บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องมือ

1. เครื่องบด (knife mill) ลักษณะภายในเครื่อง มีใบมีด 2 ใบ ยึดติดอยู่กับหินบดที่หมุนได้รอบโดยมอเตอร์ ดังแสดงในรูป 3.1 เมื่อป้อนฟางข้าวที่ตัดให้มีขนาดประมาณ 45 มิลลิเมตร ใส่ลงในกรวยที่อยู่ด้านบนของเครื่อง ฟางข้าวจะตกลงมาตามช่องว่างภายในเครื่อง และถูกบดตัดโดยหินบดและใบมีดจนมีขนาดเล็กลง สามารถปรับขนาดชิ้นฟางที่ตัดได้ด้วยตัวปรับที่อยู่ทางซ้ายด้านล่างของตัวเครื่อง โดยเป็นการปรับระยะห่างระหว่างหินบดที่ส่วนกลางและที่ฝาปิดของเครื่อง ฟางข้าวที่บดแล้ว จะตกลงมาตามช่องทางออกด้านล่าง

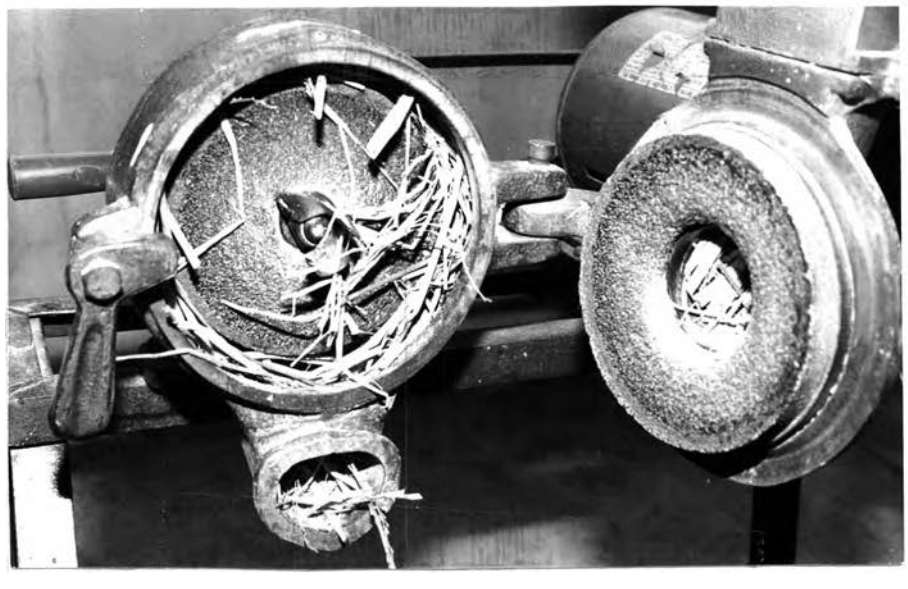
2. ตู้อบ (hot air oven) ของบริษัท WTE binder รุ่น F115 แสดงในรูปที่ 3.2

3. เครื่องอังน้ำอุ่นแบบมีตัวเขย่า (gyrotary water bath shaker) ของบริษัท New Brunswick Scientific CO.,INC รุ่น G-76 สามารถตั้งอุณหภูมิ และความเร็วรอบในการเขย่าได้ แสดงในรูปที่ 3.3

4. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ของบริษัท Sanyo Electric รุ่น MLS-2400 แสดงในรูป 3.4

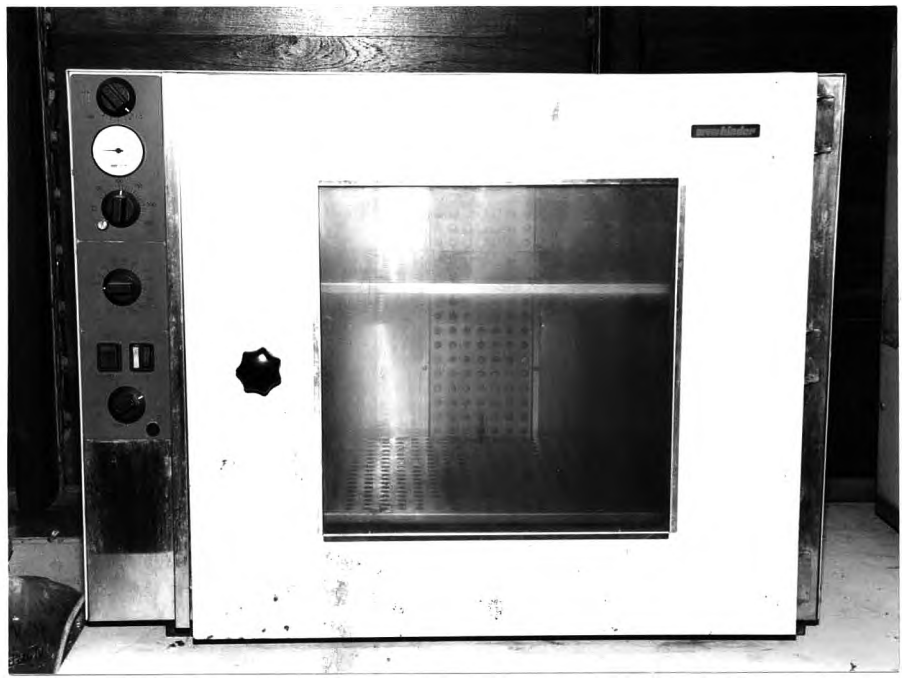
5. เครื่องวัดสภาพการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ของบริษัท Bausch and Lomb ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์

ก. ลักษณะภายนอกของเครื่องบด



ข. ใบมีดและหินบดของเครื่องบด

รูปที่ 3.1 เครื่องบดฟ่างข้าว



รูปที่ 3.2 ตู้อบ

รูปที่ 3.3 เครื่องอังน้ำอุ่นแบบมีตัวเขย่า

รูปที่ 3.4 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ

6. เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์ (ebulliometer) ของบริษัท Dujardin-Salleron ใช้วัดปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลในหน่วยเปอร์เซนต์โดยปริมาตร โดยการวัดค่าอุณหภูมิจุดเดือดที่ลดต่ำลงของสารละลาย เทียบกับน้ำ นำมาอ่านค่าความเข้มข้นบนสเกลมาตรฐาน แสดงในรูป 3.5.ก และ 3.5.ข

7. เครื่องชั่ง (analytical balance) ของบริษัท Satorius 1702 MP8

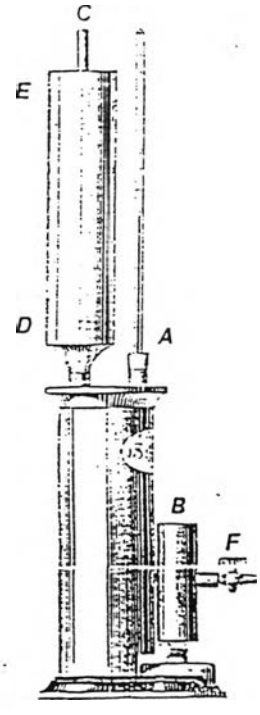
8. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ของบริษัท Corning รุ่น M 220 Serial No. 3162

9. เครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) ของบริษัท Sybron Thermolyne

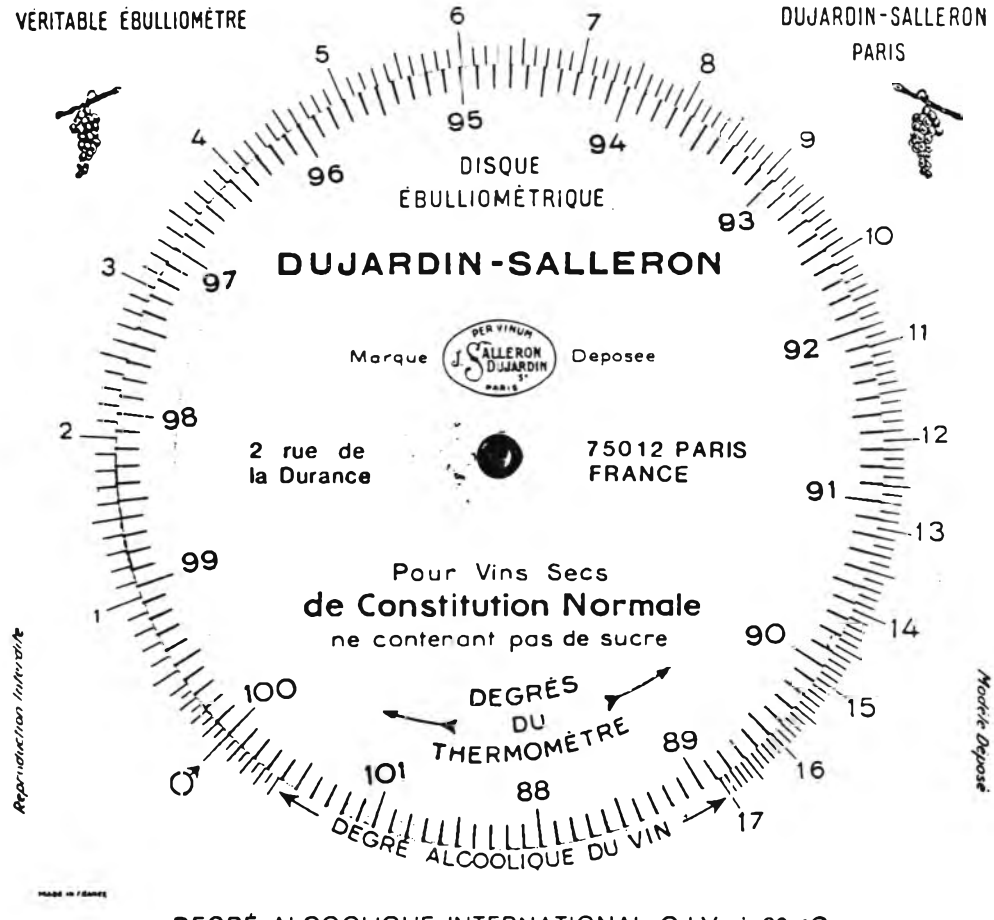
10. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ของบริษัท Kubota รุ่น KC-25 แสดงในรูปที่ 3.6

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมีและอุปกรณ์ในการปรับสภาพฟางข้าว
   1.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ (ภาคผนวก ฌ)
   1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก
   1.3 สารละลายเอทานอลเข้มข้น 50, 75 และ 95 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร
   1.4 กระดาษลิตมัส
   1.5 น้ำกลั่น
   1.6 เทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.5-ก เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์



รูปที่ 3.5-ข สเกลมาตรฐานสำหรับอ่านค่าความเข้มข้นของเอทานอล ในหน่วยเปอร์เซนต์โดยปริมาตร

รูปที่ 3.6 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบตั้งโต๊ะ

2. สารเคมีและอุปกรณ์ในการย่อยเซลลูโลส

2.1 สารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่มีค่า pH เท่ากับ 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 6.0 (ภาคผนวก ญ)

2.2 เอนไซม์เซลลูเลส

2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

2.4 สารละลายกรดอะซีติกเจือจาง

2.5 โซเดียมอะซีเตท (CH_3COONa)

2.6 กรดอะซีติกเข้มข้น (CH_3COOH)

2.7 น้ำกลั่น

2.8 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร

2.9 ปิเปตขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

2.10 ลูกยาง

2.11 เทอร์โมมิเตอร์

3. สารเคมีและอุปกรณ์ในการผลิตเอทานอล

3.1 เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013

3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อยีสต์

ก. อาหารแข็ง (YM agar)

- มอลต์เอ็กซ์แทรค (malt extract)	3.0 กรัม
- ยีสต์เอ็กซ์แทรค (yeast extract)	3.0 กรัม
- เปปโตน (peptone)	5.0 กรัม
- กลูโคส (glucose)	10.0 กรัม
- วุ้น (agar)	12 - 15 กรัม
- น้ำกลั่น	1 ลิตร

ข. อาหารเหลว (YM broth) สูตรเหมือนอาหารแข็งแต่ไม่ใส่วุ้น

3.3 โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$)

3.4 ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$)

3.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

3.6 สารละลายกรดอะซีติกเจือจาง

3.7 แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$)

3.8 แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)

3.9 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร

3.10 ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

3.11 ลูกยาง

3.12 ตะเกียงแอลกอฮอล์

3.13 สำลี

3.14 กระดาษอะลูมิเนียมบาง

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. <u>การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าว</u>

นำฟางข้าวมาบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาด 10 ถึง 45 มิลลิเมตร และทำการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี ก่อนนำไปทำการย่อยด้วยเอนไซม์ ด้วยวิธีการต่างๆดังนี้

1.1 แช่ฟางข้าวที่บดแล้ว ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 10 ที่อุณหภูมิห้อง โดยให้สารละลายท่วมฟางข้าวตลอดเวลาด้วยการใช้ของหนักถ่วงไว้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 นำฟางข้าวที่บดแล้วมาปรับสภาพโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1.1 หลังแช่ฟางข้าวครบ 24 ชั่วโมงแล้ว กรองสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกด้วยผ้ากรอง แล้วเติมลงไปใหม่ โดยใช้ความเข้มข้นเดียวกับความเข้มข้นที่ใช้แช่ ในอัตราส่วนเดิม นำไปต้มในเครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

1.3 นำฟางข้าวที่บดแล้วมาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนของฟางข้าวต่อสารละลายเท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที ทุกค่าความเข้มข้น

1.4 นำฟางข้าวที่บดแล้วข้าวมาต้มกับสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50, 75 และ 95 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนของฟางข้าวต่อสารละลายเท่ากับ 1 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ในเครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กรองแยกสารละลายเอทานอลออก นำตะกอนฟางไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อระเหยแอลกอฮอล์ออกให้หมด

1.5 นำฟางข้าวที่บดแล้วมาต้มกับสารละลายเอทานอล โดยใช้ความเข้มข้นที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อ 1.4 โดยวิธีการเดียวกัน หลังจากอบเพื่อระเหยแอลกอฮอล์ออกหมดแล้ว นำตะกอนฟางไปแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ความเข้มข้นที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อ ก. โดยวิธีการเดียวกัน หลังจากแช่ครบ 24 ชั่วโมงแล้ว แบ่งตะกอนฟางเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่หนึ่ง นำไปวิเคราะห์ผลการปรับสภาพ

ส่วนที่สอง นำไปต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ส่วนที่สาม ทำเช่นเดียวกับส่วนที่สอง แต่นำไปต้มที่ 70 องศาเซลเซียส

1.6 นำฟางข้าวที่บดแล้วมาต้มกับสารละลายเอทานอล โดยใช้ความเข้มข้นที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อ 1.4 โดยวิธีการเดียวกัน หลังจากอบเพื่อระเหยแอลกอฮอล์ออกหมดแล้ว นำตะกอนฟางไปต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อสารละลายเท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้เวลาที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อ 1.3

นำตะกอนฟางที่ปรับสภาพแล้วด้วยวิธีการต่างๆไปล้างด้วยน้ำกลั่น จนน้ำล้างตะกอนมีสภาพเป็นกลาง (pH ประมาณ 7.0) ด้วยการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส โดยต้องไม่เปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน วิเคราะห์น้ำหนักฟางที่หายไปในระหว่างการปรับสภาพ และปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฟาง ได้แก่ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน และเถ้า ต่อน้ำหนักฟางแห้ง วิธีการปรับสภาพวิธีใดที่ให้ตะกอนฟางที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง แต่มีปริมาณลิกนิน

และเฮมิเซลลูโลสต่ำ และมีส่วนของน้ำหนักฟางที่หายไปในระหว่างการปรับสภาพไม่สูงมากนัก จะถูกเลือกมาใช้ในการปรับสภาพฟางข้าว เพื่อนำเซลลูโลสในตะกอนฟางไปใช้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยต่อไป

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ

2.1 การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

ชั่งตะกอนฟางที่ปรับสภาพแล้วด้วยวิธีการที่เหมาะสมจากข้อ 1. น้ำหนักประมาณ 1 กรัมน้ำหนักแห้ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยแปรค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ดังนี้คือ 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 6.0 เติมเอนไซม์เซลลูเลสในอัตราส่วน 300 ไมโครลิตรต่อกรัมเซลลูโลส นำไปทำปฏิกิริยาในเครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 5 นาที ทำให้เย็นลง ปั่นแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เปรียบเทียบผลการทดลอง เพื่อหาค่า pH ที่เหมาะสมในการย่อย โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ นำไปคำนวณค่าความแตกต่างจากค่ามากที่สุดสัมพัทธ์ เพื่อดูว่าค่าที่เลือกซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดมีความแตกต่างจากค่าใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด และคำนวณค่าการเปลี่ยน (conversion) เพื่อดูปริมาณการเปลี่ยนของสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่ pH ค่าต่างๆ จากสูตร

$$\text{ค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์})_{max} - (\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้})}{(\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์})_{max}}$$

$$\text{ค่าการเปลี่ยน (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้, กรัม}) \times (0.89) \times 100}{(\text{ปริมาณเซลลูโลสในฟาง, กรัม})}$$

หมายเหตุ : ค่า 0.89 คือ ค่าคงที่ของการเปลี่ยนโพลีแซคคาไรด์ เป็นโมโนแซคคาไรด์ในปฏิกิริยาการย่อย โดยมีน้ำเข้าร่วมในปฏิกิริยา (Vallander,1984)

2.2 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสม

ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้สูงที่สุด นำไปทำปฏิกิริยาในเครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 40, 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ คำนวณค่าความแตกต่างจากค่ามากที่สุดสัมพัทธ์ และค่าการเปลี่ยนของสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิต่างๆ

2.3 การหาอัตราส่วนเอนไซม์-สับสเตรทที่เหมาะสม

ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้สูงที่สุด เติมเอนไซม์เซลลูเลสลงไป ที่อัตราส่วนต่างๆ ในช่วง 100 ถึง 2,000 ไมโครลิตรต่อกรัมเซลลูโลส นำไปทำปฏิกิริยาในเครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และคำนวณค่าการเปลี่ยนของสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ที่อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรท ค่าต่างๆ

2.4 การหาเวลาที่เหมาะสม

ชั่งฟางข้าวที่ปรับสภาพแล้วประมาณ 3 กรัมน้ำหนักแห้ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่มีค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 2.1 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เติมเอนไซม์เซลลูเลสในปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 2.3 นำไปทำปฏิกิริยาในเครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 เก็บตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ ในชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 28, 32, 36, 42 และ 48 ของการย่อย คำนวณค่าการเปลี่ยนของสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ที่เวลาต่างๆ

3. การศึกษาการผลิตเอทานอลจากสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าวโดยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*

3.1 การเตรียมสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์

ก. การปรับค่า pH และการเติมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์

นำสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าวมาปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 5.0 (เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของยีสต์) ด้วยสารละลายกรดอะซีติกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เติมสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของยีสต์ ตามสูตร ดังนี้ คือ ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณ 0.3 ถึง 0.5 กรัม ต่อลิตรของสารละลายน้ำตาล แอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตรของสารละลายน้ำตาล และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.1 กรัมต่อลิตรของสารละลายน้ำตาล เพื่อเร่งอัตราเร็วในการหมัก และทำให้ได้แอลกอฮอล์สูงในเวลารวดเร็ว

ข. การทำสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ให้ปราศจากเชื้อ

นำสารละลายจากข้อ ก. ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยจุกสำลี ปิดทับด้วยกระดาษอะลูมิเนียมบาง นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการลงเชื้อ

3.2 การเตรียมการหมัก

ก. การเตรียมเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013

ในการหมักใช้เชื้อยีสต์จากหน่วยบริการเชื้อจุลินทรีย์ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยเก็บรักษาเชื้อบนอาหารแข็ง YM agar ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ทำการถ่ายเชื้อทุกเดือนก่อนนำมาใช้จะถ่ายเชื้อใหม่แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา24 ชั่วโมง

ข. การเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้น (starter)

ทำการถ่ายเชื้อยีสต์ที่กำลังเจริญจากข้อ ก. ลงใน YM broth ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์ให้สูงขึ้น (สุภาน อัจฉริยศรีพงศ์ และคณะ, 2536) เพื่อนำไปหมักต่อไป

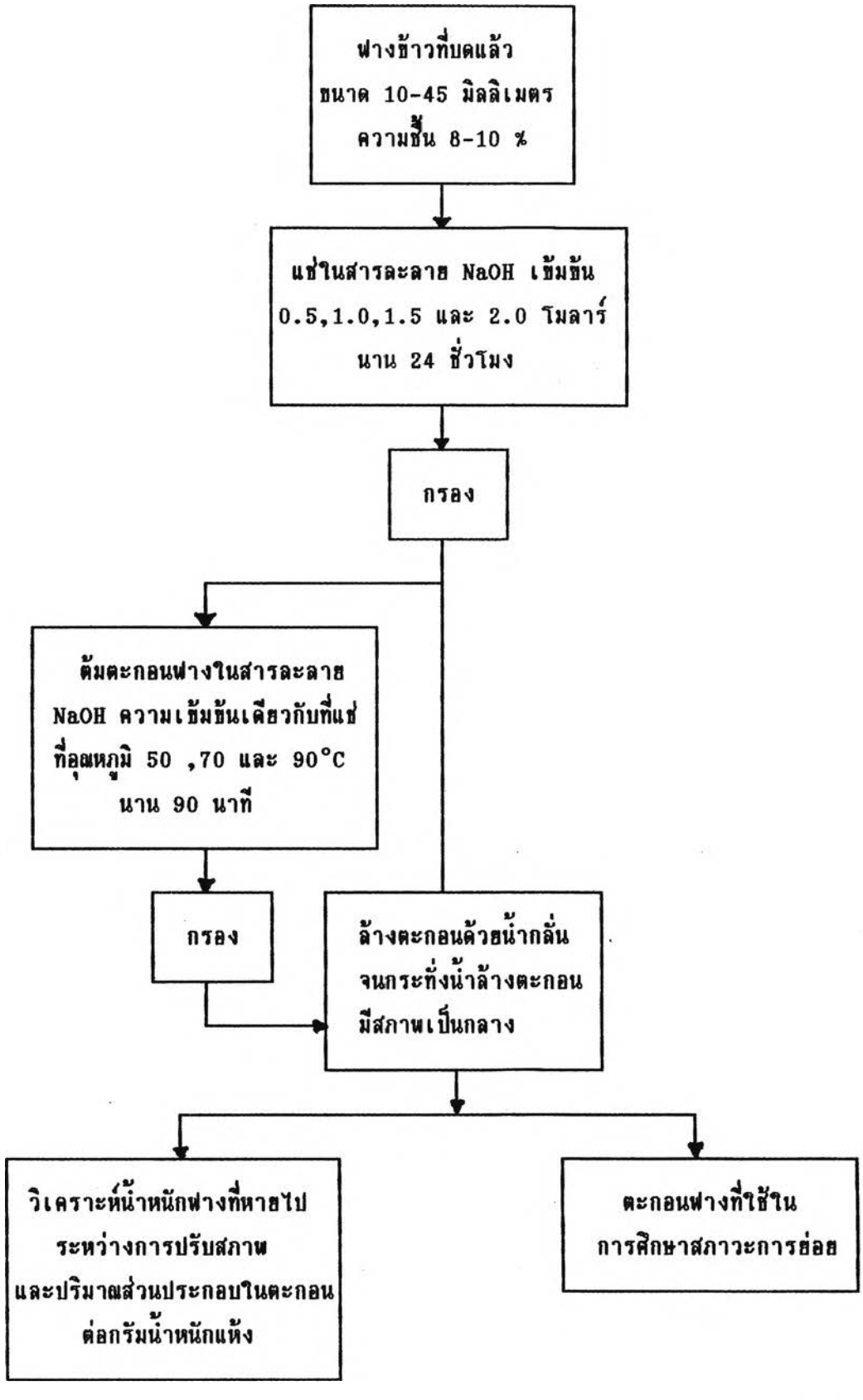
ค. การหมัก

ทำการถ่ายเชื้อหมักเริ่มต้นลงในสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ ที่ฆ่าเชื้อแล้วจากข้อ 3.1 ในปริมาณ 5 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรของสารละลายน้ำตาล ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการเขย่า เก็บตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ทุกๆ 24 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิคปราศจากเชื้อนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลง และปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ จนกระทั่งได้ค่าที่คงที่ คำนวณค่าการเปลี่ยนของน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเอทานอลเทียบกับค่าที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี ตามสูตร

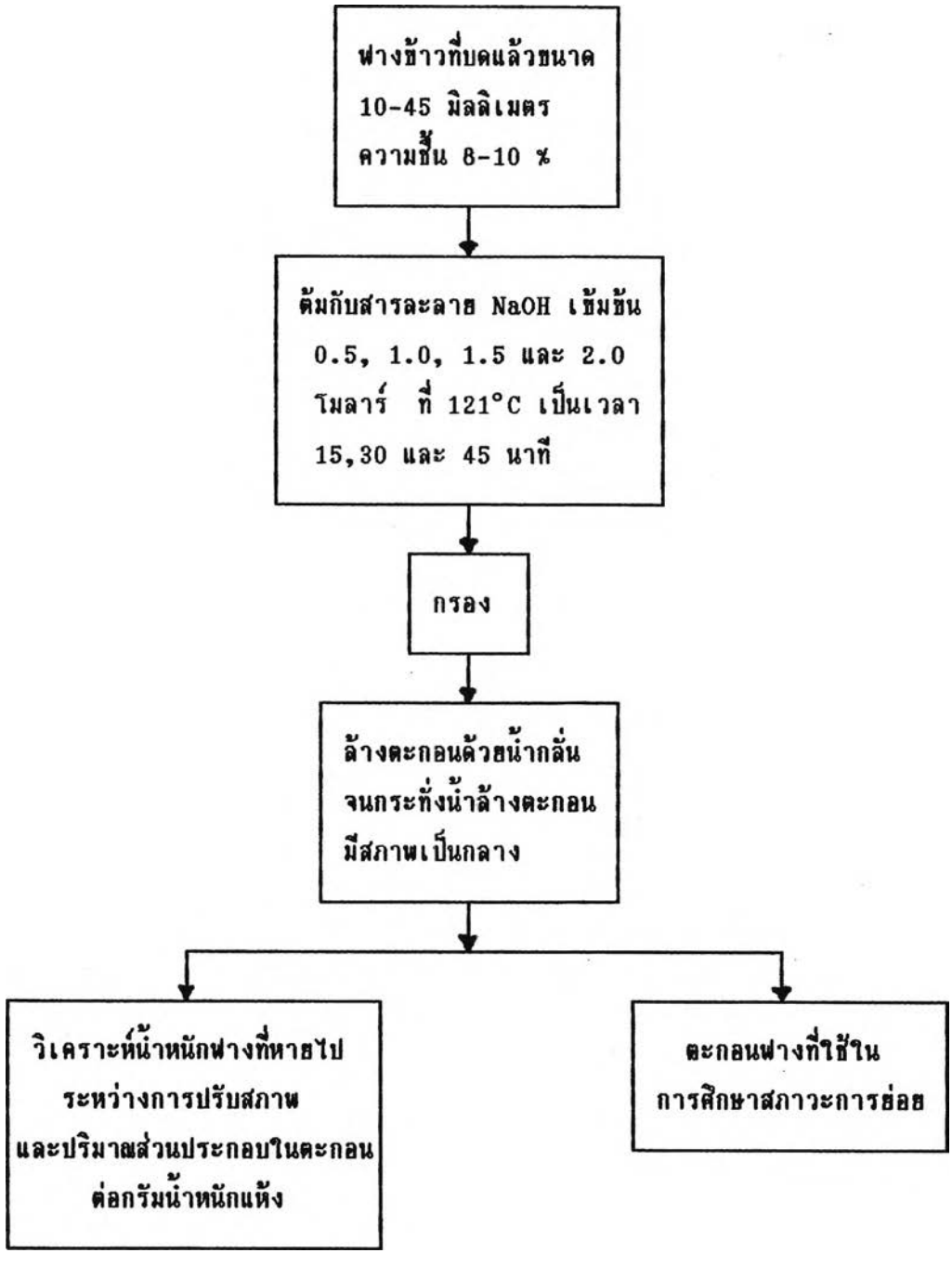
$$\text{ค่าการเปลี่ยน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้} \times 100}{\text{ปริมาณเอทานอลที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี}}$$

วิธีวิเคราะห์

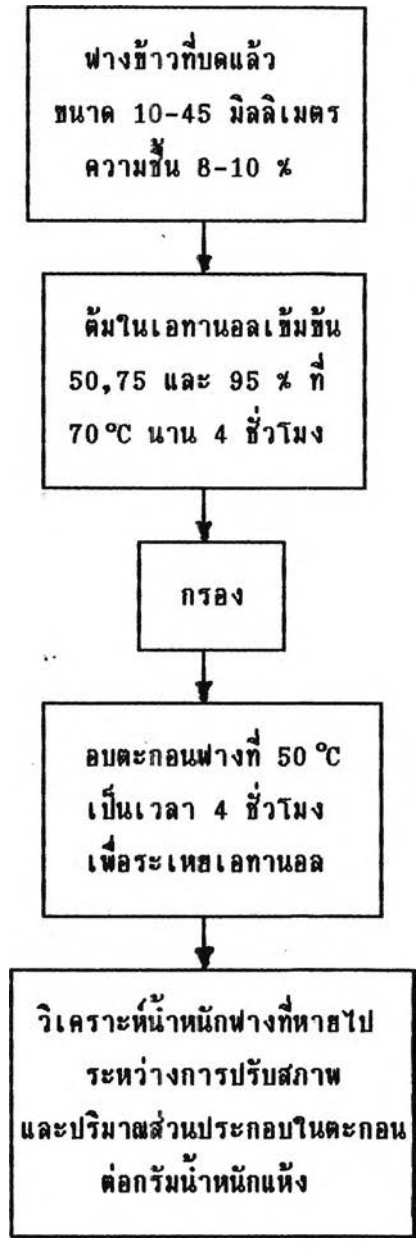
1. ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ใช้วิธีใน TAPPI 203 om-88,1988 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.)
2. ปริมาณลิกนิน ใช้วิธีใน TAPPI 222 om-88,1988 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.)
3. ปริมาณเถ้า ใช้วิธีใน TAPPI 211 om-85,1985 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)
4. ปริมาณความชื้น ใช้วิธีใน TAPPI 210 cm-86,1986 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.)
5. ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลาย ใช้วิธีของ Chaptin และ Kennedy (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ.)
6. ค่าความสามารถในการทำงาน (activity)ของเอนไซม์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ฉ.)
7. ความเข้มข้นของเอทานอล ด้วยเครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ช.)



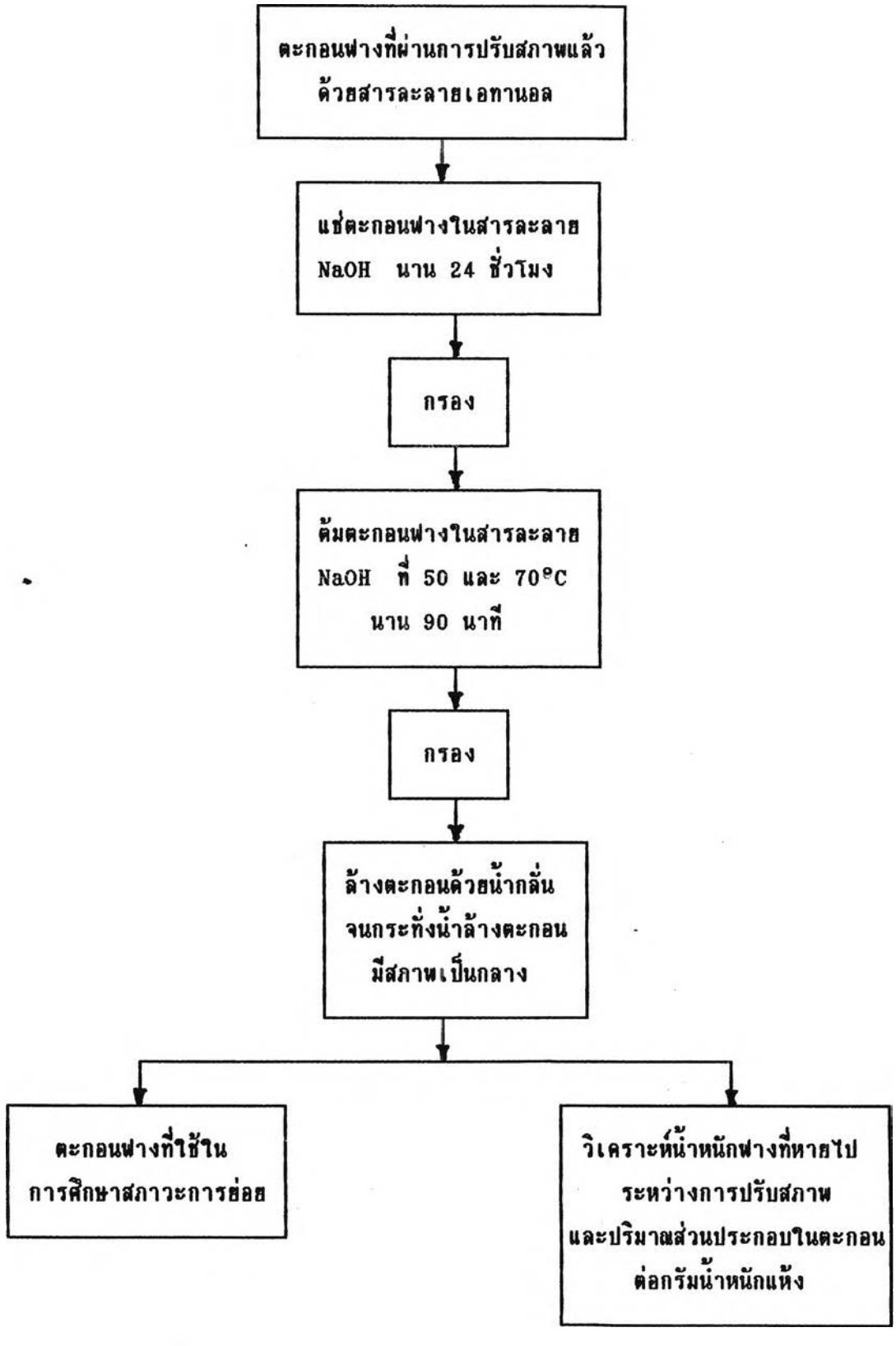
รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



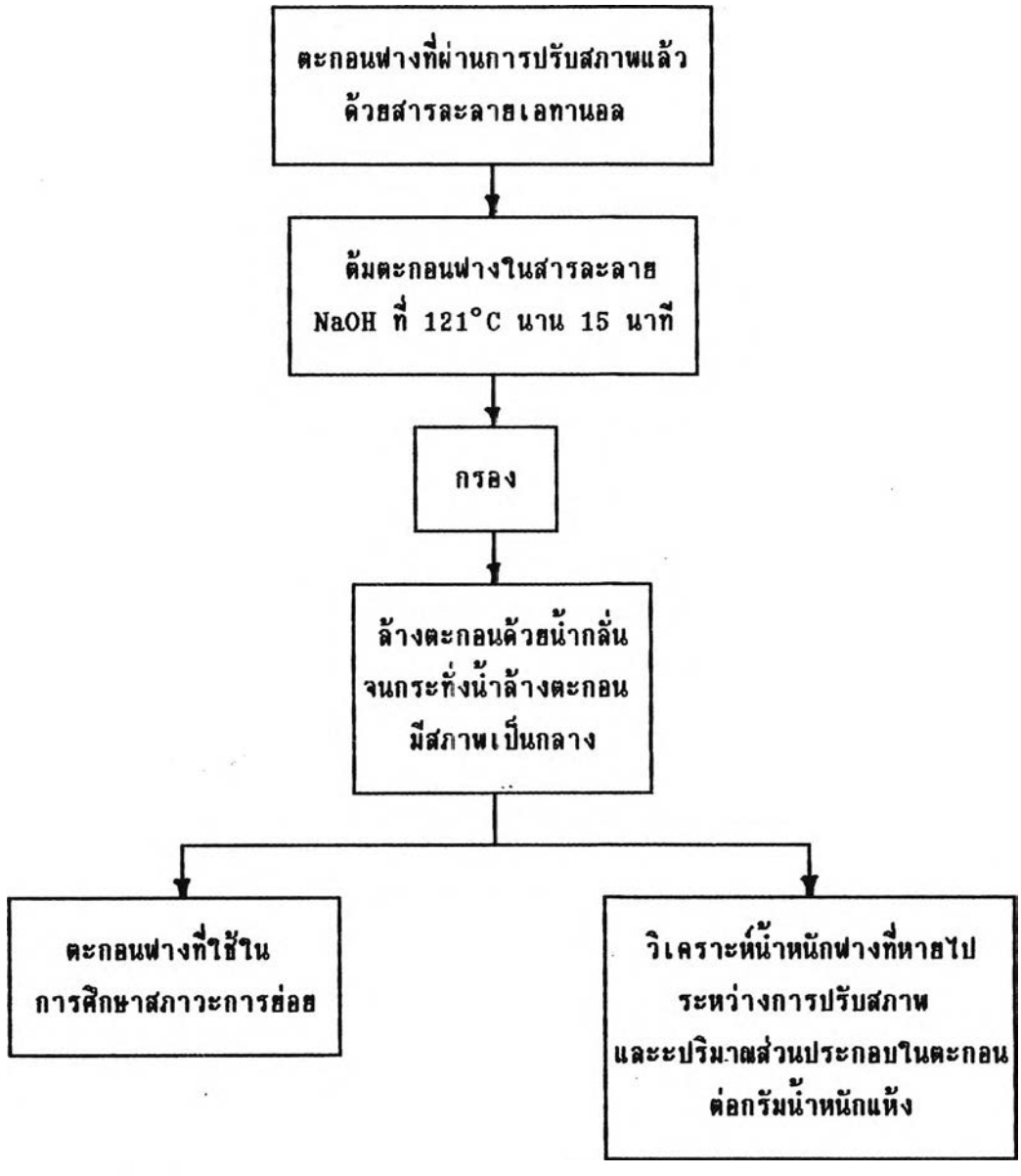
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการปรับสภาพฟางข้าวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูง (121 องศาเซลเซียส)



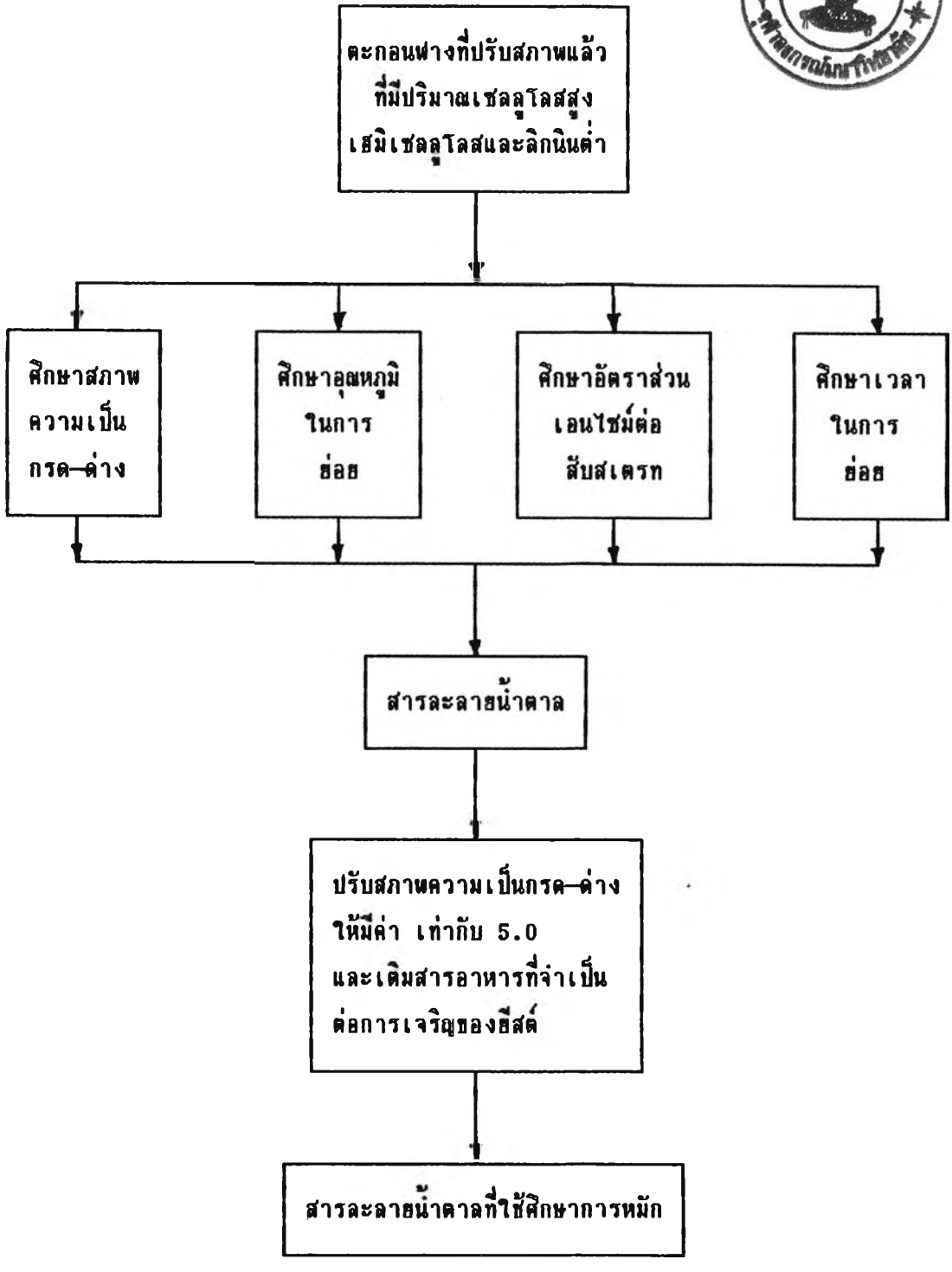
รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายเอทานอล



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงการปรับสภาพฟางข้าวด้วยเอทานอลร่วมกับ
การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการปรับสภาพฟางข้าวด้วยเอทานอลร่วมกับ
การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูง
(121 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงการศึกษาการย่อย