

การศึกษากระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับอุตสาหกรรม



T119508



นายบุญญเกียรติ สุริโย
นายบุญญฤทธิ์ มหาหงษ์
นายพีรพัฒน์ พันธุ์สวัสดิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

119508

- 8 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SILICA EXTRACTING PROCESS DEVELOPMENT FOR THE
INDUSTRIAL SCALE**



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนากระบวนการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อการผลิตในระดับ
อุตสาหกรรม

โดย นายบุญญเกียรติ สุริโย รหัสนักศึกษา 50010857
นายบุญญฤทธิ มหาหงษ์ รหัสนักศึกษา 50010858
นายพีรพัฒน์ พันธุ์วล รหัสนักศึกษา 50011118

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นริศรา ทองบุญชู
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



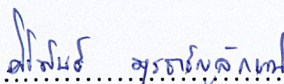
.....ประธานกรรมการ

(ดร.นริศรา ทองบุญชู)



.....กรรมการ

(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์)



.....กรรมการ

(อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาชัยลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การพัฒนากระบวนการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม	
โดย	นายบุญญเกียรติ	สุริโย
	นายบุญญฤทธิ์	มหาหงษ์
	นายพีรพัฒน์	พันธุ์ถวิล
ปริญญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ปีการศึกษา	2553	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. นริศรา ทองบุญชู	

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของโครงการนี้คือการศึกษาและพัฒนากระบวนการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยในการศึกษาได้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนของการวิจัยทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาหาปัจจัยและสภาวะในการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบที่ให้ร้อยละผลได้ของชิลิกาที่สูงที่สุด และขั้นตอนของการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ ซึ่งในการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบนั้น โดยทั่วไปแล้วประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบและขั้นตอนการตกตะกอนชิลิกาจากสารละลาย ในขั้นตอนการศึกษาการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับห้องปฏิบัติการนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตในขั้นตอนการสกัดที่หลายๆอัตราส่วน ศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัดและระยะเวลาในการตกตะกอน รวมไปถึงสารที่ใช้ในการตกตะกอนซึ่งได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ กรดซัลฟิวริก จากการทดลองพบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ดีกว่า โดยอัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบที่ทำให้ได้ร้อยละผลได้ของชิลิกาสูงสุดคือ 1:1 ส่วนเวลาในการสกัดนั้นพบว่าส่งผลให้ปริมาณชิลิกาที่สกัดได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 1:1 เวลาที่ใช้ในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณชิลิกาที่ได้ นอกจากนั้นการศึกษาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดซัลฟิวริกในขั้นตอนการตกตะกอน พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำให้ชิลิกาตกตะกอนได้ปริมาณใกล้เคียงกันกับการใช้กรดซัลฟิวริก ส่วนในขั้นตอนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ อุปกรณ์ที่สร้างจะแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ถังกวนผสมสารสกัดเถ้าแกลบขนาด 20 ลิตร ถังเก็บเถ้าแกลบขนาด 13 ลิตร และถังทำปฏิกิริยาการสกัดและตกตะกอนขนาด 25 ลิตร ในการดำเนินการในระดับห้องอุตสาหกรรม กระทำโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 1.5 กิโลกรัม เถ้าแกลบหนัก 3 กิโลกรัม ใช้เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนของการตกตะกอนพบว่าสามารถสกัดชิลิกาได้หนัก 1.5 กิโลกรัมซึ่งคิดเป็นร้อยละผลได้เท่ากับ 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Silica extracting process development for the industrial scale	
By	Mr.Boonyakiet	Suriyo
	Mr.Bunyarit	Mahahong
	Mr.Pirapat	Pantawin
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Chemical Engineering	
Year	2010	
Advisor	Dr.Narisara Thongboonchoo	

Abstract

The aim of this project is to study and develop the process of extracting silica from rice husk ash for industrial process. The study comprises of 2 parts, the first part is the lab scale experiment to analyze the factors and optimum condition in the aspect of the highest yield of silica, and the second part is to design, build, and operate the equipment for extracting silica in the pilot scale. Typically, there are two steps to extracted silica from rice husk ash, i.e., extraction of silica from ash and precipitation of silica from solution. The laboratory experiment was carried out by varying type of extracting agent (i.e., NaOH and Na₂CO₃), molar ratio of extracting solution and ash, extraction time, type of precipitating agent (i.e., H₂SO₄), precipitation time. The results showed that NaOH yields more silica than Na₂CO₃. The molar ratio of NaOH and ash that yields the highest silica is 1:1. The longer extraction time showed significant increase of silica, however, the silica yield at molar ratio of NaOH and ash about 1:1 does not change with longer extraction time. When using CO₂ and H₂SO₄ as precipitant, the yield of silica is almost the same and precipitation period does not affect the amount of silica. In the design step, the equipments consist of 3 parts, i.e, a 20 liters mixing and heating tank, a 13 liters ash container and a 25 liters digesting and precipitating tank. The pilot scale experiment was carried out by using 1.5 kg of NaOH and 3 kg of ash, 2 hours for digestion and using CO₂ as precipitant. The extracted silica is 1.5 kg or 50% yield

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา และอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญาบัตร ดร.นริศรา ทองบุญชู ที่ให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่างๆ ให้คำปรึกษา คำ
ชี้แนะ ความรู้ และแง่คิดที่ดีในการทำงานวิจัยตลอดจนประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ และ
อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาชัยกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะในการทำปริญญาบัตร
ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณร้านศรีวิศาล เกษรา จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการออกแบบและสร้าง
อุปกรณ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจและ
ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณงามความดีและประโยชน์อันใดที่เกิดจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มี
พระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับมา ณ ที่นี้

บุญญเกียรติ สุริโย

บุญญฤทธิ์ มหาหงษ์

พีรพัฒน์ พันธุ์ถวิล

7 มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญตาราง.....	X
สัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แกลบ.....	3
2.2 ถั่วแกลบและชิลิกา.....	3
2.3 การสกัดชิลิกาจากถั่วแกลบ.....	5
2.3.1 การใช้ด่างแก่เป็นตัวสกัดและใช้กรดแก่เป็นตัวตกตะกอน.....	6
2.3.2 การใช้ด่างแก่เป็นตัวสกัดและใช้กรดอ่อนในการตกตะกอน.....	6
2.3.3 การใช้ด่างอ่อนเป็นตัวสกัดและใช้กรดอ่อนเป็นตัวตกตะกอน.....	7
2.4 กระบวนการสกัดชิลิกาจากถั่วแกลบในระดับอุตสาหกรรม.....	8
2.4.1 กระบวนการสกัดชิลิกาจากถั่วแกลบ.....	8
2.4.2 กระบวนการสกัดชิลิกาจากถั่วแกลบที่ใช้ด่างอ่อนเป็นตัวสกัด และกรดอ่อนเป็นตัวตกตะกอน.....	9
2.5 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดชิลิกาจากถั่วแกลบในระดับกึ่งอุตสาหกรรม.....	10
2.5.1 การออกแบบถังปฏิกรณ์.....	10
2.5.2 ไบกวาน.....	12
2.5.3 วาล์ว.....	17
2.5.4 ตัวกระจายแก๊ส.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงาน.....	20
3.2 การทดลอง.....	20
3.2.1 การทดลองระดับห้องทดลอง.....	20
3.2.2 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในกระบวนการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับกึ่งอุตสาหกรรม.....	24
3.2.3 การทดลองระดับกึ่งอุตสาหกรรมในระดับกึ่งอุตสาหกรรม.....	25

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลของการสกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนโดยกรดซัลฟิวริก.....	27
4.1.1 ผลของเวลาและสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา.....	27
4.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา.....	28
4.1.3 ผลของการให้ความร้อนกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัดที่มีต่อ %yield ของชิลิกา.....	28
4.2 ผลของการสกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	29
4.2.1 ผลของสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบ ระยะเวลาการสกัด และระยะเวลาที่ใช้ในการทำ Carbonation ที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา.....	29
4.2.2 ผลของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำ Carbonation เปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริก ในการไทเทรตที่มีผลต่อ % yield ของชิลิกา.....	31
4.3 ผลของการสกัดใช้โซเดียมคาร์บอเนตและตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	32
4.3.1 ผลของการใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสกัดที่มีต่อ %yield ของชิลิกา.....	33
4.3.2 ผลของการใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดที่มีผลต่อระยะเวลาในการ Carbonate ที่มีต่อ %yield ของชิลิกา.....	33
4.4 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ.....	33
4.5 ผลการทดลองในระดับกึ่งอุตสาหกรรม.....	36

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	38

เอกสารอ้างอิง.....39

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....41

 ก.1 ฉนวนความร้อน.....41

 ก.2 ความหนาของฉนวน.....43

ภาคผนวก ข ^๕ขั้นตอนการคำนวณ.....45

 ข.1. การกำหนด Dimension ของฉนวนผสมสารละลาย และฉนวนสกัดและตกตะกอน.....45

 ข.2. การกำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ.....46

 ข.3. ขั้นตอนการกำหนดความหนาของฉนวนสกัดและตกตะกอน.....47

ภาคผนวก ค. ภาพร่างของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการสกัดและตกตะกอน.....48



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเกลบและเจ้าเกลบ.....	4
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติ การใช้งาน ข้อดี และข้อเสียของวาล์วแต่ละชนิด.....	18
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณซิลิกาและ % yield ของซิลิกาที่ได้จากการสกัดเมื่อแปรเปลี่ยนสัดส่วน โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเจ้าเกลบและเวลาในการสกัด.....	27
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณซิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้เวลาดกตะกอนต่างกัน.....	28
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณซิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้สัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเจ้าเกลบ ระยะเวลาการสกัด และระยะเวลาที่ใช้ในการทำ Carbonation ที่แตกต่างกัน.....	30
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณซิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีการใช้อากาศคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำ Carbonation เปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริกในการตกตะกอน.....	31
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณซิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีการใช้อากาศละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสกัดโดยกรดซัลฟิวริกและอากาศคาร์บอนไดออกไซด์ในการตกตะกอน.....	32
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการสกัดซิลิกาในระดับกึ่งอุตสาหกรรม.....	36
ตารางที่ ก.1 แสดงประเภทของวัสดุที่ใช้ทำฉนวน อุณหภูมิใช้งานสูงสุดและสภาพการนำความร้อน.....	42
ตารางที่ ข.1 แสดงชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ.....	46

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	เกลบที่ได้จากการสีข้าว.....	3
รูปที่ 2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโครงสร้างอัสฐานกับอุณหภูมิในการเผา เกลบ.....	5
รูปที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูกับอุณหภูมิในการเผา เกลบ.....	5
รูปที่ 2.4	Block flow diagram ของกระบวนการผลิตชิลิกาจากเถ้าเกลบ.....	9
รูปที่ 2.5	Block flow diagram ของกระบวนการผลิตชิลิกาจากเถ้าเกลบรูปแบบใหม่.....	10
รูปที่ 2.6	ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน.....	10
รูปที่ 2.7	อัตราส่วนของถังกวนผสมแบบมาตรฐาน.....	11
รูปที่ 2.8	การไหลแบบ Axial flow.....	12
รูปที่ 2.9	การไหลแบบ Radial flow.....	12
รูปที่ 2.10	การไหลแบบ Tangential flow.....	13
รูปที่ 2.11	Propeller.....	13
รูปที่ 2.12	Hydrofoil หรือ Fluidfoil (HF-3).....	14
รูปที่ 2.13	Pitched blade turbine.....	14
รูปที่ 2.14	Turbine disc หรือ Rushton turbine.....	15
รูปที่ 2.15	Concave blade disc หรือ Concave blade turbine.....	15
รูปที่ 2.16	Bar disc.....	15
รูปที่ 2.17	Saw disc or Saw tooth.....	16
รูปที่ 2.18	Paddle หรือ Beam.....	16
รูปที่ 2.19	Traper paddle หรือ Trapezoidal beam.....	17
รูปที่ 2.20	CS paddles หรือ CS beams.....	17
รูปที่ 2.21	Helical Ribbon.....	17
รูปที่ 2.22	แสดงรูปแบบการจัดเรียงของตัวกระจายแก๊สแบบท่อในรูปแบบต่างๆ.....	19
รูปที่ 2.23	ตัวกระจายแก๊สแบบต่างๆ.....	19
รูปที่ 3.1	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการสกัด.....	23
รูปที่ 3.2	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการกรองสาร.....	23
รูปที่ 3.3	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการทำ Carbonation.....	24
รูปที่ 4.1	แสดงภาพรวมของอุปกรณ์สกัดชิลิกาจากเถ้าเกลบในระดับกิ่งอุตสาหกรรม.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงหัวกระจายก๊าซที่ใช้กระจายก๊าซ CO ₂ ชนิด ท่อวงกลม.....	35
รูปที่ ค.1 แสดงสัดส่วน และขนาดของถังบรรจุแก๊ส.....	48
รูปที่ ค.2 แสดงสัดส่วน และขนาดของถังกวนผสม.....	48
รูปที่ ค.3 แสดงสัดส่วน และขนาดของถังสกัดและตกตะกอน.....	49
รูปที่ ค.4 แสดงภาพภายในของถังสกัดและตกตะกอนหลังติดตั้งใบพัดกวน.....	49
รูปที่ ค.5 แสดงภาพถ่ายของอุปกรณ์ในการสกัดซัลไฟจากแก๊สในระดัปลังอุตสาหกรรม.....	50
รูปที่ ค.6 แสดงภาพถ่ายของถังกวนผสมสารละลาย.....	50
รูปที่ ค.7 แสดงภาพถ่ายของถังบรรจุแก๊ส.....	51
รูปที่ ค.8 แสดงภาพถ่ายของถังสกัดและตกตะกอน.....	51



สัญลักษณ์

D_d	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน
D_a	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของใบกวน
D_i	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง
L	คือ ความยาวใบกวน
W	คือ ความกว้างของใบกวน
C	คือ ระยะจากก้นถังถึงใบกวน
J	คือ ความกว้างของ Baffle
H	คือ ระดับของเหลวในถัง
q	คือ ความร้อนที่สูญเสีย, W/m^2
T_i	คือ อุณหภูมิภายใน, K
T_o	คือ อุณหภูมิภายนอก, K
r_o	คือ รัศมีภายนอกฉนวน, mm
r_i	คือ รัศมีภายในฉนวน, mm
k	คือ สภาพการนำความร้อน, $W/m \cdot K$
P	คือ ความดันออกแบบ หรือความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm^2
S	คือ ค่าความเค้นของวัสดุ, kg/cm^2
E	คือ ประสิทธิภาพร่อยต่อ
R	คือ รัศมีภายใน, mm
D	คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน, mm
t	คือ ความหนาผนัง, mm
$C.A.$	คือ ค่าเพื่อการกัดกร่อน, mm

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ[1]

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตหลักคือข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญประเทศไทยสามารถส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลก ด้วยสัดส่วนการส่งออกคิดเป็นร้อยละ 36 ของโลก มีพื้นที่ซึ่งเหมาะต่อการเพาะปลูกกว่า 27.25% และกว่า 55% ใช้ในการปลูกข้าว จึงทำให้มีเมล็ดที่ได้จากการสีข้าวเป็นปริมาณมาก ข้อมูลจากการสำรวจในปี 2540 โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่าปริมาณเมล็ดสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน และเนื่องจากปัญหาวิกฤตพลังงานที่เกิดขึ้นทำให้มีการนำเมล็ดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดเถ้าเมล็ดเป็นจำนวนมากซึ่งโดยปกติจะถูกขายให้กับโรงงานผลิตซีเมนต์และคอนกรีต อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมผลิตวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบา ในราคาที่ต่ำ และบางส่วนก็ถูกนำไปทิ้ง แต่จากการศึกษาพบว่าในเถ้าเมล็ดประกอบไปด้วย ซิลิกา 80-90% และในปัจจุบัน ประเทศไทยเริ่มประสบปัญหาขาดแคลนแหล่งซิลิกาในธรรมชาติ ซึ่งแหล่งซิลิกาที่สำคัญคือทรายจากทะเล ดังนั้นการนำซิลิกาจากแหล่งอื่น ๆ มาใช้จึงเป็นทางเลือกใหม่เพื่อทดแทนการใช้ซิลิกาจากธรรมชาติที่กำลังจะหมดไป นอกจากนี้ยังพบว่าซิลิกามีความสามารถในการดูดซับความชื้น และสารเคมีได้ดี จึงนิยมใช้เป็นสารดูดความชื้น ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและยา ซิลิกายังสามารถใช้เป็นสารช่วยเพิ่มแรงดึงผิวช่วยในการกระจายตัวของยาชนิดที่เป็นของเหลว ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง ในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ ใช้เป็นตัวทำให้สารบริสุทธิ์ (refining agent) ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวตรึงสารช่วยเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผลิตสารซิลิกอนบริสุทธิ์ เพื่อผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้อีกด้วย ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดซิลิกาจากเถ้าเมล็ดออกมามากแต่อยู่แค่ในระดับห้องทดลองโดยมีการศึกษาเพียงแค่แต่ละส่วนของกระบวนการและสิ้นสุดแค่กระบวนการสกัดซิลิกาเท่านั้น ทำให้ไม่ทราบถึงกระบวนการทั้งหมดในการสกัดซิลิกาและไม่มีการพัฒนาองค์ความรู้ที่มีอยู่ให้ครบวงจร ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนางานเหล่านั้นไปสู่ระดับอุตสาหกรรม โดยการรวบรวมงานวิจัยเหล่านั้น ออกแบบเป็นระบบการผลิต มีการหมุนเวียนสารในระบบ เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และเพื่อให้ได้ผลประโยชน์สูงสุดในการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาวิธีการและสถานะที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบกระบวนการผลิตซิลิกาจากเถ้า
แกลบ
3. สร้างเครื่องสกัดเถ้าแกลบและออกแบบกระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบที่สามารถ
นำไปประยุกต์ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ทำการศึกษากระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบที่ได้จากโรงไฟฟ้าเท่านั้น
2. ทำการออกแบบกระบวนการและสร้างอุปกรณ์ในเฉพาะส่วนการสกัดซิลิกาเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้และความเข้าใจในหลักการการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบทั้งในระดับ
ห้องทดลองและระดับอุตสาหกรรม
2. ได้รับความรู้จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบใน
ระดับอุตสาหกรรม รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในอุปกรณ์
3. สามารถใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการสกัดซิลิกาจากเถ้า
แกลบในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำโครงการพิเศษเกี่ยวกับกระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากมายเริ่มตั้งแต่องค์ประกอบของแกลบ สภาพะในการเผา ไปจนถึงกระบวนการสกัดซึ่งทฤษฎีหลักๆที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

2.1 แกลบ[2]

แกลบข้าว (Rice Husk) คือเปลือกของข้าว ที่ได้จากการสีข้าวดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายเช่นทางด้านการเกษตรจะใช้แกลบเพื่อปรับสภาพดิน ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ทางด้านการก่อสร้างจะใช้แกลบเป็นส่วนผสมในการทำอิฐ และทางด้านพลังงาน แกลบจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งจะได้เถ้าแกลบเป็นของเสีย ที่มีส่วนประกอบหลักคือซิลิกา(SiO_2) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผานั้นจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างหลักของซิลิกาที่จะสกัดได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ $400 - 500^\circ\text{C}$ และโครงสร้างของซิลิกาที่ได้จะเป็นแบบอสัณฐาน(Amorphous Silica) ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก ทำให้ไวต่อปฏิกิริยา เหมาะกับอุตสาหกรรมในหลายประเภท



รูปที่ 2.1 แกลบที่ได้จากการสีข้าว

2.2 เถ้าแกลบและซิลิกา[2]

เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) คือส่วนที่เหลือหลังจากการเผาแกลบเพื่อให้ความร้อนในโรงงานไฟฟ้าโดยแกลบจะให้เถ้าออกมาประมาณ 17.4% ของน้ำหนักแกลบ โดยทั่วไปเถ้าที่เหลือจากการเผาวัสดุไม่ใช่สิ่งที่น่าสนใจนัก ยกเว้นเถ้าแกลบนักวิทยาศาสตร์พบว่า ในเถ้าแกลบมีซิลิกา (silica, SiO_2) เป็นองค์ประกอบประมาณ 70-90% และเถ้าแกลบมีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก มีสมบัติดูดซับ (absorbent) ดีอีกทั้งมีสมบัติเป็นฉนวนด้วย

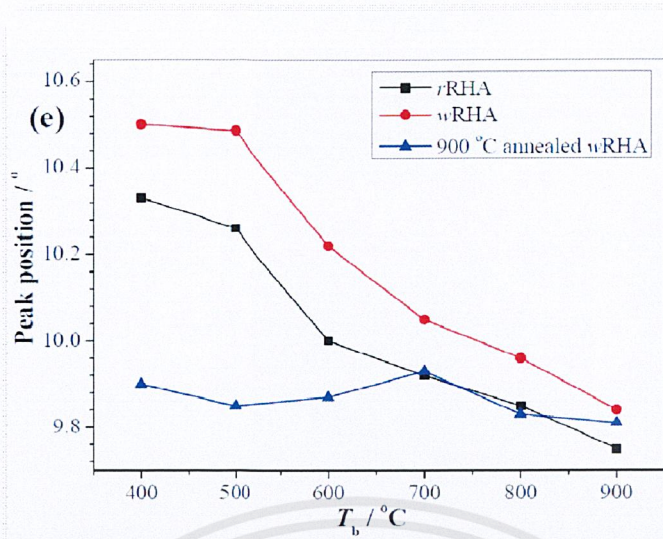
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกาเป็นสารประกอบชนิดหนึ่ง สูตรเคมีคือ SiO_2 จุดหลอมเหลว $1,700^\circ\text{C}$ จุดเดือด $2,230^\circ\text{C}$ มีโครงสร้างเป็นแบบออสันฐานและมีรูพรุนจำนวนมาก โดยรูพรุนมีขนาดประมาณ 24\AA ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ กำจัดความชื้นได้ง่าย และไวต่อปฏิกิริยา มีพื้นที่ผิวกว้างมีความแข็งแรง ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของทราย ควอตซ์และหินบางชนิด โดยปกติในแกลบจะมีซิลิกาอยู่ประมาณ 15% แต่เมื่อถูกเผาจนเป็นเถ้าแกลบนั้นความบริสุทธิ์จะสูงขึ้นประมาณ 80 - 90% โดยองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของแกลบและเถ้าแกลบ จะแสดงดังตารางที่ 2.1

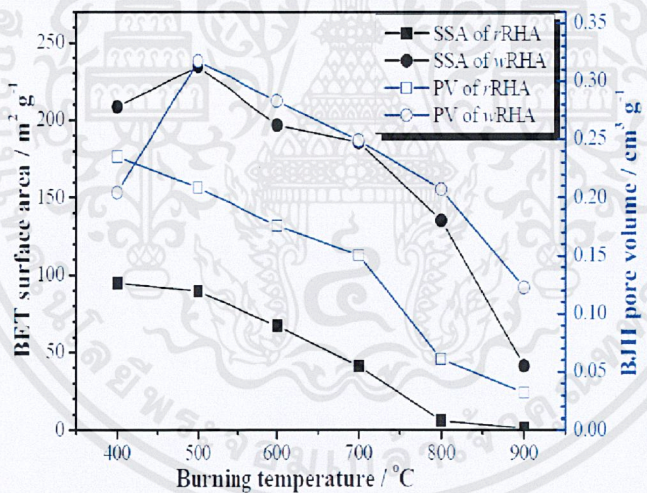
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและเถ้าแกลบ[3]

องค์ประกอบของแกลบ		องค์ประกอบของเถ้าแกลบ	
Element	Mass Fraction %	Element	Mass Fraction %
Carbon	41.44	Silica	80-90
Hydrogen	4.94	Alumina	1-2.5
Oxygen	37.32	Ferric oxide	0.5
Nitrogen	0.57	Titanium dioxide	Nil
Silicon	14.66	Calcium oxide	1.0-2.0
Potassium	0.59	Magnesium oxide	0.5-2.0
Sodium	0.035	Sodium oxide	0.2-0.5
Sulfur	0.3	Potash	0.2
Phosphorous	0.07	Loss on ignition	10.0-20.0
Calcium	0.06		
Iron	0.006		
Magnesium	0.003		

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาถือเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างและสมบัติของเถ้าแกลบซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ปริมาตรของรู (Pore volume) และโครงสร้างอสันฐาน (Amorphous structure) ของซิลิกา มีค่าลดลง ดังแสดงในดั่งรูปที่ 2.2 และ 2.3 แต่ลักษณะซิลิกาที่อุตสาหกรรมต้องการจะต้องมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรของรูและมีโครงสร้างอสันฐานมาก ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผามีค่าประมาณ 500°C



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของ โครงสร้างอสัณฐานกับอุณหภูมิในการเผา
แกลบ[1]



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูกับอุณหภูมิในการเผาแกลบ[1]

2.3 การสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบ[4]

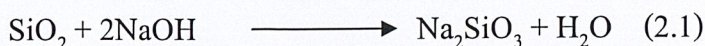
วิธีการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบ โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามชนิดสารที่ใช้ในการสกัดและ
ตกตะกอน ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การใช้ด่างแก่เป็นตัวสกัดและใช้กรดแก่เป็นตัวตกตะกอน

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการศึกษากระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบ โดยขั้นตอนในการสกัดซิลิกาจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนด้วยกัน

ขั้นตอนแรกคือการสกัด เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 100 °C จะได้โซเดียมซิลิเกตเป็นผลิตภัณฑ์ และส่วนของเถ้าที่ไม่ทำปฏิกิริยาจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆเช่น ใช้เป็นสารดูดซับ เป็นต้นดังแสดงดังสมการที่ 2.1



ขั้นตอนที่สองคือ การตกตะกอน เป็นขั้นตอนที่นำโซเดียมซิลิเกตที่ได้จากปฏิกิริยาการสกัดมาเติมกรดซัลฟิวริกจนได้ pH เท่ากับ 7 ที่อุณหภูมิ 90 – 100 °C ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือซิลิกาซึ่งแสดงในสมการที่ 2.2



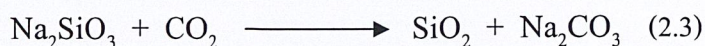
U. Kalapathy และคณะ[4] ได้ศึกษาวิธีการ โดยทั่วไปในการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบ โดยได้ทำการล้างเถ้าแกลบด้วยกรดซึ่งเป็นขั้นตอนเพื่อกำจัดแร่ธาตุที่ปะปนอยู่กับเถ้าแกลบก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดซิลิกา โดย นำเถ้าแกลบใส่น้ำกลั่นจากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก 1N ปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองแยกด้วยกระดาษกรอง ต่อจากนั้นนำเถ้าแกลบที่กรองได้มาล้างด้วยน้ำสะอาดอีกหนึ่งรอบ แล้วจึงนำไปอบให้แห้งก่อนส่งไปสู่ขั้นตอนการสกัดต่อไป จากนั้นนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N มาเติมลงบีกเกอร์ที่มีเถ้าแกลบ นำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งขณะให้ความร้อนจะมีการปั่นกวนตลอดเวลาซิลิกาจะถูกสกัดออกจากเถ้าแกลบและอยู่ในรูปสารละลายโซเดียมซิลิเกต นำสารละลายที่ได้ไปกรองแยกเถ้าแกลบที่เหลือออก สารละลายที่ได้จะถูกนำมาทำปฏิกิริยาการตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 N ซึ่งขณะทำปฏิกิริยาจะมีการปั่นกวนตลอดเวลา จนได้ค่า pH ประมาณ 7 ซึ่งซิลิกาเจลจะเริ่มตกตะกอนเมื่อค่า pH < 10 ซึ่งระยะเวลาในการตกตะกอนจะใช้เวลาประมาณ 18 ชั่วโมง ขั้นตอนสุดท้าย เจลที่ได้จะถูกทำให้เปลี่ยนเป็นของเหลวขุ่น (slurry) โดยการเติมน้ำกลั่นจากนั้นจะถูกนำไปเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออก และเจลที่ผ่านการแยกน้ำแล้วจะนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่ง %Yield ของซิลิกาที่ได้จะมีค่าประมาณ 91 %

2.3.2 การใช้ด่างแก่เป็นตัวสกัดและใช้กรดอ่อนในการตกตะกอน

วิธีการนี้จะคล้ายกับวิธีการในหัวข้อ 2.3.1 แต่ในขั้นตอนของการตกตะกอนจะเปลี่ยนจากการใช้กรดซัลฟิวริกมาใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทน เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้จากโรงผลิตไฟฟ้าจากเถ้าแกลบอยู่แล้ว จึงทำให้มีค่าดำเนินการที่ต่ำกว่าและยังช่วยลดมลพิษที่ปล่อยสู่บรรยากาศอีกด้วย โดยขั้นตอนในการสกัดซิลิกาจะประกอบด้วยขั้นตอนและมีปฏิกิริยาเช่นเดียวกับสมการที่ 2.1

ส่วนขั้นตอนการตกตะกอนนั้นในขั้นตอนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงการใช้สารที่ทำการตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนกรดซัลฟิวริก โดยนำโซเดียมซิลิเกตที่ได้จากปฏิกิริยามาทำการตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จนได้ pH เท่ากับ 7 ที่อุณหภูมิ 90–100 °C ความดัน 1 atm ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือซิลิกา

ปฏิกิริยาการตกตะกอนดังสมการที่ 2.3



2.3.3 การใช้ด่างอ่อนเป็นตัวสกัดและใช้กรดอ่อนเป็นตัวตกตะกอน

วิธีการนี้จะคล้ายกับวิธีการในหัวข้อ 2.3.1 เพียงแต่ในขั้นตอนของการสกัดจะเปลี่ยนจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มาเป็นโซเดียมคาร์บอเนต เนื่องจากการใช้โซเดียมคาร์บอเนตจะสามารถทำการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่าการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยสภาวะในการทดลองจะใช้ที่สภาวะเดียวกันกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด ส่วนความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้คือ 20%wt โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสกัด แสดงดังสมการที่ 2.4



ส่วนขั้นตอน การตกตะกอนในขั้นตอนนี้เป็นไปดังเช่นสมการที่ 2.3 ดังที่กล่าวในข้างต้น

Dongmin An, Yupeng Guo และคณะ[5] ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยจะใช้วิธีการ Carbonation ซึ่งจะมีการใช้เถ้าแกลบและก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเสียจากโรงงานไฟฟ้าจากเถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบ โดยการใช้โซเดียมคาร์บอเนต จะใช้ในขั้นตอนการแยกซิลิกาและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้ในขั้นตอนการตกตะกอน และสามารถนำโซเดียมคาร์บอเนตกลับมาใช้ได้ อีก โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ง่าย ไม่แพง และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งวิธีการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ การล้างเถ้าแกลบด้วยกรด, การสกัดซิลิกาและ การเตรียมผงซิลิกา โดยการนำเถ้าแกลบมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริก และกรดซัลฟิวริก จากนั้นนำสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วมากรองผ่าน filter แล้วนำไปอบแห้ง จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาคือเถ้าแกลบหลังจากการล้างด้วยกรด จากนั้นนำเถ้าแกลบหลังจากการล้างด้วยกรดมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โดยทำการต้มที่อุณหภูมิ 90°C และกวนไปพร้อมกันเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเมื่อสารทำปฏิกิริยากันเสร็จแล้วนำสารที่ได้ไปกรองแยกกระหว่างเถ้าแกลบและสารละลายออกจากกัน โดยส่วนที่เป็นสารละลายจะนำไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ ทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อทิ้งไว้แล้วสารจะเกิดการรวมตัวกันของแข็งซึ่งก็คือซิลิกา จากนั้นนำสารผสมระหว่างซิลิกาและสารละลายไปกรองเพื่อแยกซิลิกาและสารละลายออกจากกัน เมื่อได้แยกซิลิกาแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ซิลิกาที่เป็นผงออกมา โดยมีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณซิลิกาที่เกิดขึ้นคือ ระยะเวลาใน

การสกัด (1 - 8 ชั่วโมง) ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต (10 - 30 %wt) สัดส่วนสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตต่อน้ำหนักถ้ำเกลือ (5:1 - 10:1) และ ระยะเวลา Carbonation (0 – 80 นาที)

จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา คือ 20%wt, อัตราส่วนสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตต่อถ้ำเกลือที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา คือ 5:1, เวลาที่เหมาะสมในการสกัดก็คือที่เวลา 4 ชั่วโมง และเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา carbonation คือ 60 นาที

2.4 กระบวนการสกัดซิลิกาจากถ้ำเกลือในระดับอุตสาหกรรม

กระบวนการการสกัดซิลิกาจากถ้ำเกลือในระดับอุตสาหกรรมที่จะอธิบายในที่นี้จะแบ่งเป็น 2 กระบวนการดังรายละเอียดดังนี้

2.4.1 กระบวนการสกัดซิลิกาจากถ้ำเกลือ[3]

กระบวนการผลิตซิลิกาจากถ้ำเกลือสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 โดยเริ่มจากนำถ้ำเกลือมาเข้าสู่ถังสกัด (Digestion) โดยใช้สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N เป็นเครื่องสกัด โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 100°C จากนั้นจะได้สารละลายโซเดียมซิลิเกต แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรองเพื่อแยก ถ้ำเกลือที่เหลืออยู่ออกไป จากนั้นผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไป สารละลายจนได้ค่า pH เท่ากับ 7 เพื่อให้ซิลิกาตกตะกอน (Precipitation) ในถังที่มีการกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นทำการกรองเพื่อแยกซิลิกาออกมา สารละลายที่เหลือคือ โซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น แคลเซียมคาร์บอเนตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกนำกลับไปใช้ที่ขั้นตอนการสกัดอีกครั้ง นอกจากนี้แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการกรองในขั้นตอนสุดท้าย สามารถนำมาเผา ได้เป็นแคลเซียมออกไซด์ แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับน้ำ จะได้เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) ได้อีกด้วย ซึ่งปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ แสดงดังสมการที่ 2.5 – 2.8

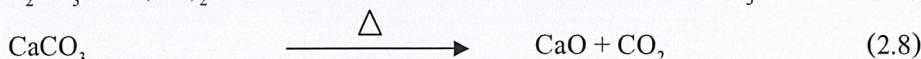
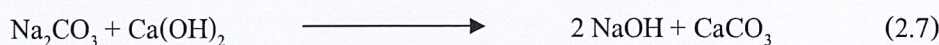
ปฏิกิริยาการสกัด

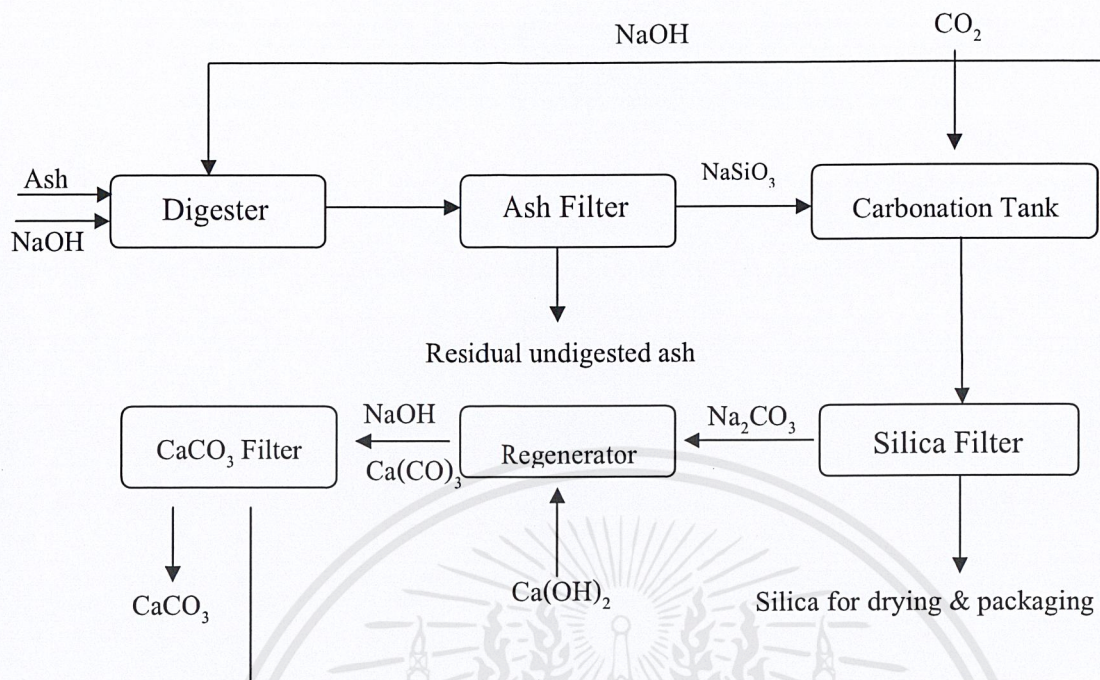


ปฏิกิริยาการตกตะกอน



ปฏิกิริยารีเจนเนอเรชัน

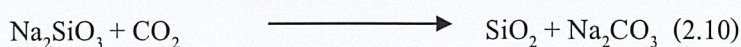


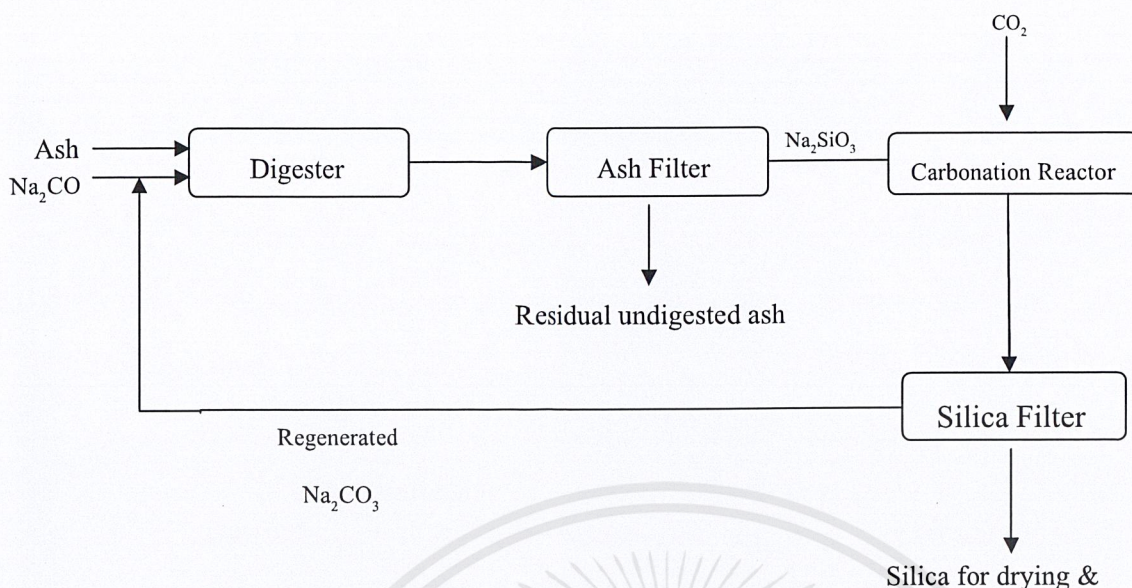


รูปที่ 2.4 Block flow diagram ของกระบวนการผลิตซิลิกาจากเถ้าแกลบ

2.4.2 กระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบที่ใช้ด่างอ่อนเป็นตัวสกัดและกรดอ่อนเป็นตัวตกตะกอน[5]

กระบวนการสกัดซิลิกาที่ใช้ Na_2CO_3 เป็นสารละลายในการสกัดแทนที่การใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยกระบวนการผลิตซิลิกาจากเถ้าแกลบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดยเริ่มจากนำเถ้าแกลบมาเข้าสู่ถังสกัด (Digester) โดยใช้สารละลายของ Na_2CO_3 ความเข้มข้น 20%wt เป็นตัวสกัดโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 100°C จากนั้นจะได้ Na_2SiO_3 แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรองเพื่อแยก เถ้าแกลบที่เหลืออยู่ออกไป จากนั้นผ่านก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และควบคุมให้ได้ pH เท่ากับ 7 เพื่อให้ซิลิกาตกตะกอน (Precipitation) ในถังที่มีการกวนอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการกรองเพื่อแยกซิลิกาออกมา สารละลายที่เหลือคือ Na_2CO_3 จะถูกนำกลับไปใช้ที่ Digester อีกครั้ง จะเห็นได้ว่าวิธีการทั้งหมดจะคล้ายกับกระบวนการในรูปแบบดั้งเดิมแต่สายของกระบวนการจะสั้นกว่า ทำให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะน้อยกว่าและจะเกิดของเสียจากกระบวนการน้อยกว่าด้วยเช่นกัน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องมีดังสมการที่ 2.9 – 2.10





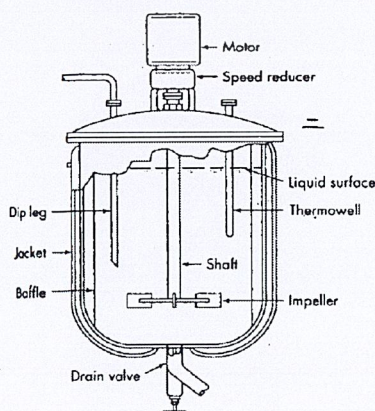
รูปที่ 2.5 Block flow diagram ของกระบวนการผลิตซิลิกาจากเถ้าแกลบรูปแบบใหม่

2.5 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

ในกระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับกึ่งอุตสาหกรรม การออกแบบอุปกรณ์เพื่อใช้ในการสกัดและการตกตะกอน จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 การออกแบบถังปฏิกรณ์[6]

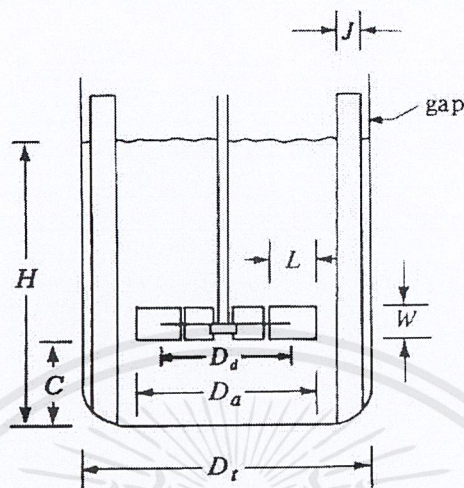
โดยทั่วไปแล้วถังที่ใช้ในการสกัดจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนตัวถังซึ่งส่วนใหญ่ทำจากโลหะ มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกด้านบนมีช่องหรือฝาเปิดเพื่อใช้บรรจุสารและอีกส่วนคือใบพัดกวนที่ใช้ในการกวนผสมสารในถังปฏิกรณ์ โดยส่วนล่างของถังจะถูกออกแบบให้มีลักษณะโค้ง หรือลู่แคบลง โดยความลึกของถังจะประมาณให้เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวนผสม สัดส่วนของถังกวนผสมนั้นจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งถังกวนผสมแบบมาตรฐานนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบถังกวนโดยทั่วไปมีทางเลือกมากมายในการเลือกชนิดของถังกวนตำแหน่งของใบกวน สัดส่วนของถังกวนผสม สัดส่วนและจำนวนของ Baffle สัดส่วนในการออกแบบถังกวนผสมทั้งในส่วนของตัวถังกวน และอุปกรณ์ช่วยในการกวนนั้นจะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 อัตราส่วนของถังกวนผสมแบบมาตรฐาน

โดยมีรายละเอียดของอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{2}$	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{D_a}{D_t} = \frac{2}{5}$
$\frac{H}{D_t} = 1$	$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	$\frac{D_d}{D_a} = \frac{2}{3}$

โดย

D_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน

W คือ ความกว้างของใบกวน

D_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของใบกวน

C คือ ระยะจากก้นถังถึงใบกวน

D_t คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง

J คือ ความกว้างของ Baffle

L คือ ความยาวใบกวน

H คือ ระดับของเหลวในถัง

ในการทำงานของถังปฏิกรณ์ทั้งในขั้นตอนการสกัด และการตกตะกอนสารทำปฏิกิริยาทั้งหมดจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ไว้ก่อนแล้วจึงเริ่มปฏิกิริยา เมื่อเสร็จสิ้นปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนด จึงนำของผสม(สารทำปฏิกิริยาที่ยังเหลืออยู่ และผลิตภัณฑ์) ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งถือเป็นการทำงานแบบเป็นกะ (Batch) การทำงานแบบกะจะนิยมใช้กับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนมีใบกวนช่วยกวนสารทำปฏิกิริยาเป็นเนื้อเดียวกัน และทำให้มีอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารทำปฏิกิริยาเท่ากันตลอดทั้งถัง นอกจากนี้แล้วใบกวนยังช่วยเพิ่มการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

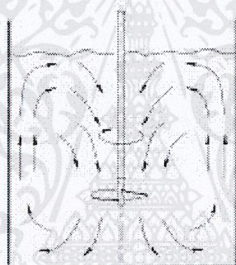
มวล และการถ่ายเทความร้อนที่สารทำปฏิกิริยามีความหนืดสูง เช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน นอกจากนี้ การเลือกชนิดใบกวนที่เหมาะสมกับชนิดของสารในถังปฏิกรณ์ก็มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ เพราะถ้าใช้ใบกวนที่ไม่เหมาะสมการกวนจะทำให้สารในถังปฏิกรณ์ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ หรือทำให้มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนใบกวนรับภาระมากเกินไป

2.5.2 ใบกวน [7]

ใบกวนผสม (mixing impeller) ทำหน้าที่หมุนวนของเหลวเพื่อแลกเปลี่ยนสารตามความต้องการของขบวนการผลิต ใบกวนมีด้วยกันหลายแบบ โดยหลักแล้วสามารถแบ่งประเภทใบกวนได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ 3 กลุ่ม ตามลักษณะการไหลของของเหลว ดังนี้

1) Axial flow

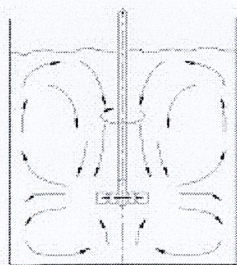
ของเหลวถูกดูดและไหลในแนวแกนขนานกับเพลลา เช่น Marine propeller Hydrofoil และ Pitched blade turbine และใบกวนกลุ่มนี้ใช้เพิ่มการไหลของของเหลว (pumping capacity) เหมาะสำหรับการผสมของเหลวที่สามารถละลายเข้าด้วยกัน (blending) และ การผสมของแข็งเข้ากับของเหลว (suspension) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การไหลแบบ Axial flow

2) Radial flow

ของเหลวถูกผลักออกไปในแนวรัศมีหรือในแนวตั้งฉากกับแกนเพลลา เช่น Rushton disc Saw disc Bar disc ฯลฯ ใบกวนกลุ่มนี้ใช้เพิ่มแรงเฉือนหรืออัตราการเฉือน (shear rate) ให้กับของเหลวเหมาะสำหรับการผสมของเหลวที่ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียว (immiscible liquid) การลดขนาดของของแข็งให้แขวนลอยในของเหลวและการลดขนาดของก๊าซในของเหลว เพื่อให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) โดยขบวนการ emulsion dispersion และ aeration ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

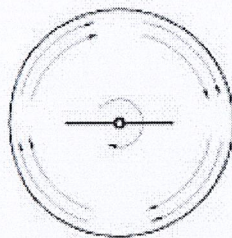


รูปที่ 2.9 การไหลแบบ Radial flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Tangential flow

ของเหลวจะไหลตามแนวสัมผัสรอบขอบถัง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อน (heat transfer) กับภาชนะบรรจุได้ดี เช่น Anchor Paddle ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การไหลแบบ Tangential flow

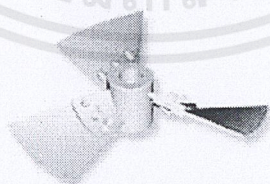
ชนิดของใบกวนได้ถูกจำแนกประเภทตามลักษณะการไหลของของเหลวที่เกิดขึ้น โดยมีรายละเอียดของใบพัดประเภทต่างๆ ดังนี้

2.5.2.1 ใบพัดประเภท Axial flow

ใบกวนประเภทนี้จะให้การไหลในแนวขนานกับเพลา เหมาะสำหรับการผสมของเหลวให้เข้ากัน หรือการทำให้ของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลว ซึ่งประเภทของใบพัดกวนในกลุ่มนี้สามารถจำแนกเป็น

1) Propeller หรือ Marine propeller

เป็นใบกวนที่เปลี่ยนมุมใบอย่างต่อเนื่องจากคุมใบ (hub) ถึงปลายใบ (tip) ระยะที่ของเหลวถูกขับเคลื่อนไปเมื่อใบหมุน 1 รอบ เรียกว่า pitch ซึ่งโดยปกติจะมีระยะทางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางใบ เรียกว่า square pitch โดยทั่วไปใบชนิดนี้จะใช้กับถังขนาดเล็กที่ความเร็วรอบสูง เหมาะสำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ โดยอาจติดตั้งเชิงศูนย์กลางโดยไม่มีแผ่นกั้น (off center without baffles) หรือติดตั้งในแนวเอียงกับขอบถัง (inclined without baffles) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

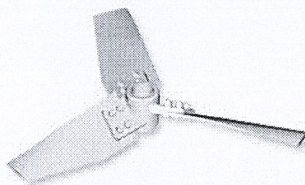


รูปที่ 2.11 Propeller

2) Hydrofoil หรือ Fluidfoil (HF-3)

การสร้างใบ Propeller ต้องคัดมุมใบให้ได้ขนาดที่ต้องการตั้งแต่คุมใบถึงปลายใบ ซึ่งมีความยากลำบากในการสร้างใบขนาดใหญ่ ใบ Hydrofoil จึงถูกทำให้โค้ง (curve) เพื่อลดการเสียดทานการไหล รวมทั้งความกว้างของใบที่ลู่ปลาย (taper) ทำให้การดันของเหลวมีขนาดเท่าๆกันตั้งแต่คุมใบ

ถึงปลายใบ จึงลดอัตราการเฉือน (shear rate) ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทำให้เป็นใบที่ประหยัดพลังงาน เหมาะสำหรับของเหลวที่มีความหนืดน้อยถึงปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Hydrofoil หรือ Fluidfoil (HF-3)

3) Pitched blade turbine

เป็นใบกวนที่สามารถใช้งานได้ทั่วไป ตั้งแต่ของเหลวความหนืดต่ำจนถึงความหนืดสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ รวมทั้งสามารถใช้จำนวนใบได้ตั้งแต่ 4 – 12 ใบ โดยจำนวนใบยิ่งมากก็ยิ่งใช้กำลังงานมาก แต่ก็ให้อัตราการไหลที่มากขึ้น แม้ว่าจะเป็นใบที่ไม่ได้ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการกวน แต่ใบ Pitched blade turbine ก็สามารถทำงานได้ดีกว่าใบ Hydrofoil และใบ High efficiency ที่ค่าความหนืดสูงๆ หรือค่า Reynolds number (Re) ต่ำๆ น้อยกว่า 1,000 ดังแสดงในรูปที่ 2.13



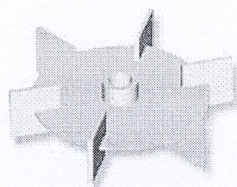
รูปที่ 2.13 Pitched blade turbine

2.5.2.2 ใบพัดกลุ่ม Radial flow

ใบกวนประเภทนี้จะผลัดของเหลวออกในแนวรัศมี หรือในแนวตั้งฉากกับแกนเพลลา เหมาะสำหรับการเฉือนของเหลวที่ไม่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวให้มีขนาดเล็กลง หรือการลดขนาดของของแข็ง เพื่อให้แขวนลอยอยู่ในของเหลวได้เป็นเวลานานๆ โดยทั่วไปแล้วที่เส้นผ่านศูนย์กลางใบและความเร็วรอบที่เท่ากัน กลุ่ม radial flow จะกินกำลังงาน (power) มากกว่ากลุ่ม axial flow ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเฉพาะทางดังกล่าวข้างต้น ไม่เหมาะสำหรับใช้ในกรณีทั่วไป ใบพัดกวนในกลุ่มนี้ได้แก่

1) Turbine disc หรือ Rushton turbine

ใบที่ให้ radial flow ในยุคแรกๆ ข้อดีคือให้อัตราเฉือนและอัตราการไหลพอสมควร รวมทั้งสามารถใช้กับขบวนการทางเคมีที่มีการแลกเปลี่ยนมวล (mass transfer) โดยใช้ก๊าซ (aeration process) เนื่องจากมีแผ่น disc ตรงกลางใบคอยป้องกันไม่ให้ก๊าซหลุดออกไปจากของเหลวได้ง่าย รวมทั้งมีใบด้านข้างคอยเฉือนก๊าซให้มีขนาดเล็กลงด้วย แต่มีข้อเสียคือกินกำลังงานมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 Turbine disc หรือ Rushton turbine

2) Concave blade disc หรือ Concave blade turbine

บางครั้งเรียกว่า Smith impeller กล่าวเฉพาะขบวนการใส่ก๊าซเข้าไปในของเหลวสำหรับใบชนิดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ Turbine disc โดย Turbine disc ประกอบด้วยแผ่นแบนติดตั้งฉากกับแผ่นกลม (disc) จึงทำให้อุ้งก๊าซได้น้อย ก๊าซมีโอกาสท่วมใบ (flooding) มาก ดังนั้น Smith impeller จึงเปลี่ยนมาใช้ใบในลักษณะครึ่งวงกลมหรือวงรีทำให้อุ้งก๊าซได้มาก รวมทั้งกินกำลังงานน้อยกว่าด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 Concave blade disc หรือ Concave blade turbine

3) Bar disc

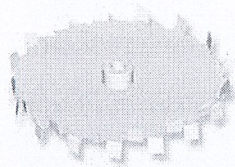
ใบชนิดนี้จะให้แรงเฉือนที่มากกว่าใบ Turbine disc แต่กินกำลังน้อยกว่ามาก แต่ก็ให้อัตราการไหลที่น้อยมาก เหมาะสำหรับการใช้คู่กับใบ axial flow ที่ให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น และใบ Bar disc ให้อัตราเฉือนอย่างเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Bar disc

4) Saw disc or Saw tooth

เป็นใบ radial flow อีกชนิดหนึ่งที่ใช้กันมานาน โดยในยุคแรกๆ นักวิทยาศาสตร์ใช้แผ่นกลมเรียบๆ มาให้อัตราการเฉือน ซึ่งเรียกว่า Plain disc ต่อมาสังเกตพบว่าแผ่นกลมเรียบนี้ให้อัตราการไหลน้อยมาก จึงนำแผ่นกลมมาบากและตัดเป็นฟันขึ้นลงคล้ายใบเลื่อยจึงเรียกว่า Saw disc ใบชนิดนี้ให้แรงเฉือนมากที่ความเร็วรอบสูง และให้อัตราการไหลพอสมควร โดยจะพบในอุตสาหกรรมสีเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.17



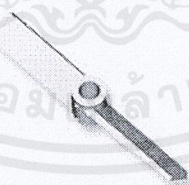
รูปที่ 2.17 Saw disc or Saw tooth

2.5.2.3 ใบบัดกลุ่ม Tangential flow และ Mixed flow

โดยปกติใบบกวนที่มีขนาดใหญ่และหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำจะมี tangential flow อยู่ด้วย เป็นลักษณะการไหลของของเหลวที่หมุนรอบขอบถัง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนหรือความเย็นกับภาชนะที่บรรจุได้ แต่ tangential flow ไม่ค่อยช่วยในการผสมของเหลวให้เข้ากัน ดังนั้นเราจึงใช้แผ่นกั้น (baffles) ในการเปลี่ยนทิศของเหลวให้ขึ้นลงในแนวดิ่ง ทำให้การผสมของเหลวให้เข้ากันกินเวลาน้อยลง ซึ่งสามารถใช้กับความเหลวที่มีความหนืดต่ำ สำหรับของเหลวที่มีความหนืดปานกลางกับสูง เรามักใช้ใบบกวนที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนชั้นมากในการกวนของเหลวให้เข้ากัน โดยใบบัดกวนในกลุ่มนี้ได้แก่

1) Paddle หรือ Beam

ใบบัดที่รู้จักกันในสมัยแรกๆ เส้นผ่านศูนย์กลางใบบัดมีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดถัง และหมุนด้วยความเร็วรอบค่อนข้างต่ำ จึงทำให้เกิด tangential flow ที่ขอบถัง ต่อมาได้ปรับมุมจากตั้งตรง 90° เป็นมุมเอียง 45° ทำให้สามารถให้ axial flow ด้วย ทำให้การผสมของเหลวมีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากมีใบบัดเพียง 2 ใบ ทำให้ใช้กำลังงานน้อยแต่ก็ให้ flow ไม่มากนัก จึงจำเป็นต้องใช้ใบบัดหลายชั้นวางตั้งฉากกันเรียกว่า cross-beam เหมาะสำหรับการกวนที่ค่อนข้างเบาถึงปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Paddle หรือ Beam

2) Trapezoidal paddle หรือ Trapezoidal beam

มีลักษณะคล้าย Paddle หรือ Beam ทัวไปโดยที่ปลายทำให้หลู่เล็กลงกว่าที่โคนใบ (trapez) ทำให้ความเร็วของของเหลวที่ไหลจากใบบัดขนาดใกล้เคียงกัน จึงลดอัตราการเฉือน (shear rate) ที่ใบกระทำกับของเหลวในถังได้ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับกวนของเหลวที่ไม่ต้องการแรงเฉือนหรือแรงเฉือนต่ำ เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารที่ไม่ต้องการให้กลิ่น รส เปลี่ยนไป หรือในอุตสาหกรรมน้ำเสียที่ถึงตกตะกอน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.19

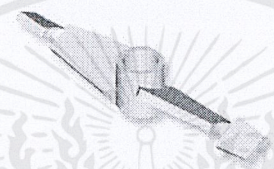
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 Traper paddle หรือ Trapezoidal beam

3) CS paddles หรือ CS beams

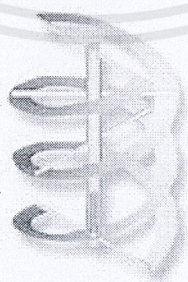
ลักษณะของใบประกอบด้วย inner blade และ outer blade 3 ชั้น ซึ่งด้นของเหลวสวนทางกัน คล้าย Saba blades เส้นผ่านศูนย์กลางใบจะมีขนาดราว 70% - 90% ของเส้นผ่านศูนย์กลางถึง ใบ CS-beams จะติดตั้งใบลักษณะตั้งฉากซึ่งกันและกันแบบ cross beams เหมาะสำหรับกวนของเหลวที่มีความหนืดสูงถึงสูงมากราว 500,000 m.Pas หรือ cPs ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 CS paddles หรือ CS beams

4) Helical Ribbon

สำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูงมากราว 1,000,000 m.Pas ใบกวนชนิด Helical ribbon ซึ่งมีการปรับมุมเอียงของใบตลอดทั่วถึงคล้ายสกรู (screw) รวมทั้งอาจมีใบชั้นนอกและชั้นใน ทำให้สามารถดันของเหลวจากบนลงล่างและจากล่างขึ้นบน โดยทั่วไป Helical ribbon จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบ 95 - 98 % ของเส้นผ่านศูนย์กลางถึง ทำให้สามารถกวนของเหลวได้ทั่วถึงโดยไม่มีจุดใดของของเหลวอยู่หนึ่ง รวมทั้งสามารถเพิ่มการส่งถ่ายความร้อนได้ดีอีกด้วย ข้อเสียคือ Helical ribbon ใช้วัสดุในการทำใบมาก รวมทั้งใช้กำลังงานในการกวนมาก เนื่องจากผิวสัมผัสของใบกับของเหลวมีปริมาณมาก จึงควรใช้ใบชนิดนี้กรณีจำเป็นจริงๆเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 Helical Ribbon

2.5.3 วาล์ว[8]

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กลไกในการเปิด ปิด ใช้ปิดกั้นการไหลของน้ำ ลม น้ำมัน ก๊าซ เป็นต้น ซึ่งกลไกนี้จะประกอบอยู่ในก๊อกประตูน้ำ หรือท่อต่างๆก็ได้ ใช้เพื่อควบคุมการไหลโดยสามารถแบ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง **119508** ง่ายอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วโดยคำนึงจากหน้าที่ได้ออกเป็น 4 ประเภทด้วยกันคือ วาล์วที่ใช้ในการปิดหรือเปิด วาล์วที่ใช้ในการควบคุมปริมาณการไหล วาล์วที่ใช้ควบคุมทิศทางการไหล และวาล์วพิเศษอื่นๆ

โดยวาล์วที่ใช้ในการออกแบบเป็นชนิดที่ใช้ในการเปิดปิดเท่านั้น ซึ่งวาล์วที่นำมาพิจารณาเป็นไปตามตารางต่อไปนี้

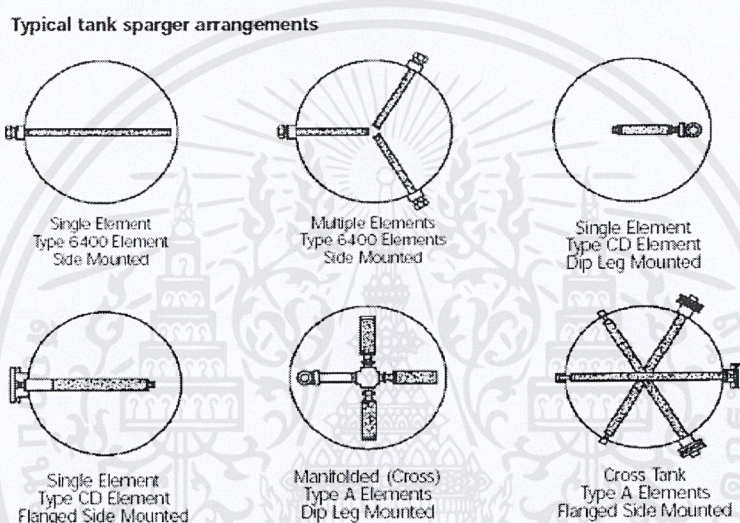
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติ การใช้งาน ข้อดี และข้อเสียของวาล์วแต่ละชนิด

ชนิด	คุณสมบัติ	การใช้งาน	ข้อดี	ข้อเสีย
Gate Valves	1. ใช้สำหรับเปิด – ปิดสนิท เท่านั้น ไม่สามารถหรี่ได้ 2. เกิดความดันลดต่ำ 3. มีของไหลติดอยู่ในท่อต่ำ	ใช้สำหรับงานทั่วไป เช่น ใช้กับ น้ำมัน แก๊ส อากาศ slurries ของเหลวหนืด ไอ น้ำ ของไหลที่ไม่มี การเปลี่ยนสถานะ และสารกัดกร่อน	1. ความสูง 2. ปิดสนิท 3. ราคาถูก 4. ใช้งานง่าย 5. ความดันลดต่ำ	1. ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ 2. เกิด Cavitation ที่ความดันต่ำ 3. ต้องอยู่ในสภาวะเปิด-ปิดสนิทเท่านั้น
Plug Valves	1. ใช้สำหรับเปิด – ปิดสนิท เท่านั้น ไม่สามารถหรี่ได้ 2. เกิดความดันลดต่ำ 3. มีของไหลติดอยู่ในท่อต่ำ		1. ความสูง 2. ปิดสนิท 3. ราคาถูก	1. ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ 2. เกิด Cavitation ที่ความดันต่ำ
Ball Valves	1. ใช้สำหรับเปิด – ปิด เท่านั้น 2. ใช้ได้ที่อุณหภูมิสูง 3. เกิดความดันลดต่ำ	สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถใช้ที่ อุณหภูมิสูงได้ แต่ของไหลต้องเป็นของไหลที่สะอาด ไม่มีของแข็งแขวนลอย	1. ราคาถูก 2. ความสูง 3. ปิดได้ 2 ทิศทาง 4. ของไหลสามารถไหลผ่านได้ในแนวเส้นตรง จึงมีความดันลดเกิดขึ้นต่ำมาก 5. ไม่ต้องการการดูแลรักษา	1. ไม่สามารถใช้ควบคุมอัตราการไหลได้ 2. เกิด cavitation ได้ง่าย 3. ถ้าของไหลมีของแข็งแขวนลอยอยู่ อาจทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย
Butterfly Valves	1. ใช้สำหรับเปิด – ปิด สามารถใช้หรี่ได้ด้วย 2. มีความดันลดเกิดขึ้นต่ำ	สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถใช้กับของเหลว แก๊ส slurries ของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอย	1. ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา 2. ราคาถูก 3. มีส่วนที่เคลื่อนที่น้อย	1. เกิด cavitation ได้ง่าย

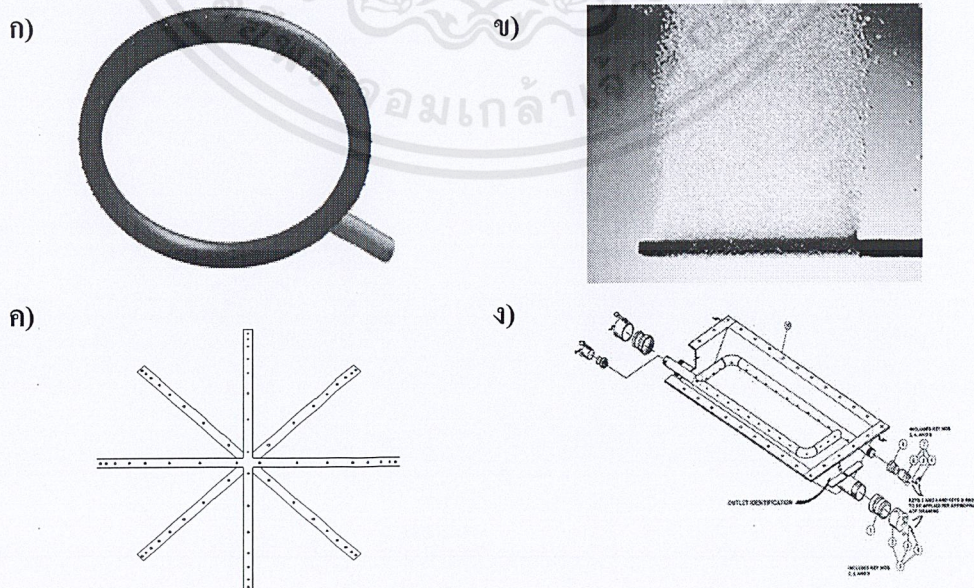
2.5.4 ตัวกระจายแก๊ส (Sparger)[9]

ตัวกระจายแก๊สจะมีหน้าที่ในการช่วยทำให้แก๊สกระจายตัวในของเหลวได้ดียิ่งขึ้น โดยอาศัยการเกิดฟองขนาดเล็กจำนวนมากซึ่งเป็นผลจากรูปร่างจำนวนมากของตัวกระจายแก๊ส ผลลัพธ์ก็จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแก๊สและของเหลวอย่างมากเมื่อเทียบกับการละลายแก๊สในของเหลวในรูปแบบอื่น โดยส่วนมากแล้วตัวกระจายแก๊สจะทำมาจากโลหะ หรือทำจากวัสดุอื่นๆ เมื่อมีความต้องการพิเศษ รูปแบบของตัวกระจายแก๊สมีได้หลายลักษณะเช่น แบบท่อตรง แบบท่อวงกลม แบบแบน แบบท่อหลายแฉก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการจัดเรียงตัวแบบต่างๆดัง

แสดงในรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 ซึ่งแต่ละรูปแบบจะเหมาะกับลักษณะงานและการประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของงานเหล่านั้น



รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบการจัดเรียงของตัวกระจายแก๊สแบบท่อในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.23 ก) ตัวกระจายแก๊สแบบท่อวงกลม ข) แบบจาน(Disc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ค) แบบท่อหลายแฉก ง) แบบท่อตรง(พร้อมฐานยึด)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะกระทำแค่ระดับห้องทดลองและสิ้นสุดแค่การสกัดซิติกา ไม่มีการศึกษาต่อถึงระดับอุตสาหกรรมแบบครบวงจร โครงการพิเศษจึงได้นำเสนอขั้นตอนการพัฒนาการสกัดซิติกาแบบครบวงจรดังนี้

1. ศึกษากระบวนการสกัดซิติกาจากเกลบและความต้องการของตลาด

ศึกษาขั้นตอนในการสกัดอย่างละเอียดรวมถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดให้ได้มาซึ่งซิติกาที่บริสุทธิ์ที่สุด พร้อมทั้งศึกษามูลค่าของซิติกาในตลาด รวมถึงชนิดของซิติกาที่ตลาดต้องการ

2. ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

ศึกษากระบวนการที่เกิดขึ้น เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

3. ออกแบบแบบอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตและตั้งปฏิกิริยา

ออกแบบกระบวนการผลิต และศึกษาการทำงานของแต่ละหน่วย โดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยต่าง ๆ รวมถึงข้อมูลจากห้องปฏิบัติการและปรับปรุงให้สามารถใช้ในกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สร้างอุปกรณ์การผลิตและทดลองดำเนินการผลิต

นำการออกแบบที่ได้ทำในขั้นตอนก่อนหน้านี้มาสร้างขึ้นจริง และทดลองดำเนินการเพื่อหาปัญหาหรือข้อบกพร่อง เพื่อปรับปรุงให้สามารถใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้จริง

3.2 การทดลอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ประกอบด้วยทดลอง 2 ส่วน ซึ่งส่วนแรกคือการทดลองการสกัดซิติกาจากเค้าเกลบในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลในการสกัดซิติกาจากเค้าเกลบทั้งในขั้นตอนการสกัด และตกตะกอน และ ส่วนที่ 2 คือการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในกระบวนการสกัดซิติกาจากเค้าเกลบในระดับอุตสาหกรรม โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

3.2.1 การทดลองระดับห้องทดลอง

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. เตาให้ความร้อนที่สามารถปั่นกวนได้
2. pH มิเตอร์
3. เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
7. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
8. ชุดกรองสุญญากาศ
9. กระดาษกรอง Whatman No.1
10. ซ้อนตักสาร
11. หลอดหยดสาร

สารเคมี

1. เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้า
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck)
3. โซเดียมคาร์บอเนต (BDH laboratory supplies)
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Merck)
5. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Praxair)
6. น้ำ

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

ตอนที่ 1.1 การศึกษาผลของอัตราส่วน โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบ ระยะเวลาการสกัดและ ระยะเวลาตกตะกอนที่มีผลต่อ %Yield ของซิลิกา

1. เตรียมสารที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และ เถ้าแกลบ ตามสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:1 1:1.5 และ 1:2 (ใช้เถ้าแกลบ 20 กรัม) ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 350 มิลลิลิตร

2. นำสารที่เตรียมได้วางบนเตาให้ความร้อนที่สามารถปั่นกวนได้ ให้ความร้อนและปั่นกวนเป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 ชั่วโมง

3. เมื่อทำการสกัดจนครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำสารที่ได้มากรองโดยชุดกรองสุญญากาศเพื่อแยกของแข็งที่เหลือออก

4. นำสารละลายที่ได้มาทำการไทเทรตจนได้ pH ประมาณ 7 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

5. นำสารที่ได้มาวางทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 4 8 12 และ 20 ชั่วโมง เพื่อให้ซิลิกาตกตะกอน

6. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดแล้ว นำสารที่ได้มากรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำของแข็งที่ได้จากปฏิกิริยาทั้ง 2 ขั้นตอน คือ เถ้าแกลบที่ไม่ทำปฏิกิริยา และซิลิกา ไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนัก เพื่อหา %Yield

ตอนที่ 1.2 การศึกษาผลของการให้ความร้อนโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนทำการสกัด

8. เตรียมสารที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ เถ้าแกลบ ตามสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:1 (ใช้เถ้าแกลบ 20 กรัม) โดยบรรจุเถ้าแกลบลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์บรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 350 มิลลิลิตร

9. นำบีกเกอร์ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์มาให้ความร้อนจนอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส

10. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ให้ความร้อนแล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุเถ้าแกลบไว้แล้วในขั้นตอนที่ 1

11. ขั้นตอนต่อไปทำเหมือนกับชุดการทดลองที่ 1 ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึง 7

ตอนที่ 2 การสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. เตรียมสารที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ เถ้าแกลบ ตามสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 2:1 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 (ใช้เถ้าแกลบ 40 กรัม) โดยบรรจุเถ้าแกลบลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์บรรจุลงในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร (อัตราส่วนระหว่าง เถ้าแกลบต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:7)

2. นำบีกเกอร์ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์มาให้ความร้อนจนอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส

3. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ให้ความร้อนแล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุเถ้าแกลบไว้แล้วในขั้นตอนที่ 1

4. นำขวดรูปชมพู่วางบนเตาให้ความร้อนที่สามารถปั่นกวนได้ ให้ความร้อนและปั่นกวนเป็นระยะเวลา 1 3 และ 6 ชั่วโมง

5. เมื่อทำการสกัดจนครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำสารที่ได้มากรองโดยชุดกรองสุญญากาศ เพื่อแยกของแข็งที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก

6. นำสารละลายใสที่ได้มาทำการไทเทรตจนได้ pH ประมาณ 7 ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

7. นำสารที่ได้มาวางทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 3 6 และ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ซิลิกาตกตะกอน

8. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดแล้ว นำสารที่ได้มากรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งออก

9. นำของแข็งที่ได้จากปฏิกิริยาทั้ง 2 ขั้นตอน คือ เถ้าแกลบที่ไม่ทำปฏิกิริยา และซิลิกา ไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนัก เพื่อหา %Yield

ตอนที่3การสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบโดยการใช้โซเดียมคาร์บอเนตและตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. เตรียมสารที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและ เถ้าแกลบ ตามสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมคาร์บอเนตต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:1 และ 1:2 (ใช้เถ้าแกลบ 40 กรัม) โดยบรรจุเถ้าแกลบลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตบรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร (อัตราส่วนระหว่าง เถ้าแกลบต่อสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1:7)

2. นำบีกเกอร์ที่มีโซเดียมคาร์บอเนตมาให้ความร้อนจนอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส

3. นำโซเดียมคาร์บอเนตที่ให้ความร้อนแล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุเถ้าแกลบไว้แล้วในขั้นตอนที่ 1

4. นำขวดรูปชมพู่วางบนเตาให้ความร้อนที่สามารถปรับกวนได้ ให้ความร้อนและปั่นกวนเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

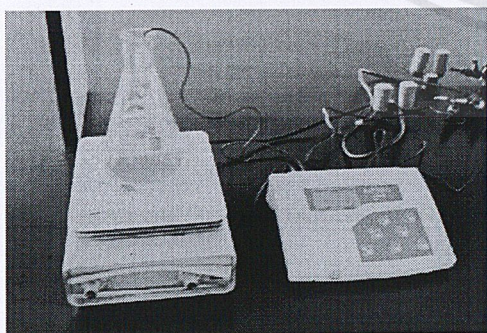
5. เมื่อทำการสกัดจนครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำสารที่ได้มากรองโดยชุดกรองสุญญากาศเพื่อแยกของแข็งที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก

6. นำสารละลายสีที่ได้มาทำการไทเทรตจนได้ pH ประมาณ 7 ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

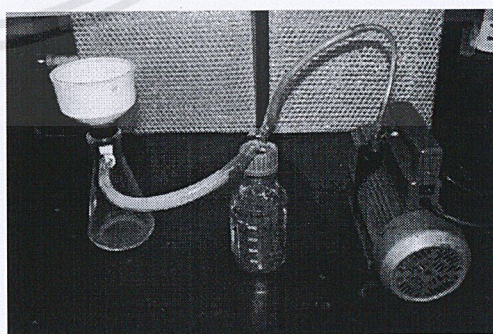
7. นำสารที่ได้มาวางทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อให้ซิลิกาตกตะกอน

8. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดแล้ว นำสารที่ได้มากรองเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งออก

9. นำของแข็งที่ได้จากปฏิกิริยาทั้ง 2 ขั้นตอน คือ เถ้าแกลบที่ไม่ทำปฏิกิริยา และซิลิกา ไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนัก เพื่อหา %Yield

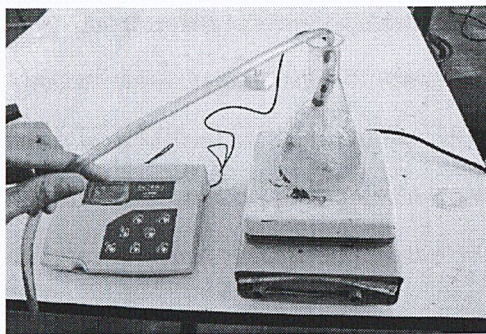


รูปที่ 3.1 ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการสกัด



รูปที่ 3.2 ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการกรองสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

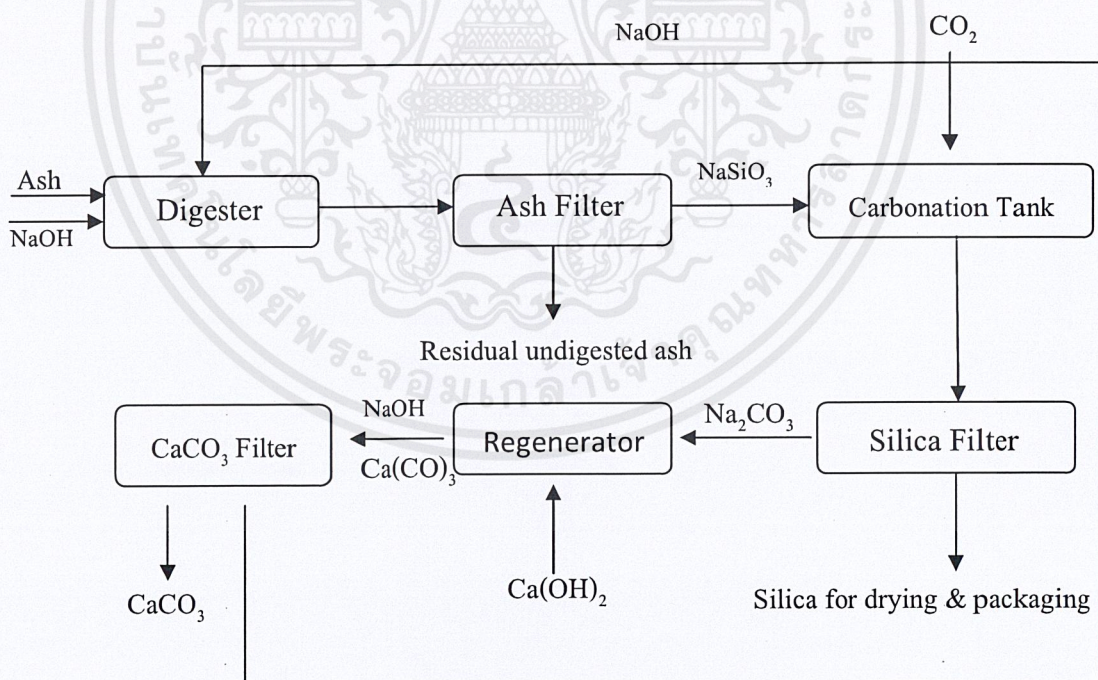


รูปที่ 3.3 ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการทำ Carbonation

3.2.2 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในกระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับถึงอุตสาหกรรม

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการกับข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นจากวารสารวิชาการ และตำราที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อมากำหนดรูปแบบของอุปกรณ์ โดยมีขั้นตอนในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์คร่าวๆดังนี้

1. สร้าง Block flow diagram ของกระบวนการทั้งหมดขึ้นมาโดยเริ่มต้นตั้งแต่ Raw material จนเสร็จสิ้นเป็น Silica dioxide ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยต่างๆ ดังนี้



2. ตรวจสอบงบประมาณและ ประเมินความเป็นไปได้ในการสร้างอุปกรณ์ และทำการออกแบบและสร้างให้ถึงสกัดและถึงตกตะกอนเป็นถึงโบเดียวกัน โดยอุปกรณ์ที่สามารถสร้างได้ประกอบไปด้วย

2.1 ถึงผสมสารละลาย NaOH ที่มีไบพัตควอน และมี Heater เพื่อให้ความร้อนในตัวซึ่งมี ปริมาตร 20 ลิตร(จากอัตราส่วนระหว่างเค้าเคลบต่อสารละลายเท่ากับ 1:5)

2.2 ถึงบรรจุเค้าเคลบก่อนเข้าทำปฏิกิริยาที่ออกแบบให้สามารถบรรจุเค้าเคลบได้ 4 กิโลกรัม ซึ่งพอดีกับการสกัด 1 ครั้ง

2.3 ถึงสกัดและถึงตกตะกอนซึ่งออกแบบให้สามารถใช้เป็นถังใบเดียวกันได้ โดยเป็นถังที่ถูกร ออกแบบให้สามารถทนความดันสูงได้ มีไบพัตควอน มีฉนวนกันความร้อนเพื่อเก็บความร้อนไว้ในถังได้นาน และมีหัวกระจายก๊าซ CO₂ (Sparger) อยู่ภายในถัง ซึ่งมีปริมาตร 20 ลิตร

3. ออกแบบถังปฏิกรณ์ให้สามารถใช้เป็นถังสกัดและถึงตกตะกอนได้ โดยขั้นตอนการ ออกแบบมีดังนี้

3.1 กำหนด ขนาดของถังผสมสารละลาย ถังบรรจุเคลบ และถึงสกัดและตกตะกอน

3.2 เลือกชนิดของไบพัตควอนที่เหมาะสมสำหรับถังผสมสารละลาย และถึงสกัดและ ตกตะกอน

3.3 เลือกวัสดุในการทำตัวถังของถังผสมสารละลาย ถังบรรจุเค้าเคลบ และถึงสกัดและ ตกตะกอน

3.4 กำหนดความหนาของตัวถังสกัด และตกตะกอนทรงกระบอก

3.5 กำหนดความหนาของหัวถังสกัด และตกตะกอนทรงครึ่งทรงกลม

3.6 เลือกชนิดฉนวนความร้อน

3.7 เลือกใช้วัสดุในกระบวนการ

4. ออกแบบหัวกระจายก๊าซที่ใช้กระจายก๊าซ CO₂ ในหน่วยตกตะกอน

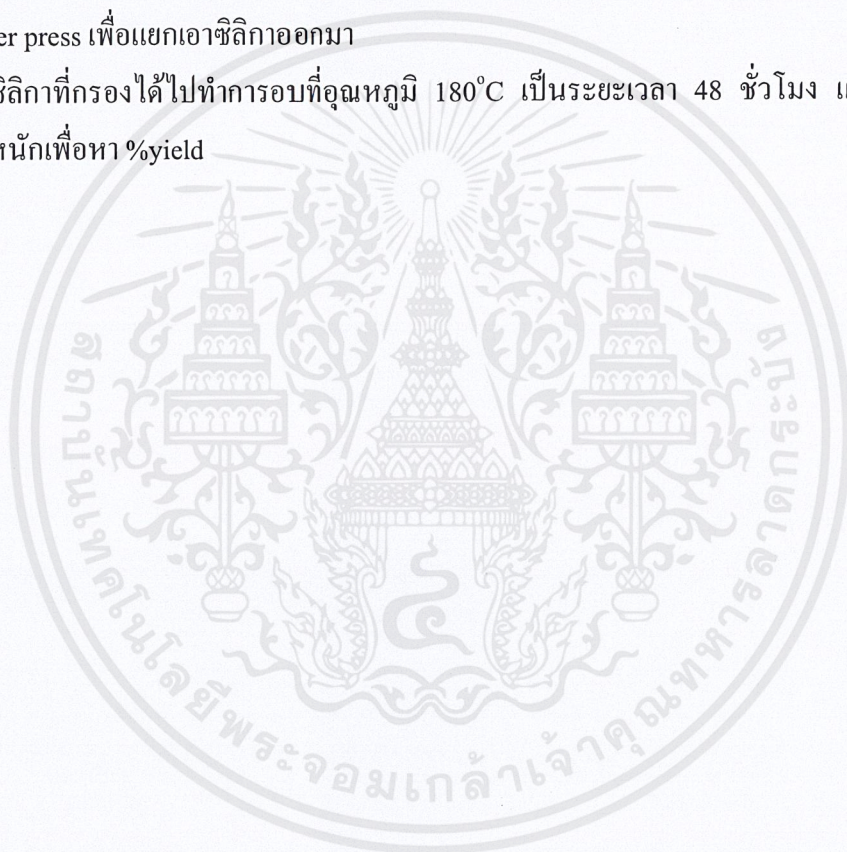
3.2.3 การทดลองระดับกึ่งอุตสาหกรรมในระดับกึ่งอุตสาหกรรม สารเคมี

1. เค้าเคลบ
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
4. น้ำ

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10% wt จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 kg ผสมลงในถังกวนผสมและให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 85°C
2. เตรียมเค้าเคลบหนัก 3 kg ในถังบรรจุเค้าเคลบเพื่อทำปฏิกิริยา 1:1 กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3. ทำการสกัดเอ็กสเตรกต์ในถังสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้พร้อมทำการกวนผสมเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
4. เมื่อครบ 2 ชั่วโมงนำของผสมที่ได้ไปทำการกรองด้วยเครื่องกรองชนิด Filter press เพื่อแยกเอาเอ็กสเตรกต์ออก จะได้เป็นสารละลายใสสีเหลือง
5. นำสารละลายที่ได้ป้อนเข้าสู่เครื่องตกตะกอนเพื่อทำการตกตะกอนด้วยก๊าซ CO₂ ทำการพ่นก๊าซ CO₂ เข้าสู่ถังตกตะกอนพร้อมทำการกวนและทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดค่า pH ทุกๆ 10 นาที จนกว่าค่า pH จะคงที่
6. เมื่อค่า pH เริ่มคงที่ (pH ประมาณ 10) จะสังเกตว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่น
7. หยุดการกวนและการพ่นก๊าซ CO₂ และนำตะกอนที่ได้ไปทำการกรองด้วยเครื่องกรองชนิด Filter press เพื่อแยกเอาซิลิกาออกมา
8. นำซิลิกาที่กรองได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 180°C เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหา %yield



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในส่วนของผลการทดลองละอภิปรายผล จะทำการอภิปรายผลแยกเป็น 4 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลของการสกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนโดยกรดซัลฟิวริก

การทดลองนี้ได้ทำเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา ซึ่งปัจจัยที่จะศึกษาคือผลของเวลาและสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแก้วเกลบในขั้นตอนการสกัด เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน และการให้ความร้อนกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัดที่มีต่อ %yield ของชิลิกา

4.1.1 ผลของเวลาและสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแก้วเกลบที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา

ทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการสกัดและสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแก้วเกลบและควบคุมการตกตะกอนโดยการทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณชิลิกาและ % yield ของชิลิกาที่ได้จากการสกัดเมื่อแปรเปลี่ยนสัดส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อแก้วเกลบและเวลาในการสกัด

การทดลอง	ระยะเวลาที่ใช้	สัดส่วนโดยโมลของ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ต่อแก้ว เกลบ	น้ำหนักชิลิกา (กรัม)	%yield (ash basis)
1	1	1:2	5.17	25.8%
2	3	1:2	7.97	39.8%
3	1	1:1.5	5.92	29.6%
4	3	1:1.5	7.84	39.2%
5	6	1:1.5	12.76	63.8%
6	1	1:1	5.16	25.8%
7*	1	1:1	13.41	67.1%

หมายเหตุ การทดลองที่ 7 จะทำการต้มสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 80°C ก่อนเข้าทำปฏิกิริยาการสกัด และขณะทำการสกัดจะไม่มีให้ความร้อนกับสาร

ผลจากการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดจะมีผลต่อ % yield อย่างมาก โดยจะเห็นได้จากการทดลองที่ 3-5 ที่สัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับถั่วเหลืองเท่ากัน พบว่า % yield จะเพิ่มขึ้นจนถึง 63.8 % ที่ระยะเวลาสกัดเท่ากับ 6 ชั่วโมง ในขณะที่อัตราส่วนระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อถั่วเหลือง จะไม่มีผลต่อ % yield มากนัก ดังผลจากการทดลองที่ 1 3 และ 6 ว่า % yield ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อถั่วเหลือง ที่ 1:2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยที่สุด

4.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดก่อนที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา

ทำการทดลองโดยใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมงและสัดส่วนของ โซเดียมไฮดรอกไซด์/Ash = 1:1 และศึกษาผลของเวลาต่อ %yield โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณชิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้เวลาสกัดต่างกัน

การทดลอง	ระยะเวลาที่ใช้	ชิลิกา (กรัม)	% yield (ash basis)
8	2	3.88	19.4%
9	4	6.62	33.1%
10	8	8.26	41.3%
11	12	8.34	41.7%
12	20	5.16	25.8%

จากการศึกษาผลของเวลาการสกัดก่อนในตารางที่ 4.2 พบว่าในช่วงต้น เวลาในการสกัดก่อนที่มากขึ้นจะทำให้ % yield ของชิลิกาจะมากขึ้น แต่จะเห็นว่าเมื่อเวลาสกัดก่อนมากกว่า 8 ชั่วโมง % yield จะเริ่มคงที่ และหลังจากนั้นจะเริ่มลดลง ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการสกัดก่อนคือ 8 ชั่วโมง

4.1.3 ผลของการให้ความร้อนกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัดที่มีต่อ %yield ของชิลิกา

ทำการทดลองเพื่อศึกษาว่าการให้ความร้อนกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัดจะมีผลอย่างไรต่อ %yield ของชิลิกา โดยทำการเปรียบเทียบกับ การสกัดแบบให้ความร้อนขณะทำการสกัด โดยใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมงและ อัตราส่วนโดยโมลของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อถั่วเหลืองเป็น 1:1 ดังรายละเอียดในการทดลองที่ 7 ในตารางที่ 4.1 จะทำการต้มสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 80°C ก่อนเข้าทำปฏิกิริยาการสกัด และขณะทำการสกัดจะไม่มี การให้ความร้อนกับสาร ซึ่งผลการทดลองพบว่า การให้ความร้อนกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัด และขณะทำการสกัดจะไม่มี การให้ความร้อนกับสารละลาย (การทดลองที่ 7) จะให้ %yield ของชิลิกามากกว่า การให้ความร้อนกับสารละลาย ขณะทำการสกัด (การทดลองที่ 6) ถึงสองเท่า ดังนั้นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการสกัดคือการให้ความร้อนกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนทำการสกัด

4.2 ผลการสกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตกตะกอนโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การทดลองชุดนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกาโดยจะทำการเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบเป็น 40 กรัม จากเดิม 20 กรัม เนื่องจากต้องการทำให้การทดลองมีความใกล้เคียงกับการผลิตกิ่งอุตสาหกรรมมากขึ้นและกำหนดอัตราส่วนโดยมวลของเถ้าแกลบ (กรัม) ต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร) เป็น 1:7 เนื่องจากการศึกษาพบว่าเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งปัจจัยที่จะศึกษาคือ ผลสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบ ผลของระยะเวลาการสกัด และเปรียบเทียบระหว่างผลของสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้าทำปฏิกิริยากับผลของระยะเวลาการสกัด เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนหลังการทำ Carbonation และผลของการใช้ CO_2 ในการทำ Carbonation เปรียบเทียบกับการใช้ H_2SO_4 ในการไทเทรต

4.2.1 ผลของสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบ ระยะเวลาการสกัด และระยะเวลาที่ใช้ในการทำ Carbonation ที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา

โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 14 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยแบ่งการพิจารณาเป็นส่วนๆคือ

การทดลองที่ 1-5 ทำการทดลองเพื่อศึกษาสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบ โดยขั้นตอนการสกัดจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบต่างๆ โดยควบคุมระยะเวลาการสกัดที่ 3 ชั่วโมง ทำการไทเทรตด้วยการพ่นก๊าซ CO_2 (Carbonation) และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง

การทดลองที่ 6-8 ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัดโดยทำการสกัดที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบเป็น 1:1 ทำการไทเทรตด้วยการพ่นก๊าซ CO_2 (Carbonation) และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง

การทดลองที่ 9-11 ทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ 6-8 แต่ใช้สัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบเป็น 1:2

การทดลองที่ 12-14 ทำการทดลองโดยในขั้นตอนการทำ Carbonation แล้วทิ้งให้สารตกตะกอนที่ระยะเวลาต่างๆกัน โดยควบคุมระยะเวลาในการสกัดที่ 3 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบเป็น 1:1 โดยผลการทดลองทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณชิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้สัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบ ระยะเวลาการสกัด และระยะเวลาที่ใช้ในการทำ Carbonation ที่แตกต่างกัน

การทดลองที่	อัตราส่วน โซเดียมไฮดรอกไซด์ : Ash	ระยะเวลา การสกัด (ชม.)	ระยะเวลา การ ตกตะกอน (ชม.)	น้ำหนักซิกา (กรัม)	% yield
1	2:1	3	8	33.40	83.50
2	1:1	3	8	37.20	93.00
3	1:2	3	8	19.25	48.12
4	1:3	3	8	19.19	47.98
5	1:4	3	8	21.98	54.95
6	1:1	1	8	35.17	87.92
7	1:1	3	8	35.64	89.10
8	1:1	6	8	35.84	89.90
9	1:2	1	8	22.84	57.10
10	1:2	3	8	26.16	65.40
11	1:2	6	8	28.23	70.58
12	1:1	3	1	35.17	87.92
13	1:1	3	3	36.25	90.62
14	1:1	3	6	36.50	91.25

จากผลการศึกษาผลของสัดส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบ ดังในการทดลองที่ 1-5 พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 จะให้ % yield สูงสุดและเมื่อลดอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบลงทำให้ % yield ของซิกาตกลงและเริ่มคงที่ตั้งแต่อัตราส่วน โดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 1:2 เป็นต้นไปโดยมีค่า % yield ประมาณ 50% ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบที่ทำให้ได้ % yield ของซิกาสูงสุดคือ 1:1 ซึ่งผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับผลการทดลองในตอนต้นที่ 4.1.1 ซึ่งสรุปผลไว้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์แทบไม่มีผลต่อ % yield ที่ได้ แต่ในการทดลองที่ 4.2.1 มีการปรับอัตราส่วนของเถ้าแกลบ (กรัม) ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร) เป็น 1:7 ซึ่งส่งผลให้สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นแม้จะมีจำนวน โมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่าเดิม และนอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการไทเทรตแทนกรดซัลฟิวริก

เมื่อพิจารณาว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 1:1 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการสกัดจะไม่มีผลต่อ % yield ของซิกาซึ่ง % yield ที่ได้จะมีค่าประมาณ 89% เท่ากันตั้งแต่ระยะเวลาสกัด 1 ชม. จนถึง 6 ชม. แต่เมื่อมีการ

เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเก้าแกลบเป็น 1:2 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการสกัด โดยเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดขึ้น %yield ของชิลิกาที่ได้ก็จะมากขึ้นด้วย และยังสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มมากขึ้นมาสามารถชดเชยกับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ลดลงได้ โดยจะสังเกตเห็นได้จากที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเก้าแกลบเท่ากับ 1:2 เมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดขึ้นจนถึง 6 ชม. จะทำให้ได้ % yield ของชิลิกาเท่ากับ 70.58% แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเก้าแกลบเท่ากับ 1:1 ระยะเวลาสกัด 1 ชม. %yield ของชิลิกา ที่ได้มีค่ามากกว่าอยู่มาก (87.92%) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเก้าแกลบ เท่ากับ 1:1 ระยะเวลาการสกัดไม่มีผลต่อ % yield ของชิลิกาจึงสามารถทำการสกัดที่ 1 ชม.ได้ แต่ที่ อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเก้าแกลบ เท่ากับ 1:2 ระยะเวลาการสกัดมีผลต่อ % yield ของชิลิกาโดยสามารถทำให้ % yield ของชิลิกาที่ได้เพิ่มมากขึ้น แต่ก็ไม่สามารถชดเชยการใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเก้าแกลบ เท่ากับ 1:1 ในการสกัดได้

เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนว่ามีผลต่อ % yield อย่างไรผลการทดลองที่ 12 – 14 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อ % yield ของชิลิกาที่ได้ โดยจะมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 90% เนื่องจากหลังทำการไทเทรตด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วชิลิกาเจลที่ก่อตัวเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นทันทีและมีส่วนที่เป็นของเหลวเหลืออยู่น้อยมากดังนั้นเมื่อทิ้งให้สารตกตะกอนต่อปริมาณชิลิกาที่เพิ่มขึ้นจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดคาร์บอนิก กับ โซเดียมซิลิเกตที่เหลืออยู่ในสารละลายซึ่งมีอยู่น้อยมากแทบไม่ส่งผลให้ % yield ที่ได้เปลี่ยนแปลง

4.2.2 ผลของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำ Carbonation เปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริก ในการไทเทรตที่มีผลต่อ % yield ของชิลิกา

เพื่อศึกษาผลของชนิดสารที่ใช้ในการตกตะกอน ทำการทดลอง โดยเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำ Carbonation กับการใช้กรดซัลฟิวริกใช้ระยะเวลาสกัด 3 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเก้าแกลบเป็น 1:1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณชิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำ Carbonation เปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริกในการตกตะกอน

การทดลองที่	ชนิดของสารที่ใช้ตกตะกอน	น้ำหนัก (กรัม)	% yield
15	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	35.64	89.10
16	กรดซัลฟิวริก	32.04	80.10

ผลการทดลองพบว่า การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนการไทเทรตให้ % yield ของชิลิกาใกล้เคียงกับการใช้กรดซัลฟิวริก

4.3 ผลของการสกัดใช้โซเดียมคาร์บอเนตและตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการใช้โซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดเปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งปัจจัยที่จะศึกษาคือ ผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ที่สัดส่วนต่างๆ โดยใช้กรดซัลฟิวริกในการตกตะกอน และผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดที่มีผลต่อระยะเวลาในการ Carbonate ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด โดย 2 ชุดแรกทำการแปรเปลี่ยนสัดส่วนของสารที่ใช้ในการสกัดสองชนิดคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:1 โดยใช้กรดซัลฟิวริกในการตกตะกอนและควบคุมระยะเวลาในการสกัดที่ 3 ชั่วโมง ส่วนในชุดที่ 3 และ 4 ใช้สัดส่วนทั้งสองในการสกัดต่อเติมแลกเปลี่ยนแต่จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการตกตะกอน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณซิลิกาและ %yield ที่เกิดขึ้นในกรณีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสกัด โดยใช้กรดซัลฟิวริกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการตกตะกอน

การทดลอง	ชนิดของสารที่ใช้ในการสกัด	สัดส่วนโดยโมลของสารที่ใช้ในการสกัดต่อเติมแลกเปลี่ยน	ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน	น้ำหนักซิลิกา (กรัม)	%yield
ชุดที่ 1	NaOH	1:2	H ₂ SO ₄	19.25	48.12
		1:1	H ₂ SO ₄	37.20	93.00
ชุดที่ 2	Na ₂ CO ₃	1:2	H ₂ SO ₄	7.10	17.75
		1:1	H ₂ SO ₄	15.94	39.85
ชุดที่ 3	NaOH	1:1	CO ₂ โดยการพ่น 5 นาที	38.09	95.22
	Na ₂ CO ₃	1:1	CO ₂ โดยการพ่น 30 นาที	11.06	27.65

4.3.1 ผลของการใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสกัดที่มีต่อ %yield ของชิลิกา

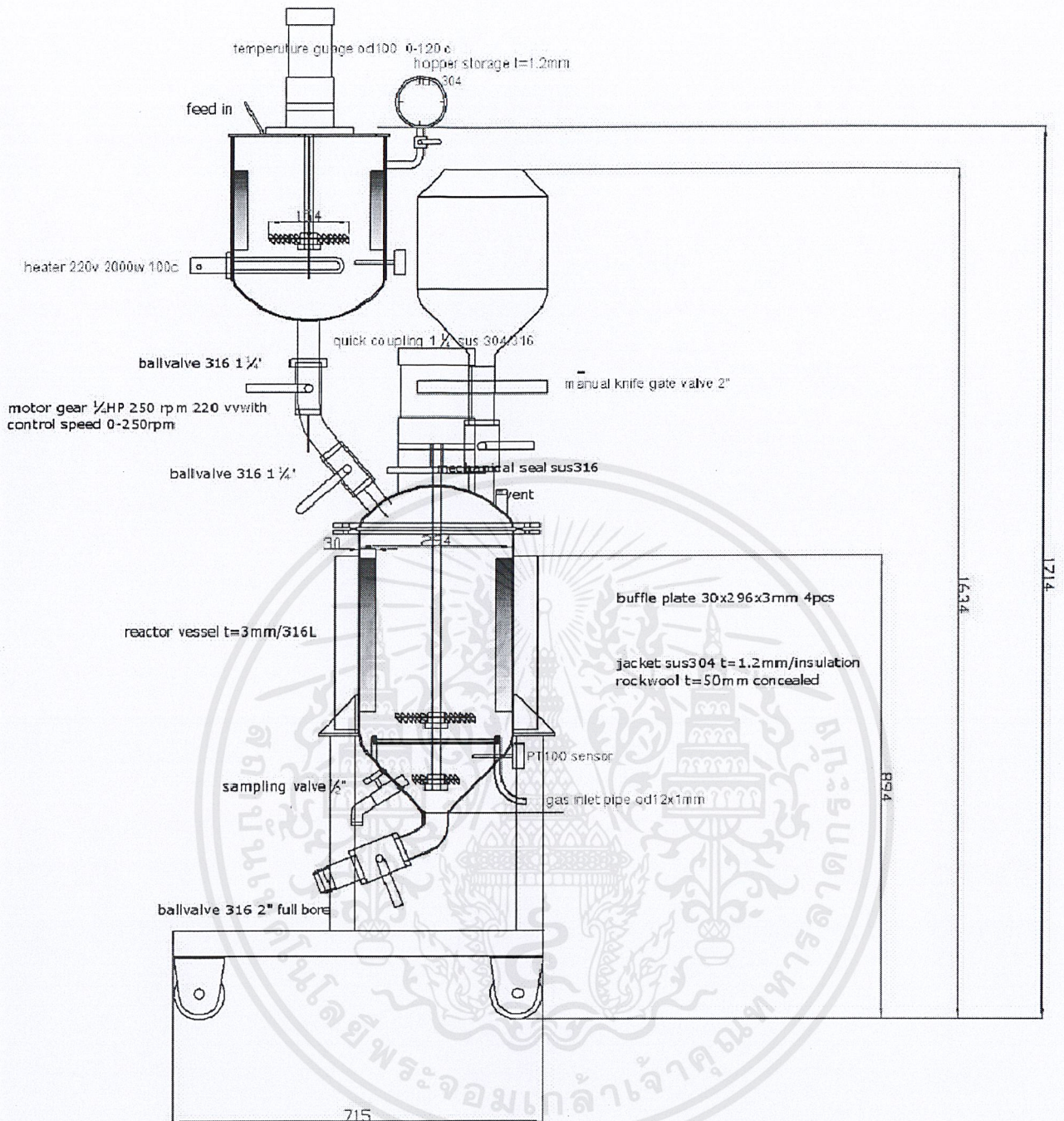
ผลการทดลองในชุดที่ 1 ได้ยืนยันผลการทดลองในส่วนที่ 4.2.1 ว่าสัดส่วนจำนวนโมลของสารที่ใช้ต่อแก้วเคลบเท่ากับ 1:1 ให้ %yield ที่สูงที่สุดคือ 93% และในผลการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งเป็นการใช้โซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดพบว่า %yield ที่ได้ต่ำกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มากทั้งที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1 และ 1:2

4.3.2 ผลของการใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดที่มีผลต่อระยะเวลาในการ Carbonate ที่มีต่อ %yield ของชิลิกา

ผลการทดลองในชุดที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าการใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสามารถให้ % yield ของชิลิกามากกว่าการใช้ สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด ยังใช้เวลาในการไทเทรตโดยการพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สั้นกว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัด ซึ่งสามารถลดโอกาสในการอุดตันของ Sparger ได้

4.4 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดและตกตะกอนชิลิกาที่ออกแบบขึ้นประกอบด้วยสามส่วนคือถังเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถังบรรจุแก้วเคลบและถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการสกัดและการตกตะกอนดังแสดงในรูปที่ 4.1



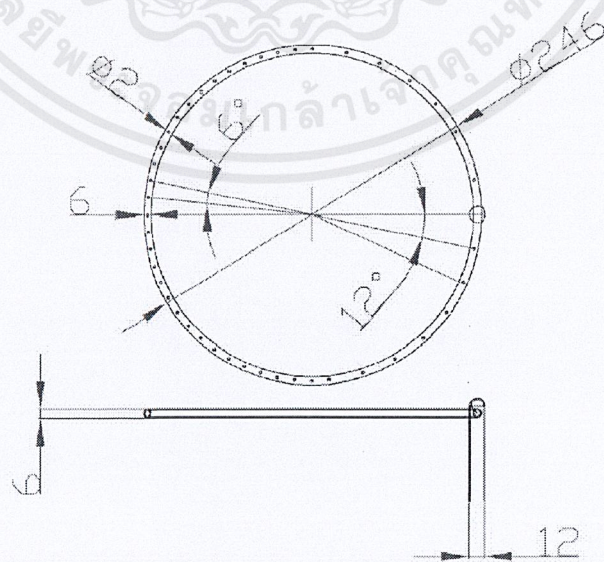
รูปที่ 4.1 แสดงภาพรวมของอุปกรณ์สกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

ข้อมูลส่วนประกอบและคุณลักษณะต่างๆของอุปกรณ์มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ขนาดของถังผสมสารละลาย ถังบรรจุแกลบ และถังสกัดและตกตะกอน
 - ถังผสมสารละลาย ขนาด 20 ลิตร มีรัศมี 150 mm ความสูงรวม 350 mm
 - ถังบรรจุเถ้าแกลบปริมาตร 4 กิโลกรัม ปริมาตร 13 ลิตร มีรัศมี 150 mm ความสูงรวม 300 mm
 - ถังสกัดและตกตะกอน ขนาด 30 ลิตร มีรัศมี 150 mm ความสูงรวม 530 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ชนิดของใบพัดกวนที่เหมาะสมสำหรับถังผสมสารละลาย และถังสกัดและตกตะกอน
 - ใบพัดกวนสำหรับถังกวนผสม : 6-Blade Turbine
 - ใบพัดกวนสำหรับถังสกัดและตกตะกอน : Saw tooth และ 4-Blade Turbine
- 3) วัสดุที่ใช้ทำตัวถังของถังผสมสารละลาย ถังบรรจุถ้ำเกลือ และถังสกัดและตกตะกอน
 - Stainless steel 304 สำหรับถังบรรจุถ้ำเกลือ
 - Stainless steel 304 สำหรับถังกวนผสมสารละลาย
 - Stainless steel 316 สำหรับถังสกัดและตกตะกอน
- 4) ความหนาของตัวถังสกัด และตกตะกอนทรงกระบอก
 - ตัวถังทรงกระบอก ความหนาบวกค่าเผื่อการกัดกร่อนเท่ากับ 3.6 mm
- 5) ความหนาของหัวถังสกัด และตกตะกอนทรงครึ่งทรงกลม
 - หัวถังทรงครึ่งทรงรี ความหนาบวกค่าเผื่อการกัดกร่อนเท่ากับ 3.5 mm
- 6) ชนิดฉนวนความร้อน
 - ใช้วัสดุฉนวนแบบคลุมหรือแบบอัดแน่น เพื่อความง่ายในการประกอบ โดยเลือกชนิดฉนวนชนิดใยแก้ว มีอุณหภูมิใช้งานสูงสุดเท่ากับ 175°C ซึ่งอุณหภูมิใช้งานจริงอยู่ในช่วง $80 - 120^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น
- 7) วาล์วที่ใช้ในระบบการ
 - เนื่องจากความเหมาะสมทางด้านราคา ขนาด และความสะดวกในการใช้ จึงเลือกใช้ Valve ชนิด Ball Valve สำหรับถังกวนผสม และถังสกัดและตกตะกอน ส่วนถังบรรจุถ้ำเกลือใช้ Valve ชนิด Knife gate Valve
- 8) หัวกระจายก๊าซที่ใช้กระจายก๊าซ CO_2 ในหน่วยตกตะกอนเป็น หัวกระจายแก๊สชนิด ท่อวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงหัวกระจายก๊าซที่ใช้กระจายก๊าซ CO_2 ชนิด ท่อวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาการสกัดซิกาจากเถาเถาในระดับกึ่งอุตสาหกรรม โดยทำการเพิ่มปริมาณสารที่เข้าทำปฏิกิริยาขึ้นโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 1.5 กิโลกรัมมาผสมเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก เพื่อทำปฏิกิริยากับเถาเถาหนัก 3 กิโลกรัม (อัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเถาเถาเป็น 1:1) และทำการตกตะกอนโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการไทเทรตได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการสกัดซิกาในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

น้ำหนักของซิกา(kg)	%yield	ระยะเวลาในการไทเทรต (นาที)
1.5	50%	45

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า %yield ของซิกาที่ได้จากการสกัดซิกาในระดับกึ่งอุตสาหกรรม ให้ค่าที่ต่ำกว่าการทดลองในระดับห้องทดลองที่สภาวะเดียวกันซึ่งให้ %yield มากถึง 90% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการกวนที่ไม่สม่ำเสมอ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ไม่เพียงพอ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกา ทำการทดลองโดยขั้นตอนการสกัดจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบในหลายๆอัตราส่วน พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบที่ทำให้ได้ % yield ของชิลิกาสูงสุดคือ 1:1

2. ผลการศึกษาการให้ความร้อนกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัดที่มีต่อ %yield ของชิลิกา ทำโดยใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง และอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบเป็น 1:1 ที่อุณหภูมิ 80°C พบว่าการให้ความร้อนกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนทำการสกัด จะให้ %yield คิดเป็นปริมาณกว่า 2 เท่าของการให้ความร้อนระหว่างทำปฏิกิริยา

3. ผลการศึกษาระยะเวลาการสกัด และเปรียบเทียบระหว่างผลของสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับผลของระยะเวลาการสกัดที่มีผลต่อ %yield ของชิลิกาโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการตกตะกอน ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบเป็น 1:1 และ 1:2 ในการสกัดที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ กันแล้ว พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:1 ระยะเวลาการสกัดไม่มีผลต่อ % yield ของชิลิกา ทำให้สามารถทำการสกัดที่ 1 ชม. ได้ แต่ที่ อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:2 ระยะเวลาการสกัดมีผลต่อ % yield ของชิลิกา โดยสามารถทำให้ % yield ของชิลิกาที่ได้ เพิ่มมากขึ้น แต่ก็ไม่สามารถชดเชยการใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:1 ในการสกัดได้

4. ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนหลังการทำ Carbonation ที่มีผลต่อ %yield โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด ทำการทดลองโดยการทำ Carbonation แล้วทิ้งให้สารตกตะกอนที่ระยะเวลาต่างๆกัน พบว่าหลังทำการไทเทรตด้วยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ แล้วชิลิกาเจลที่ก่อตัวเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นทันทีและมีส่วนที่เป็นของเหลวเหลืออยู่น้อยมากดังนั้นเมื่อทิ้งให้สารตกตะกอนต่อปริมาณชิลิกาที่เพิ่มขึ้นจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดคาร์บอนิกกับโซเดียมซิลิเกตที่เหลืออยู่ในสารละลายซึ่งมีอยู่น้อยมาก แทบไม่ส่งผลให้ % yield ที่ได้เปลี่ยนแปลงจึงสามารถสรุปได้ว่าใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนเพียง 1 ชั่วโมงก็พอ

5. ผลการศึกษาการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการทำ Carbonation เปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริกในการไทเทรตที่มีผลต่อ % yield ของชิลิกา ทำการทดลองโดยเปรียบเทียบผล

ระหว่างการใช้ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ในการทำ Carbonation กับการใช้กรดซัลฟิวริก พบว่าการใช้ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ในขั้นตอนการไทเทรต ให้ % yield ของซิลิกาใกล้เคียงกับการใช้กรด กรด ซัลฟิวริก

6. ผลการศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสกัดที่มีผลต่อ % yield ของซิลิกา ทำการทดลองโดยขั้นตอนการสกัดจะใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ในการสกัดที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตต่อแก้วกลายเป็น 1:1 และ 1:2 พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการสกัดพบว่าให้ % yield ของซิลิกามากกว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนต ทั้งที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1 และ 1:2

7. ผลการศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดที่มีผลต่อระยะเวลาในการ Carbonate และ % yield ของซิลิกาที่ได้ ทำการทดลองโดยทำการไทเทรตด้วยการพ่น ก๊าซ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ โดยขั้นตอนการสกัดจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ในการสกัดที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อแก้วกลายเป็น 1:1 และโซเดียมคาร์บอเนตต่อแก้วกลายเป็น 1:1 พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสามารถให้ % yield ของซิลิกามากกว่าการใช้สารละลายคาร์บอเนตการสกัดยังใช้เวลาในการไทเทรตโดยการพ่นก๊าซ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์สั้นกว่าการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัด

8. ผลการทดลองที่ได้จากการสกัดซิลิกาในระดับกึ่งอุตสาหกรรมพบว่า %yield ของซิลิกาให้ค่าที่ต่ำกว่าการทดลองในระดับห้องทดลองที่สภาวะเดียวกันซึ่งให้ %yield มากถึง 90% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการกวนที่ไม่สม่ำเสมอ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ไม่เพียงพอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมคาร์บอเนต เพิ่มเติมหากสามารถทำให้ผลของการใช้ โซเดียมคาร์บอเนต เทียบเท่ากับการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้จะทำให้ระบบไม่มีการสูญเสียสารออกไปจากระบบเหมือนการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์

2. ออกแบบกระบวนการให้ครบวงจรและเกิดของเสียน้อยที่สุด โดยเพิ่มหน่วยปฏิบัติการที่ยังไม่ได้ทำการออกแบบและสร้างลงไป เช่น หน่วยของการกรอง หน่วยรีเจเนอเรท เป็นต้น

3. ศึกษาการประยุกต์ใช้ซิลิกาและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของซิลิกาให้มีค่ามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Liangming XIONG, ed.al **Burning Temperature Dependence of Rice Husk Ashes in Structure and Property**. Toyota Technological Institute, 2009
- [2] จิรนนท์ จันทร์ประเสริฐ, จุฬาลักษณ์ อยู่เลิศ, พัชรา จันทร์สอนการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากแกลบเพื่อใช้ในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ .สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง, 2008
- [3] Indian Institute of Science Precipitated Silica Technology. **Precipitated Silica from Rice Husk Ash IPSIT**, 2004
- [4] U. Kalapathy , A. Proctor, J. ShultzA **simple method for production of pure silica from rice hull ash** . University of Arkansas, 2000
- [5] Dongmin An, Yupeng Guo, Yanchao Zhu, ZichenWang **A green route to preparation of silica powders with rice husk ash and waste gas**. College of Chemistry, Jilin University, 2010
- [6] Christie John Geankoplis ,**Tranport Processes and Separation Process Principles**.University of Minesota.PHI learning Private Limited , 2008
- [7] <http://www.wellman.co.th/dt05.html>
- [8] สุธรรม สุขมณี , **การออกแบบอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเคมี,ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**, 2552
- [9] **Sparging/Gas – Liquid contacting Design Guide & Part Selection** , Mott Corporation



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ทฤษฎีเพิ่มเติม

ก.1 ฉนวนความร้อน

ความหมายของฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันความร้อน โดยทั่วไปหมายถึง วัสดุหรือวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใด ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใดๆ หรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ระหว่างวัสดุสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีความแตกต่าง ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนนั้นมี 3 วิธี โดยอาจเกิดขึ้นจากวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายๆวิธีพร้อมกันได้แก่

1. การนำความร้อน (Conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

2. การพาความร้อน (convection) คือการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดจากที่สารใดสารหนึ่งได้รับความร้อนแล้วความหนาแน่นของอนุภาคน้อยลงขยายตัวลอยตัวสูงขึ้นพร้อมทั้งพาความร้อนไปด้วย ขณะเดียวกันส่วนอื่นที่ยังไม่ได้รับความร้อนยังมีความหนาแน่นของอนุภาคมากกว่าจะเคลื่อนมาแทนที่เป็นแบบนี้ไปเรื่อยๆจนสารนั้นได้รับความร้อนทั่วกันจึงเรียกว่า"การพาความร้อน"

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือ การถ่ายโอนความร้อนที่เกิดจากแหล่งความร้อนหนึ่งไปยังสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน

การเลือกใช้นวนความร้อนมีหลักควรพิจารณา ดังนี้

1. ช่วงอุณหภูมิใช้งาน ที่ฉนวนใช้ได้โดยไม่เสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
2. ค่าการนำความร้อน ค่าที่ต่ำกว่าจะลดการสูญเสียพลังงานได้ดีกว่า
3. กำลังการอัดบีบ ควรเลือกฉนวนที่ไม่เสียรูปทรงมาก โดยเปรียบเทียบจากปริมาณการเสียรูปทรงของฉนวนต่างๆที่ค่าเดียวกันว่ารับ กำลังการอัดบีบได้เท่าไร

4. ความทนทานต่อการติดไฟ

5. โครงสร้างเซลล์ ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดว่าฉนวนจะดูดซับความชื้นยากง่ายเพียงไร

6. รูปแบบของฉนวน ความหนาและรูปทรงของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดได้ว่า ฉนวนนั้นมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานหรือไม่แล้วทำให้เป็นเส้นใยด้วยวิธีบลาสต์ (blast method)

การคำนวณทางความร้อน

เนื่องจากฉนวนความร้อนมีหน้าที่รักษาพลังงานของระบบ ซึ่งพลังงานที่ถูกเก็บรักษาไว้นั้นอยู่ในรูปพลังงานความร้อน และความร้อนจะสูญเสียไปจากระบบมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนวนความร้อนที่ถูกต้อง และการกำหนดความหนาของฉนวนให้เพียงพอที่จะรักษาความร้อนไว้ได้ ซึ่งความร้อนที่อาจสูญเสียไปจากระบบ สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$q = \frac{T_i - T_o}{\frac{r_o \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{k}} \quad (1)$$

เมื่อ q = ความร้อนที่สูญเสีย (W/m^2)

T_i = อุณหภูมิภายใน (K)

T_o = อุณหภูมิภายนอก (K)

r_o = รัศมีภายนอกฉนวน (mm)

r_i = รัศมีภายในฉนวน (mm)

k = สภาพการนำความร้อน (W/m^*K)

ตารางที่ ก.1 แสดงประเภทของวัสดุที่ใช้ทำฉนวน อุณหภูมิใช้งานสูงสุดและสภาพการนำความร้อน

ประเภทวัสดุ	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด(°C)	สภาพการนำความร้อน(W/m*K)
แบบคลุม และแบบอัดแผ่น		
ใยแก้ว	175	0.04-0.07
พรม	80	0.04
แบบบล็อก, แผ่นอัด		
กระดาษใยหิน	370	0.06-0.09
กระดาษใยหิน, ลูกฟูก	150	0.07-0.09
แคลเซียมซิลิเกต	650	0.055-0.075
เซลลูลาร์กลาส	480	0.04-0.1
ไม้ก๊อกแผ่นอัด	80	0.03-0.04
พีโนลิกโฟม	135	0.03-0.04
โพลีสไตรีน	75	0.029-0.034
โพลีไอโซไซยานูเรต	120	0.017-0.024
ยาง, โฟมแบบยืดหยุ่น	105	0.029-0.033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดตัวอัดเป็นแผ่น	80	0.04-0.048
แบบลูสฟิลล์		
เชลลูโลส	80	0.04
ใยแก้ว	540	0.03-0.045
ใยแร่	540	0.032-0.094
เพอร์ไลต์	650	0.033-0.049
เวอร์มิคูไลต์	540	0.055-0.115

ก.2 ความหนาของฉนวน

ในการอ้างอิงถึงความหนาของฉนวนมักจะหมายถึง ความหนาจริงของฉนวน ภายหลังจากการประกอบ ซึ่งเป็นความหนาที่วัดได้จริง นอกจากนี้ยังมีความหนาอื่นๆอีกคือ ความหนาที่คำนวณได้ (Calculated thickness) ซึ่งหมายถึงความหนาที่หาได้ด้วยการใช้สูตรคำนวณ โดยไม่รวมค่าเผื่อการกัดกร่อน และความหนาน้อยที่สุด (Minimum thickness) ซึ่งหมายถึงความหนาที่คำนวณได้บวกค่าเผื่อการกัดกร่อนด้วย ถือเป็นความหนาคำนวณน้อยที่สุดที่ยอมให้ได้ในการสร้างถังรับแรงดัน มีค่าสัมพันธ์กับความหนาอีกตัวคือ สภาพกัดกร่อน (Corrode condition) คือสถานะของวัสดุซึ่งค่าเผื่อการกัดกร่อน ณ ขณะเวลาออกแบบถูกของไหลขณะทำงานกัดกร่อนออกไป

สูตรในการคำนวณความหนาของภาชนะความดัน

ตัวถังทรงกระบอก

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (2)$$

$$P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (3)$$

ตัวถังทรงกลม และหัวถังทรงครึ่งทรงกลม

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (4)$$

$$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t} \quad (5)$$

หัวถังทรงครึ่งทรงรี

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad \text{—————(6)}$$

$$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t} \quad \text{—————(7)}$$

เมื่อ

P = ความดันออกแบบ หรือความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด, kg/cm²

S = ค่าความเค้นของวัสดุ, kg/cm²

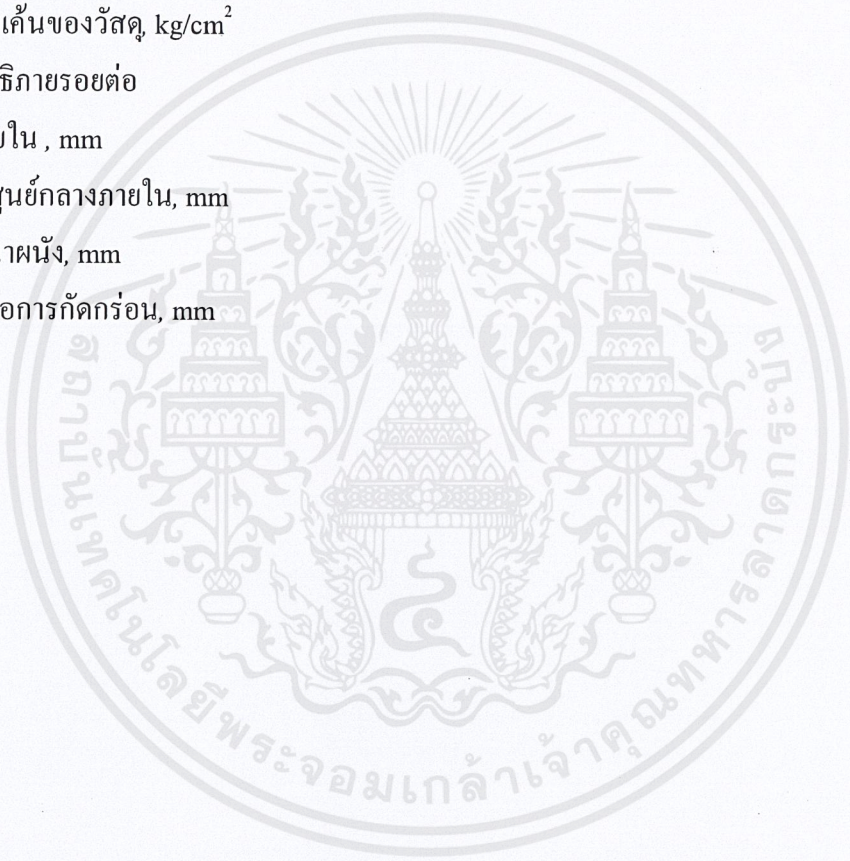
E = ประสิทธิภาพรอยต่อ

R = รัศมีภายใน, mm

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน, mm

t = ความหนาผนัง, mm

C.A. = ค่าเผื่อการกัดกร่อน, mm



ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการคำนวณ

ข.1 การกำหนด Dimension ของถังผสมสารละลาย และถังสกัดและตกตะกอน (จากเนื้อหาในหัวข้อ 2.9.1)

- กำหนดปริมาตรถังทั้ง 2 ถังเท่ากับ 20 ลิตร

- กำหนด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_t) = 30 cm

- จากอัตราส่วนระหว่างระดับความสูงของของเหลวในถัง : เส้นผ่านศูนย์กลาง ($\frac{H}{D_t} = 1$)

ดังนั้นจึงกำหนดระดับของเหลวสูงสุดไว้ที่ 30 cm จากก้นถัง และเผื่อความสูงเพิ่มเติมอีก 5 cm

- จากอัตราส่วนระหว่างระดับความสูงของใบกวน : เส้นผ่านศูนย์กลาง ($\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$)

ดังนั้นจึงกำหนดระดับความสูงของใบกวนไว้ที่ 10 cm จากก้นถัง

- จากอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน : เส้นผ่านศูนย์กลาง ($\frac{D_a}{D_t} = 0.5$)

ดังนั้นจึงกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน เท่ากับ 15 cm

- จากอัตราส่วนระหว่างความหนาของใบกวน : เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกวน ($\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$)

ดังนั้นจึงกำหนดความหนาของใบพัดกวน เท่ากับ 3 cm

- จากอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง : ความหนาของ Baffle ($\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$)

ดังนั้นจึงกำหนดความหนาของ Baffle เท่ากับ 2 cm

ข.2 การกำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ

ตารางที่ ข.1 แสดงชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ

no	description	material
1	silos 500x400x800 t=1.2mm	sus304
2	meter tank 200x250x200	sus304
3	knife gate valve 2"	sus304
4	sight glass 60x170x8	sus304
5	rubber 60x170x6	NBR
6	bolt nut M8	sus304
	mixing tank	
7	od 254 h=352 t=2mm	sus304
8	bottom tank	sus304
9	top plate for motor support	sus304
	200x254x6	sus304
10	guage 0-120c 4 inches	brass
11	heater 220v 2000w	sus304
12	Pt	sus304
13	motor gear 1/4 Hp 250 rpm 220v	
14	shaft agitator od16 L=215 mm	sus304
	with coupling and agitator od154	
15	buffer	sus304
16	hinge	sus304
17	socket 1"	sus304
18	socket 1/2"	sus304
19	socket 1/4"	sus304
20	bolt nut M8	sus304
21	ballvalve 1 1/4"	sus304
22	pipe 1 1/4" L400mm	sus304
23	elbow 1 1/4" 45	sus304
24	ballvalve 1 1/4"	sus304
25	ballvalve 1/4"	sus304
26	pipe 1/4" L230 spiral	sus304
27	control CABINET and wiring	sus304
	jacket tank	
1	motor gear 1/4 Hp 250 rpm 220v	
	adjust speed	
2	shaft agitator od16 L=450mm	sus316
3	propeller od154 t=1.5mm	sus316
4	propeller od94 t=1.5mm	sus316
5	sampling valve 1/2"	sus316
6	ballvalve 2" with elbow 45	sus316
7	gas spray pipe 12x1mm	sus316
8	pt 100 and fitting	
9	ball valve 1 1/4"	
10	cladding jacket 1mm	sus304
11	insulation rock wool t=50mm	
12	shell 925x538x3	sus316
13	upper cap od294x3	sus316
14	lower cone od294x185x3	sus316
15	flange od 400x8	sus316
16	buffer 30x3x296	sus316
17	rubber sealing od 400x6	NBR

ข.3 ขั้นตอนการกำหนดความหนาของถังสกัดและตกตะกอน

- วัสดุที่ใช้ทำถังคือ Stainless steel 316 ที่อุณหภูมิ 100°C ค่า yield strength เท่ากับ 2,750 kg/cm³
- กำหนดความดันออกแบบเท่ากับ 10 kg/cm³
- ประสิทธิภาพของหัวถังไร้ตะเข็บ = 1.00
- ประสิทธิภาพของรอยต่อของตัวถัง = 0.85
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 294 mm
- รัศมีภายใน 147 mm
- ค่าเผื่อการกัดกร่อน 30 mm

จากสมการที่ 2 ในภาคผนวก ก.2

สามารถคำนวณหาความหนาของถังความดันทรงกระบอกได้จากสมการ

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

$$t = \frac{10 \times 147}{2,750 \times 0.85 - 0.6 \times 10}$$

$$t = 0.6 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$$

$$t = 3.6 \text{ mm}$$

จากสมการที่ 6 ในภาคผนวก ก.2

สามารถคำนวณหาความหนาของหัวถังทรงครึ่งทรงรีได้

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$$

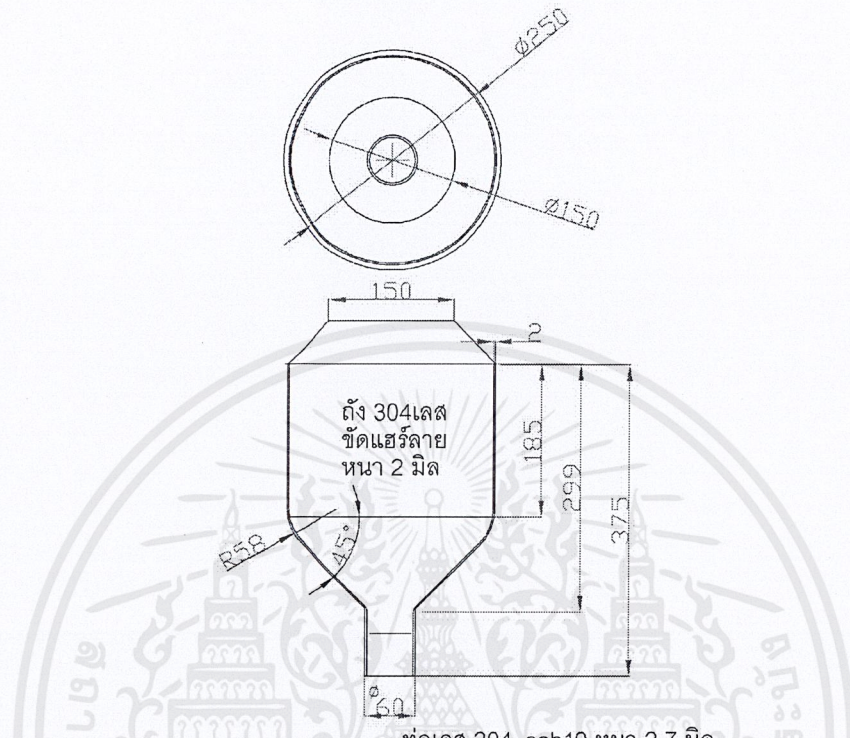
$$t = \frac{10 \times 294}{2 \times 2,750 \times 1 - 0.6 \times 10}$$

$$t = 0.5 \text{ mm} + 3 \text{ mm}$$

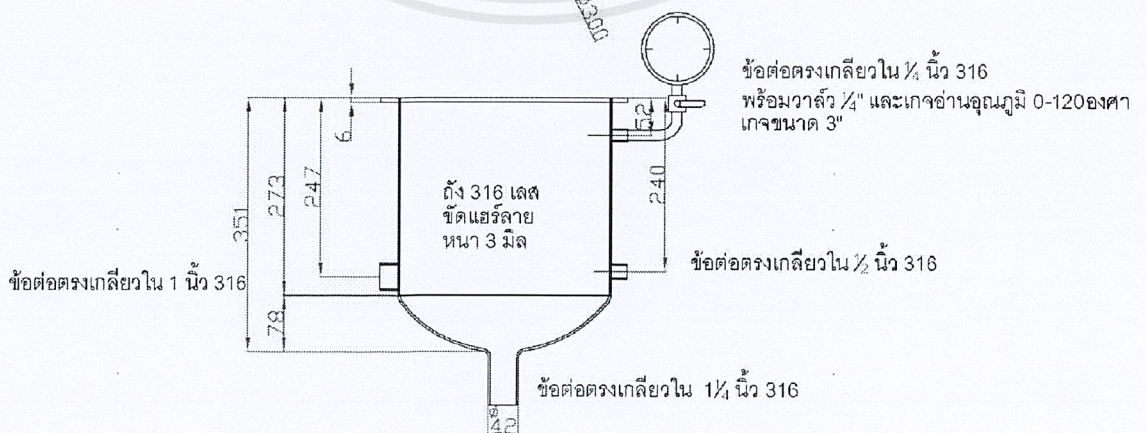
$$t = 3.5 \text{ mm}$$

ภาคผนวก ค.

ภาพร่างของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการสกัดและตกตะกอน

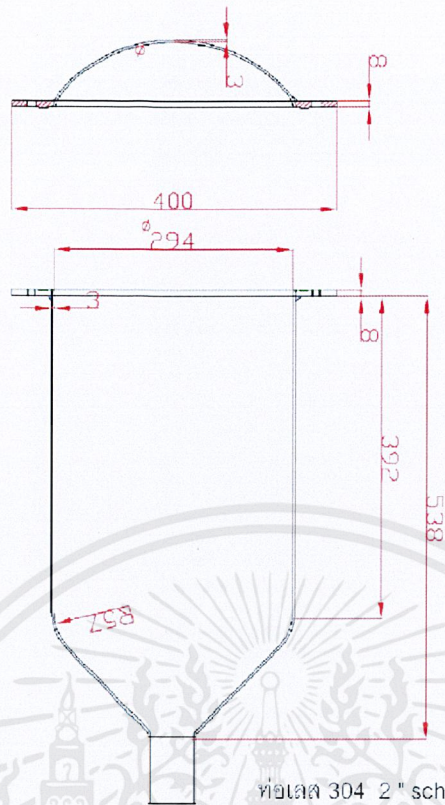


รูปที่ ค.1 แสดงสัดส่วน และขนาดของถังบรรจุถ้ำเกลบ



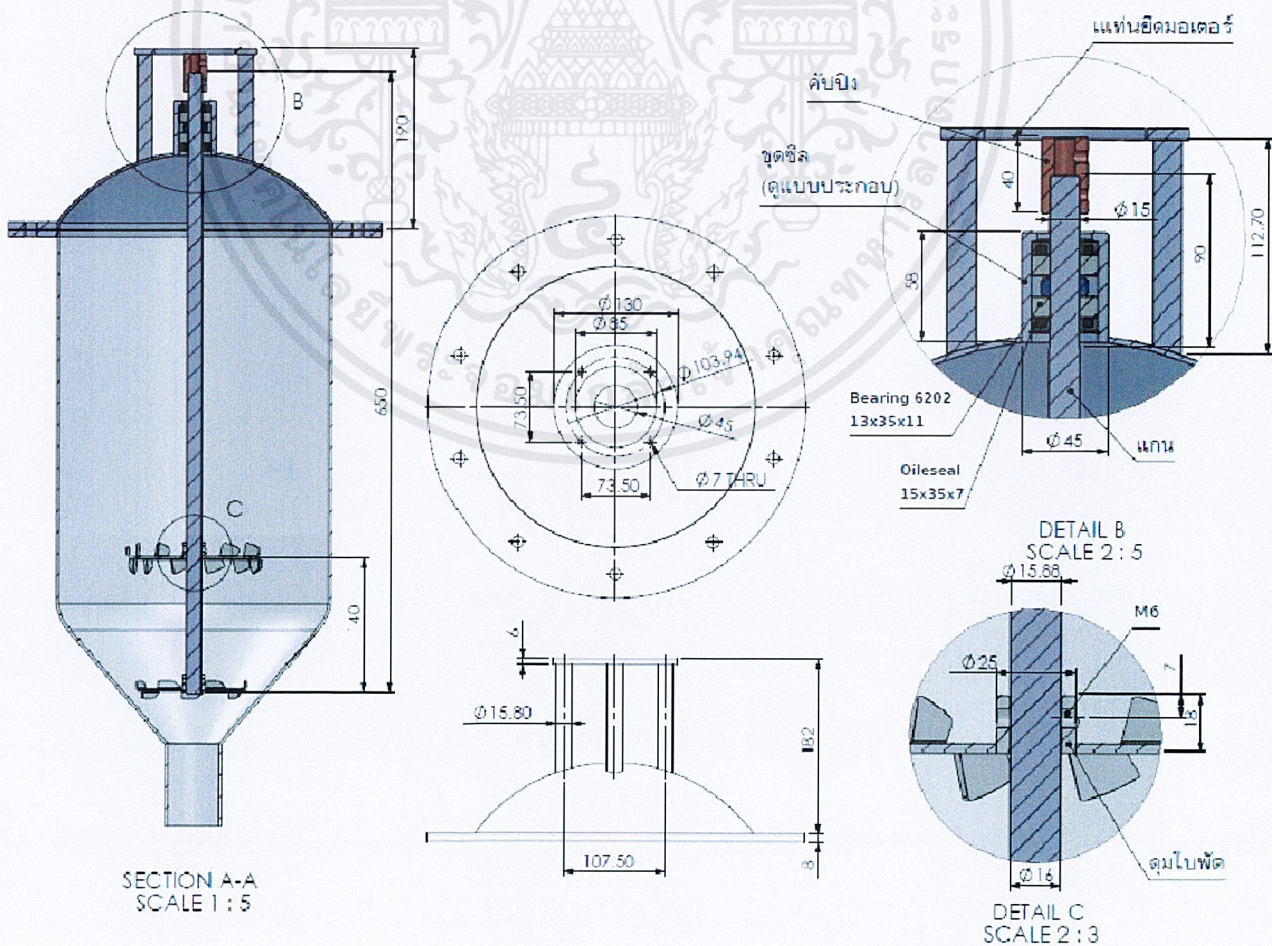
รูปที่ ค.2 แสดงสัดส่วน และขนาดของถังกวนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ท่อเหล็ก 304 2" sch10 หนา 2.7 มม

รูปที่ ค.3 แสดงสัดส่วน และขนาดของถังสกัดและตกตะกอน



SECTION A-A
SCALE 1 : 5

DETAIL B
SCALE 2 : 5

DETAIL C
SCALE 2 : 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีทีซี จำกัด (มหาชน) การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

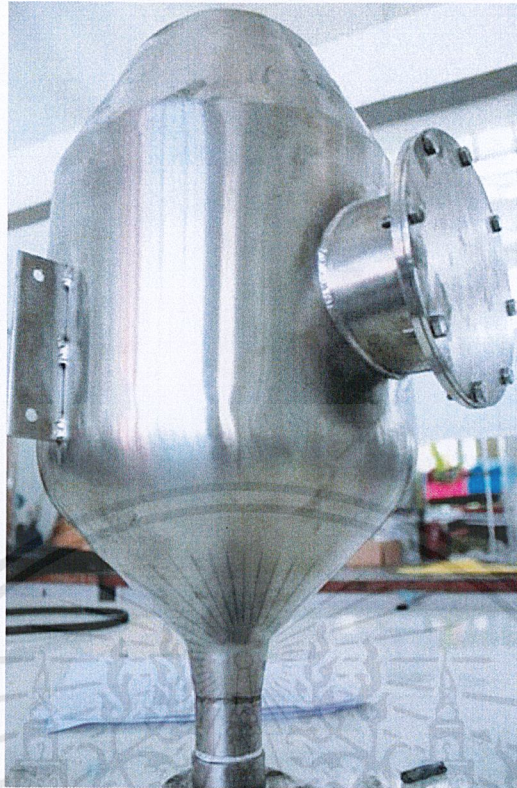


รูปที่ ค.5 แสดงภาพถ่ายของอุปกรณ์ในการสกัดชิลิกจากถั่วแกลบในระดับกิ่งอุตสาหกรรม



รูปที่ ค.6 แสดงภาพถ่ายของถังกวนผสมสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 แสดงภาพถ่ายของถังบรรจุถั่วแก่กลบ



รูปที่ ค.8 แสดงภาพถ่ายของถังสกัดและตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้