บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการหมักแข็งโดยใช้ไตรโคเดอร์มา ริสิอี RT-P1 บนกากมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นครูดเซลลูเลสผง ซึ่งในระหว่างที่ทำการวิจัยได้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเริ่มตั้งแต่การเพาะเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อ การผลิตหัวเชื้อ กระบวนการหมักแข็งกากมันสำปะหลังในถังพลาสติกขนาด 45 ลิตร การหมักกากมันสำปะหลังในตู้บ่มเชื้อขนาด 5 กิโลกรัมต่อการผลิต การอบแห้งครูดเซลลูเลสผงที่ผลิตได้ด้วยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตครูดเซลลูเลสผง โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

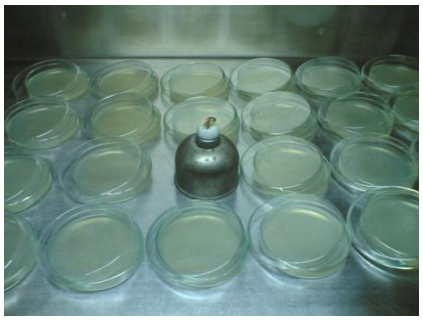
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบคือกากมันสำปะหลังแห้งที่ผ่านการย่อยและการบดแล้ว ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและเถ้า ก่อนนำมาใช้เป็นสับสเตรท

จุลินทรีย์คือเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารวุ้นแข็งพีดีเออายุ 12 วัน เชื้อรานี้ถูกคัดเชื้อจากการเพาะเลี้ยงบนฟางข้าวและกากมันสำปะหลังของการหมักกึ่งเหลวในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

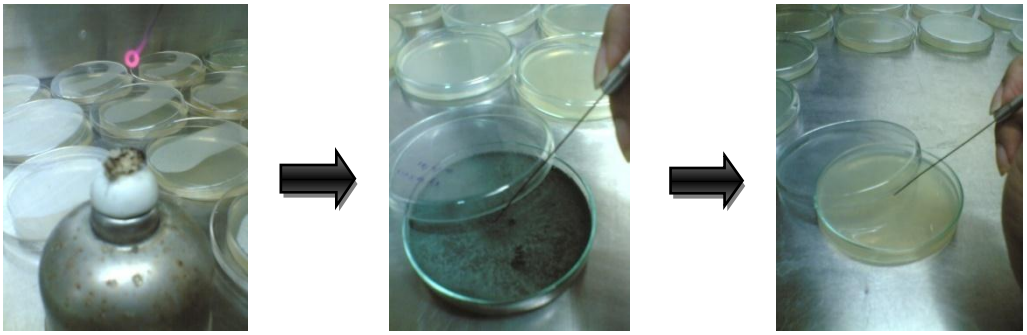
3.1.1 ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1

1) เตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเชื้อรา สูตรพีดีเอ (Potato Dextrose Agar, PDA) และอาหารที่ได้จากการทำเองจากหัวมันฝรั่งสดซึ่งวิธีการเตรียม (ภาคผนวก ก) นำอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อทำให้ปลอดเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาเทใส่จานเพาะเลี้ยงเชื้อราในขณะที่อาหารเลี้ยงเชื้อยังมีความร้อนอยู่ปริมาณ 10 ถึง 15 มิลลิเมตร แล้วปิดด้วยจานเพาะเชื้อ จากนั้นทิ้งไว้ในตู้เขี่ยเชื้อจนกระทั่งอาหารในจานเลี้ยงเชื้อเป็นวุ้นแข็ง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเตรียมอาหารวุ้นแข็งพีดีเอในตู้ถ่ายเนื้อเยื่อ

2) นำเข็มเขี่ยเชื้อราลนไฟให้มีสีแดงเพื่อฆ่าเชื้อที่เข็มเขี่ยเชื้อ ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำเข็มเขี่ยเชื้อเขี่ยสปอร์ของเชื้อราวางตรงกลางของจานเพาะเลี้ยงเชื้อราที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.2 นำจานเพาะเลี้ยงเชื้อรามาเพาะเลี้ยงในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องประมาณ 12 วัน จนเชื้อรามีสีเขียวเต็มจานเพาะเลี้ยงเชื้อรา



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเขี่ยเชื้อราลงบนอาหารแข็งบนจานเพาะเชื้อ

3.2 การหมักแข็งในระดับห้องปฏิบัติการ

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการหมักแข็งในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้การทำให้ปลอดเชื้อทุกขั้นตอน แบ่งออกเป็น

การผลิตหัวเชื้อสดในชามแก้ว (Fresh starter inoculums, FS)

การหมักแข็งกากมันสำปะหลังปริมาณ 200 กรัมด้วยไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 อายุ 12 วัน ที่ความเข้มข้นในอาหารเหลวพีเอช 5 ปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสและความเข้มข้นน้ำตาลมะพร้าวคงที่ โดยแปรผันปริมาตรอาหารเหลว 5 ระดับ คือ 160, 180, 200, 220 และ 240 มิลลิลิตร ระยะเวลาที่ใช้หมัก 7 วัน ที่อุณหภูมิ 26°C เก็บตัวอย่างเพื่อวัดร้อยละของความชื้นเริ่มต้นและความเข้มข้นเชื้อรา (จำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตร) ทุกวัน จากนั้นทำการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 200 กรัม โดยใช้ปริมาตรอาหารเหลวที่เหมาะสมซึ่งได้จากวิธีการทดลองข้างต้นคงที่ แต่ทำการแปรผันปริมาณน้ำตาลมะพร้าวในอาหารเหลวเท่ากับ 10 20 30 และ 40 กรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน เก็บตัวอย่าง วัดความชื้นเริ่มต้นและความเข้มข้นเชื้อราทุกวัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การเตรียมอาหารเหลวสูตร LM (Liquid medium) ปริมาตร 1 ลิตร ประกอบด้วยปริมาณเป็นกรัมของ $CaHPO_4$ 1.0, $MgSO_4$ 1.0, น้ำตาล (แหล่งคาร์บอน) 30.0, ปุ๋ยยูเรีย (แหล่งไนโตรเจน) 8.0, ปุ๋ยฟอสเฟต (ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม) 15.0 และน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 ลิตร

วิธีการเตรียม คือละลายส่วนผสมทั้งหมดด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เขย่าขวดสารละลายแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 20 นาที จึงนำออกจากหม้อนึ่งความดัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับค่า pH เท่ากับ 5 และควรนำไปใช้ทำการหมักทันที ห้ามทิ้งข้ามคืน ทำนองเดียวกันอาหารเหลวสูตร LM ที่แปรผันปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่

10, 20 และ 40 กรัมต่อลิตร เตรียมโดยใช้น้ำตาลมะพร้าวความเข้มข้นดังกล่าวแทนน้ำตาลมะพร้าว 30 กรัมต่อลิตร

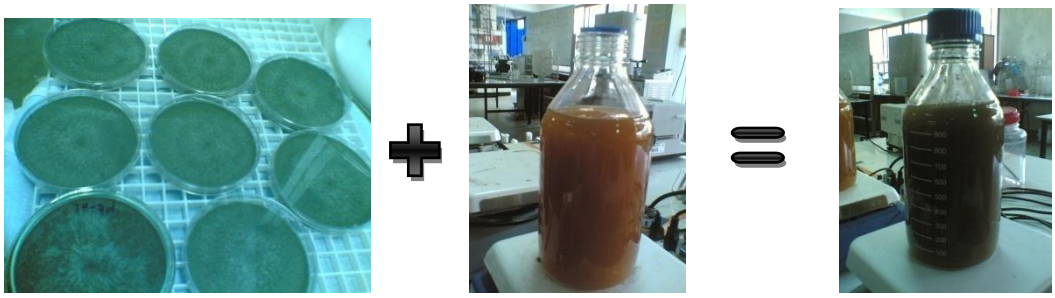
วิธีการเตรียมกากมันสำปะหลัง (Cassava waste, CW) ถุงละ 200 กรัม นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วในหม้อนึ่งความดันไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องโดยทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ ดังรูปที่ 3.3

กากมันสำปะหลัง (CW) อาหารเหลวสูตร LM

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมกากมันสำปะหลังและอาหารเหลวสูตร LM

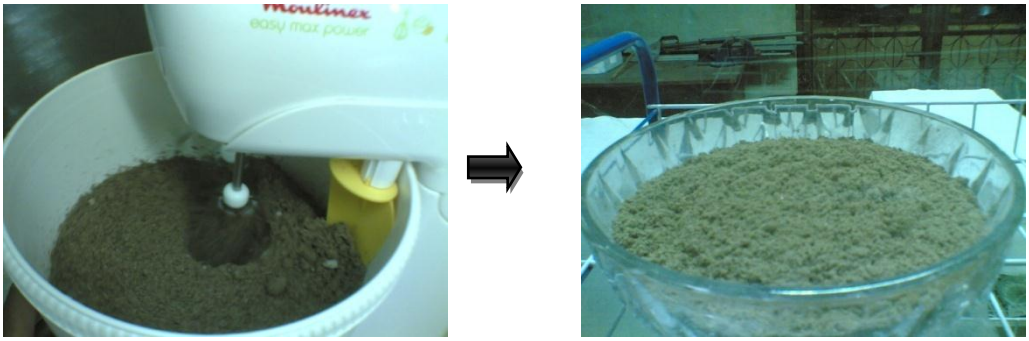
2) นำอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น ชามแก้ว กระบอกตวง เข็มเขี่ยเชื้อ เครื่องกวน ช้อนยาว และอาหารเหลวสูตร LM ที่เตรียมได้ข้างต้นไปผ่านการทำให้ปลอดเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) ในตู้เขี่ยเชื้อนาน 20 นาที

3) ทำการปรับค่า pH ของอาหารเหลวให้ได้เท่ากับ 5 จากนั้นเขี่ยเชื้อราจำนวน 2 จานที่ขึ้นเต็มจานเพาะเชื้อ ลงในอาหารเหลวสูตร LM และทำการผสมด้วยแท่งกวนแม่เหล็กนานประมาณครึ่งชั่วโมง ดังรูป 3.4 จะได้ความเข้มข้นของเชื้อราคงที่เท่ากับ 10^9 cell/ml



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อราในอาหารเหลว LM

4) นำอาหารเหลว LM ที่ได้จากวิธีการทดลอง 3) มาผสมกับกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องกวนผสม จนกระทั่งเข้ากันอย่างสม่ำเสมอแล้วจึงเทลงในชามแก้ว โดยใช้น้ำหนักกากมันสำปะหลังคงที่เท่ากับ 200 กรัม ในปริมาตรอาหารเหลว LM (มิลลิลิตร) ดังนี้ 160, 180, 200, 220 และ240 ตามลำดับ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการกวนผสมและการหมักในชามแก้ว

5) ปิดปากชามแก้วด้วยฟิล์มพลาสติกใสให้ตึงและเจาะรูถี่ๆ

6) วางชามแก้วไว้ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และให้แสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซ็นท์ ใช้ระยะเวลาหมัก 7 วัน ดังรูปที่ 3.6 เก็บตัวอย่างโดยทำการสุ่มตรงบริเวณกึ่งกลาง เริ่มตั้งแต่ผิวด้านบนในวันแรกและลึกลงไปจนถึงก้นชามแก้ว ด้วยการคนให้ทั่วตรงจุดบริเวณที่จะทำการเก็บตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ต้องการ 0.5 กรัม ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง เพื่อหาร้อยละความชื้นและความเข้มข้นของเซลล์เชื้อรา (ภาคผนวก ข) ทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน

รูปที่ 3.6 การผลิตหัวเชื้อสดในชามแก้ว

ทำการหมักกากมันสำปะหลังในชามแก้วโดยใช้ปริมาตรอาหารเหลวคงที่ซึ่งได้ผลการทดลองที่เหมาะสมจากข้างต้น แต่แปรผันความเข้มข้นน้ำตาลมะพร้าวในอาหารเหลวที่ 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อลิตร วิธีการทดลองทำนองเดียวกันและทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ

3.3 การหมักกากมันสำปะหลังในระดับขยายขนาด 20 กิโลกรัมต่อการหมัก 1 ครั้ง

การหมักแข็งกากมันสำปะหลังปริมาณ 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม โดยใช้ปริมาตรและความเข้มข้นน้ำตาลมะพร้าวที่เหมาะสมจากวิธีการทดลองที่ 3.3.1 ในปริมาตรอาหารเหลวคงที่ ทำการหมักกับหัวเชื้อสด (FS) 200 กรัม ระยะเวลาที่ใช้หมักเท่ากับ 7 วัน เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และเอนไซม์ แอคติวีตี้ทุกวัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) เตรียมกากมันสำปะหลังจำนวน 3 ถุงๆ ละ 1.0, 1.5 และ 2.0 kg ต่อปริมาตรอาหารเหลวคงที่เท่ากับ 1 ลิตร หรืออัตราส่วนน้ำหนักกากมันสำปะหลังต่อปริมาตรหารเหลวเท่ากับ 1:1 (kg:L) จากนั้นนำกากมันสำปะหลังและอาหารเหลว LM ไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำออกจากหม้อนึ่งความดันไอน้ำมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 3.7

กากมันสำปะหลัง (CW) อาหารเหลวสูตร (LM)

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมกากมันสำปะหลังและอาหารเหลวสูตร LM ก่อนทำการหมักในถังหมัก

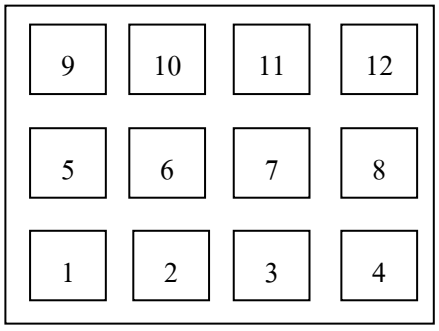
2) นำกากมันสำปะหลังที่ผ่านการทำให้ปลอดเชื้อแล้วเทลงในถังหมักพลาสติกขาวขุ่นขนาด 45 L พื้นที่หน้าตัดประมาณ 1400 cm^2 ผสมกับอาหารเหลว LM ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 5 แล้ว จากนั้นนำหัวเชื้อสด (FS) ในชามแก้ว ปริมาณคงที่ 200 g เทลงในถังหมัก แล้วทำการผสมโดยใช้ไม้พายเพื่อให้หัวเชื้อสดจากชามแก้วกระจายทั่วกากมันสำปะหลัง และเกลี่ยให้ผิวหน้าของกากมันสำปะหลังเรียบสม่ำเสมอให้มากที่สุด ใช้ระยะเวลาหมัก 12 วัน ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และให้แสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซ็นท์ และทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ

วิธีการเก็บตัวอย่างคือ แบ่งชั้นของกากมันสำปะหลังเป็นช่องสี่เหลี่ยมทั้งหมด 12 ช่อง ดังรูปที่ 3.8 เพื่อการสุ่มตัวอย่างโดยการเกลี่ยผสมของแต่ละช่องที่จะทำการวัดในแต่ละวันเริ่มตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 12 ดังรูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.10 ตามลำดับ โดยชั่งตัวอย่างกากมันสำปะหลังที่ทำการหมักหนัก 0.5 กรัม เพื่อวัดร้อยละความชื้น เซลลูเลส แอคติวิตี้ (ภาคผนวก ค) และความเข้มข้นของเซลล์เชื้อราทุกวัน

การแบ่งเป็นช่องเพื่อเก็บตัวอย่าง

ถังหมักในห้องที่อุณหภูมิห้อง 26 ^{0}C

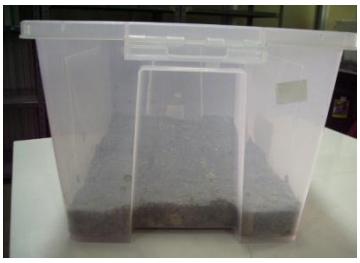
รูปที่ 3.8 การแบ่งช่องและการวางถังหมักในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และแสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซ็นท์



การแบ่งเป็นช่องสี่เหลี่ยม จำนวน 12 ช่อง

การเกลี่ยตัวอย่างให้เข้ากันในแต่ละช่องที่ทำการสุ่มตัวอย่างของแต่ละวัน เป็นเวลา 12 วัน

รูปที่ 3.9 การแบ่งช่องในถังหมักเพื่อเก็บตัวอย่างแต่ละวัน


กากมันสำปะหลัง 1.0 กิโลกรัม

กากมันสำปะหลัง 1.5 กิโลกรัม

กากมันสำปะหลัง 2.0 กิโลกรัม

รูปที่ 3.10 ความสูงของกากมันสำปะหลังในถังหมักที่ใช้กากมันสำปะหลัง 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม

3.4 การผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาด 5 กิโลกรัมต่อการบ่ม 1 ครั้ง

การผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาดในเครื่องต้นแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพชนิดถาดที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศและแสงสว่าง กำลังผลิต 5 กิโลกรัมต่อการหมักหนึ่งครั้ง ดำเนินการทดลองโดยใช้ข้อมูลสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองที่ 3.2 คือ ปริมาณกากมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัมในอาหารเหลวพีเอช 5 ปริมาตร 1 ลิตร และหัวเชื้อสดที่ได้จากการหมักบนกากมันสำปะหลัง 200 กรัม ช่องว่างภายในถังไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร ความสูงของกากมันสำปะหลังในถาดคงที่ไม่เกิน 3 เซนติเมตร ระยะเวลาที่ใช้หมักเท่ากับ 7 วัน อย่างไรก็ตาม การหมักแข็งที่สภาวะดังกล่าว ดำเนินการทดลองในห้องปรับอากาศขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร และเครื่องปรับอากาศขนาด 30,000 บีทียู ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 26 องศาเซลเซียสและใช้แสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซ็นท์ ตลอดเวลาหมัก 7 วัน ซึ่งเป็นการผลิตที่ใช้พลังงานปริมาณมาก ดังนั้น การผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาดการผลิต 5 กิโลกรัมต่อการหมักหนึ่งครั้ง จึงเปลี่ยนมาใช้ตู้บ่มเชื้อที่มีขนาดเหมาะสมกับการหมักแข็งดังกล่าว แทนการใช้ห้องปรับอากาศ

ตู้บ่มเชื้อต้นแบบมีความจุขนาด 600 ลิตร ประกอบด้วยชั้นวาง 4 ชั้น ภายในมีหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ 1 หลอด โดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่ 24 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส สำหรับการผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์ ภายในตู้บ่มแต่ละชั้นมีอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ทำการหมักในถังพลาสติกใสเพื่อให้แสงสว่างเข้าไปในถังได้อย่างทั่วถึง ถังหมักพลาสติกใสมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 22 x 30 x 14 เซ็นติเมตร (ความจุประมาณ 10 ลิตร) จำนวน 8 ถัง ฝาถังถูกเจาะรูเพื่อให้อากาศถ่ายเทเข้า-ออกระหว่างการหมักได้ ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองการหมักแข็งกากมันสำปะหลังในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 26 องศาเซลเซียส โดยที่ให้น้ำหนักกากมันสำปะหลังมีค่าคงที่กล่องละ 625 กรัม และความเข้มข้นของเชื้อราเริ่มต้นเท่ากับ 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในแต่ละถังตามลำดับ แต่ทำการแปรผันจำนวนรูระบายที่ฝาถังเท่ากับ 100, 65 และ 25 รู และปริมาตรอาหารเหลว 800 และ 900 มิลลิลิตร ระยะเวลาที่ใช้หมัก 7 วัน ดังรูปที่ 3.11 บันทึกความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแต่ละชั้นในตู้บ่ม เก็บตัวอย่างเพื่อวัดความเข้มข้นของเซลล์ และเซลลูเลส แอคทิวิตีทุกวัน

รูปที่ 3.11 ตู้บ่มเชื้อเพื่อการผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์

3.5 การอบแห้งครูดเซลลูเลส เอนไซม์ในตู้อบลมร้อน

ศึกษาการอบแห้งครูดเซลลูเลส เอนไซม์ที่ได้จากวิธีการทดลองที่ 3.5 ในระดับห้องปฏิบัติการในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ร้อยละความชื้นและอัตราการอบแห้งครูดเซลลูเลส เอนไซม์ วิธีการทดลองเริ่มจากเตรียมกากมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม และอาหารเหลวสูตร LM 1000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในหม้อนึ่งความดันไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องโดยทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ เมื่อเย็นลงแล้วให้ผสมกากมันสำปะหลังกับอาหารเหลวในถังหมักพลาสติกขาวขุ่นขนาด 45 ลิตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 1400 ตารางเซ็นติเมตร ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอจำนวน 3 ถัง หลังจากนั้น จึงนำหัวเชื้อสด (FS) ปริมาณ 200 กรัม จำนวน 3 ชามใส่ลงไปในถังๆ ละ 1 ชาม แล้วจึงทำการผสมให้หัวเชื้อกระจายในกากมันสำปะหลังอย่างทั่วถึง จากนั้นให้ปิดฝาถังที่ถูกเจาะรูเพื่อให้อากาศระบาย ตั้งถังหมักดังกล่าวไว้ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 26 ^{o}C เป็นระยะเวลา 6-7 วัน สังเกตจากกากมันสำปะหลังมีสีเขียวสม่ำเสมอ เก็บตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำการอบแห้งโดยการเกลี่ยสารตัวอย่างที่มีเชื้อราในถังหมักที่เขียวเต็มที่ เพื่อวัดความชื้น ความเข้มข้นของเชื้อรา และเซลลูเลส แอคทิวิตี ขั้นตอนต่อไปคือ ชั่งและบันทึกน้ำหนักถาดเปล่า แล้วจึงนำครูดเซลลูเลส เอนไซม์ใส่ลงในถาดปริมาณ 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 กรัม ตามลำดับ บันทึกผลของน้ำหนักรวมเริ่มต้น แล้วจึงนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ชั่งและบันทึกน้ำหนักทุกๆ ชั่วโมง จากเวลาเริ่มต้นถึง 8 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดทุกๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 24 ชั่วโมง นำสารตัวอย่างครูดเซลลูเลสเอนไซม์ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเชื้อรา และเซลลูเลส แอคทิวิตี ทุกชั่วโมงจนครบ 8 ชั่วโมง ทำการทดลองเหมือนข้างต้น โดยใช้อุณหภูมิ 55 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.6 การอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบ

3.6.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ต้องการได้ข้อมูลเบื้องต้นจากการทดลองที่ 3.4 การออกแบบบนพื้นฐานของทฤษฎีถ่ายโอนการพาความร้อนธรรมชาติ เพราะไม่ต้องการให้เชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ที่ใช้ในการผลิตเอนไซม์จากการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง (การทดลองที่ 3.3) ฟุ้งกระจายสู่สิ่งแวดล้อม และต้องการอุณหภูมิในการอบแห้งไม่ต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียสแต่ไม่ให้สูงเกิน 70 องศาเซลเซียส เพราะเชื้อราอาจตายได้ซึ่งจะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์มีค่าลดลง การคำนวณเพื่อสร้างเครื่องอบแห้งต้นแบบประกอบด้วย การคำนวณการถ่ายโอนความร้อนธรรมชาติที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง คำนวณขนาดของแผงระบายความร้อนซึ่งคือพื้นผิวของท่อที่ใช้ในการถ่ายโอนความร้อน เขียนแบบสำหรับสร้าง จากนั้นทำการจัดซื้อวัสดุ และอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมทั้งจัดจ้างเพื่อสร้างเครื่องอบแห้ง ขั้นตอนสุดท้ายทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งที่สร้างได้

3.6.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอบแห้งต้นแบบ

การออกแบบเครื่องต้นแบบสำหรับการอบแห้งใช้หลักการของการพาความร้อนธรรมชาติไล่ความชื้นออกจากกากมันสำปะหลังที่ผ่านการหมักที่สภาวะเหมาะสม โดยใช้ความร้อนจาก 2 แหล่งคือ ความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้โซลาร์ คอลเล็คเตอร์และความร้อนจากหม้อต้มน้ำโดยใช้ฮีทเตอร์ 2 ตัว ขนาด 3 kW และ 1 kW เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนกับน้ำปริมาตร 30 ลิตรในหม้อต้ม (boiler) เมื่อน้ำร้อนไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน น้ำร้อนภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายโอนความร้อนไปยังอากาศล้อมรอบภายในเครื่องอบแห้ง ปกติเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ใช้ระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 3.12 ความร้อนที่ถ่ายโอนออกมาจะทำให้อากาศรอบๆ หม้อต้มและภายในช่องว่างของเครื่องอบต้นแบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนลอยตัวพาความชื้นที่อยู่ในสารตัวอย่างออกไป

รูปที่ 3.12 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนน้ำร้อนไปยังอากาศล้อมรอบภายในเครื่องอบแห้งต้นแบบ

ภายในเครื่องอบแห้งต้นแบบจะติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิไว้ที่จุดต่างๆ จำนวน 4 จุด คือ จุดวัดอุณหภูมิของหม้อไอน้ำ เรียกว่า TB เหนือแผงแลกเปลี่ยนความร้อนเรียกว่า T1 ชั้น 1 ที่ใช้วางตัวอย่างที่ต้องการอบแห้งเรียกว่า T2 ชั้นถัดไปเรียกว่า T3 ส่วน TA เป็นอุณหภูมิของอากาศนอกเครื่องอบแห้ง

ต้นแบบ เครื่องอบแห้งต้นแบบนี้ถูกออกแบบให้ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งไม่ให้เกิน 70°C ดังรูปที่ 3.13 ด้านล่างและบนมีช่องระบายอากาศร้อนเพื่อระเหยความชื้นออกไปด้านบน (แบบสร้างในภาคผนวก ง)

รูปที่ 3.13 มิเตอร์วัดหน่วยไฟฟ้าและตู้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งต้นแบบ

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งต้นแบบวัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kW.h) หรือ ยูนิต (unit) ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างใกล้กับตู้ควบคุมอุณหภูมิ

นอกจากนี้ ด้านนอกของเครื่องอบแห้งต้นแบบยังมีโซลาร์ คอลลเคเตอร์ ประกอบด้วยแผ่นสังกะสีทาด้วยสีดำอยู่ในช่องที่มีกระจกรับแสงเอียงทำมุมประมาณ 17 องศา ซึ่งเป็นมุมเอียงที่มีความเหมาะสมกับการรับแสงอาทิตย์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งใช้เป็นสถานที่ทำการทดลอง ซึ่งโซลาร์ คอลเล็คเตอร์อยู่ทางด้านขวา และวางเครื่องให้อยู่ในตำแหน่งทางทิศใต้ ดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 เครื่องอบแห้งต้นแบบใช้แหล่งความร้อนจากหม้อต้มน้ำและความร้อนจากดวงอาทิตย์

ภายในเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตะแกรงมุ้งลวดจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 1 ตารางเมตร ปริมาณตัวอย่างที่ใช้แต่ละชั้นประมาณ 5 กิโลกรัม การทดลองใช้ถาดอะลูมิเนียมขนาด 18 x 38 cm เป็นภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง ดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 การจัดเรียงตัวอย่างบนถาดอะลูมิเนียมในเครื่องอบแห้งต้นแบบ

3.6.3 การใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำร่วมกับความร้อนจากดวงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งต้นแบบอยู่นอกอาคารในบริเวณที่มีแสงแดดเกือบทั้งวัน หันแผงรับแสงไปทางทิศใต้ การให้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำเริ่มต้นใส่น้ำจนเต็มหม้อต้มน้ำ สังเกตจากน้ำต้องเต็มท่อแก้ว ซึ่งใช้สำหรับวัดระดับน้ำที่ติดอยู่ด้านข้างของเครื่องโดยที่ต้องให้น้ำล้นท่อแก้วโดยปราศจากฟองอากาศและเติมจนเต็มหม้อต้มน้ำและให้น้ำที่มากเกินพอไหลล้นเข้าไปในท่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำการทดลองดังนี้

<u>การทดลองที่ 1</u> อัตราการอบแห้งตัวอย่างปริมาณ 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 50 ^{o}C

เริ่มต้นให้หม้อต้มน้ำทำงานด้วยการกำหนดอุณหภูมิให้ set point ของฮีทเตอร์ขนาด 3 kW ไว้ที่อุณหภูมิ 85 ^{o}C และของฮีทเตอร์ขนาด 1 kW ไว้ที่อุณหภูมิ 86 ^{o}C ที่ตู้ควบคุมพร้อมกับเปิดสวิทซ์ไฟฟ้าให้ฮีทเตอร์ทำงาน เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงวางถาดอะลูมิเนียมที่มีตัวอย่างที่ต้องการอบแห้งภายในเครื่องอบแห้ง ที่ชั้นต่างๆ ชั้นละ 2 ถาด จำนวน 5 ชั้น ถาดละประมาณ 100 กรัม น้ำหนักตัวอย่างรวมทั้งสิ้นปริมาณ 1 กิโลกรัมกรัม ระยะห่างแต่ละชั้นเท่ากับ 20 เซนติเมตร ทำการวัดความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละถาดออกมาชั่งทุกๆ ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 15.00 น.ของทุกวัน นาน 3 วัน เพื่อคำนวณอัตราการอบแห้งของแต่ละวันจากตัวอย่างเดียวกัน บันทึกหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งต่อวัน

วิธีการการเตรียมตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง คือ ชั่งน้ำหนักถาดอะลูมิเนียม บันทึกน้ำหนักถาดเปล่า จากนั้นนำตัวอย่างประมาณ 100 กรัมต่อถาดใส่ลงในถาดอะลูมิเนียม จำนวน 10 ถาด ชั่งน้ำหนักตัวอย่างรวมกับน้ำหนักถาด วางตัวอย่างแต่ละชั้นจำนวน 2 ถาด การวางตัวอย่างบนชั้นต่างๆ จะจัดเรียงถาดให้สลับหว่างกันระหว่างชั้นเพื่อให้ความร้อนและความชื้นไหลขึ้นด้านบนลอดผ่านตาข่ายมุ้งลวดขึ้นไปด้านบน

<u>การทดลองที่ 2</u> การหาอัตราการอบแห้งตัวอย่างปริมาณ 10 กิโลกรัมที่อุณหภูมิเฉลี่ย 50 ^{o}C

เปลี่ยน set point ของฮีทเตอร์ขนาด 3 kW เป็น 98 ^{o}C และของฮีทเตอร์ขนาด 1 kW ไว้ที่อุณหภูมิ 99 ^{o}C ดำเนินการทดลองทำนองเดียวกับการทดลองที่ 1 ยกเว้น การทดลองนี้ใช้น้ำหนักตัวอย่างถาดละ 500 กรัม จำนวน 20 ถาด วางถาดตัวอย่าง 4 ถาดต่อชั้น น้ำหนักตัวอย่างรวมประมาณ 10 กิโลกรัม และนำตัวอย่างแต่ละถาดออกมาชั่งทุกๆ 2 ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.30 น.ของทุกวัน นาน 5 วัน เพื่อคำนวณอัตราการอบแห้งของแต่ละวันจากตัวอย่างเดียวกัน วัดความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น ฟลักซ์ (W/m^2) ของแสงจากดวงอาทิตย์และความชื้นของตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมง บันทึกอุณหภูมิต่างๆ และหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งต่อวัน

3.6.4 การใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำร่วมกับดวงไฟ

เนื่องจากมีฝนตกเกือบทุกวันในระหว่างการทดลองการเก็บข้อมูลจากเครื่องอบแห้งต้นแบบที่อยู่นอกอาคาร จึงไม่สามารถทำการทดลองการใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำร่วมกับความร้อนจากดวง

อาทิตย์ของเครื่องอบแห้งต้นแบบได้ จึงต้องนำเครื่องอบแห้งต้นแบบให้อยู่ในห้องปฏิบัติการแทนการอยู่นอกห้อง และเปลี่ยนภาชนะที่ใส่ตัวอย่างจากถาดอะลูมิเนียมเป็นถาดพลาสติกที่ก้นถาดมีช่องระบาย และใช้ผ้าขาวบางสองชั้นรองรับตัวอย่าง ดังการทดลองต่อไปนี้

การทดลองที่ 3 การหาอัตราการอบแห้งจากความร้อนหม้อต้มน้ำและดวงไฟที่ติดตั้งภายในเครื่อง แบ่งวิธีการทดลองได้ดังนี้

วิธีการทดลองที่ 3.1 เครื่องอบแห้งต้นแบบไม่ได้ปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ

การทดลองนี้ใช้เครื่องอบแห้งเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยมเมื่อไม่ได้ติดตั้งโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ และปิดช่องอากาศทางเข้าตรงด้านข้าง ติดตั้งดวงไฟขนาด 500 W จำนวน 2 ดวง เหนือชั้นที่ใช้วางถาดตัวอย่าง การทดลองนี้ทำการอบแห้งตัวอย่างเพียง 2 ชั้น ให้ระยะทางระหว่างชั้นเท่ากับ 40 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.16 โดยปรับเปลี่ยน set point ของฮีทเตอร์ในหม้อต้มน้ำขนาด 3 kW เป็น 102 ^{o}C และฮีทเตอร์ขนาด 1 kW เป็น 103 ^{o}C เติมน้ำในหม้อต้มให้มีปริมาตรเต็มหม้อและล้นเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดูได้จาก side glass ด้านข้างไหลล้นและไม่มีฟองอากาศออกมา ปิดฝาหม้อต้มน้ำและจุกของ side glass ให้แน่น เปิดไฟฟ้าเข้าเครื่องอบแห้งต้นแบบ ให้สังเกตอุณหภูมิที่ตู้ควบคุม ถ้าอุณหภูมิของหม้อต้ม T_B เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิ T_1 ไม่เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าน้ำภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเติมได้ไม่เต็มท่อทองแดง ต้องทำการเติมน้ำใหม่จนกว่าอากาศที่อยู่ภายในท่อทองแดงถูกแทนที่ด้วยน้ำและอากาศถูกน้ำไล่ออกจากระบบท่อจนหมด

การทดลองนี้ใช้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 400 กรัมต่อถาด บรรจุตัวอย่างลงบนผ้าข้าวบาง 2 ชั้นในถาดพลาสติกที่ก้นถาดมีช่องระบาย จำนวน 10 ถาด โดยวางถาดตัวอย่าง 5 ถาดต่อชั้น วิธีการเตรียมตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง เริ่มจากบันทึกน้ำหนักถาดพลาสติกพร้อมผ้าขาวบาง จากนั้นนำตัวอย่างประมาณ 400 กรัมใส่ลงในถาดพลาสติกแต่ละถาด บันทึกน้ำหนักตัวอย่างรวมกับน้ำหนักถาดพลาสติกแล้วจึงนำตัวอย่างไปวางในเครื่องอบแห้งบนชั้นต่างๆ การจัดเรียงถาดพลาสติกให้สลับหว่างกันระหว่างชั้นเพื่อให้ความร้อนและความชื้นไหลขึ้นด้านบนลอดผ่านตาข่ายมุ้งลวดและช่องระบายที่ก้นถาด ดังรูปที่ 3.17

นำตัวอย่างแต่ละถาดออกมาชั่งทุกๆ 2 ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 01.00 น. รวมทั้งสิ้น 14 ชั่วโมง เพื่อคำนวณอัตราการอบแห้ง วัดความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น และความชื้นของตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมง บันทึกอุณหภูมิต่างๆ และหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อบแห้ง

วิธีการทดลองที่ 3.2 เครื่องอบแห้งต้นแบบปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ

ทำการทดลองเหมือนวิธีการทดลองที่ 3.1 ยกเว้นใช้กระดาษสีดำปิดรอบกระจกของเครื่องอบแห้ง ดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.16 เครื่องอบแห้งต้นแบบที่มีเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยมและไม่ได้ปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ

รูปที่ 3.17 การจัดเรียงถาดพลาสติกที่ใส่ตัวอย่างบนชั้นภายในเครื่องอบแห้งเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.18 เครื่องอบแห้งเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยมที่ปิดกระจกทั้งหมดด้วยกระดาษสีดำ

<u>การทดลองที่ 4</u> อัตราการอบแห้งจากการใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำร่วมกับดวงไฟที่ติดตั้งเหนือโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ และกระจกด้านบนของเครื่องอบแห้งต้นแบบ วางเครื่องนี้ภายในห้องปฏิบัติการ มีวิธีการทดลองดังนี้

ปิดกระจกตู้ทรงสี่เหลี่ยมด้วยกระดาษดำรอบตู้ยกเว้นด้านบนของตู้ ติดตั้งโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ตรงด้านข้างซึ่งมีช่องว่างเปิดขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 3 x 5 เซนติเมตร พื้นที่ช่องว่างเปิดด้านข้างเท่ากับ 15 ตารางเซนติเมตร จากนั้นติดตั้งดวงไฟขนาด 500 W จำนวน 2 ดวง เหนือโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ที่ความสูง 36 เซนติเมตร ใช้แผ่นอะลูมิเนียมบางเป็นแผ่นสะท้อนแสง ส่วนดวงไฟขนาด 500 W ให้อยู่สูงเหนือกระจกตู้ด้านบนประมาณ 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.19

เริ่มต้นตั้ง set point อุณหภูมิฮีทเตอร์ขนาด 3 W และ 1 kW ไว้ที่ 102 และ 103 ^{o}C ตามลำดับ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องอบมีค่าประมาณ 56 ^{o}C

การทดลองนี้ใช้น้ำหนักตัวอย่างประมาณ 400 กรัมในถาดพลาสติกแต่ละถาด จำนวน 10 ถาด วางถาดตัวอย่างจำนวน 5 ถาดต่อชั้น น้ำหนักตัวอย่างรวมประมาณ 4 กิโลกรัม และนำตัวอย่างแต่ละถาดออกมาชั่งทุกๆ 2 ชั่วโมงเริ่มเวลา 10.00 น. ถึง 20.00 น. นาน 10 ชั่วโมง วัดความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น

ฟลักซ์ (W/m^2) ของแสงจากดวงไฟและความชื้นตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมง บันทึกอุณหภูมิต่างๆ และหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อบแห้ง ทำเก็บข้อมูลการทดลอง 3 ซ้ำ

รูปที่ 3.19 เครื่องอบแห้งที่ติดตั้งดวงไฟเหนือกระจกด้านบนและโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ที่อยู่ด้านข้างสูง 20 และ 36 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.7 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาต้นทุนกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาต้นทุนกระบวนการผลิต บนพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ปริมาณ 1 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง หมายถึงคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดซึ่งคือ ค่าเครื่องอบแห้งต้นแบบ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ดังสมการ

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน + ค่าเครื่องอบแห้งต้นแบบ

ค่าเครื่องอบแห้งต้นแบบคือองบลงทุนเครื่องมือ (Capital cost) ซึ่งประกอบด้วยค่าวัสดุต่างๆ รวมกับค่าจ้างทำเครื่อง ส่วนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating cost) ประกอบด้วยคือ สารเคมี ไฟฟ้า วัสดุอุปกรณ์ น้ำและแรงงาน แต่ในงานวิจัยนี้จะไม่คิดค่าน้ำและค่าจ้างแรงงาน

กระบวนการผลิตครูดเซลลูเลสเอนไซม์ชนิดผงแห้งโดยผลิตครั้งละ 5 กิโลกรัมในตู้บ่มต้นแบบ และทำการอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบ ราคาของต้นทุน วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ราคาเครื่องบ่มและ เครื่องอบแห้งต้นแบบของกระบวนการผลิตผงครูดเซลลูเลส เอนไซม์จากการหมักกากมันสำปะหลัง

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	ตู้บ่มต้นแบบ	1 เครื่อง	23,000	23,000
2	เครื่องอบแห้งต้นแบบ	1 เครื่อง	98,000	98,000

ตารางที่ 3.2 ราคาวัตถุดิบ สารเคมี และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผงครูดเซลลูเลส เอนไซม์จากการหมักกากมันสำปะหลัง

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1	กากมันสำปะหลัง	1 กิโลกรัม	2
2	แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 2 น้ำ	500 กรัม	4,000
3	แมกนีเซียมซัลเฟต 7 น้ำ	500 กรัม	700
4	ปุ๋ยยูเรีย	1 กิโลกรัม	20
5	ปุ๋ยฟอสเฟต	1 กิโลกรัม	90
6	น้ำตาลมะพร้าว	1 กิโลกรัม	60
7	กรดซิตริก	500 กรัม	290
8	อาหารเลี้ยงเชื้อพีดีเอ	500 กรัม	2,850
9	น้ำอาร์โอ	20 ลิตร	8
10	อื่นๆ ได้แก่ ถุงพลาสติก, กระดาษกรอง แก๊สหุงต้ม, สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์	-	10

การคิดค่าไฟฟ้าต้องใช้ข้อมูลหน่วยไฟฟ้า (kW.h) ในกรณีที่ไม่บอกกำลังไฟฟ้า แต่จะบอกค่าแรงดันไฟฟ้า (หน่วยโวลต์) และกระแสไฟฟ้า (หน่วยแอมแปร์) ของอุปกรณ์นั้นๆ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการเท่ากับกระแสคูณแรงดันไฟฟ้าของเครื่อง ดังตารางที่ 3.3 หน่วยไฟฟ้าคำนวณได้จากกำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์คูณด้วยเวลาที่ใช้อุปกรณ์นั้นในการดำเนินงาน มีหน่วยเป็น kW.h ค่าไฟฟ้าได้จากการคูณหน่วย

ไฟฟ้าที่ใช้กับราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ในค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3.51 บาท (ค่าไฟในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี)

ตารางที่ 3.3 กำลังไฟฟ้าของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานของกระบวนการผลิตครูดเซลลูเลสผงจากการหมักกากมันสำปะหลัง

ลำดับ	อุปกรณ์	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
1	ตู้เขี่ยเชื้อ	10	220	2.2
2	หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	10	220	2.2
3	เครื่องกวนแม่เหล็ก	-	-	1.03
4	เครื่องบดมูลิเน็กซ์	-	-	0.50
5	เครื่องบดกากมันสำปะหลัง	7.5	220	1.65
6	ตู้บ่มต้นแบบ	1.36	220	0.3