

สารบัญเรื่อง

		หน้า
กิติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อ		ข
Abstract		ง
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาของโครงการและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
	1.4 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 การทบทวนวรรณกรรมหรือสารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	5
	2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกากมันสำปะหลัง	8
	2.3 เอนไซม์ที่ใช้อย่างเป็น	12
	2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์	12
	2.5 เซลลูโลส (Cellulose)	13
	2.6 การหมัก (Fermentation)	15
	2.7 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเซลลูเลส เอนไซม์	17
	2.8 เอนไซม์ (Enzyme)	22
	2.9 การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเชื้อราเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	23
	2.10 การอบแห้ง	24
	2.11 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องอบแห้งต้นแบบ	31
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	43
	3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	43
	3.2 การหมักแข็งในระดับห้องปฏิบัติการ	44
	3.3 การหมักกากมันสำปะหลังในระดับขยายขนาด 20 กิโลกรัมต่อการหมัก 1 ครั้ง	47

สารบัญเรื่อง

		หน้า
	3.4 การผลิตกรดเซลลูโลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาด 5 กิโลกรัมต่อ การบ่ม 1 ครั้ง	49
	3.5 การอบแห้งกรดเซลลูโลส เอนไซม์ในตู้อบลมร้อน	51
	3.6 การอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบ	51
	3.7 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาต้นทุนกระบวนการผลิต	59
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิจารณ์	62
	4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	62
	4.2 ผลการหมักแข็งในระดับห้องปฏิบัติการ	62
	4.3 ผลการหมักกากมันสำปะหลังในระดับขยายขนาด 20 กิโลกรัมต่อ การหมัก 1 ครั้ง	69
	4.4 ผลการผลิตกรดเซลลูโลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาด 5 กิโลกรัมต่อ การบ่ม 1 ครั้ง	76
	4.5 ผลการอบแห้งเซลลูโลส เอนไซม์ในตู้อบลมร้อน	81
	4.6 ผลการอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบ	89
	4.7 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาต้นทุนกระบวนการผลิต	97
	4.8 การเผยแพร่ผลงานวิจัย	99
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	100
	5.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	100
	5.2 การหมักแข็งในระดับห้องปฏิบัติการ	100
	5.3 การหมักกากมันสำปะหลังในระดับขยายขนาด 20 กิโลกรัมต่อการ หมัก 1 ครั้ง	101
	5.4 การผลิตกรดเซลลูโลส เอนไซม์ในระดับขยายขนาด 5 กิโลกรัมต่อ การบ่ม 1 ครั้ง	101
	5.5 การอบแห้งเซลลูโลส เอนไซม์ในตู้อบลมร้อน	102
	5.6 การอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบ	102
	5.7 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาต้นทุนกระบวนการผลิต	103
	5.8 ข้อเสนอแนะ	105

สารบัญเรื่อง

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	108
ภาคผนวก ก	อาหารเลี้ยงเชื้อและวิธีการเตรียม
ภาคผนวก ข	วิธีวัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยเครื่องอิมพลูลิโอมิเตอร์
ภาคผนวก ง	การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์
ภาคผนวก จ	แบบสร้างเครื่องอบแห้งต้นแบบ
ภาคผนวก ฉ	การคำนวณอัตราการถ่ายโอนการพาความร้อนธรรมชาติ ของเครื่องอบแห้งต้นแบบ
ภาคผนวก ช	เอกสารเผยแพร่ในการประชุมวิชาการและตีพิมพ์ในวารสารวิจัย
ภาคผนวก ซ	ข้อมูลดิบการหมักแข็งกากมันลำปะหลัง
ภาคผนวก ฅ	ข้อมูลดิบของการอบแห้งในเครื่องอบลมร้อน ขนาด 100 ลิตร
ภาคผนวก ฎ	ข้อมูลดิบเครื่องอบแห้งต้นแบบ

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	10
ตารางที่ 2.2	มุมวิกฤตของช่องว่างปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเอียงทำมุมกับแนวนอน	39
ตารางที่ 3.1	ราคาเครื่องบ่มและ เครื่องอบแห้งต้นแบบของกระบวนการผลิตผงครูดเซลลู เลส เอนไซม์จากการหมักกากมันสำปะหลัง	60
ตารางที่ 3.2	ราคาวัตถุดิบ สารเคมี และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผงครูดเซลลู เลส เอนไซม์จากการหมักกากมันสำปะหลัง	60
ตารางที่ 3.3	กำลังไฟฟ้าของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานของกระบวนการ ผลิตครูดเซลลูเลสผงจากการหมักกากมันสำปะหลัง	61
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	62
ตารางที่ 4.2	เข้มข้นเชื้อราเฉลี่ยของครูดเอนไซม์ผงแห้งในกระบวนการหมักแข็งที่กากมัน สำปะหลังปริมาณ 1, 1.5 และ 2 กิโลกรัมในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร ด้วยหัวเชื้อสดคงที่ 200 กรัม	74
ตารางที่ 4.3	เซลลูเลส แอคทีวิตีของครูดเอนไซม์ผงแห้งในกระบวนการหมักแข็งที่กาก มันสำปะหลังปริมาณ 1, 1.5 และ 2 กิโลกรัมในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร ด้วยหัวเชื้อสดคงที่ 200 กรัม	74
ตารางที่ 4.4	อัตราการอบแห้งที่น้ำหนักครูดเซลลูเลสเริ่มต้นและอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 50, 55 และ 65 °C	86
ตารางที่ 4.5	ปริมาณเซลลูเลส แอคทีวิตีเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ และเวลาดังแต่ เริ่มต้น 1 ถึง 8 ชั่วโมง	87
ตารางที่ 4.6	ความเข้มข้นจุลินทรีย์เฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วงเวลาการอบแห้ง 1 ถึง 8 ชั่วโมง	88
ตารางที่ 4.7	อัตราการถ่ายโอนการพาความร้อนของช่องว่างปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมและ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งต้นแบบ	96
ตารางที่ 4.8	ค่าวัตถุดิบและสารเคมีของกระบวนการหมักกากมันสำปะหลังในตู้บ่ม ต้นแบบ	98
ตารางที่ 4.9	ค่าดำเนินงานของกระบวนการหมักกากมันสำปะหลังในตู้บ่มต้นแบบ	98
ตารางที่ 5.1	ส่วนประกอบของอาหารเหลว พีเอช 5	101
ตารางที่ 5.2	สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตหัวเชื้อสดในชามแก้ว	102
ตารางที่ 5.3	อัตราการอบแห้ง อุณหภูมิเฉลี่ย น้ำหนักตัวอย่าง ความชื้นเริ่มต้นและสุดท้าย ที่ได้จากเครื่องอบแห้งต้นแบบจากการทดลองต่างๆ	105

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของอะไมโลส	9
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	11
รูปที่ 2.3	เส้นประแสดงพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุลของสายโมเลกุลเซลลูโลส	14
รูปที่ 2.4	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ กำลังขยาย 40 เท่าของไตรโคเดอรัม ริสอี RT-P1 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งพีดีเอ	18
รูปที่ 2.5	การอบแห้งสัมผัสตรงแบบไหลเวียนผ่านผิว (McCabe, 1993)	25
รูปที่ 2.6	การอบแห้งสัมผัสตรงแบบไหลเวียนแทรกผ่าน (McCabe, 1993)	26
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นฐานแห้งของวัสดุ	27
รูปที่ 2.8	ปริมาณความชื้นสมดุลของวัสดุประเภทต่างๆ ที่ อุณหภูมิ 25 °C	27
รูปที่ 2.9	โปรไฟล์อุณหภูมิในเครื่องอบแห้ง	28
รูปที่ 2.10	การอบแห้งแบบไหลเวียนผ่านผิว	29
รูปที่ 2.11	โปรไฟล์ความชื้นของวัสดุที่ได้จากการอบแห้ง	30
รูปที่ 2.12	กราฟอัตราการแห้ง (จุด E คือความชื้นสมดุล, W_c)	30
รูปที่ 2.13	ถังกักเก็บน้ำร้อนหรือหม้อต้มน้ำ	32
รูปที่ 2.14	ส่วนประกอบของแผงกระจายความร้อน	32
รูปที่ 2.15	เครื่องอบแห้งคันแบบที่มีช่องว่างปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 1 x 2 m	33
รูปที่ 2.16	โซลาร์ คอลเล็กเตอร์เป็นช่องว่างปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดกว้าง x ยาว x สูงเท่ากับ 1 x 2 x 0.15 m ซึ่งวางเอียงทำมุมประมาณ 17 องศา	34
รูปที่ 2.17	ช่องว่างปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าผิวไอโซเทอร์มัลวางแนวนอน	38
รูปที่ 2.18	ช่องว่างปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเอียงผิวไอโซเทอร์มัล	38
รูปที่ 2.19	การทำงานของตู้อบแห้ง กรณีใช้พลังงานแสงอาทิตย์	40
รูปที่ 2.20	การทำงานของตู้อบแห้งกรณีใช้ระบบให้ความร้อนเสริมอย่างเดียว	41
รูปที่ 2.21	การทำงานของตู้อบแห้งใช้พลังงานร่วมระหว่างแสงอาทิตย์กับชุดความร้อนเสริม	42
รูปที่ 3.1	การเตรียมอาหาร วุ้นแข็งพีดีเอในตู้ถ่ายเนื้อเยื่อ	43
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเชื่อมต่อรางบนอาหารแข็งบนจานเพาะเชื้อ	44

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเย็บเชือราลงบนอาหารแข็งบนจานเพาะเชื้อ	45
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อราในอาหารเหลว LM	45
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการกวนผสมและการหมักในซามแก้ว	46
รูปที่ 3.6	การผลิตหัวเชื้อสดในซามแก้ว	46
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการเตรียมกากมันสำปะหลังและอาหารเหลวสูตร LM ก่อนทำการหมักในถังหมัก	47
รูปที่ 3.8	การแบ่งช่องและการวางถังหมักในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และแสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์	48
รูปที่ 3.9	การแบ่งช่องในถังหมักเพื่อเก็บตัวอย่างแต่ละวัน	48
รูปที่ 3.10	ความสูงของกากมันสำปะหลังในถังหมักที่ใช้กากมันสำปะหลัง 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม	49
รูปที่ 3.11	ตู้บ่มเชื้อเพื่อการผลิตครูดเซลลูเลส เอนไซม์	50
รูปที่ 3.12	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนน้ำร้อนไปยังอากาศล้อมรอบภายในเครื่องอบแห้งต้นแบบ	52
รูปที่ 3.13	มิเตอร์วัดหน่วยไฟฟ้าและตู้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งต้นแบบ	53
รูปที่ 3.14	เครื่องอบแห้งต้นแบบใช้แหล่งความร้อนจากหม้อต้มน้ำและความร้อนจากดวงอาทิตย์	54
รูปที่ 3.15	การจัดเรียงตัวอย่างบนถาดอะลูมิเนียมในเครื่องอบแห้งต้นแบบ	54
รูปที่ 3.16	เครื่องอบแห้งต้นแบบที่มีเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยมและไม่ได้ปิดกระจกด้วยกระดาษสีดำ	57
รูปที่ 3.17	การจัดเรียงถาดพลาสติกที่ใส่ตัวอย่างบนชั้นภายในเครื่องอบแห้งเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยม	57
รูปที่ 3.18	เครื่องอบแห้งเฉพาะตู้ทรงสี่เหลี่ยมที่ปิดกระจกทั้งหมดด้วยกระดาษสีดำ	58
รูปที่ 3.19	เครื่องอบแห้งที่ติดตั้งดวงไฟสปอร์ตไลท์เหนือกระจกด้านบนและโซลาร์คอลเล็กเตอร์ที่อยู่ด้านข้างสูง 20 และ 36 เซนติเมตร ตามลำดับ	59
รูปที่ 4.1	ร้อยละความชื้นที่ปริมาตรอาหารเหลวต่างๆ ต่อกากมันสำปะหลังที่ 200 กรัม	63

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 4.2	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ปริมาณอาหารเหลวต่างๆ ต่อกากมันสำปะหลัง คงที่ 200 กรัม	64
รูปที่ 4.3	ปริมาณร้อยละความชื้นที่ความเข้มข้นน้ำตาลมะพร้าวในอาหารเหลว 10 20 30 และ 40 g/L	64
รูปที่ 4.4	ปริมาณจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลมะพร้าวในอาหารเหลว 10 20 30 และ 40 g/L	65
รูปที่ 4.5	รูปแบบการจัดวางหัวเชื้อสดในซามแก้วในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิตั้ง งศาเซลเซียส	26 66
รูปที่ 4.6	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 1 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	66
รูปที่ 4.7	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 2 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	66
รูปที่ 4.8	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 3 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	67
รูปที่ 4.9	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 4 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	67
รูปที่ 4.10	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 5 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	68
รูปที่ 4.11	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 6 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	68
รูปที่ 4.12	หัวเชื้อสดในซามแก้วอายุ 7 วันที่ปริมาณอาหารเหลว (ก) 160 มิลลิลิตร (ข) 180 มิลลิลิตร (ค) 200 มิลลิลิตร (ง) 220 มิลลิลิตร และ (จ) 240 มิลลิลิตร	68
รูปที่ 4.13	โปรไฟล์ความชื้นของการหมักแข็งกากมันสำปะหลังปริมาณ 1, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม ในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร	69
รูปที่ 4.14	โปรไฟล์ความเข้มข้นเชื้อราของการหมักแข็งกากมันสำปะหลังที่ 1, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร	70
รูปที่ 4.15	โปรไฟล์เซลล์ลอส แอคทิวิตี ของการหมักแข็งกากมันสำปะหลังที่ 1, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร	71

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 4.16	การเก็บตัวอย่างและลักษณะของเชื้อราในถังหมักกากมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัมด้วยอาหารเหลว พีเอช 5 และหัวเชื้อ 200 กรัม	72
รูปที่ 4.17	การเก็บตัวอย่างและลักษณะของเชื้อราในถังหมักกากมันสำปะหลัง 1.5 กิโลกรัมด้วยอาหารเหลว พีเอช 5 และหัวเชื้อ 200 กรัม	73
รูปที่ 4.18	การเก็บตัวอย่างและลักษณะของเชื้อราในถังหมักกากมันสำปะหลัง 2.0 กิโลกรัมด้วยอาหารเหลว พีเอช 5 และหัวเชื้อ 200 กรัม	73
รูปที่ 4.19	ความเข้มข้นเชื้อราเฉลี่ยของครูดเอนไซม์ผงแห้งในกระบวนการหมักแข็งที่กากมันสำปะหลังปริมาณ 1, 1.5 และ 2 กิโลกรัมในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร ด้วยหัวเชื้อสดคงที่ 200 กรัม	75
รูปที่ 4.20	เซลลูเลส แอคทิวิตีของครูดเอนไซม์ผงแห้งในกระบวนการหมักแข็งที่กากมันสำปะหลังปริมาณ 1, 1.5 และ 2 กิโลกรัมในอาหารเหลว 1, 1.5 และ 2 ลิตร ด้วยหัวเชื้อสดคงที่ 200 กรัม	75
รูปที่ 4.21	โปรไฟล์ความชื้นในตู้บ่มต้นแบบของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 800 มิลลิลิตร ที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	76
รูปที่ 4.22	โปรไฟล์ความชื้นในตู้บ่มต้นแบบของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 900 มิลลิลิตร ที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	77
รูปที่ 4.23	โปรไฟล์อุณหภูมิในตู้บ่มต้นแบบของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 800 มิลลิลิตร ที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	77
รูปที่ 4.24	โปรไฟล์อุณหภูมิในตู้บ่มต้นแบบของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 900 มิลลิลิตร ที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	78
รูปที่ 4.25	โปรไฟล์น้ำหนักเซลล์แห้งของเชื้อราไตรโคเดอร์มา รีลีส RT-P1 ของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 800 มิลลิลิตร ในตู้บ่มต้นแบบที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	79

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 4.26	โปรไฟล์น้ำหนักเซลล์แห้งของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ริสอี RT-P1 ของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 900 มิลลิลิตร ในตู้บ่มต้นแบบที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	79
รูปที่ 4.27	โปรไฟล์ของเซลล์เลส แอคทีวิตี ของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 800 มิลลิลิตร ในตู้บ่มต้นแบบที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	80
รูปที่ 4.28	โปรไฟล์ของเซลล์เลส แอคทีวิตี ของการหมักแข็งกากมันสำปะหลัง 625 กรัมด้วยอาหารเหลว 900 มิลลิลิตร ในตู้บ่มต้นแบบที่ปิดถังหมักด้วยฝาเจาะรูจำนวน 25, 60 และ 100 รู	80
รูปที่ 4.29	โปรไฟล์น้ำหนักครูดเซลล์เลส เอนไซม์ของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	81
รูปที่ 4.30	โปรไฟล์น้ำหนักครูดเซลล์เลส เอนไซม์ของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	82
รูปที่ 4.31	โปรไฟล์น้ำหนักครูดเซลล์เลส เอนไซม์ของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	82
รูปที่ 4.32	โปรไฟล์ของร้อยละความชื้นของครูดเซลล์เลสเอนไซม์ปริมาณ 50 กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ	83
รูปที่ 4.33	โปรไฟล์ของร้อยละความชื้นของครูดเซลล์เลสเอนไซม์ปริมาณ 100 กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ	83
รูปที่ 4.34	โปรไฟล์ของร้อยละความชื้นของครูดเซลล์เลสเอนไซม์ปริมาณ 200 กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ	84
รูปที่ 4.35	โปรไฟล์ของร้อยละความชื้นของครูดเซลล์เลสเอนไซม์ปริมาณ 300 กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ	
รูปที่ 4.36	โปรไฟล์ของร้อยละความชื้นของครูดเซลล์เลสเอนไซม์ปริมาณ 400 กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ	85
รูปที่ 4.37	โปรไฟล์ของร้อยละความชื้นของครูดเซลล์เลสเอนไซม์ปริมาณ 500 กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ	85

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 4.38	อัตราการอบแห้งที่น้ำหนักกรดเซลลูโลสเริ่มต้นและอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 50, 55 และ 65 °C	86
รูปที่ 4.39	ปริมาณเซลลูโลสแอกติวิตี้เฉลี่ยที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ ในช่วงเวลาการอบแห้ง 1 ถึง 8 ชั่วโมง	87
รูปที่ 4.40	ความเข้มข้นจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วงระยะเวลาการอบแห้งตั้งแต่เริ่มต้นถึงชั่วโมงที่ 8	88
รูปที่ 4.41	อัตราการอบแห้งตัวอย่าง 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 50 °C	89
รูปที่ 4.42	อัตราการอบแห้งตัวอย่าง 10 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 51 °C	90
รูปที่ 4.43	อัตราการอบแห้งตัวอย่าง 4 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 59 °C เมื่อไม่ได้ปิดกระดาดำที่ตัวเครื่อง	91
รูปที่ 4.44	โปรไฟล์ความชื้นของการอบแห้งตัวอย่าง 4 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 59 °C	91
รูปที่ 4.45	อัตราการอบแห้งตัวอย่าง 4 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 66 °C เมื่อปิดกระดาดำที่กระจก	92
รูปที่ 4.46	โปรไฟล์ความชื้นเฉลี่ยของการอบแห้งตัวอย่าง 4 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 66 °C	93
รูปที่ 4.47	อัตราการอบแห้งจากการใช้ความร้อนจากหม้อต้มน้ำร่วมกับแสงไฟสปอร์ตไลท์ที่ติดตั้งเหนือโซลาร์ คอลเล็กเตอร์ และกระจกด้านบนของเครื่องอบแห้งต้นแบบ	94
รูปที่ 4.48	โปรไฟล์ความชื้นเฉลี่ยของการอบแห้งตัวอย่าง 4 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้งเฉลี่ย 57 °C	94