สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่การค้นคว้าแบบอิสระ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการค้นคว้าแบบอิสระ	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการค้นคว้าแบบอิสระ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล้วย	5
2.2 เพคติน	9
2.3 รีโอโลยี	12
2.4 Viscoelasticity	14
2.5 แบบจำลองทางวิสโคอิลาสติก	17
2.6 พฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติก	20
2.7 การทดสอบพฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติก	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	26
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	28
3.1 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์	28
3.2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	30
3.3 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์	30
3.4 การเตรียมผลิตภัณฑ์กล้วยกวน	31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 การทดสอบ creep กับเจลเพคติน 33
3.6 การทดสอบ creep กับผลิตภัณฑ์กล้วยกวน 34
3.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ 34
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ 35
4.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 35
4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ 37
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติก 40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 59
สรุปผลการทดลอง 59
ข้อเสนอแนะ 59
เอกสารอ้างอิง 61
ภาคผนวก 64
ภาคผนวก ก ผลิตภัณฑ์กล้วยกวน 65
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ creep curve 67
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ creep curve ของกล้วยกวน 12 หน่วยทดลอง 73
ภาคผนวก ง วิธีการหาแรงกดที่เหมาะสมต่อการทดสอบโครงสร้างวิสโค-อิลาสติกของกล้วยกวน 86
ภาคผนวก จ รายงานข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา เดือน ธันวาคม 2545-กุมภาพันธ์ 2546 88
ประวัติผู้เขียน 92

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ส่วนประกอบทางเคมี แร่ธาตุ และปริมาณวิตามินของกล้วยพันธุ์ต่างๆ เป็นกรัมต่อน้ำหนักผลสุก 100 กรัม	8
2.2	การประยุกต์ใช้เพคตินในผลิตภัณฑ์อาหาร	12
3.1	พันธุ์กล้วย และปริมาณพคตินที่ใช้ในการทดลอง	31
4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	35
4.2	ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	37
4.3	ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	38
4.4	ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองกวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	39
4.5	อิลาสติคโมดูลัส (E_0) คามหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของเจลเพคติน	43
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวรของเจลเพคติน	44
4.7	อิลาสติคโมดูลัส (E_0) คามหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	46
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวรของกล้วยน้ำว้ากวน	46
4.9	อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	50
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของกล้วยไข่กวน	50
4.11	อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) แล การผิดรูปถาวร ของกล้วยหอมทองกวนที่เติมเพคตินต่ากัน 4 ระดับ	52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง **หน้า**

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของกล้วยหอมทองกวน 53

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ของผลิตภัณฑ์ 57

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาล และอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ของผลิตภัณฑ์ 57

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
2.1	กล้วยน้ำว้า	5
2.2	กล้วยหอมทอง	6
2.3	กล้วยไข่	6
2.4	โครงสร้างของเพคติน	9
2.5	โครงสร้างร่างแหของเจล และจังค์ชันโซน	11
2.6	ความเค้น และความเค้นเฉือน	13
2.7	Bouncing putty: a), b) เมื่อถูกแรงกระทำชั่วคราว c) เมื่อถูกแรงกระทำนานช่วงหนึ่ง	15
2.8	สปริง และลูกสูบ	17
2.9	แบบจำลองของแมกซ์เวลล์	17
2.10	แบบจำลองของโวค-เคลวิน	18
2.11	แบบจำลอง 4 องค์ประกอบ (4 – parameters model)	19
2.12	พฤติกรรม creep ของวัสดุเมื่อได้รับแรงคงที่	20
2.13	พฤติกรรม stress relaxation ของวัสดุเมื่อความเครียดคงที่	21
2.14	การเปรียบเทียบระหว่างเส้นโค้งของ creep ของวัสดุในอุดมคติ และวัสดุวิสโคอิลาสติค	22
2.15	การตอบสนองต่อ creep test ของแบบจำลองของแมกซ์เวลล์	22
2.16	Creep curve ของวัสดุแบบแมกซ์เลล์	23
2.17	Creep curve ของวัสดุแบบโวค-เคลวิน	23
2.18	Creep curve ของวัสดุแบบ 4 องค์ประกอบ	24
2.19	Compliance curve ของแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ	25
3.1	แผนภาพขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์กล้วยกวน	32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป **หน้า**

4.1	ผลการทดสอบ creep ของกล้วยน้ำว้ากวน เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	40
4.2	การเปรียบเทียบเส้นโค้งของ creep ตามสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ และผลการทดลองจริง	41
4.3	ผลการทดสอบ creep ในเจลเพคติน	43
4.4	แผนภาพเปรียบเทียบ creep compliance ของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากวน ที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	45
4.5	กราฟระหว่างอิลาสติคโมดูลัส และการผิดรูปถาวร พร้อมเส้นแนวโน้ม และสมการความสัมพันธ์	48
4.6	แผนภาพเปรียบเทียบ creep compliance ของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กวน ที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	49
4.7	ผลการทดสอบ creep ของกล้วยหอมทองกวนที่ทิ้งให้เย็นใน desiccator และเติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ	52
4.8	แผนภาพเปรียบเทียบแนวโน้มของอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยกวน 3 พันธุ์	55
4.9	แผนภาพเปรียบเทียบแนวโน้มของการผิดรูปถาวรของกล้วยกวน 3 พันธุ์	56
ก-1	ผลิตภัณฑ์กล้วยกวน	65
ข-1	ผลการทดสอบ creep ของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากวน (ไม่เติมเพคติน)	67
ข-2	compliance curve ของแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ	68
ข-3	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 4 องค์ประกอบกับผลการทดลองจริง	69
ข-4	แบบจำลอง 6 องค์ประกอบ	70
ข-5	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองจริง	71
ค-1	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองจริงของกล้วยน้ำว้ากวนระดับควบคุม	73

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป **หน้า**

ค-2 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยน้ำว้ากวนเติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 74

ค-3 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยน้ำว้ากวนเติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก 75

ค-4 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยน้ำว้ากวนเติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก 76

ค-5 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองจริงของกล้วยหอมทองกวนระดับควบคุม 77

ค-6 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยหอมทองกวนเติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 78

ค-7 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยหอมทองกวนเติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก 79

ค-8 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยหอมทองกวนเติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก 80

ค-9 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองจริงของกล้วยไข่กวนระดับควบคุม 81

ค-10 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยไข่กวนเติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 82

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป **หน้า**

ค-11	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยไข่กวนเติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก	83
ค-12	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง compliance curve จากสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบกับผลการทดลองของกล้วยไข่กวนเติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	84
ง-1	ผลการทดสอบ rupture test ของกล้วยกวน	86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved