บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบว่ามีศักยภาพสูงที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบของการผลิตเอทานอลเพื่อพลังงานทดแทนได้ เพราะองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังยังมีแหล่งคาร์บอนเพียงพอ คือเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตมีค่าประมาณร้อยละ 57.61 และ 25.81 โดยน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตเซลลูเลสผงจากการหมักแข็งกากมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ในอาหารเหลวที่เหมาะสม เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสำหรับใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมักเอทานอลต่อไป

5.2 การหมักแข็งในระดับห้องปฏิบัติการ

คณะผู้วิจัยได้จากการพัฒนาสูตรอาหารเหลวให้มีสารเคมีเท่าที่จำเป็น โดยลดปริมาณสารเคมีของสูตรดั้งเดิมจากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งประกอบด้วยสารเคมีไม่ต่ำกว่า 9 ชนิดและต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ให้เหลือเพียง 5 ชนิดโดยไม่ต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 5 และสูตรอาหารเหลวใหม่ที่ได้นี้ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอช เพราะอาหารเหลวสูตรนี้มีพีเอชเท่ากับ 5 แล้ว ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ส่วนประกอบของอาหารเหลว พีเอช 5

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)
$CaHPO_4 .2H_2O$	1.0
$MgSO_4 .7 H_2O$	1.0
น้ำตาลปีบ (แหล่งคาร์บอน)	30.0
ปุ๋ยยูเรีย (แหล่งไนโตรเจน)	8.0
ปุ๋ยฟอสเฟต (ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม)	15
น้ำอาร์โอ	1000.0

งานวิจัยนี้จึงนำสูตรอาหารเหลว LM พีเอช 5 มาใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการหมักแข็งกากมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ในชามแก้วเพื่อผลิตเป็นหัวเชื้อสด หัวเชื้อสดที่ได้ถูกนำไปใช้ในการหมักกากมันสำปะหลังในระดับขยายขนาดต่อไป เมื่อได้ผลิตภัณฑ์จากการ

หมักขยายขนาดซึ่งคือครูดเซลลูเลสแล้ว จึงนำไปอบแห้งให้มีความชื้นไม่มากกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก เพื่อการเก็บรักษาและยืดอายุการใช้งาน โดยสรุปผลได้ดังนี้

สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตหัวเชื้อสดในชามแก้วคือการหมักแข็งกากมันสำปะหลังปริมาณคงที่ 200 กรัมในอาหารเหลวปริมาตร 200 มิลลิลิตร (สูตรอาหาร ดังตารางที่ 5.1) ที่มีความเข้มข้นของเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 เริ่มต้นคงที่ ประมาณ 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร สรุปได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตหัวเชื้อสดในชามแก้ว

อัตราส่วนน้ำหนักกากมันสำปะหลังต่อปริมาตรอาหารเหลว	1:1
ความชื้นในกากมันสำปะหลังเริ่มต้น(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	55
อุณหภูมิที่ใช้บ่ม (^oC)	24-26
พีเอช	5
ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	7
เชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่เวลาใช้บ่ม 7 วัน	7.75×10^7

5.3 การหมักกากมันสำปะหลังในระดับขยายขนาด 20 กิโลกรัมต่อการหมัก 1 ครั้ง

การหมักกากมันสำปะหลังปริมาณ 1 กิโลกรัมในอาหารเหลว (ตารางที่ 5.1) พีเอช 5 ปริมาตร 1 ลิตรด้วยหัวเชื้อสดในชามแก้วปริมาณ 200 กรัมที่อายุ 7 วัน โดยใช้ถังหมักพลาสติกขุ่นขนาดปริมาตร 45 ลิตร ความชื้นในกากมันสำปะหลังเริ่มต้นร้อยละ 56 โดยน้ำหนัก บ่มในห้องปรับอากาศและเปิดไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 24- 26 ^oC เป็นเวลา 4 วัน หลังจากครูดเซลลูเลสสดได้ผ่านการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นไม่มากกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 มีค่าสูงสุดประมาณ 1.15×10^9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และค่าเซลลูเลส แอคทิวิตีเท่ากับ 7.88 FPU

5.4 การผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาด 5 กิโลกรัมต่อการบ่ม 1 ครั้ง

การผลิตครูดเซลลูเลสเอนไซม์ปริมาณ 5 กิโลกรัมต่อการหมัก 1 ครั้ง ในตู้บ่มขนาด 600 ลิตร ทำการหมักในถังพลาสติกใสขนาด 10 ลิตรและต้องเจาะรูที่ฝากล่อง 100 รู (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร) จำนวนทั้งสิ้น 8 ถัง โดยที่ถังพลาสติกใส 1 ถัง บรรจุปริมาณกากมันสำปะหลัง 625 กรัมต่อปริมาตรอาหารเหลว 800 มิลลิลิตรและหัวเชื้อสดในชามแก้วปริมาณ 125 กรัม ซึ่งมีความเข้มข้นเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 เริ่มต้นในอาหารเหลว พีเอช 5 เท่ากับ 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ที่สภาวะนี้มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 74 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในตู้บ่มที่ 24 ^oC เป็นเวลา 6 วัน น้ำหนักเซลล์แห้งที่ได้เท่ากับ 5.17 กรัมต่อลิตร และเซลลูเลส แอคทิวิตีมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.71 FPU

5.5 การอบแห้งเซลลูเลส เอนไซม์ในตู้อบลมร้อน

ครูดเซลลูเลสปริมาณ 400 กรัม เริ่มต้นมีความชื้นประมาณร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้ง คือใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อนขนาดปริมาตร 100 L โดยใส่ครูดเซลลูเลสลงในถาดอะลูมิเนียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 12 ชั่วโมง ร้อยละของความชื้นสุดท้ายของครูดเซลลูเลสประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 โดยน้ำหนัก โดยที่เซลลูเลส แอคทิวีตี และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในครูดเซลลูเลสผงที่ได้จากการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 6.45 FPU และ 6.83×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และอัตราการอบแห้งมีค่าประมาณ 5.3 กรัมต่อชั่วโมง

5.6 การอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบ

เครื่องอบแห้งต้นแบบสามารถนำมาใช้อบแห้งครูดเซลลูเลสเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนักได้แต่ต้องใช้เวลามากกว่า 10 ชั่วโมงขึ้นไปและแหล่งความร้อนต้องเพียงพอ อัตราการอบแห้งของเครื่องต้นแบบมีค่าสูงสุดชั่วโมงที่ 2 ของการอบแห้ง ขึ้นกับน้ำหนักตัวอย่าง ชนิดของภาชนะบรรจุตัวอย่าง และพลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนที่ใช้

อัตราการอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำและแสงอาทิตย์ที่อยู่นอกอาคารมีค่าน้อยที่สุดและใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องจากในวันที่ทำการทดลอง กำหนดอุณหภูมิที่หม้อต้มต่ำกว่า 100 ^{o}C คือประมาณ 80 ^{o}C ขณะเดียวกันท้องฟ้าครึ้มฝนและมีเมฆมาก น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้มากเกินไป คือ 10 กิโลกรัมที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 82.65 โดยน้ำหนัก จึงทำให้เครื่องต้องรับภาระหนักเกินไปเป็นขีดจำกัดของเครื่อง การตั้งอุณหภูมิที่หม้อต้มไม่ควรใช้ต่ำกว่า 100 ^{o}C น้ำหนักตัวอย่างไม่ควรเกิน 5 กิโลกรัม และความชื้นเริ่มต้นไม่ควรเกินร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

ช่วงการเก็บข้อมูลมีฝนตกแทบทุกวันจึงไม่สามารถทำการอบแห้งนอกอาคารได้ จึงทำการอบแห้งในห้องปฏิบัติการ สรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งตัวอย่าง คือการใช้แหล่งความร้อนภายในเครื่องโดยตรง (ในที่นี้ใช้ความร้อนจากดวงไฟ) และปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำซึ่งทำให้อัตราการอบแห้ง อุณหภูมิเฉลี่ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับที่ไม่ได้ปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ ดังตารางที่ 5.3

นอกจากนี้ค่าอัตราการอบแห้ง และอุณหภูมิเฉลี่ยจากการอบแห้งโดยการใช้ดวงไฟให้ความร้อนกับโซลาร์ คอลเล็คเตอร์และกระจกด้านบน น้อยกว่าอัตราการอบแห้งและอุณหภูมิเฉลี่ยของการใช้ความร้อนภายในเครื่องอบแห้งโดยตรง การใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าทั้งๆ ที่ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งต้นแบบ พบว่า การใช้ความร้อนจากหม้อต้มร่วมกับไฟสอร์ตไลท์ส่องภายในตู้ทรงสี่เหลี่ยมและปิดกระด้วยกระดาษสีดำมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 19.41 ซึ่งมากกว่าไม่ได้ปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำอยู่ร้อยละ 2.74 และมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำร่วมกับดวงไฟให้กับโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 18.74 นั่นคือ ถ้า

เครื่องอบแห้งจำเป็นต้องดำเนินการภายในอาคารเนื่องจากฤดูฝน ต้องเพิ่มแหล่งความร้อนให้เครื่องอบแห้งอาจจะเพิ่มแหล่งความร้อนภายในหรือนอกตู้ ได้แก่ ดวงไฟ หรือฮีทเตอร์อินฟาเรด

อย่างไรก็ตาม การอบแห้งตัวอย่างในเครื่องต้นแบบที่ใช้ความร้อนจำลองแสงอาทิตย์สามารถทำได้เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดนานกว่า 10 ชั่วโมง ซึ่งได้ใช้เครื่องนี้อบแห้งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม พบว่าอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้เวลาอบแห้งทั้งหมดไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 48 ชั่วโมง (ไม่ได้แสดงผลการทดลองในรายงานนี้)

ดังนั้นเพื่อให้เครื่องต้นอบแห้งแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและลดการใช้พลังงานในการอบแห้งลงได้ จึงต้องทำการพัฒนาและปรับปรุงแหล่งความร้อนของเครื่องอบแห้งต้นแบบให้เพียงพอและมีความเหมาะสมกับการอบแห้งครูดเซลลูเลส การอบแห้งจำเป็นต้องใช้การถ่ายโอนความร้อนธรรมชาติซึ่งเป็นจำกัด เพราะไม่ต้องการให้เชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิเฉลี่ยในเครื่องอบแห้งต้องไม่สูงเกิน 70 ^{o}C เพราะเชื้อราอาจตายและเอนไซม์ แอคทิวิตีมีค่าลดลง

5.7 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาต้นทุนกระบวนการผลิต

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโดยไม่ได้รวมค่าจ้างแรงงานเป็นเงินเท่ากับ 69.35 บาทต่อ 1 กิโลกรัมครูดเอนไซม์ งบลงทุนสำหรับการผลิตครูดเอนไซม์ 5 กิโลกรัมต่อการผลิตเท่ากับ 121,346.78 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 16.2 เดือนหรือ 1 ปี กับ 4 เดือน คิดที่ราคาขายครูดเอนไซม์กิโลกรัมละ 300 บาท

ตารางที่ 5.3 อัตราการอบแห้ง อุณหภูมิเฉลี่ย น้ำหนักตัวอย่าง ความชื้นเริ่มต้นและสุดท้ายที่ได้จากเครื่องอบแห้งต้นแบบจากการทดลองต่างๆ

แหล่งความร้อนที่ใช้	น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม)	อัตราการอบแห้ง (กรัม/ชั่วโมง)	ชั่วโมงที่อัตราการอบแห้งสูงสุด	อุณหภูมิเฉลี่ย (^{o}C)	ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความชื้นลดลง ร้อยละ	เวลาที่ใช้อบแห้งทั้งหมด (ชั่วโมง)	ใช้ไฟฟ้า (หน่วย) หรือ kW.h	ประสิทธิภาพ (%)
					เริ่มต้น	สุดท้าย				
หม้อต้มน้ำ + แสงอาทิตย์ (นอกอาคาร)	1	13.05	1	50	-	-	-	4	-	-
หม้อต้มน้ำ + แสงอาทิตย์ (นอกอาคาร)	10	12.83	4	51	82.65	32	61.28	6	33	-
หม้อต้มน้ำ + ดวงไฟให้ความร้อนตัวอย่างโดยตรง และไม่ได้ปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ (ในห้องปฏิบัติการ)	4	18.7	2	59	53.41	13.03	75.60	14	16.2	16.67
หม้อต้มน้ำ + ดวงไฟให้ความร้อนตัวอย่างโดยตรง และปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ (ในห้องปฏิบัติการ)	4	25.86	2	66	58.75	13.61	76.9	10	17.36	19.41
หม้อต้มน้ำ + ดวงไฟให้ความร้อนโซลาร์คอลเล็คเตอร์ + ดวงไฟให้ความร้อนกระจกด้านบนเครื่อง และปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ (ในห้องปฏิบัติการ)	4	14.28	2	57	50.61	23.4	54	10	19.42	18.74

5.8 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหมักแข็งกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ในอาหารเหลว พีเอช 5 ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมกับการเติบโตของเชื้อรานี้ มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.8.1 การหมักแข็งกากมันสำปะหลังเพื่อผลิตครูดเซลลูลสในระดับห้องปฏิบัติการ

การเตรียมกากมันสำปะหลังให้มีขนาดอนุภาคสม่ำเสมอด้วยการบดด้วยเครื่องบด ถึงแม้ว่ากากมันสำปะหลังมีขนาดอนุภาคเล็กจนเป็นผงจากโรงงานแล้วก็ตาม แต่มีการเกาะเป็นกลุ่มก้อนหลังจากเก็บจากลาน ถ้านำมาใช้เป็นวัตถุดิบโดยไม่ผ่านการบด เชื้อราเติบโตได้ไม่ดี เครื่องบดกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็น ปัญหาที่พบคือเมื่อทำการบด ฝุ่นแป้งจะฟุ้งกระจาย

การเตรียมเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 บนอาหารเลี้ยงเชื้อพีดีเอต้องระมัดระวังการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ และต้องให้ความชื้นที่เหมาะสมในระหว่างการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เชื้อราเติบโตได้ไม่สมบูรณ์ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักหรือสูงมากเกินไป เช่น ฤดูฝนและอุณหภูมิที่สูงเกิน 30 ^{o}C ในฤดูร้อน เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้เพาะเลี้ยงเชื้อราในตู้บ่มที่มีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ แต่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม ในที่สุดเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 มีความสามารถปรับตัวและเติบโตได้ดีในสภาวะดังกล่าว การเตรียมเชื้อรานี้ต้องทำการต่อเชื้อราไว้ใช้อย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการวางแผนการต่อเชื้อให้มีเชื้อราใช้ได้ตลอดเวลา เพราะเชื้อรานี้เติบโตในจานเลี้ยงเชื้อนาน 7-12 วัน งานวิจัยนี้ใช้เชื้อราจากจานเพาะเชื้ออายุ 7 วัน ดังนั้นเมื่อบ่มถึงอายุ 7 วัน จะเก็บจานเพาะเชื้อราที่โตเต็มจานและเขียวสด ปิดขอบจานด้วยพาราฟิล์ม แล้วนำใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงด้วยยางแล้วจึงนำเข้าตู้เย็นช่องอุณหภูมิ 8 ^{o}C ซึ่งสามารถนำเชื้อราบนจานเพาะเชื้ออายุ 7 วันไปใช้ได้ภายใน 1 เดือน อย่างไรก็ตาม ผลการหมักด้วยเชื้อราจากการเพาะเลี้ยงใหม่ๆ จะให้ผลดีกว่าการใช้เชื้อราที่เก็บไว้ในตู้เย็น

การผลิตหัวเชื้อสดในชามแก้วเป็นวิธีการที่ขยายต้นเชื้อราได้ดี โดยที่การนำเชื้อราจากชามแก้วไปใช้ในการหมักระดับขยายขนาดได้สะดวกรวดเร็ว และลดการปนเปื้อน

การเก็บตัวอย่างจากการหมักแข็งกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีสิอี RT-P1 ของแต่ละวันเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของเชื้อรา เซลลูเลส แอคทิวิตี และความชื้น จะต้องเก็บตัวอย่างให้ตรงเวลาทุกวัน (เวลาที่ครบ 24 ชั่วโมง) ด้วยความระมัดระวังการปนเปื้อน ต้องมีระบบการเก็บตัวอย่างเหมือนกันทุกวัน ได้แก่ เริ่มต้นเก็บประมาณ 0.5 กรัมที่กลางชามแก้ว วันต่อไปเก็บจากตรงกลางออกมาเท่าๆ กันกับความลึกทุกๆ วัน จนครบ 7 วัน และต้องเก็บตัวอย่างของแต่ละวันไว้ในตู้เย็น ถึงแม้ในการวิเคราะห์จะทำ 3 ซ้ำ แต่บางครั้งวิเคราะห์ผิดพลาดจะได้นำมาทำการวิเคราะห์ใหม่

5.8.2 การขยายขนาดการผลิตครูดเอนไซม์

การผลิตครูดเซลลูเลสครั้งละจำนวน 20 ถังๆ ละ 1 กิโลกรัม ด้วยหัวเชื้อสดจากชามแก้ว 200 กรัมต่อ 1 กิโลกรัมกากมันสำปะหลังด้วยอาหารเหลวปริมาตร 1 ลิตร ในถังหมักพลาสติกขาวขุ่น ขนาดปริมาตร 45 ลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 26 $\pm$ 2 ^{o}C ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ในห้องปรับอากาศและเปิดไฟ

ฟลูออเรสเซนต์ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก เนื่องจากต้องใช้ความเย็นจากเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลาหมัก 7 วัน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง จึงได้มีการใช้ตู้บ่มซึ่งได้จากการพัฒนาปรับปรุงตู้แช่ โดยใช้กล่องพลาสติกใสขนาดปริมาตร 10 ลิตร จำนวน 8 ถัง ใส่กากมันสำปะหลังถังละ 625 กรัม ผสมกับหัวเชื้อสด 125 กรัม และอาหารเหลวปริมาตร 800 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 26 $\pm$ 2 ^{o}C ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ซึ่งผลิตได้ครั้งละ 5 กิโลกรัม ปัญหาที่พบคือความชื้นในตู้บ่มน้อยกว่าที่ต้องการ จึงต้องนำกล่องใส่น้ำวางไว้ภายในตู้ และมีแมลงหวี่เข้าไปในตู้บ่มเมื่อเก็บตัวอย่าง

5.8.3 การอบแห้งในตู้อบลมร้อน

ปัญหาที่พบคือการฟุ้งกระจาย นั่นคือ การใช้ลมร้อนไม่เหมาะกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลักษณะนี้ นอกจากนี้ การอบแห้งใช้เวลานานมากเกินไปไม่สามารถได้ความชื้นครูดเซลลเลสตามต้องการ และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน เพราะเป็นการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 50 ^{o}C และไม่สูงกว่า 60 ^{o}C เนื่องจากไม่ต้องการให้เชื้อราตายและเซลลูเลส แอคทิวิตี ลดลง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาการทนอุณหภูมิของเชื้อรานี้จากการอบแห้งต่อไป

5.8.4 เครื่องอบแห้งต้นแบบ

เครื่องอบแห้งต้นแบบมีขนาดใหญ่ ปริมาตรช่องว่างของตู้ทรงสี่เหลี่ยมประมาณ 2 m^3 ภายในช่องว่างเป็นอากาศที่ต้องการความร้อนจากหม้อต้มน้ำจากความร้อนของน้ำร้อนที่ไหลจากหม้อต้มน้ำเข้าสู่ท่อทองแดงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและไหลวนเวียนกลับสู่หม้อต้มน้ำหลังจากมีการถ่ายโอนความร้อนไปยังอากาศที่ล้อมรอบภายในตู้ทรงสี่เหลี่ยม ระบบถูกออกแบบให้ใช้น้ำปริมาตร 30 ลิตรให้ความร้อนฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 kW และ 1 kW ทำงานร่วมกัน ปัญหาที่พบคือ <u>ความร้อนจากหม้อต้มน้ำและพื้นที่การถ่ายโอนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนน้อยเกินไป จึงไม่เพียงพอที่จะถ่ายโอนความร้อนให้กับอากาศ 2 m^3 ภายในช่องว่างได้</u> ขณะเดียวกันมีการสูญสียพลังงานความร้อนออกจากตู้ทรงสี่เหลี่ยมผ่านทางกระจกและช่องเปิดด้านข้างที่ต่อกับโซลาร์ คอลเล็คเตอร์ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลงอย่างต่อเนื่อง

ความร้อนของอากาศภายในตู้ทรงสี่เหลี่ยมเป็นตัวกลางพาความชื้นออกจากตัวอย่างและไหลขึ้นไปทางด้านบนตู้และออกจากตู้ด้านบนทางช่องกระจกที่เปิดไว้เล็กน้อย เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนเนื่องจากชั้นตะแกรงทำจากมุ้งลวดจึงมีช่องระบายเล็กมากทำให้ขัดขวางการพาความชื้นออกไปทางด้านบนประกอบกับแหล่งความร้อนไม่เพียงพอ การออกแบบชั้นตะแกรงมุ้งลวดภายในตู้สำหรับวางตัวอย่างในเครื่องอบแห้งต้นแบบจำนวน 5 ชั้น ในทางปฏิบัติใช้ได้เพียง 2 ชั้น เพราะว่าเมื่อใช้ตะแกรง 5 ชั้น ระยะห่างระหว่างแต่ละชั้นประมาณ 20 cm ตะแกรงมุ้งลวดดังกล่าวเป็นตัวกลางที่ขัดขวางการพาความชื้นออกไปทางด้านบนจากตู้ทรงสี่เหลี่ยมด้วยเช่นกัน จึงแก้ปัญหาด้วยการลดจำนวนชั้นตะแกรงลงเหลือเพียง 2 ชั้น โดยที่ระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 40 cm

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งต้นแบบเป็นการทำงานเป็นชุดๆ หรือต่อครั้งการผลิตและไม่ได้ให้เครื่องอบแห้งนี้ทำงานอย่างต่อเนื่อง ปัญหาที่พบคือการดำเนินการในแต่ละครั้งมีความยุ่งยากใน

การเติมน้ำเข้าสู่ระบบ เนื่องจากออกแบบให้แผงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอยู่สูงกว่าหม้อต้มซึ่งจะส่งน้ำร้อนให้ไหลเข้าท่อทองแดงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงต้องเติมน้ำให้เต็มท่อทุกท่อ ทำงานยากเพราะว่าขนาดของช่องเติมน้ำมีเล็กมากอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ระบบการถ่ายโอนความร้อนจากหม้อต้มน้ำเหมือนกับหม้อน้ำในรถยนต์แต่มีท่อระบายอากาศจากหม้อต้มจึงไม่ใช่ระบบปิด เมื่อเริ่มต้นทำการอบแห้งจะสูญเสียเวลาและน้ำป้อนปริมาณมากทุกครั้ง ถ้าน้ำไม่เต็มทุกท่อในระบบจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้ทรงสี่เหลี่ยมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มร้อนถึง 103 ^{o}C แล้วก็ตาม ปัญหาที่เกิดเพราะน้ำในท่อไม่เต็มท่อแต่มีอากาศปะปนอยู่ วิธีแก้ปัญหาทำโดยการปิดเครื่องแล้วเติมน้ำใหม่จนกว่าจะเต็มท่อหรือล้นออกมาทาง side glass

การสูญเสียพลังงานความร้อนเกิดขึ้นขณะเปิดประตู้เพื่อเก็บตัวอย่าง จึงควรปรับปรุงช่องการเก็บตัวอย่างเพื่อลดการสูญเสียนี้

การออกแบบให้มีช่องเปิดด้านบนเป็นกระจกเลื่อนเพื่อความชื้นถูกพาออกไปไม่เหมาะสม เพราะความชื้นออกไปได้ยากมาก จึงควรปรับปรุงระบบระบายอากาศใหม่

ถาดใส่ตัวอย่างต้องใช้ถาดที่มีช่องระบายอากาศที่ก้นถาด ถาดก้นปิดไม่เหมาะสมกับการพาความชื้นจากการถ่ายโอนการพาความร้อนธรรมชาติ เพราะจำทำให้อัตราการอบแห้งต่ำลง ขัดขวางการพาความร้อน สูญเสียพลังงานความร้อน ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งลดลง

ปริมาณตัวอย่างที่นำมาอบแห้งต้องมีความเหมาะสม จึงควรมีการศึกษาต่อไปหลังจากการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องอบแห้งต้นแบบแล้ว