารถแทรกซึมเข้าไปในตัวอย่างได้ง่าย เนื่องจากมี

ความหนืดต่ำสามารถกำจัดออกจากสารสกัดได้ง่ายโดยไม่มีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีความร้อนแฝงของการระเหยต่ำ สามารถเลือกสกัดเฉพาะองค์ประกอบที่ต้องการได้โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันในการสกัด

แต่มีข้อจำกัดคือปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการกลั่นในแต่ละครั้งทำได้ในปริมาณน้อย และเทคโนโลยี รวมถึงวัสดุอุปกรณ์และสารที่จำเป็นในกระบวนการทำให้กระบวนการกลั่นด้วยวิธีนี้มีราคาค่อนข้างสูง จึงมีการนำมาใช้ในการสกัดกับวัตถุดิบบางชนิดที่จำเป็นเท่านั้นเช่น ดอกมะลิ จำปี เมลิชซา ที่มีราคาสูง เป็นต้น แต่ยังสามารถนำมาใช้กับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับราคาที่ตลาดยังพอรองรับได้หรือไม่ ^[11]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิราภรณ์ พิงธรรม และคณะ ^[12] ได้ศึกษาการสกัดสารโพลีโคซานอลจากไขรำข้าวของไทย โดยใช้หลักการสองขั้นตอนคือการสกัด (Extraction) สารโพลีโคซานอลออกจากพันธะเอสเทอร์ของไข ซึ่งจะได้สารโพลีโคซานอลและกรดไขมัน และการแยก (Purification) สารโพลีโคซานอลออกจากกรดไขมันโดยใช้คุณสมบัติของไขรำข้าวที่มีจุดหลอมละลายที่ค่อนข้างสูงช่วยเป็นตัวแยกสารออกจากตัวทำละลาย ประโยชน์ของไขรำข้าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทเช่น การเคลือบกระดาษ สารเคลือบผิวผลไม้และผัก ยาระบบเลือด กาว หมากฝรั่งและเครื่องสำอาง เป็นต้น วัตถุดิบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มาจากไขรำข้าวของบริษัทบริโภคไทยจำกัดเป็นต้นแบบในการวิจัย สรุปผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC (high Performance Liquid Chromatography) และ GC (Gas Chromatography) พบว่าองค์ประกอบไขรำข้าวของไถญั้นจะประกอบด้วยน้ำมัน 55.91% แวกซ์เอสเทอร์ 40.67% ไขมันแอลกอฮอล์อิสระสายยาว 2.56% และส่วนประกอบอื่นๆ 1.86% โดยสารโพลีโคซานอลนั้นจะมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่ต่างกัน จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีและโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง พบว่าสารโพลีโคซานอลนั้นมีปริมาณมากที่สุดในส่วนที่ละลายในโทลูอีน ไอโซออกเทนและส่วนตกตะกอนจากไอโซออกเทนเช่น C₂₆ 21.4 % C₂₄ 29.5 % และ C₃₀ 33.1 % เมื่อเทียบกับน้ำหนักไขรำข้าวเริ่มต้นนั้นสามารถสกัดสารโพลีโคซานอลได้ปริมาณสุทธิเฉลี่ย 26.56% และมีความบริสุทธิ์เกิน 94% อย่างไรก็ตามแม้ว่าไถญจะเป็นผู้ผลิตข้าวแหล่งใหญ่ของโลกแต่กลับไม่พบว่ามีสารโพลีโคซานอลจากรำข้าวไถญในเชิงพาณิชย์

Irmak และคณะ ^[1] ได้ทำการศึกษาว่าสารโพลีโคซานอลเป็นส่วนผสมของสารประกอบแอลิแพติกและแอลกอฮอล์โมเลกุลสูง ในปัจจุบันปริมาณผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ใช้สารโพลีโคซานอลในเชิงพาณิชย์สามารถหาได้โดยทั่วไปในตลาดสหรัฐอเมริกาและยุโรป ซึ่งส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสกัดจากไขผึ้งหรือสกัดจากส่วนประกอบของอ้อย วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารโพลีโคซานอล จากแหล่งที่มาต่างๆกันคือจาก ไขผึ้ง ไขอ้อยและข้าวสาลี รวมถึงเปรียบเทียบกับ

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยแยกประเภทเป็นชนิด A (ทำจากอ้อย) B (ไม่มีข้อมูล) และ C (ทำจากไขข้าว) โดยใช้วิธีการไฮโดรไลต์และรีฟลักซ์กับสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอล รวมถึงการใช้ตัวทำละลายอีเทอร์เป็นตัวช่วยในการทำสารประกอบให้บริสุทธิ์ โดยสรุปได้ว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากน้ำมันข้าวสาธิตจะมีสารโพลีโคซานอลรวมสูงสุดที่ (628 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และจากฟางข้าวสาธิต (164 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และจากเปลือกอ้อย (270 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)ตามลำดับ ส่วนสารโพลีโคซานอลที่ได้จากการสกัดไขฝัสน้ำตาลมีประมาณ 20 และ 45 เท่าสูงกว่าของน้ำมันข้าวสาธิตและจากเปลือกอ้อยตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่สุ่มเลือกมาจากท้องตลาดจะมีสารโพลีโคซานอลโดยรวมน้อยกว่าที่ถูกระบุอย่างบนฉลากผลิตภัณฑ์ ในการ ศึกษาวิเคราะห์ครั้งนี้องค์ประกอบของสารโพลีโคซานอลจากตัวอย่างส่วนต่างๆ โดยสรุปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับแหล่งที่มาที่ต่างกัน โดยข้าวสาธิตสามารถเป็นแหล่งผลิตของสารโพลีโคซานอลที่สำคัญที่จะสามารถนำมาพัฒนาเพิ่มเติมต่อไปได้ในอนาคต

Dunford และคณะ ^[2] ได้ทำการศึกษาว่าสารโพลีโคซานอลเป็นกลุ่มของแอลกอฮอล์แอลิแพติกพันธะยาวที่มีคุณสมบัติในการลดคอเลสเตอรอล (LDL) โดยทำการศึกษาจากข้าวสาธิตที่เป็นแหล่งของสารโพลีโคซานอลที่สำคัญในธรรมชาติ จากการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลกระทบของชนิดตัวทำละลายต่างๆและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่มีผลต่อการสกัดสารโพลีโคซานอลจากส่วนต่างๆในข้าวสาธิตเช่น จากจมูกข้าวสาธิต ฟางและส่วนของรำข้าวและทำการวิเคราะห์โดยการสกัดสารโพลีโคซานอลด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์, คลอโรฟอร์ม, n-เฮกเซน และเอทานอล ที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 80-125 องศาเซลเซียส ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่าส่วนของจมูกข้าวสาธิตให้อัตราสัมประสิทธิ์ในการสกัดสูงกว่าส่วนของฟางและรำข้าว ส่วนการสกัดโดยใช้เอทานอลนั้นจมูกข้าวสาธิตให้อัตราสัมประสิทธิ์ในการสกัดที่สูงที่สุด ผลการสกัดโดยเอทานอลจากจมูกข้าวสาธิตและฟางข้าวสูงเพิ่มขึ้นอย่างมากในอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น โดยฟางข้าวสาธิตมีปริมาณของสารโพลีโคซานอลอยู่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆของข้าวสาธิตในการศึกษาครั้งนี้ ผลของการสกัดสารโพลีโคซานอลที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายและส่วนต่างๆของข้าวสาธิตที่ใช้ การสกัดโดยเอทานอลและปิโตรเลียมอีเทอร์ในฟางข้าวสาธิตจะได้ส่วนประกอบของ ออกตะโคซานอลและ เฮกซะโคซานอล มากที่สุดตาม ลำดับ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าชนิดตัวทำละลายและอุณหภูมิมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตของการสกัดสารโพลีโคซานอลที่ได้จากส่วนต่างๆของข้าวสาธิต

พุทธชาติ แก้วแดง ^[13] ได้ทำการศึกษาการทำไขรำข้าวให้บริสุทธิ์จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันรำข้าว ทำการทดลองโดยใช้ตัวทำละลายเดี่ยวคือจากไอโซออกเทนและไอโซโพรพานอลที่อุณหภูมิต่ำในการแยกไขออกจากน้ำมันรำข้าวและใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงแยกไขออกจากสารช่วยกรองเช่นซีเถ้าแกลบเพื่อช่วยในการแยกไขรำข้าวออกจากตัวทำละลาย จากผลการศึกษาพบว่าไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันออกจากไขรำข้าวที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 3 ถึง 4

องศาเซลเซียสและตัวทำละลายเดียวกันนี้ยังเหมาะสมในการแยกไขออกจากส่วนช่วยกรองที่อุณหภูมิสูงที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียสและได้ปริมาณการผลิตถึง 99.42% แม้ว่าจากการทดลองไขออกแทนจะสามารถแยกน้ำมันรำข้าวออกจากไขรำข้าวมากกว่าไอโซโพรพานอลและการพิจารณาค่าไอโอดีนการใช้ไขออกแทนเป็นตัวทำละลายไขรำข้าวที่ได้จะมีค่าไอโอดีนต่ำกว่าใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายเพราะที่อุณหภูมิ 3 ถึง 4 องศาเซลเซียส ไอโซออกแทนทำละลายน้ำมันรำข้าวได้ดีกว่าไอโซโพรพานอล ดังนั้นผลพิจารณาจากการทดลองไขออกแทนสามารถทำละลายน้ำมันรำข้าวดีกว่าไอโซโพรพานอลแต่ในทางปฏิบัติจะไม่เหมาะสมเนื่องจากยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นไขจะละลายได้ดีขึ้นทำให้มีบางส่วนเกิดความหนืดสูงและใช้เวลาในการแยกนานเพราะต้องใช้อัตราการไหลที่ต่ำและเกิดความดันเกินกว่าค่าที่กำหนด ส่วนการใช้ไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายจะไม่มีปัญหานี้ อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าสารไอโซโพรพานอลยังละลายในน้ำมันรำข้าวได้ไม่ดีเท่าที่ควร ควรมีการทดลองหาสารละลายตัวอื่นที่สามารถละลายน้ำมันรำข้าวได้ดีมาทดแทน และอีกทั้งเวลาที่ใช้ในการแยกสารโดยวิธีการใช้ตัวทำละลายเย็นที่แยกน้ำมันออกจากไขน้ำมันยังใช้เวลานานถึง 2 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งอาจมีผลต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม หากสามารถลดเวลาในการทำละลายน้อยลงจะส่งผลดียิ่งขึ้น

ปัทมา น้ำทองคำ^[14] ได้ทำการศึกษาไขรำข้าวบริสุทธิ์ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนสารคาร์บูบาที่มีราคาสูงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง อาหารและยา ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาการเตรียมไขรำข้าวให้บริสุทธิ์โดยการสกัดด้วยไอโซโพรพานอลที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆกันเช่นที่ 100% 80% 60% 40% ตามลำดับและในสัดส่วนของไขรำข้าวดิบต่อไอโซโพรพานอล 1:3 และ 1:5 และทำในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นต้น จากผลการศึกษาการเตรียมไขรำข้าวบริสุทธิ์นั้นโดยขจัดน้ำมันรำข้าวออกจากไขรำข้าวด้วยสารไอโซโพรพานอลซึ่งจำเป็นต้องใช้ไอโซโพรพานอลที่มีความเข้มข้น 100% และสัดส่วนไขรำข้าวดิบต่อไอโซโพรพานอลควรอยู่ที่ 1:5 โดยทำการล้าง 2 ครั้งแล้ววิเคราะห์ไขรำข้าวดิบด้วย High Pressure Size Exclusion Chromatography ที่ความเข้มข้น 3000 ppm ผลสรุปพบว่าไม่มีสารอื่นเจอปนในไขรำข้าวที่เตรียม ส่วนในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้ NaOH 1.7% และ KOH 2.6 % เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่อุณหภูมิห้องโดยเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ภายใน 10 นาที หลังจากนั้นนำมากรองแยกไขออกจากกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์แล้วล้างด้วยเอทานอล และวิเคราะห์ไขรำข้าวดิบด้วย HPSEC ที่ความเข้มข้น 3000 ppm พบว่าไม่มีสารอื่นเจอปนในไขรำข้าวที่เตรียมเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบของไขรำข้าวจะประกอบด้วย C₄₀-C₆₀ อะตอมและกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์จะประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีความยาวในช่วง C₁₆-C₂₀ อะตอม ส่วนค่าความหนืดของกรดไขมันยังมีค่าสูงถึง 18.95 และ 19.79 cSt ตามลำดับซึ่งสูงกว่ามาตรฐานมาก เนื่องจากการปนเปื้อนไขรำข้าวในกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ ดังนั้นสามารถปรับใช้ตัวทำละลายอื่นที่เหมาะสมเช่นเฮกเซนหรือไอโซโพรพานอลทดแทนได้ ก่อนนำมาผลิตกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ การใช้ไอโซโพรพานอลในการสกัดน้ำมันออกจากไขรำข้าวทำได้ง่ายและมีปฏิกิริยาไม่รุนแรงแต่การผสมไขรำข้าวดิบกับไอโซโพรพานอลให้เป็น

เนื้อเดียวกันนั้นทำได้ยากและใช้เวลานาน ส่วนปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันนั้นใช้เวลาสั้นแต่ใช้เวลาในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานาน เนื่องจากความสามารถการละลายของ NaOH และ KOH ในเอทานอลต่ำ

Shiyi และคณะ ^[15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมไขอ้อยจากกากหม้อกรองในกระบวนการผลิตน้ำตาลและศึกษาเปรียบเทียบผลของการสกัดโพลีโคซานอลจากไขอ้อย โดยมีปริมาณอัตราส่วนของไขอ้อยแห้งที่สกัดได้เฉลี่ย 6.85 กรัมต่อกากหม้อกรองที่เตรียมไว้ 100 กรัม จากนั้นยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการสกัด Octacosanol จากไขอ้อยด้วยวิธี Supercritical CO₂ กับวิธี Hot Ethanol Reflux โดยจากการศึกษาสรุปได้ว่าทั้ง 2 วิธีจะได้ผลการสกัด Octacosanol ที่ใกล้เคียงกันแต่วิธีการสกัดด้วย Supercritical CO₂ จะได้ปริมาณ Octacosanol มากกว่าเล็กน้อยที่ 29.65 กรัม ต่อไขอ้อย 100 กรัม ส่วนวิธี Hot Ethanol Reflux ได้ปริมาณ Octacosanol ที่ 22.52 กรัม ต่อไขอ้อย 100 กรัม แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อใช้วิธีการ Hot Ethanol Reflux ร่วมกับกระบวนการ Saponification กลับได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของ Octacosanol เป็น 47.8 กรัม ต่อไขอ้อย 100 กรัม

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

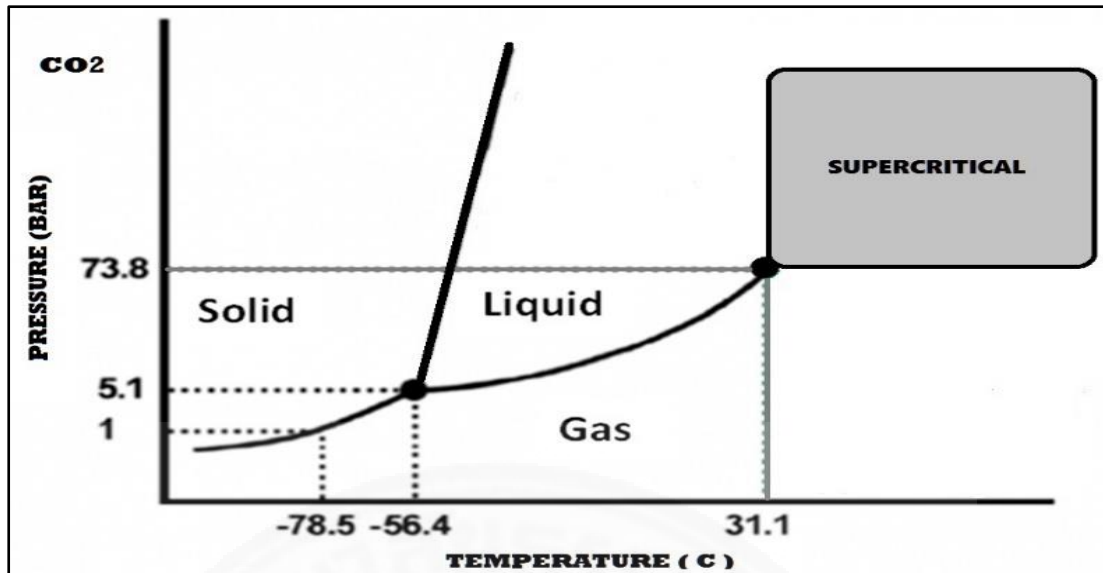
บทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย หลักการทำงานของเครื่องมือสกัดสารด้วยวิธีของไหลในสภาวะวิกฤตยิ่งยวดและวิธีการทดลองรวมถึงตัวแปรที่ใช้ทำการศึกษาและขั้นตอนในการศึกษา

3.1 สถานที่

- 3.1.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- 3.1.2 อาคารสกัดสมุนไพร พื้นที่วิจัยด้านเทคโนโลยี ศูนย์วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัด สระบุรี

3.2 อุปกรณ์

การสกัดสารโดยใช้เครื่องสกัดสารด้วยวิธีของไหลในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (ภาพที่ 3.1) เป็นเทคนิคการสกัดสารที่ตัวทำละลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ขณะอยู่ในสถานะเหนือจุดวิกฤต ซึ่งในสถานะนี้ CO_2 จะมีความหนาแน่นคล้ายของเหลว แต่ความหนืดและสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) อยู่ในสภาวะคล้ายก๊าซ ทำให้ CO_2 มีหน้าที่เป็นตัวทำละลาย เนื่องจาก CO_2 เป็นก๊าซไม่มีพิษ ไม่มีรส กลิ่น ไม่ติดไฟและราคาถูก และจุดวิกฤตถูกปรับแต่งได้โดยง่าย การปรับให้ CO_2 อยู่ในสถานะเหนือจุดวิกฤตซึ่งจะสามารถทำได้โดยการปรับความดันและอุณหภูมิของ CO_2 ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 31.06 องศาเซลเซียสและที่ความดันประมาณ 7.382 MPa หรือ 73.82 บาร์ขึ้นไป



ภาพที่ 3.1 CO₂ Pressure-Temperature phase diagram (Modified from^[16])

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดไขอ้อย เครื่อง Supercritical CO₂ Extracti on รุ่น TH22-50x2 ผลิตโดยบริษัท Wenzhou Chengdong Medicine Machine Co., Ltd. ลักษณะที่สำคัญของระบบ เครื่องสกัดแบบของเหลววิกฤตยิ่งยวดนี้ ความดันสูงสุดในแต่ละถังของถังสกัดถูกออกแบบไว้ที่ 35 MPa หรือ 350 บาร์ ขนาดถังในแต่ละถังของถังสกัดเท่ากับ 50 ลิตร จำนวน 2 ถัง อุณหภูมิของถังสกัดปรับ ได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 75 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของ CO₂ รองรับได้เท่ากับ 10 ถึง 630 ลิตรต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 50 เฮิรส์



ภาพที่ 3.2 เครื่อง Supercritical CO₂ Extraction รุ่น TH22-50x2 ส่วนควบคุม



ภาพที่ 3.3 เครื่อง Supercritical CO₂ Extraction ส่วนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

3.3 หลักการทำงานของเครื่อง Supercritical CO₂ Extraction รุ่น TH22-50x2

- 3.3.1 เมื่อเริ่มทำงานวาล์วทุกตัวของระบบแรงดันต้องถูกปิด
- 3.3.2 ใส่วัตถุดิบเข้าไปในถังสกัดทั้ง 2 ถังและปิดถังให้ถูกต้อง
- 3.3.3 เติม CO₂ จากภายนอกถังของสู่งเก็บ CO₂ ของเครื่อง
- 3.3.4 เปิดวาล์ว J01 J03 J05 ซึ่งต่อกับถัง CO₂ ภายนอก และเปิดวาล์ว J06 เพื่อไล่อากาศออกจากถังเก็บ CO₂ เมื่อเห็นว่าอากาศถูกไล่ออกจนหมดแล้วจึงปิดวาล์ว
- 3.3.5 ถังเก็บ CO₂ จะรับ CO₂ จากภายนอกจนเมื่อความดันในถังเก็บ CO₂ เพิ่มขึ้นประมาณ 5-8 MPa แล้วจึงปิดวาล์ว J01 จากนั้นเติม CO₂ ไล่อากาศออกจากระบบ
- 3.3.6 เปิดวาล์ว J7 J08 J09 J13 เพื่อให้ CO₂ ไหลเข้าสู่ถังสกัดที่ 1 เปิดวาล์ว J16 เพื่อไล่อากาศจากถังสกัดที่ 1 จนอากาศถูกไล่ออกหมดจึงปิดวาล์ว J16
- 3.3.7 เปิดวาล์ว J17 J24 ให้ CO₂ เข้าถังแยกก๊าซตัวที่ 1
- 3.3.8 เปิดวาล์ว J26 เพื่อไล่อากาศจากถังแยกก๊าซตัวที่ 1 แล้วจึงทำการปิดวาล์ว
- 3.3.9 เปิดวาล์ว J27 ให้ CO₂ เข้าถังแยกก๊าซตัวที่ 2 แล้วจึงเปิดวาล์ว J30 เพื่อไล่อากาศออก จากนั้นจึงปิดวาล์ว J30
- 3.3.10 เปิดวาล์ว J31 เพื่อให้ CO₂ เข้าถังปรับสภาพ (Buffer Tank)

3.3.11 เปิดวาล์ว J34 J02 อยู่ใต้ถังกรองเพื่อไล่อากาศออก จากนั้นปิดวาล์ว J02 ภายหลังจากการไล่อากาศเสร็จ

3.3.12 ปรับความดันในระบบที่ต้องการของถังทุกใบโดยระบบคอมพิวเตอร์ ความดันต้องไม่สูงเกินกว่า 35 MPa.

3.3.13 การเพิ่มความดัน เมื่ออุณหภูมิของถังสกัดแยกก๊าซถังที่ 1 และ 2 และเครื่องทำความเย็นเป็นไปตามระดับที่ตั้งไว้ ให้เปิดเดินปั๊ม CO₂ เพิ่มความดันให้ถังสกัด หากความดันของถังเก็บ CO₂ มีค่าต่ำกว่า 4MPa ให้ปิดวาล์ว J01 ให้ CO₂ ถูกส่งมาเพิ่มความดันให้ถังเก็บ CO₂ ถึงระดับ 4MPa จากนั้นจึงปิดวาล์ว J01 และ J34 เมื่อความดันในถังสกัดสูงขึ้นถึงระดับความดันที่ตั้งไว้ ระบบวาล์วลมอัตโนมัติจะเปิดให้ CO₂ ไหลเข้าสู่ถังแยกก๊าซที่ 1 และถังแยกก๊าซ ที่ 2, ถ้าความดันในถังก๊าซที่ 2 สูงขึ้นถึงระดับที่ตั้งไว้ระบบวาล์วลมอัตโนมัติจะเปิดให้ CO₂ ไหลเข้าสู่ถังควบคุม CO₂ (Buffer Tank) จากนั้นจะไหลผ่านตะแกรงกรองและเข้าสู่ระบบกลั่นตัว กระบวนการสกัดด้วย CO₂ จึงเริ่มทำงาน ระบบวาล์วควบคุมโดยไฟฟ้าจะปรับแรงดันของถังสกัด ถังแยกก๊าซที่ 1 และที่ 2 อย่างอัตโนมัติเพื่อควบคุมระบบให้เป็นไปตามที่ตั้งค่าไว้ เมื่อระบบการทำงานหมุนเวียนเริ่มทำงานให้ปรับตั้งเวลาการทำงานของระบบที่คอมพิวเตอร์และเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดแล้ว คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณเตือนการทำงานเป็นการสิ้นสุดการทำงานของระบบ (ต้องระมัดระวังตลอดเวลาการทำงานว่า CO₂ ในถังเก็บ CO₂ ต้องมีแรงดันไม่น้อยกว่า 4 MPa ตลอดเวลา) ให้เปิดวาล์ว J26 และ J30 ได้ถังแยกก๊าซ ทุก 20-30 นาทีแล้วปิด เมื่อระบายสารถูกสกัดออกมา

3.3.14 การทำงานของถังสกัดที่ 2 (กรณีที่มีบรรจุวัตถุดิบลงในถังสกัดตัวที่ 2 ด้วย)

3.3.15 ปิดวาล์ว J13 J24 เปิด J20 เพื่อระบาย CO₂ จากถังสกัดที่ 1 เข้าไปยังถังสกัดที่ 2

3.3.16 เมื่อแรงดันสมดุลให้ปิดวาล์ว J17 เปิดวาล์ว J18 J35 ให้ CO₂ ในถังสกัดที่ 1 ไหลไปยังถังปรับลดแรงดัน

3.3.17 ปิดวาล์ว J35 เปิดวาล์ว J36 J15 เพื่อระบาย CO₂ ออกจากถังสกัดที่ 1 ให้หมดในขณะเดียวกันให้เปิดวาล์ว J14 และ J24 เปิดเครื่องปั๊ม CO₂ และทำการสกัดต่อไป ส่วนในถังสกัดที่ 1 เมื่อถูกความดันลดลงจนอยู่ในสภาพปกติ ให้เปิดฝาครอบด้านบนออกด้วยระบบไฟฟ้าและการเปิดนั้นต้องให้ความดันในถังที่ 1 อยู่ในระดับความดันบรรยากาศแล้วเท่านั้น จากนั้นถ่ายวัตถุดิบออกจากถังสกัดที่ 1

3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษโดยปรับเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิ ความดันเหนือจุดวิกฤตและเวลาที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองอาศัย Two-level factorial (ตารางที่ 3.1) และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะวิกฤตยิ่งยวดคือไซอัลซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการสกัดดังกล่าว โดยการกำหนดตัวแปรและสภาวะในการทดลองดังนี้

อุณหภูมิ (Temperature, °C, Factor X) เป็น 50 °C (X_1) และ 70 °C (X_2)

ความดัน (Pressure, Bar, Factor Y) เป็น 100 (Y_1), 150 (Y_2) และ 200 (Y_3)

เวลา (Time, Minute, Factor Z) เป็น 30 (Z_1) และ 60 (Z_2)

ตัวทำละลาย (Solvent, Factor C) เป็น CO₂ (C_1) และ ตัวทำละลายร่วม เลือกใช้ Commercial Ethanol 95% (C_2)

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการจัดการทดลองแบบ Two-level factorial ในแต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง

การทดลองที่	ความดัน อุณหภูมิ เวลา
1	ความดัน 100 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
2	ความดัน 100 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
3	ความดัน 100 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
4	ความดัน 100 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
5	ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
6	ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
7	ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
8	ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
9	ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
10	ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
11	ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
12	ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

3.5 ขั้นตอนที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษากระบวนการและขั้นตอนการสกัดไขมันจากกากหม้อกรองซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการทำใส่น้ำอ้อยในโรงงานน้ำตาลโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด (Supercritical CO₂ Extraction) ร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลซึ่งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งหาได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูก

1. โดยเริ่มต้นจากการเตรียมกากหม้อกรองที่ได้จากโรงงานน้ำตาลของกลุ่มบริษัทไทยรุ่งเรือง ซึ่งจะประกอบด้วยปริมาณความชื้นประมาณเฉลี่ยร้อยละ 65 จากนั้นนำกากหม้อกรองที่มีความชื้นไปทำให้แห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C หรือการใช้วิธีตากแห้ง เพื่อให้ได้กากหม้อกรองที่แห้งหรือมีความชื้นที่น้อยที่สุด

2. จากนั้นเริ่มต้นกระบวนการสกัดไขมันจากกากหม้อกรองแห้ง โดยจะใช้ปริมาณจากกากหม้อแห้งที่เตรียมมาปริมาณ 10 กิโลกรัมโดยการชั่งน้ำหนัก ใส่ลงในถังสกัดแล้วทำการสกัดร่วมกับตัวทำละลาย (Co-Solvent) เอทานอลปริมาณ 5 ลิตรที่ตวงไว้ ต่อหนึ่งการทดลอง ทำการตั้งค่าอุณหภูมิและความดันที่เครื่องสกัดสารกับจับเวลาที่จะทำการสกัดไขมัน โดยกำหนดตามสภาวะการทดลองที่ออกแบบไว้ (ตารางที่ 3.1)

3. ใช้ระบบ PLC (programmable logic controller) และคอมพิวเตอร์ในการสั่งการงานควบคุมเครื่องจักรในระหว่างการดำเนินการทดลองการสกัดสาร เครื่องจะป้อน CO₂ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ถูกตั้งไว้ เข้าไปในระบบเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ส่วนตัวทำละลายร่วมจะมีส่วนช่วยในการนำไขมันออกจากถังสกัดได้ง่ายขึ้น

4. หลังจากการสกัดสิ้นสุดลงในแต่ละรอบ ทำการการเก็บตัวอย่างไขมันที่ได้จากการสกัดโดยการเปิดวาล์วที่ถังแยกทั้งสองถังและวาล์วใต้ถังสกัดเพื่อทำการเก็บตัวอย่างไขมันที่ได้จากการสกัดทั้งหมดและชั่งน้ำหนัก

5. นำไขมันที่สกัดได้ไปทำแห้ง โดยการระเหยเอทานอลและความชื้นออกเพื่อให้ได้ไขมันแห้งเพียงอย่างเดียวและทำการชั่งน้ำหนัก ศึกษาทำการเก็บต้นทุนจากกระบวนการผลิตไขมันและการใช้พลังงานที่ใช้ในแต่ละวัน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองของการสกัดไซออยจากกากหม้อกรองโดยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด จำนวนสภาวะ 12 สภาวะ โดยปรับเปลี่ยนตัวแปร กับ อุณหภูมิ (50 และ 70°C) ความดัน (100, 150 และ 200 bar) และเวลาในการสกัด (30 และ 60 นาที) (ตารางที่ 4.1) ซึ่งแต่ละสภาวะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมด 36 การทดลอง

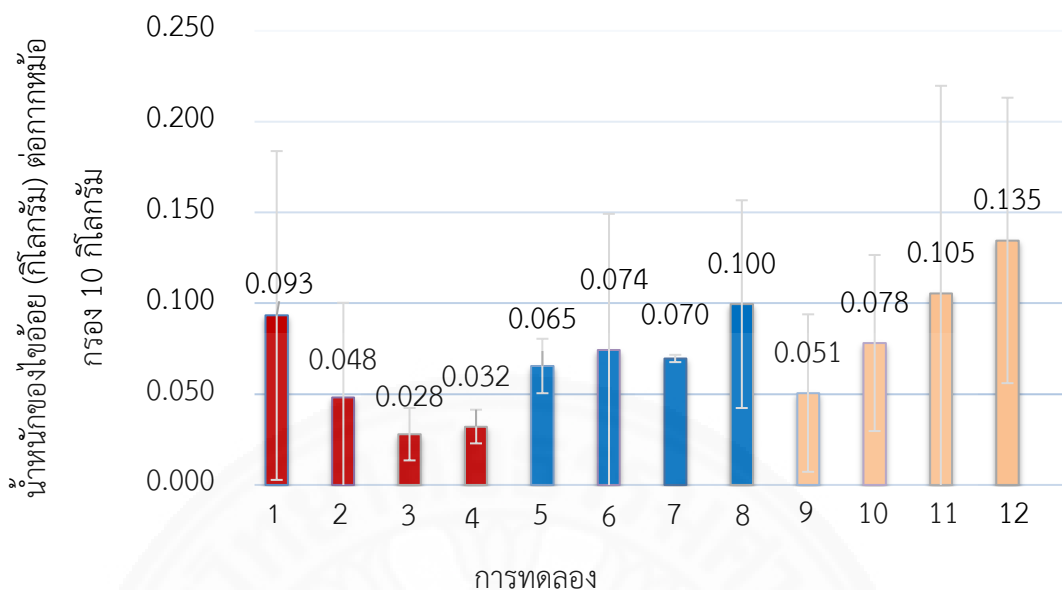
4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองและปริมาณน้ำหนักระงับที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม

Test	ครั้งที่	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	น.น ไซออยเปียก (ก.ก)	น.น ไซออยแห้ง (ก.ก)	น.น เกลือไซออยแห้ง (ก.ก)	น.น เกลือไซออยแห้งต่อกากหม้อกรอง 100 (ก.ก)
1	1	100	49.6	30	1.83	0.011	0.093	0.933
	2	100	51.2	30	1.78	0.079		
	3	100	49.6	30	5.77	0.190		
2	1	100	50.4	60	2.54	0.033	0.048	0.483
	2	100	47.2	60	4.32	0.106		
	3	100	52	60	0.85	0.006		
3	1	100	75.1	30	1.69	0.040	0.028	0.279
	2	100	71.2	30	2.62	0.031		
	3	100	73.6	30	1.19	0.012		
4	1	100	72.8	60	1.02	0.036	0.032	0.321
	2	100	73	60	0.88	0.039		
	3	100	72.8	60	1.11	0.022		
	1	150	51.2	30	1.83	0.081	0.065	0.650

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองและปริมาณน้ำหนักรายไข่อ้อยที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม

5	2	150	46.4	30	0.85	0.052		
	3	150	50.2	30	1.20	0.063		
6	1	150	51.4	60	2.11	0.161	0.074	0.744
	2	150	47.2	60	3.83	0.028		
	3	150	46.4	60	1.91	0.035		
7	1	150	73.6	30	1.05	0.068	0.070	0.696
	2	150	71.2	30	1.69	0.069		
	3	150	70.5	30	1.25	0.072		
8	1	150	67.2	60	2.45	0.042	0.100	0.995
	2	150	72	60	3.29	0.101		
	3	150	68	60	1.94	0.156		
9	1	200	50.4	30	2.40	0.100	0.051	0.506
	2	200	52	30	1.03	0.031		
	3	200	49.6	30	2.11	0.020		
10	1	200	48	60	1.59	0.000	0.078	0.781
	2	200	51.2	60	1.32	0.060		
	3	200	47.2	60	3.18	0.096		
11	1	200	72.8	30	1.66	0.042	0.105	1.054
	2	200	72.8	30	3.24	0.237		
	3	200	75	30	1.47	0.037		
12	1	200	65	60	0.00	0.000	0.135	1.346
	2	200	82	60	0.75	0.123		
	3	200	68	60	1.56	0.146		

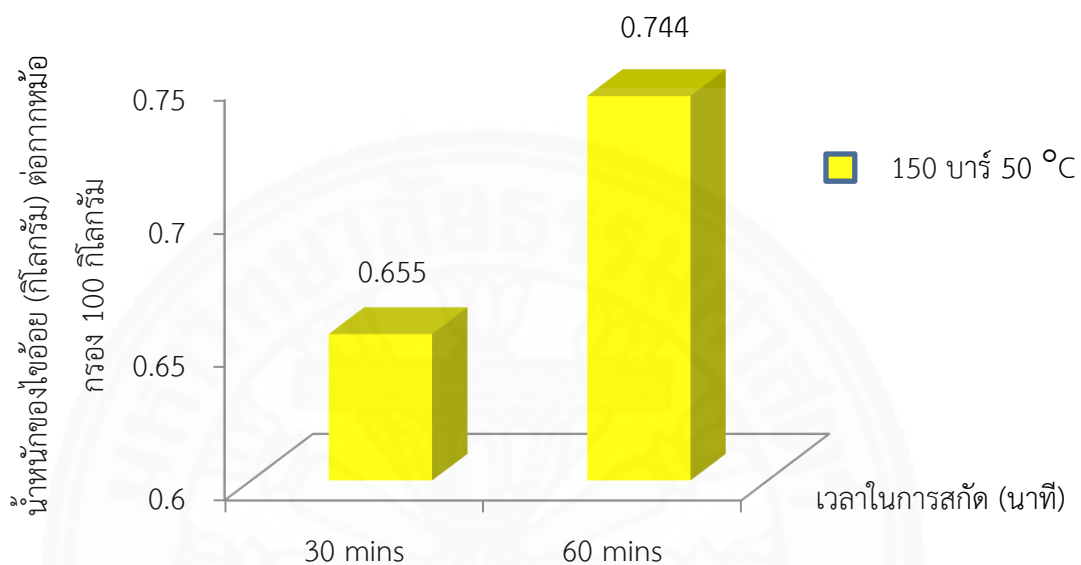


ภาพที่ 4.1 น้ำหนักเฉลี่ยของไข่อ้อยแห้งของการทดลองที่ 1 ถึง 12

เมื่อพิจารณาน้ำหนักไข่อ้อยแห้งเฉลี่ยรวมที่ได้จากการทำการทดลองในแต่ละสภาวะซ้ำ 3 ครั้ง โดยทำการศึกษาค่าผลของตัวแปรทดลองได้แก่ สภาวะความดัน อุณหภูมิและเวลาที่ออกแบบอาศัย Two level factorial (แสดงในตาราง 4.1) จะพบว่าเมื่อทำการสกัดกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ที่ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและสกัดภายในเวลา 60 นาที ได้ปริมาณน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดของไข่อ้อยหลังจากการทำแห้งคือ 134.62 กรัมต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม หรือคิดเป็นผลได้ของไข่อ้อยเท่ากับ 1.35% ของกากหม้อกรอง และเมื่อทำการสกัดกากหม้อกรองที่ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและสกัด ภายในเวลา 30 นาที สกัดได้น้ำหนักไข่อ้อยเฉลี่ยรองลงมาคือ 105.38 กรัมต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม เมื่อทำการสกัดกากหม้อกรองที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและภายในเวลา 60 นาทีสามารถสกัดได้สกัดได้น้ำหนักไข่อ้อยเฉลี่ย 99.53 กรัมต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม ต จากการผลการทดลองพบว่าภายใต้สภาวะความดัน 200 บาร์ และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและสกัดภายในเวลา 60 นาที จะได้ค่าผลได้ของไข่อ้อยหลังจากทำแห้งสูงที่สุด

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

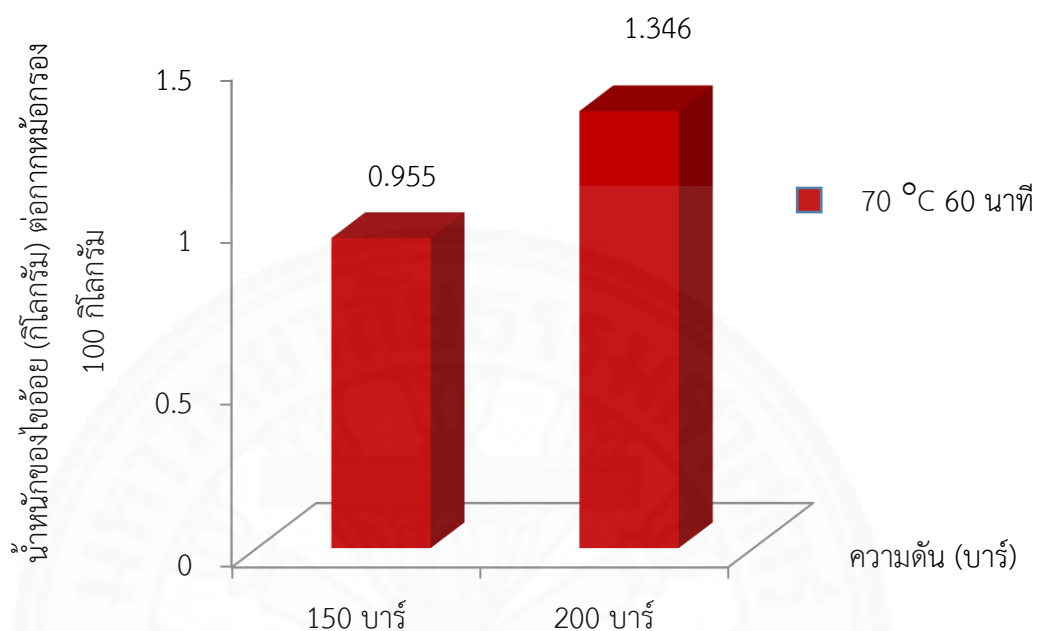
4.2.1 ผลของเวลาการสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดที่มีต่อค่าผลได้ (yield) ของไซออย



ภาพที่ 4.2 น้ำหนักไซออยที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 100 กิโลกรัม ภายใต้ความดัน 150 บาร์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบเวลาการสกัด 30 นาที และ 60 นาที

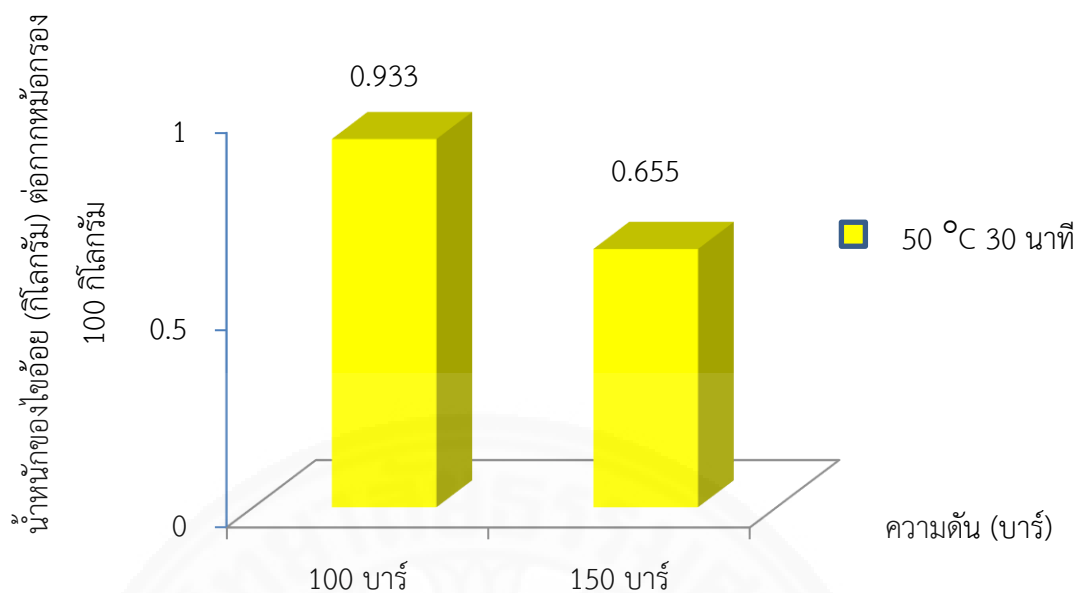
เมื่อทำการศึกษาผลของระยะเวลาสกัดที่มีค่าผลได้ของไซออย พบว่าไซออยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ภายใต้ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน ที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 4.2) การเพิ่มเวลาสกัดจาก 30 นาทีเป็น 1 ชั่วโมงจะได้ค่าผลได้ของไซออยเพิ่มขึ้น 13.58% เนื่องจากเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างกากหม้อกรองและคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย

4.2.2 ผลของความดันในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดที่มีต่อค่าผลได้ (yield) ของไซออย



ภาพที่ 4.3 น้ำหนักไซออยที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 100 กิโลกรัม ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด 60 นาที เมื่อเปรียบเทียบความดันในถังสกัด 150 บาร์ และ 200 บาร์

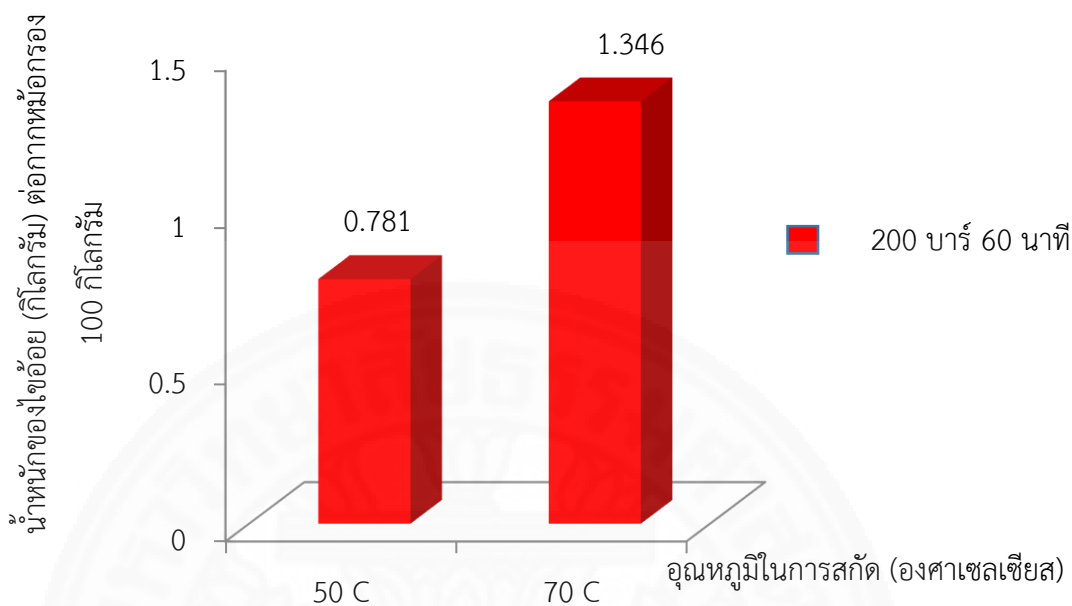
เมื่อทำการศึกษาผลของความดันในถังสกัดที่มีต่อค่าผลได้ของไซออย พบว่าไซออยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและเวลาในการสกัด 60 นาที (ดังภาพที่ 4.3) เพิ่มความดันจาก 150 บาร์ เป็น 200 บาร์ จะได้ค่าผลได้ไซออยเพิ่มขึ้น 40.9 %



ภาพที่ 4.4 น้ำหนักไซอ้อยที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 100 กิโลกรัม ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด 30 นาที เมื่อเปรียบเทียบความดันในถังสกัด 100 บาร์ และ 150 บาร์

เมื่อทำการศึกษามูลของความดันในถังสกัดที่มีต่อค่าผลได้ของไซอ้อย พบว่าไซอ้อยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและเวลาในการสกัด 30 นาที (ดังภาพที่ 4.4) เพิ่มความดันจาก จาก 100 บาร์ เป็น 150 บาร์ จะได้ค่าผลได้ของไซอ้อยเพิ่มขึ้น 42.4%

4.2.3 ผลของอุณหภูมิในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดที่มีต่อค่าผลได้ (yield) ของไซอ้อย



ภาพที่ 4.5 น้ำหนักไซอ้อยที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 100 กิโลกรัม ภายใต้ความดัน 200 บาร์ และเวลาการสกัด 60 นาที เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษาผลของความดันในถังสกัดที่มีต่อค่าผลได้ของไซอ้อย พบว่าไซอ้อยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ภายใต้ความดันและระยะเวลาในการสกัดเท่ากัน ที่ความดัน 200 บาร์และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที (ดังภาพที่ 4.5) โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียส จะได้ค่าผลได้ของไซอ้อยเพิ่มขึ้น 72.34%

จากการทดลองที่ออกแบบด้วย Two level factorial จำนวน 12 สภาวะ แต่ละสภาวะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พบว่าสภาวะในการสกัดไซอ้อยจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ภายใต้ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพราะให้ค่าผลได้ของไซอ้อยสูงที่สุด เท่ากับ 134.62 กรัม ไซอ้อยแห้งต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม หรือ 1.346 กิโลกรัมของไซอ้อยที่สกัดได้ต่อกากหม้อกรอง 100 กิโลกรัม

4.3 วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

ในการผลิตสินค้าหรือการบริการนั้นมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนของการผลิต การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นั้นจำเป็นต้องนำตัวเลขของต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆในการผลิตมาพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบการลงทุนที่เหมาะสมที่สุด ตัวเลขที่เป็นต้นทุนในการผลิตนั้นส่วนใหญ่มาจากการประมาณค่าซึ่งได้มาจากแหล่งต่างๆจากโรงงานที่เคยผลิตหรือการทดลองจากโครงการนำร่อง และตัวเลขที่เกิดจากค่าจริงของการผลิตจริง ในการศึกษาการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคคาร์บอนได้ออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดในระดับนำร่องได้อาศัยสมมติฐานทางเศรษฐศาสตร์และการวิเคราะห์ด้านการเงินจากสถานะสกัดที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาที

ตารางที่ 4.2 สมมติฐานการวิเคราะห์ด้านการเงิน

	รายการ	จำนวน	มูลค่า	หน่วย
1	กำลังการผลิตสูงสุด		60	กิโลกรัม/วัน
	การลงทุนในทรัพย์สินประเภททุน			
2	เงินลงทุนค่าเครื่องจักรสกัดสาร SFE ^[17]		10,000,000	บาท
3	เงินลงทุนค่าก่อสร้าง		1,500,000	บาท
4	ที่ดิน (ใช้พื้นที่ในโรงงาน)		0	บาท
5	อายุเครื่องจักร ^[18]		15	ปี
6	เงินกู้ธนาคาร 80% ของเงินลงทุนทั้งหมด		9,200,000	บาท
7	ค่าเสื่อมราคา		15	ปี
8	อัตราดอกเบี้ย SME bank ^[19]		6.88%	ร้อยละต่อปี
	รวมการลงทุนในทรัพย์สินประเภททุน		11,500,000	บาท
	ต้นทุนการดำเนินงานและการบำรุงรักษา			
9	ค่าช่าง Technician (15,000บาท/คน)	1	15,000	บาท/เดือน
10	ค่าผู้ช่วยช่าง (8,000 บาท/คน)	2	16,000	บาท/เดือน
11	ธุรการบัญชี (9,000บาท/คน)	1	9,000	บาท/เดือน
12	สาธารณูปโภค เช่น ประปา		1,000	บาท/เดือน
13	ค่าไฟฟ้า**		79,536	บาท/เดือน

ตารางที่ 4.2 สมมติฐานการวิเคราะห์ด้านการเงิน (ต่อ)

	รายการ	จำนวน	มูลค่า	หน่วย
14	ค่าบำรุงรักษาอื่นๆ (ประเก็น , น้ำมันหล่อลื่น , และอุปกรณ์อื่น)*		5,167	บาท/เดือน
	รวมต้นทุนการดำเนินงานและการบำรุงรักษา		125,704	บาท/เดือน
	ต้นทุนค่าวัตถุดิบและสารเคมี			
15	ค่าวัตถุดิบ (Filter cake)*		170	บาท/ตัน
16	ค่าวัตถุดิบ (Filter cake)		265	บาท/เดือน
17	ค่า CO2 (Batch ละถึง 27 กก.)*		75,816	บาท/เดือน
18	ค่า เอทานอล (Batch ละ 5 ลิตร)*		39,000	บาท/เดือน
	รวมต้นทุนค่าวัตถุดิบและสารเคมี		115,081	บาท/เดือน
19	Yield ไซอ้อย / กากหม้อกรอง		1.346	ก.ก./100 ก.ก
20	ค่าเสื่อมราคา = 20% ของราคาอุปกรณ์เริ่มต้น ^[20]		34,448	บาท/เดือน
21	อัตราเสื่อมสภาพของเครื่องจักร (สมการ 4.2)		6.67	ร้อยละต่อปี

(*) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยการคำนวณจากราคาจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน

(**) ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการบันทึกค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวันของโรงงานโดยคำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง TOU Tariff

(***) จำนวนสัปดาห์ที่ทำงานต่อปี = 52 ต่อปี

จำนวนวันที่ทำงานใน 1 อาทิตย์ = 6 วัน

จำนวนวันที่ทำงานใน 1 ปี = 312 วัน

จำนวนเดือนที่ทำงานใน 1 ปี = 12 เดือน

จำนวนรอบการสกัดต่อวัน = 6 รอบ

โดยการหามูลค่าปัจจุบัน (Net Present Value, NPV) เพื่อหาผลต่างระหว่างมูลค่าในปัจจุบันของรายได้จากการขายไซอ้อยที่รับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตรา

ผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินลงทุนของโครงการ โดยสามารถคำนวณหา NPV ได้จากสมการที่ (4.1) ดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (4.1)$$

เมื่อ

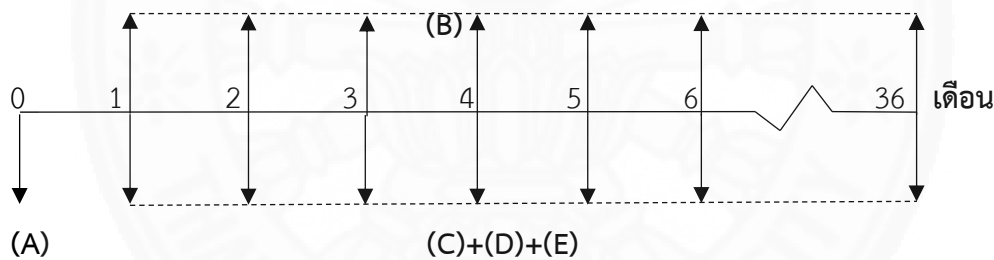
C_0 = เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)

C = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดปัจจุบันในเดือนที่ 1 ถึง(เดือนสุดท้าย) ของโครงการ (เดือนที่ n) (บาท)

r = คืออัตราดอกเบี้ยต่อปี (โดยเฉลี่ยจากดอกเบี้ยเงินกู้ที่ 6.88% ต่อปี, SME Bank ^[19] หรือ 0.56% ต่อเดือน)

i = ระยะเวลา (เดือน)

4.3.1 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จุดคุ้มทุน 3 ปี



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ (Cash flow diagram) ที่จุดคุ้มทุน 3 ปี

แกนนอนเป็นระยะเวลา (เดือน) ลูกศรชี้ขึ้นหมายถึงรายได้ (บาทต่อเดือน) ในขณะที่ลูกศรชี้ลงหมายถึง ต้นทุนหรือรายจ่าย (บาทต่อเดือน)

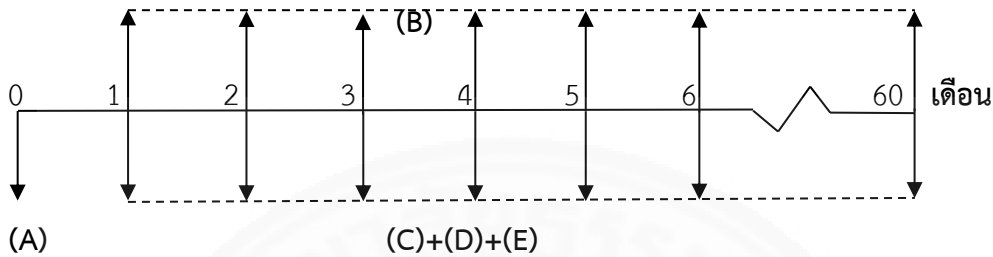
กำหนดให้

- (A) = ต้นทุนเครื่องจักรและค่าก่อสร้าง = 9,200,000 บาท
- (B) = รายได้จากการขายไข่อ้อย (บาทต่อเดือน)
- = ราคาขาย (บาทต่อกิโลกรัม) × ปริมาณไข่อ้อยที่สกัดได้ (กิโลกรัมต่อเดือน)*
- (C) = ต้นทุนค่าดำเนินการและการบริหารจัดการ = 125,704 บาทต่อเดือน
- (C) = ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี = 115,081 บาทต่อเดือน

(E) = ค่าเสื่อมราคา = 34,448 บาทต่อเดือน

*ปริมาณไข่อ้อยที่สกัด ภายใต้สภาวะความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาที เท่ากับ 0.81 กิโลกรัมไข่อ้อยต่อวัน

4.3.2 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จุดคุ้มทุน 5 ปี



ภาพที่ 4.7 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ (Cash flow diagram) ที่จุดคุ้มทุน 5 ปี

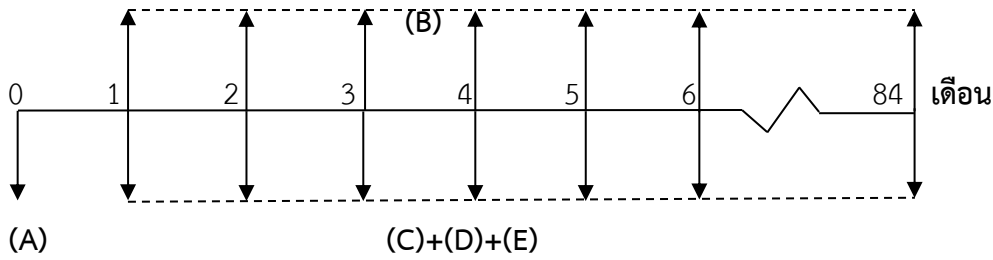
แกนนอนเป็นระยะเวลา (เดือน) ลูกศรชี้ขึ้นหมายถึงรายได้ (บาทต่อเดือน) ในขณะที่ลูกศรชี้ลงหมายถึง ต้นทุนหรือรายจ่าย (บาทต่อเดือน)

กำหนดให้

- (A) = ต้นทุนเครื่องจักรและค่าก่อสร้าง = 9,200,000 บาท
- (B) = รายได้จากการขายไข่อ้อย (บาทต่อเดือน)
= ราคาขาย (บาทต่อกิโลกรัม) × ปริมาณไข่อ้อยที่สกัดได้ (กิโลกรัมต่อเดือน)*
- (C) = ต้นทุนค่าดำเนินการและการบริหารจัดการ = 125,704 บาทต่อเดือน
- (D) = ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี = 115,081 บาทต่อเดือน
- (E) = ค่าเสื่อมราคา = 34,448 บาทต่อเดือน

*ปริมาณไข่อ้อยที่สกัด ภายใต้สภาวะความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาที เท่ากับ 0.81 กิโลกรัมไข่อ้อยต่อวัน

4.3.3 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จุดคุ้มทุน 7 ปี



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ (Cash flow diagram) ที่จุดคุ้มทุน 7 ปี

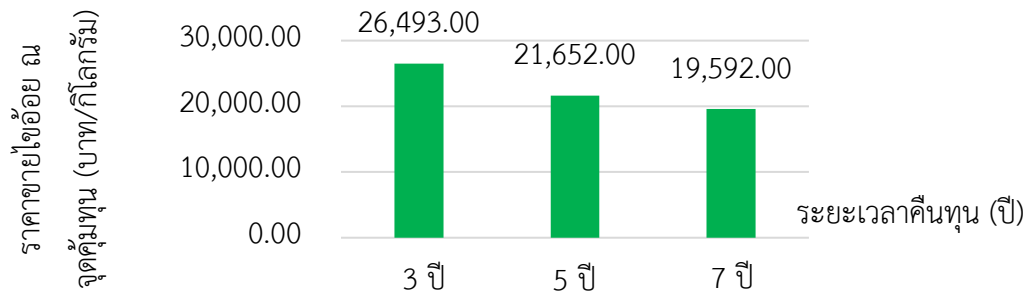
แกนนอนเป็นระยะเวลา (เดือน) ลูกศรชี้ขึ้นหมายถึงรายได้ (บาทต่อเดือน) ในขณะที่ลูกศรชี้ลงหมายถึง ต้นทุนหรือรายจ่าย (บาทต่อเดือน)

กำหนดให้

- (A) = ต้นทุนเครื่องจักรและค่าก่อสร้าง = 9,200,000 บาท
- (B) = รายได้จากการขายไข่อ้อย (บาทต่อเดือน)
= ราคาขาย (บาทต่อกิโลกรัม) × ปริมาณไข่อ้อยที่สกัดได้ (กิโลกรัมต่อเดือน)*
- (C) = ต้นทุนค่าดำเนินการและการบริหารจัดการ = 125,704 บาทต่อเดือน
- (D) = ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี = 115,081 บาทต่อเดือน
- (E) = ค่าเสื่อมราคา = 34,448 บาทต่อเดือน

* ปริมาณไข่อ้อยที่สกัด ภายใต้สภาวะความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาที เท่ากับ 0.81 กิโลกรัมไข่อ้อยต่อวัน

เนื่องจากราคาขายไข่อ้อยมีช่วงราคาที่กว้างมาก อยู่ในช่วง 35- 35,5000 บาทต่อกิโลกรัม^[21] ซึ่งราคาขายขึ้นอยู่กับต้นทุนการสกัดและความบริสุทธิ์ของไข่อ้อย งานวิจัยนี้จึงประเมินราคาไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุนโดยใช้ค่าผลได้ของไข่อ้อยสูงที่สุด ภายใต้สภาวะการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ที่ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที โดยกำหนดระยะเวลาคืนทุนที่ (Payback Period) 3 ปี 5 ปี และ 7 ปี แสดงค่าตัวแปรต่างๆเพื่อใช้หาราคาขาย ณ จุดคุ้มทุน ด้วยแผนภูมิกระแสเงินสด ภาพที่ 4.6-4.8 (ผลลัพธ์การคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ก.)



ภาพที่ 4.9 ราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุน ซึ่งไข่ออยนี้สกัดภายใต้ ที่ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

4.3.4 การคำนวณค่าเสื่อมราคา จาก Straight Line Method

$$D_n = \frac{C_0 - S}{N} \quad (4.2)$$

เมื่อ

D_n = อัตราเสื่อมสภาพเครื่องจักรในช่วงอายุการใช้งาน

C_0 = เงินลงทุนเครื่องจักรเริ่มต้น

S = ค่าซากเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน

N = อายุการใช้งานของเครื่องจักร = 15 ปี

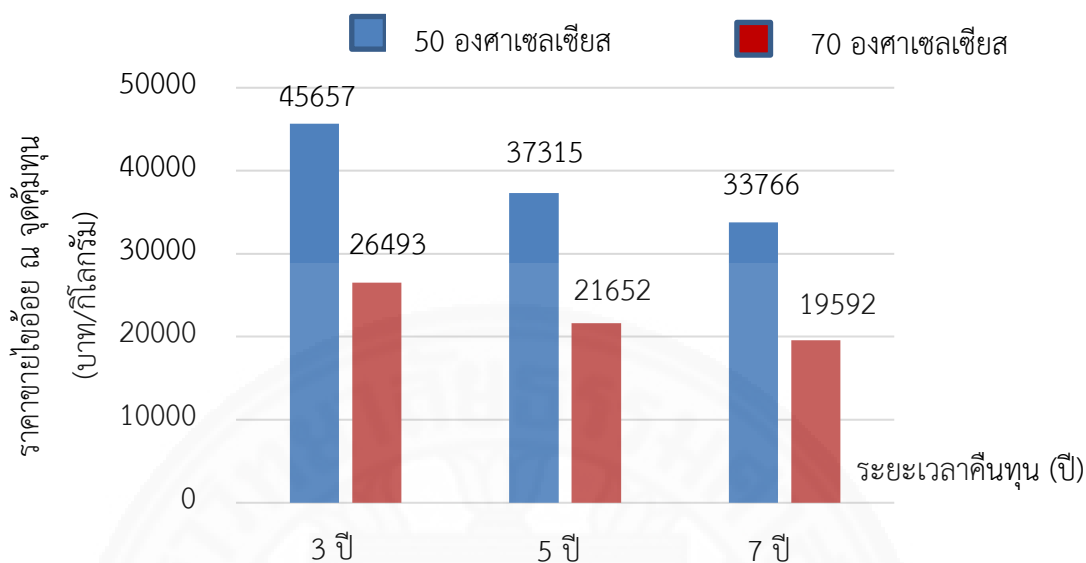
เมื่ออัตราเสื่อมสภาพเครื่องจักร = $\frac{1}{\text{Useful life}} = \frac{1}{15} = 6.67\%$ ปี

กำหนดค่าซาก เท่ากับ 20% ของค่าเครื่องจักรเริ่มต้น

เมื่อแทนค่าในสมการ (4.2) จะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าซากของเครื่องจักร} &= \frac{(8,000,000 - 8,000,000 \times 0.2)}{0.067} \\ &= 426,666 \text{ บาท ต่อปี หรือเท่ากับ } 34,448 \text{ บาทต่อเดือน} \end{aligned}$$

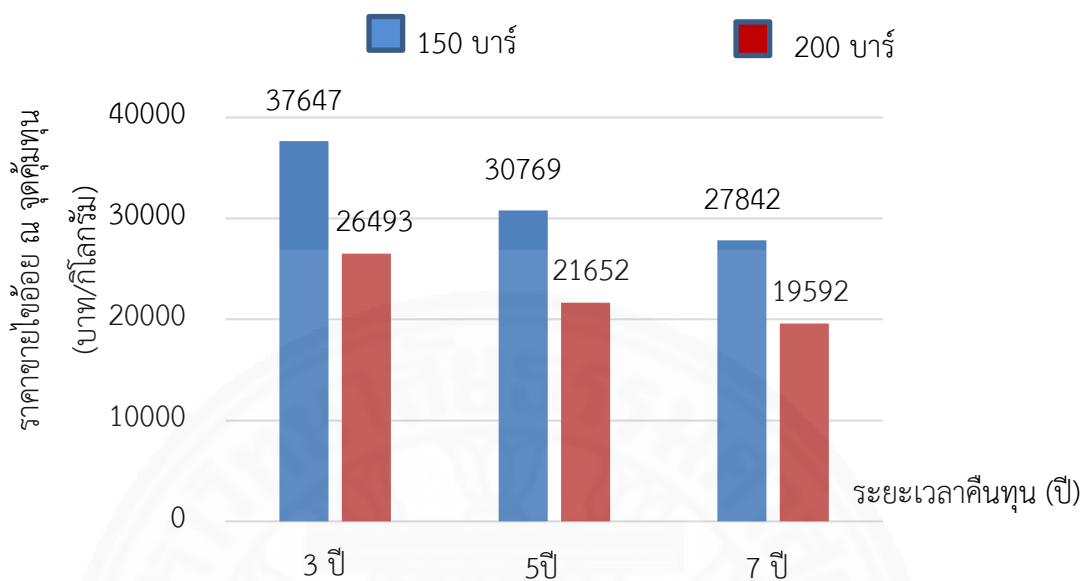
4.4 ผลของอุณหภูมิในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤติยิ่งยวดที่มีต่อราคาขายไขอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไขอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ กับระยะเวลาคຸ້ມທຸນ ภายใต้ความดัน 200 บาร์ และเวลาการสกัด 60 นาที เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในถังสกัดที่มีต่อราคาขายไขอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ พบว่า ไขอ้อยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ภายใต้ความดันและระยะเวลาในการสกัดเท่ากัน ที่ความดัน 200 บาร์และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที (ดังภาพที่ 4.10) โดยเพิ่มอุณหภูมิ จาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียส จะได้ราคาของไขอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນเพิ่มขึ้น 29.63%

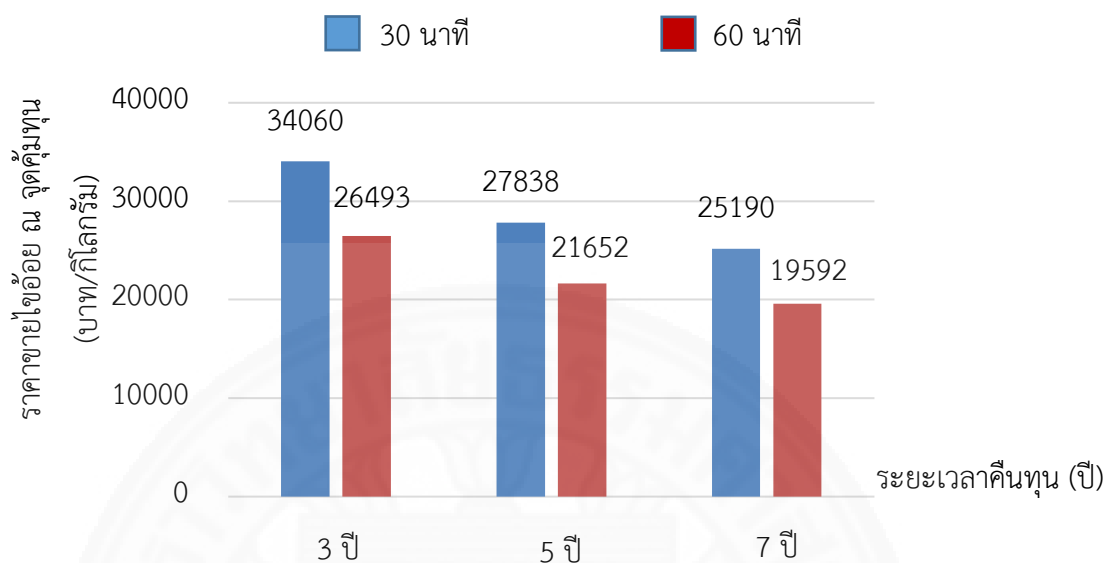
4.5 ผลของความดันในถังสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤติยิ่งยวดที่มีต่อราคาขายไซอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไซอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ กับระยะเวลาคืนทุน ภายใต้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลา 60 นาที เมื่อเปรียบเทียบความดัน 150 และ 200 บาร์

เมื่อทำการศึกษาผลของความดันในถังสกัดที่มีต่อราคาขายไซอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ พบว่าไซอ้อยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด ภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลา 60 นาที (ดังภาพที่ 4.11) โดยเพิ่มความดันจาก 150 บาร์เป็น 200 บาร์ จะได้ราคาของไซอ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນลดลง 41.79%

4.6 ผลของระยะเวลาในการสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤติยิ่งยวดที่มีต่อราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ กับระยะเวลาคຸ້ມທຸນ ภายใต้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและความดัน 200 บาร์เมื่อปรับเวลา 30 นาที

เมื่อทำการศึกษาผลของระยะเวลาสกัดที่มีต่อราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ พบว่าไข่อ้อยที่สกัดจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤติยิ่งยวด ภายใต้ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน ที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 4.12) การเพิ่มเวลาสกัดจาก 30 นาทีเป็น 1 ชั่วโมง จะได้ราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคຸ້ມທຸນ ลดลง 41.79%

4.7 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการลงทุนสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด จะเปรียบเทียบระหว่างสองโครงการคือ โครงการที่ลงทุนซื้อเครื่องสกัดเองกับโครงการเช่าเครื่องสกัด ดังนั้นจำเป็นต้องมีดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ในการเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการเลือกลงทุนในโครงการใด

4.7.1 ผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on investment, ROI)

จุดประสงค์การวิเคราะห์ต้นทุนของการลงทุนเพื่อที่จะเปรียบเทียบค่าของผลประโยชน์ที่ได้จากการลงทุนกับค่าใช้จ่ายในการพิจารณาว่าโครงการนั้นมีความคุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์การวัดผลตอบแทนการลงทุนจากการสกัดไขอ้อยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบและประเมินรายรับและผลกำไรอย่างง่าย โดยจะวัดค่าของโครงการในรูปอัตราส่วนซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลกำไรสุทธิจากการลงทุน ค่าตัวเลข %ROI นี้บอกให้ทราบว่า ผลกำไรสุทธิจากการลงทุนเทียบกับเงินลงทุนเริ่มต้น จะได้ การใช้ ROI เป็นตัวประกอบในการตัดสินใจเนื่องจากง่ายและสะดวกในการคำนวณ สามารถบอกความเสี่ยงเบื้องต้นได้ โดยโครงการที่คืนทุนเร็วจะมีสภาพคล่อง (liquidity) สูงกว่าโครงการที่คืนทุนช้า

ผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on investment, ROI) สามารถคำนวณได้จาก สมการ (4.3)

$$\%ROI = \frac{(A-B)}{B} \times 100 \quad (4.3)$$

A = รายได้จากเงินลงทุน (Gain from investment) (บาท)

B = เงินลงทุนเริ่มต้น (Initial investment) (บาท)

ตารางที่ 4.3 ผลตอบแทนจากการลงทุนที่คำนวณได้จากค่าผลได้ของไข่อ้อยที่สกัดภายใต้ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและในเวลา 60 นาทีสำหรับโครงการที่ลงทุนซื้อเครื่องสกัดเอง

ระยะเวลาคืนทุน	ROI (เปอร์เซ็นต์ต่อปี)
3 ปี	72.77
5 ปี	59.47
7 ปี	53.81

โดยจากการประเมินค่าผลตอบแทนการลงทุนสูงที่สุด จากระยะคืนทุนที่ 3 ปีเท่ากับ 72.77%

4.7.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)

อย่างไรก็ตามการพิจารณาเกณฑ์จากการวัดผลตอบแทนจากการลงทุนเพียงอย่างเดียว ยังมีข้อจำกัดในระยะเวลาของการได้มาซึ่งผลประโยชน์ ดังนั้นเกณฑ์ที่ปรับค่าของเวลาเป็นเกณฑ์ที่มีความสมเหตุสมผลมากกว่า เพราะได้พิจารณาหักลดค่าของเงินในแต่ละปีตลอดอายุโครงการมาไว้ ณ เวลาเดียวกันคือเวลาปัจจุบัน โดยพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่น่าสนใจในการลงทุน (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) เท่ากับ 10% เป็นอัตราผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ เมื่อมีการลงทุนโครงการ โดยใช้ค่านี้มาช่วยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกในการลงทุน โดยจะตัดสินใจลงทุนก็ต่อเมื่ออัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) มากกว่าค่าหรือเท่ากับค่า MARR

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) สามารถคำนวณด้วยสมการ (4.4)

$$NPV = 0 = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r^*)^i} \quad (4.4)$$

เมื่อ

C_0 = เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)

C = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินปัจจุบันในเดือนที่ 1 ถึง(เดือนสุดท้าย)

ของโครงการ (เดือนที่ n) (บาท)

r^* = อัตราผลตอบแทนภายใน (% per month)

i = ระยะเวลา (เดือน)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบราคาขายของไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุน เมื่อประเมินที่อัตราผลตอบแทนเท่ากับ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้และอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ สำหรับโครงการที่ลงทุนซื้อเครื่องสกัดเอง

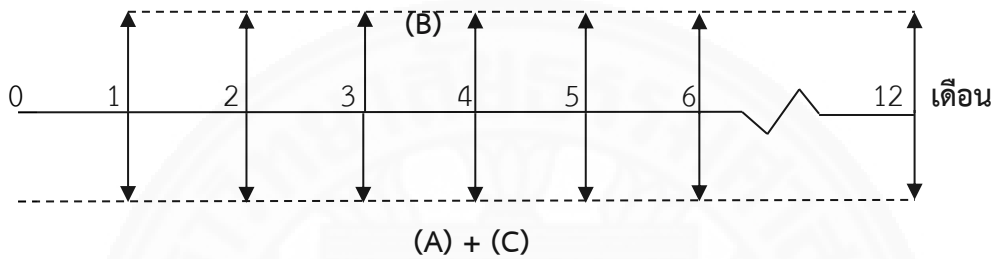
ราคาขาย ไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุน	IRR (6.88 %ต่อ ปี)		MARR (10% ต่อ ปี)		% เปลี่ยนแปลง*
	บาท/กิโลกรัม	บาท/กรัม	บาท/กิโลกรัม	บาท/กรัม	
ระยะเวลา คืนทุน 3 ปี	26,493	26.5	27,050	27.05	+3.63
ระยะเวลา คืนทุน 5 ปี	21,652	21.6	22,230	22.23	+2.83
ระยะเวลา คืนทุน 7 ปี	19,592	19.6	20,200	22.20	+11.7

*เมื่อคำนวณเปรียบเทียบราคาขายของไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุน เมื่อประเมินที่อัตราผลตอบแทนเท่ากับ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เทียบกับราคาขาย ณ จุดคุ้มทุน เมื่อประเมินที่อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ

เมื่อกำหนดราคาขายไขอ้อยเท่ากับราคาในท้องตลาดคือ 6,000 บาท ต่อกิโลกรัม^[21] ซึ่ง ไขอ้อยที่ขายในราคาท้องตลาดนี้ไม่ระบุวิธีการสกัดหรือความบริสุทธิ์ สามารถคำนวณหาอัตรา ผลตอบแทนภายใน (r^*) โดยใช้สมการที่ (3) โดยกำหนดระยะเวลาคืนทุนต่างกัน 3 ปี 5 ปี และ 7 ปี ได้ ผลลัพธ์ค่า r^* เท่ากับ 2.8% ต่อปี, 2.6% ต่อปี และ 0.5% ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าอัตรา ผลตอบแทนจากการลงทุนขั้นต่ำคือ 10% ดังนั้นไขอ้อยที่สกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด จึงไม่ สามารถตั้งราคาขายไขอ้อยได้ที่ 6,000 บาท ต่อกิโลกรัมได้ แต่ข้อได้เปรียบของไขอ้อยที่สกัดด้วยวิธี คาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวดมีความบริสุทธิ์สูง จัดเป็นเกรดอาหารและยาได้

จากผลการคำนวณราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุน สำหรับโครงการที่ลงทุนซื้อเครื่องสกัดเอง ประกอบกับค่า ROI และ IRR จะเห็นได้ว่าไม่น่าลงทุน

งานวิจัยนี้จึงเสนออีกทางเลือกหนึ่งคือโครงการเช่าเครื่องสกัดไข่อ้อยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด โดยจะพิจารณาราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคุ้มทุน เมื่อกำหนดระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 12 เดือน (ดังแสดงกระแสเงินสดในภาพที่ 4.13 และผลการคำนวณแสดงในตาราง 4.5)



ภาพที่ 4.13 แผนภูมิการไหลค่าใช้จ่ายต่างๆ จากการเช่าเครื่อง(Cash flow diagram) ณ จุดคุ้มทุน เมื่อกำหนดระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 12 เดือน

แกนนอนเป็นระยะเวลา (เดือน) ลูกศรชี้ขึ้นหมายถึงรายได้ (บาทต่อเดือน) ในขณะที่ลูกศรชี้ลงหมายถึง ต้นทุนหรือรายจ่าย (บาทต่อเดือน)

กำหนดให้

- A = ค่าเช่าเครื่อง (บาทต่อเดือน)
- B = รายได้จากการขายไข่อ้อย (บาทต่อเดือน)
- C = ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี [บาทต่อเดือน]

ตารางที่ 4.5 กระแสเงินสดปัจจุบันจากการเช่าเครื่องที่จุดคຸ່ມทุนภายใน 12 เดือน

เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากขายไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของ เงินรวม (บาท)
1	-233,387	233,388	0.25
2	-220,288	220,288	0.48
3	-207,924	207,925	0.70
4	-196,255	196,255	0.90
5	-185,240	185,240	1.10
6	-174,843	174,843	1.28
7	-165,030	165,030	1.45
8	-155,767	155,767	1.62
9	-147,025	147,025	1.77
10	-138,773	138,773	1.92
11	-130,984	130,984	2.06
12	-123,633	123,633	2.19

ในกรณีไม่มีการลงทุนค่าเครื่องจักรแต่เป็นการเช่าเครื่องแทน เมื่อทำการคำนวณจะได้ราคาขายไข่อ้อย ณ จุดคຸ່ມทุน เท่ากับ 11.74 บาทต่อกรัม เมื่อกำหนดระยะเวลาคຸ່ມทุนเท่ากับ 12 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับราคาขายไข่อ้อยในท้องตลาดมีช่วงราคาที่กว้างมากอยู่ในช่วง 0.35- 35.5 บาทต่อกรัม^[21] ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ จึงเห็นได้ว่าโครงการเช่าเครื่องสกัดน้ำตาลลงทุน เนื่องจากมีศักยภาพในการแข่งขัน เนื่องจากไข่อ้อยที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดจะมีความบริสุทธิ์สูงจัดเป็นเกรดอาหารและยาได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดระดับนําร่อง มีดังต่อไปนี้

1. สภาวะการสกัดไขอ้อยด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดภายใต้ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและภายในเวลาสกัด 60 นาที ได้นํ้าหนักไขอ้อยสูงที่สุดเท่ากับ 134.62 กรัมไขอ้อยต่อกากหม้อกรอง 10 กิโลกรัม

2. ค่าผลได้ของไขอ้อยแปรผันตามค่าตัวแปรสภาวะในการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ได้แก่ อุณหภูมิ, ความดันและระยะเวลาในการสกัด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าผลได้ไขอ้อยมากที่สุด ในขณะที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัด มีผลต่อเพิ่มขึ้นของค่าผลได้ไขอ้อยน้อยที่สุด

3. ผลการศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับโครงการลงทุนซื้อเครื่องจักรเองในการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด เมื่อกำหนดระยะเวลาคืนทุน ที่ 3 ปี 5 ปี และ 7 ปี ผลการประเมินราคาขายไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุน เท่ากับ 26.49, 21.65 และ 19.59 บาทต่อกรัมไขอ้อยตามลำดับ และได้ผลตอบแทนการลงทุนจากระยะเวลาคืนทุนที่ 3 ปี 5 ปี และ 7 ปี เท่ากับ 72.77%, 59.47% และ 53.81% ตามลำดับ และอัตราผลตอบแทนภายในจากระยะเวลาคืนทุน ที่ 3 ปี 5 ปี และ 7 ปีได้เท่ากับ 2.8% ต่อปี, 2.6% ต่อปี และ 0.5% ต่อปีตามลำดับ ซึ่งได้ต่ำกว่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนขั้นต่ำคือ 10% จึงไม่น่าลงทุนในโครงการซื้อชุดเครื่องสกัดเอง

4. สำหรับโครงการลงทุนซื้อชุดสกัดเอง ราคาขาย ไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุน แปรผันตามค่าตัวแปรสภาวะในการสกัดไขอ้อยจากกากหม้อกรองด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ได้แก่ อุณหภูมิ, ความดันและระยะเวลาในการสกัด และเมื่อเพิ่มความดันในการสกัดมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของราคาขาย ไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุนมากที่สุด ในขณะที่การเพิ่มขึ้นอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด มีผลต่อเพิ่มขึ้นของราคาขาย ไขอ้อย ณ จุดคุ้มทุน ใกล้เคียงกัน

5. ผลการศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับโครงการเช่าเครื่องสกัดพบว่าราคาขายเท่ากับ 11.74 บาทต่อกรัม ซึ่งนำลงทุนในโครงการเช่าเครื่องจักร เพราะสามารถตั้งราคาขายให้แข่งขันกับราคาตลาดได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ต้องสกัดกากหม้อกรองซ้ำ ณ สภาวะการสกัดเดิม อีกครั้งเพื่อเพิ่มผลได้ของไขอ้อยต่อกากหม้อกรอง
2. ควรออกแบบระบบท่อให้มีข้อต่อน้อยที่สุดและลดความยาวของท่อเพื่อลดแรงดันตกคร่อมในระบบ
3. ควรทำการสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 to 80 °C ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของไข ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลสกัดที่ดีขึ้น

รายการอ้างอิง

1. Sibel Irmak, Nurhan Turgut Dunford and Jeff Milligan, *Policosanol contents of beeswax, sugar cane and wheat extracts*. Food Chemistry 95, 2006: 312–318.
2. Dunford Nurhan, Turgut Irmak Sibel and Jonnala Ramakanth, *Pressurised solvent extraction of policosanol from wheat straw, germ and bran*. Food chemistry v.119 no.3, 2010: 1246-1249.
3. *Policosanol Monograph, Alternative Medicine Review*, Volume 9, Number 3, 2004: 312-317.
4. Cesare da Sesto, Muhammed Majeed and Lakshmi Prakash, *A double-blind study to evaluate the safety and efficacy of policosanol vs. atorvastatin in the treatment of hyperlipidaemia*, Milano Italy, Nutraceuticals July/August 2007 :16-19
5. Gouni I. Berthold and Berthold H. K., *Policosanol/clinical pharmacology and therapeutic significance of a new lipid-lowering agent*, American Heart Journal, 2002 :143, 356–365.
6. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์และจุลชีววิทยาของ Filter Press Cake จากโรงงานน้ำตาลในประเทศไทย ระยะที่ 1-2, <http://www.kmutt.ac.th/rippc/precake.htm>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2559
7. ข้อมูลธาตุอาหารต่างๆในกากหม้อกรองเก่าและใหม่, <http://writer.dek-d.com/ded/writer/viewlongc.php?id=443325&chapter=6>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2559
8. กระบวนการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล, <http://processflowsheets.blogspot.com>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2559
9. Valdes S. Arruzazabala MI, Fernandez L. et al., *Effect of policosanol on platelet aggregation in Healthy volunteers*, Int J Clin Pharmacol Res, 1996 :16, 67-72.
10. Muhammed Majeed and Lakshmi Prakash. *Policosanol natural healthful from the inside and out*, Sabinsa Corporation, 2007

11. การสกัดน้ำมันหอมระเหย,<http://www.aromahub.com/th/articles-thai/25-essential-oil-articles/91-2014-11-12-11-47-15>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2559.
12. จิราภรณ์ พึ่งธรรม, กรณ์กนก อายุสุข, คณิศา กิตติรัตน์ไพบุลย์, นฤมล จิย์โชค และ คณิต กฤษณังกูร, *การสกัดการทำให้บริสุทธิ์และการวิเคราะห์องค์ประกอบของโพลีโคซานอลจากไขรำข้าวของไทย*, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 31 ฉบับที่ 2, 2551.
13. พุทธชาติ แก้วแดง, *การทำไขรำข้าวอุตสาหกรรมให้บริสุทธิ์*, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี
14. ปัทมา น้ำทองคำ, *การเตรียมไขรำข้าวบริสุทธิ์*, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี.
15. Shiyi Ou, Jian Zhao, Yong Wang and Ye Tian and Jiong Wang, *Preparation of octacosanol from filter mud produced after sugarcane juice clarification*, Food Science and Technology Vol.45, 2012, :295-298.
16. CO₂ Pressure-Temperature phase diagram, http://hub.globalccsinstitute.com/publications/co2-liquid-logistics-shipping-concept-llsc-overall-supply-chain-optimization/53-co2#fig_024, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2559.
17. บริษัท ไนโซ จำกัด แผนกเครื่องสกัดสาร, <http://www.nichomachine.com>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2559.
18. สำนักงานคณะกรรมการหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์, *ภาคผนวก 1 มาตรฐานและจรรยาบรรณวิชาชีพ, การประเมินมูลค่าโรงงานและเครื่องจักรอุปกรณ์*
19. ธนาคารพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมแห่งประเทศไทย, *อัตราดอกเบี้ยสินเชื่อ*, <http://www.smebank.co.th>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2559.
20. Chan Park, *Contemporary Engineering Economics*, 2nd edition, Prentice Hall c2007, Addition Wesley Longman, 375-377.
21. ราคาขายไขอ้อยในปัจจุบัน, <https://www.alibaba.com/showroom/sugarcane-wax.html>, [อินเทอร์เน็ต], สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559.

22. Patent No US 7217546, *Commercially viable process for high purity of fatty alcohol C24 to C36 and its cosmetic application for skin hair and nails.*
23. Muhammed Majeed and Lakshmi Prakash, *Policosanol natural healthful from the inside and out*, Sabinsa Corporation 2007,: 10-11





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางกระแสเงินปัจจุบันที่จุดคืนทุนที่ 3 ปี 5 ปี และ 7 ปี

ตารางแสดงกระแสเงินปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน,บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน,บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
1	-273,711	554,858	-8,918,854
2	-272,198	551,790	-8,639,262
3	-270,693	548,738	-8,361,216
4	-269,196	545,704	-8,084,708
5	-267,707	542,687	-7,809,728
6	-266,227	539,686	-7,536,269
7	-264,755	536,702	-7,264,322
8	-263,291	533,734	-6,993,879
9	-261,835	530,783	-6,724,931
10	-260,388	527,848	-6,457,470
11	-258,948	524,930	-6,191,488
12	-257,516	522,027	-5,926,977
13	-256,092	519,141	-5,663,929
14	-254,676	516,270	-5,402,335
15	-253,268	513,415	-5,142,187
16	-251,867	510,577	-4,883,478

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคินทุน 3 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน,บาท)	รายได้จากไข้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน,บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
17	-250,475	507,753	-4,626,199
18	-249,090	504,946	-4,370,343
19	-247,712	502,154	-4,115,901
20	-246,343	499,377	-3,862,867
21	-244,981	496,616	-3,611,232
22	-243,626	493,870	-3,360,988
23	-242,279	491,139	-3,112,127
24	-240,939	488,424	-2,864,643
25	-239,607	485,723	-2,618,527
26	-238,282	483,037	-2,373,772
27	-236,965	480,366	-2,130,371
28	-235,654	477,710	-1,888,315
29	-234,351	475,069	-1,647,598
30	-233,056	472,442	-1,408,211
31	-231,767	469,830	-1,170,148
32	-230,485	467,232	-933,402
33	-229,211	464,648	-697,965
34	-227,944	462,079	-463,829
35	-226,683	459,524	-230,989

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน,บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน,บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
36	-225,430	456,983	565

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
1	-273,711	453,470	-9,020,241
2	-272,198	450,962	-8,841,477
3	-270,693	448,469	-8,663,701
4	-269,196	445,989	-8,486,907
5	-267,707	443,523	-8,311,092
6	-266,227	441,071	-8,136,248
7	-264,755	438,632	-7,962,371
8	-263,291	436,206	-7,789,456
9	-261,835	433,795	-7,617,497
10	-260,388	431,396	-7,446,489
11	-258,948	429,011	-7,276,426
12	-257,516	426,638	-7,107,303
13	-256,092	424,279	-6,939,116

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคินทุน 5 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
14	-254,676	421,933	-6,771,859
15	-253,268	419,600	-6,605,526
16	-251,867	417,280	-6,440,113
17	-250,475	414,973	-6,275,615
18	-249,090	412,678	-6,112,027
19	-247,712	410,397	-5,949,342
20	-246,343	408,127	-5,787,558
21	-244,981	405,871	-5,626,668
22	-243,626	403,626	-5,466,668
23	-242,279	401,395	-5,307,552
24	-240,939	399,175	-5,149,316
25	-239,607	396,968	-4,991,955
26	-238,282	394,773	-4,835,464
27	-236,965	392,590	-4,679,839
28	-235,654	390,419	-4,525,074
29	-234,351	388,261	-4,371,165
30	-233,056	386,114	-4,218,107
31	-231,767	383,979	-4,065,895
32	-230,485	381,856	-3,914,524

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคินทุน 5 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
33	-229,211	379,744	-3,763,991
34	-227,944	377,644	-3,614,290
35	-226,683	375,556	-3,465,417
36	-225,430	373,480	-3,317,367
37	-224,183	371,415	-3,170,136
38	-222,944	369,361	-3,023,718
39	-221,711	367,319	-2,878,111
40	-220,485	365,288	-2,733,308
41	-219,266	363,268	-2,589,306
42	-218,053	361,259	-2,446,101
43	-216,848	359,262	-2,303,687
44	-215,649	357,275	-2,162,060
45	-214,456	355,300	-2,021,217
46	-213,271	353,335	-1,881,153
47	-212,091	351,381	-1,741,863
48	-210,919	349,438	-1,603,343
49	-209,752	347,506	-1,465,589
50	-208,593	345,585	-1,328,597
51	-207,439	343,674	-1,192,362

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 5 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
52	-206,292	341,774	-1,056,881
53	-205,151	339,884	-922,148
54	-204,017	338,004	-788,161
55	-202,889	336,135	-654,914
56	-201,767	334,277	-522,405
57	-200,652	332,429	-390,628
58	-199,542	330,590	-259,579
59	-198,439	328,762	-129,256
60	-197,341	326,945	347

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
1	-273,711	410,326	-9,063,385
2	-272,198	408,057	-8,927,526
3	-270,693	405,801	-8,792,417
4	-269,196	403,557	-8,658,056
5	-267,707	401,326	-8,524,438
6	-266,227	399,107	-8,391,558
7	-264,755	396,900	-8,259,414
8	-263,291	394,705	-8,128,000
9	-261,835	392,523	-7,997,312
10	-260,388	390,352	-7,867,347
11	-258,948	388,194	-7,738,101
12	-257,516	386,047	-7,609,570
13	-256,092	383,913	-7,481,749
14	-254,676	381,790	-7,354,635
15	-253,268	379,679	-7,228,224
16	-251,867	377,580	-7,102,511
17	-250,475	375,492	-6,977,494
18	-249,090	373,416	-6,853,169
19	-247,712	371,351	-6,729,530

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
20	-246,343	369,298	-6,606,575
21	-244,981	367,256	-6,484,300
22	-243,626	365,225	-6,362,702
23	-242,279	363,205	-6,241,775
24	-240,939	361,197	-6,121,517
25	-239,607	359,200	-6,001,925
26	-238,282	357,214	-5,882,993
27	-236,965	355,239	-5,764,719
28	-235,654	353,274	-5,647,099
29	-234,351	351,321	-5,530,130
30	-233,056	349,378	-5,413,807
31	-231,767	347,447	-5,298,127
32	-230,485	345,525	-5,183,087
33	-229,211	343,615	-5,068,683
34	-227,944	341,715	-4,954,912
35	-226,683	339,825	-4,841,770
36	-225,430	337,946	-4,729,253
37	-224,183	336,078	-4,617,358
38	-222,944	334,219	-4,506,083

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคินทุน 7 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
39	-221,711	332,371	-4,395,422
40	-220,485	330,534	-4,285,374
41	-219,266	328,706	-4,175,933
42	-218,053	326,888	-4,067,098
43	-216,848	325,081	-3,958,865
44	-215,649	323,283	-3,851,231
45	-214,456	321,496	-3,744,191
46	-213,271	319,718	-3,637,743
47	-212,091	317,950	-3,531,884
48	-210,919	316,192	-3,426,610
49	-209,752	314,444	-3,321,919
50	-208,593	312,705	-3,217,806
51	-207,439	310,976	-3,114,269
52	-206,292	309,257	-3,011,304
53	-205,151	307,547	-2,908,909
54	-204,017	305,846	-2,807,080
55	-202,889	304,155	-2,705,813
56	-201,767	302,473	-2,605,107
57	-200,652	300,801	-2,504,958

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
58	-199,542	299,138	-2,405,362
59	-198,439	297,484	-2,306,318
60	-197,341	295,839	-2,207,820
61	-196,250	294,203	-2,109,868
62	-195,165	292,576	-2,012,457
63	-194,086	290,958	-1,915,585
64	-193,013	289,350	-1,819,248
65	-191,946	287,750	-1,723,444
66	-190,884	286,159	-1,628,170
67	-189,829	284,576	-1,533,422
68	-188,779	283,003	-1,439,199
69	-187,735	281,438	-1,345,496
70	-186,697	279,882	-1,252,312
71	-185,665	278,334	-1,159,642
72	-184,638	276,795	-1,067,486
73	-183,617	275,265	-975,838
74	-182,602	273,743	-884,698
75	-181,592	272,229	-794,061
76	-180,588	270,724	-703,926

ตารางแสดงกระแสเงินสดปัจจุบันที่ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี			
เดือนที่ (n)	ต้นทุนดำเนินงานรวม (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	รายได้จากไข่อ้อย (แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน, บาท)	ค่าปัจจุบันของเงิน รวม (บาท)
77	-179,590	269,227	-614,289
78	-178,597	267,738	-525,148
79	-177,609	266,258	-436,499
80	-176,627	264,785	-348,341
81	-175,651	263,321	-260,670
82	-174,679	261,865	-173,484
83	-173,713	260,417	-86,780
84	-172,753	258,977	-555

ภาคผนวก ข

รายการคำนวณค่าไฟฟ้า

(1) การคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

คำนวณค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ชนิด MITSUBISHI/MX1-3R1TL และ EDM/GENIUS ต่อวันจากการทดลองที่ 12

ประเภทที่ 3.1 (กิจการขนาดกลาง) อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff) สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมี ความต้องการ พลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่าน เครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

แรงดันไฟฟ้า 2 (แรงดัน 22 - 33 kV)

ความต้องการพลังไฟฟ้าช่วง On Peak	0.07	กิโลวัตต์
ความต้องการพลังไฟฟ้าช่วง Off Peak	0	กิโลวัตต์
ความต้องการพลังไฟฟ้าช่วง Holiday	0	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak (P)	519	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (OP)	0	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าช่วง Holiday (H)	0	หน่วย
ความต้องการพลังไฟฟารีแอกตีฟ (KVAR)	2.17	กิโลวาร์
ค่า F_t	46.38	สตางค์/หน่วย

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

1.1 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า On Peak

แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14	(บาท/กิโลวัตต์)
แรงดัน 22-33 kV	132.93	(บาท/กิโลวัตต์)
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	(บาท/กิโลวัตต์)

$$= 0.07 \times 132.93 = 9.04 \text{ บาท}$$

1.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า On Peak

แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	4.1283	(บาท/หน่วย)
แรงดัน 22-33 kV	4.2097	(บาท/หน่วย)
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	4.3555	(บาท/หน่วย)

$$= 519 \times 4.2097 = 2,184.83 \text{ บาท}$$

1.3 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

จำนวนกิโลวาร์ที่คิดเงิน	2.00	กิโลวาร์
-------------------------	------	----------

อัตราค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Charge) อัตราค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 56.07 บาท/กิโลวาร์ต่อเดือน สำหรับกิโลวาร์ส่วนเกินเมื่อค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 0.875 (Lagging)

$$= 2 \times 56.07 = 112.14 \text{ บาท}$$

$$1.4 \text{ ค่าบริการ} = 312.24 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 9.04 + 2,184.83 + 112.14 + 312.24 = 2,618.25 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)

$$\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่า Ft} = 519 \times 46.38 = 240.71 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า F_p) \times 7/100 = 200.13 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า = 2,618.25 + 240.71 + 200.13 = 3,059.09 บาท



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายชยานนท์ เกาโบรมย์
วันเดือนปีเกิด	6 ตุลาคม 2517
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2547: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนอร์ททิงแฮม
ตำแหน่ง	วิศวกรออกแบบเครื่องกล แผนกวิศวกรรม บริษัท เอสเอ็นซี ลาวาลิน ประเทศไทย จำกัด
ผลงานทางวิชาการ	ชยานนท์ เกาโบรมย์, วิศวกร สกลภาพ และกิตติวุฒิ เกษมวงศ์, “การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการสกัดสารโพลีโคซานอลจากไขอ้อยระดับนำร่อง”, งานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่12, วันที่ 8 – 10 มิถุนายน 2559, โรงแรมวังจันทร์ ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก, หน้า 656
ประสบการณ์ทำงาน	2555 – ปัจจุบัน วิศวกรออกแบบเครื่องกล บริษัท เอสเอ็นซี ลาวาลิน ประเทศไทย จำกัด 2552 – พ.ศ.2555 วิศวกรเครื่องกล บริษัท ซีเมนส์ ประเทศไทย จำกัด 2551 – พ.ศ.2552 วิศวกรออกแบบระบบท่อ บริษัท อูเด่ เซตเด็น ประเทศไทย จำกัด 2550 – พ.ศ.2551 วิศวกรโครงการ บริษัท ไทยนิปปอนสตีล ประเทศไทย จำกัด 2548 – พ.ศ.2550 วิศวกรท่อก๊าซและน้ำมัน บริษัท แบคเทิลอินเตอร์เนชั่นแนลอิงค์ จำกัด 2547 – พ.ศ.2548 วิศวกรเครื่องกล บริษัท วิคกีเอ็นจิเนียริง จำกัด