

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประเมินความสดของกุ้งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

Evaluation of white Shrimp Freshness during Iced Storage by Texture Analyzer

ผู้จัดทำ

นายธงชัย

กาญจนชুমพล

รหัสนักศึกษา 47010296

นางสาวรัตนา

ธนโกคาไพศาล

รหัสนักศึกษา 47010624

นางสาวบรรณ

แก้วเนตร

รหัสนักศึกษา 47010651



(ดร.นวกัทรာ หนูนาต)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความสดของกุ้งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส		
นักศึกษา	นายธงชัย กาญจนชุมพล	รหัสนักศึกษา	47010296
	นางสาวรัตนา ธนโสภาไพศาล	รหัสนักศึกษา	47010624
	นางสาวบรรณณ แก้วเนตร	รหัสนักศึกษา	47010651
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร		
ปีการศึกษา	2550		
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.นงภัทรา หนูนา		

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความสดของกุ้งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (SMS-TA.XT plus) ทำการทดสอบหาความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (0.1 0.5 และ 1.0 mm/s) ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด (เส้นข้อที่ 2 3 และ 4) และวิธีทดสอบที่เหมาะสม (การทดสอบแบบ TPA แบบกด แบบการเจาะ แบบการตัด และแบบ Relaxation) จากการทดลอง พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการตั้งค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่ความเร็ว 0.1 mm/s ไม่ทำให้เกิดความเสียหายจากแรงกระแทกกับตัวกุ้งและสามารถบอกความแตกต่างเนื้อเยื่อบริเวณผิวกุ้งและเนื้อกุ้งได้ชัดเจนกว่าความเร็วของหัววัดที่ 0.5 และ 1.0 mm/s ผลลัพธ์จากการวัดบริเวณเส้นข้อที่ 4 สามารถบอกความแตกต่างของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกุ้งและเนื้อกุ้งได้ชัดเจนกว่าบริเวณเส้นข้อที่ 2 และ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ผ่านการเก็บที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ดีที่สุดคือ ค่าความยืดหยุ่นและ ค่าแรงสูงสุด จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก โดยที่ระยะเวลาการเก็บนานขึ้นบริเวณผิวของกุ้งขาวจะมีความเหนียวและยืดหยุ่นมากขึ้น ค่า RGB บริเวณหัวกุ้งมีค่าลดลงแสดงว่า กุ้งมีสีดำมากขึ้น และค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยจาก 6.345 ถึง 7.160 ตามระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน สมการความสัมพันธ์ระหว่าง เนื้อสัมผัส (Toughness) กับสี และพีเอชมีความสัมพันธ์แบบพหุนามอันดับ 3 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9663 และ 0.9383 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Evaluation of white Shrimp Freshness during Iced Storage by Texture Analyzer		
Student	Mr.Thongchai Kanjanachumpon	Student ID	47010296
	Ms. Rattana Tanaphokapaisan	Student ID	47010624
	Ms. Worrabun Kaewnetr	Student ID	47010651
Degree	Bachelor of Engineering		
Programmc	Food Engineering		
Year	2007		
Thesis Advisor	Dr.Navaphattra Noonak		

ABSTRACT

The objective of this project was to evaluate freshness of white shrimp during iced storage by using Texture Analyzer (SMS-TA.XT plus). The effect of crosshead speeds, measured position was considered in this study. They were set at 0.1, 0.5 and 1.0 mm/s. Texture Profile analysis, Compression, Cutting, Penetration and Relaxation Tests were determined. It was found that crosshead speed at 0.1 mm/s gave the highest resolution and the clearest between shrimp skin and tissues. Therefore, crosshead speed at 0.1 mm/s was selected to perform in the rest of experiments. Measuring at forth muscular gave the highest distance between shrimp skin and tissues. Firmness obtained from penetration test with cylindrical probe can clearly distinguish texture characteristics of white shrimp at various iced storage time to 3 groups. Increase of storage time increased Firmness of flesh shrimp RGB values of shrimp head and pH decrease during storage. Third-order polynomial equation between Texture(Toughness) and color, Texture(Toughness) and pH are 0.9663 and 0.9383 respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คร.นวกัทธา หนูนาถ จากคำแนะนำ ความรู้และประสบการณ์ที่ดี ที่ถ่ายทอดให้ การให้กำลังใจ ความเป็นกันเองและการเสียสละเวลาส่วนตัวของอาจารย์ จนสามารถทำงานออกมาเป็นปริญญาบัตรที่ดีที่สุดเล่มนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงษ์ รศ.สาทิป รัต นภาสกร ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ อ.เจษฎา ชัยโฉม อ.สมัคร รักแม่ อ.มธุรดา จิโนรส และอ.เสก ที่ให้คำแนะนำและความรู้ต่างๆ

ขอบคุณพี่แมนที่ช่วยสร้างกล่องของขวัญและในการทดลองและพาไปซื้อสิ่งของที่ตลาดที่ขอขอบคุณ พี่นุ้ยที่ช่วยให้คำแนะนำและสอนใช้เครื่อง

ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในห้องแล็บที่ให้ความสนุกสนานและให้กำลังใจ ถ้ามข่าวกันและกันว่า งานไปถึงไหนแล้ว

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อและแม่ที่ให้กำเนิด ให้การสนับสนุนและทำให้พวกเรามาถึงวันนี้ได้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	I
1.1. ความเป็นมาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 กุ้งขาว	3
2.1.1 การเก็บรักษาด้วยความเย็น	3
2.1.2 การตรวจสอบความสด	4
2.2 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร	6
2.2.1. วิธีการวัดทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation methods)	6
2.2.2. วิธีทางกายภาพหรือการใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ (Physical methods or Instrumental methods)	7
2.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและการใช้งาน	8
2.3.1 หลักการทำงาน	8
2.3.2 วิธีการวัดแบบต่างๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	8
2.3.3 ขั้นตอนการใช้เครื่อง	20
2.3.4 ข้อควรระวังในการใช้เครื่อง Texture Analyzer	22
2.3.5 การบำรุงรักษา	22
2.3.6 ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่อง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 การเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-Learning)	24
3.1 E-Learning	24
3.1.1 ความหมายของ E-Learning	24
3.1.2 ระบบที่ใช้ในการทำ E-Learning ในปัจจุบัน	24
3.1.3 E-learning ในประเทศไทย	24
3.1.4 ข้อดีและข้อเสียของการเรียนผ่านเว็บ	24
3.2 วิธีการใช้งาน	25
3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	29
4.1 การเตรียมตัววัดคุณภาพ	29
4.2 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	29
4.2.1 การเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (Loading rate)	30
4.2.2 การเลือกวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์	31
4.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวหลังการปรุงสุก	34
4.3 การวัดสี	34
4.4 การวัดพีเอช	34
4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	34
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	36
5.1 การเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (Loading rate)	36
5.1.1 การทดสอบแบบ Relaxation	36
5.1.2 การทดสอบแบบการตัดแบบไม่มีคคม	37
5.2 การเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการวัด	41
5.2.1 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก	41
5.2.2 การทดสอบแบบการตัด	43
5.3 การเลือกวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์	45
5.3.1 การทดสอบแบบ Relaxation	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

5.3.2 การทดสอบแบบการกด.....	51
5.3.3 การทดสอบแบบ TPA	54
5.3.4 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีด Warner.....	58
5.3.5 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม	62
5.3.6 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม	70
5.3.7 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก	75
5.4 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่นำมาปรุงตุก.....	83
5.5 การวัดสี	91
5.6 การวัดพีเอช	97
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัส ค่าสี และค่าพีเอช.....	99
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	101
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s	36
5.2. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดกับกึ่งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s	38
5.3. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2, 3 และ 4	43
5.4. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2, 3 และ 4	45
5.5. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	49
5.6. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	52
5.7. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-1 วัน	56
5.8. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	60
5.9. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

5.10. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	65
5.11. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	72
5.12. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	72
5.13. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	77
5.14. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	78
5.15. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน ที่นำมาปรุงสุก	85
5.16. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ที่นำมาปรุงสุก	86
5.17. แสดงค่าสีส่วนหัวของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ก่อนปอกเปลือก	91
5.18. แสดงค่าสีส่วนลำตัวของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ก่อนปอกเปลือก	92
5.19. แสดงค่าสีส่วนหางของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ก่อนปอกเปลือก	92
5.20. แสดงค่าสีส่วนลำตัวของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน หลังปอกเปลือก	93
5.21. แสดงค่า pH ของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)	8
2.2. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบ TPA (Malcolm C. Bourne, 2545)	9
2.3. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการเจาะกับลูก แพร่ (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ จำกัด)	11
2.4. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการตัดกับ ข้าวโพดหวาน (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ จำกัด)	13
2.5. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการตัดกับ Biscuit และ Chewy cereal bar (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ จำกัด)	14
2.6. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบ Extrusion กับ Margarine (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ จำกัด)	15
2.7. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบ Compression-Extrusion กับ Low-fat yoghurt (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ จำกัด)	16
2.8. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการดึง กับ พืชช่า (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี เซ็นเตอร์ จำกัด)	17
2.9. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation	18
2.10. แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการกด กับ Rohu fish (Dilip Jain และคณะ 2550)	19
2.11. แสดงแผนผังขั้นตอนการใช้เครื่อง Texture Analyzer	21
3.1 หน้าจอ log in	25
3.2 ขั้นตอนการสมัคร	26
3.3 หน้าจอหลัก	26
4.1 แสดงตำแหน่งและลักษณะการวัดขนาดกึ่ง	29
5.1 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับ กุ้งที่เก็บ รักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

5.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s	37
5.3	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s	38
5.4	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1, 0.5 และ 1.0 mm/s	39
5.5	กราฟความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด	40
5.6	เส้นข้อต่าง ๆ ของกึ่ง	41
5.7	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2, 3 และ 4.....	42
5.8	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2, 3 และ 4	42
5.9	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2, 3 และ 4	44
5.10	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2, 3 และ 4	44
5.11	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation ที่ระยะการกด 20 10 และ 5% ของความสูง กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	46
5.12	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation ที่ระยะการกด 20 10 และ 5% ของความสูงกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	47
5.13	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	48
5.14	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	48
5.15	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	48
5.16	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

5.17	ค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	50
5.18	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	51
5.19	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	51
5.20	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	52
5.21	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	52
5.22	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	53
5.23	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	54
5.24	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	55
5.25	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	55
5.26	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	55
5.27	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	56
5.28	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	58
5.29	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	59
5.30	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

5.31	แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	59
5.32	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	61
5.33	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	63
5.34	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	63
5.35	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	64
5.36	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	64
5.37	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	66
5.38	ค่าพารามิเตอร์ (Shear force: N/mm ²) ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	67
5.39	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	69
5.40	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	70
5.41	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	70
5.42	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	70
5.43	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	72
5.44	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

5.45	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	75
5.46	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน	75
5.47	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	75
5.48	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	76
5.49	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาใน น้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน	78
5.50	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาใน น้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	79
5.51	กราฟความสัมพันธ์ของที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บ รักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน	81
5.52	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วันที่นำมาปรุงสุก	83
5.53	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วันที่นำมาปรุงสุก	83
5.54	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ที่นำมาปรุงสุก	83
5.55	กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัด ทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วันที่นำมาปรุงสุก	84
5.56	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาใน น้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วันที่นำมาปรุงสุก	86
5.57	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาใน น้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วันที่นำมาปรุงสุก	87
5.58	ความสัมพันธ์ของที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษา ในน้ำแข็งแล้วนำมาปรุงสุกเป็นเวลา 14 วัน	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

5.59	ค่าสีส่วนหัว ลำตัว หางก่อนปอกเปลือกและส่วนลำตัวหลังปอกเปลือกของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	94
5.60	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี RGB	95
5.61	กราฟค่าพีเอชของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน	96
5.62	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Toughness ค่าสี R และค่าพีเอช กับเวลา	97
5.63	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Toughness และค่าพีเอช กับค่าสี R	98



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันนี้การส่งออกกุ้งขาว (*Litopenacus vannamei*) มีปริมาณมากและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ (กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กองประมงต่างประเทศ กรมประมงรวบรวมข้อมูลจากกรมศุลกากร) ในการส่งออกต้องคำนึงถึงความสดมากที่สุด เพราะใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในการขนส่ง ทำให้ระดับความสดเปลี่ยนไป ระดับความสดหลังการตายอยู่ในระดับสูงสุดและลดลงเรื่อย ๆ ระหว่างการเก็บรักษา การตรวจสอบระดับความสดของกุ้งสามารถสังเกตจากลักษณะภายนอก ได้แก่ รูปร่าง สี ลำหูก และกลิ่น คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ คุณค่าทางสารอาหาร สารประกอบต่าง ๆ IMP Hx TVB TMA และปริมาณจุลินทรีย์ (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) และคุณสมบัติทางกายภาพ คือ การตรวจสอบเนื้อสัมผัส และพีเอช (pH)

เนื้อสัมผัสของอาหาร (Food Texture) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับและความพึงพอใจในคุณภาพอาหารของผู้บริโภค ซึ่งอาหารแต่ละประเภทจะมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันออกไปตามโครงสร้างของอาหารแต่ละชนิด (Ramana และ Taylor, 2537) ลักษณะพิเศษของเนื้อสัมผัสจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอาหาร (Boume, 2529) การตรวจสอบเนื้อสัมผัสเป็นวิธีการหนึ่งในการวัดระดับความสดของกุ้ง สามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยการเก็บรักษาอาหารได้ เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาอาหารเนื้อสัมผัสของอาหารหลายชนิดเปลี่ยนแปลง (S. Pomrat และคณะ, 2550) ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดระดับความสดวิธีต่าง ๆ IMP สามารถตรวจวัดได้ในขณะที่กุ้งยังสดอยู่จนถึงระยะแรกที่มีการเกร็งตัวเท่านั้น (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) Hx จะมีความแม่นยำสูงเฉพาะระยะสุดท้ายที่กุ้งมีการเกร็งตัวเท่านั้น (Clucas, 2525; Fatima, และคณะ, 2524; Matsumoto และ Yamanaka, 2533) TVB สารที่เป็นส่วนประกอบของค่าที่ระเหยได้อาจมีระดับลดลงจากการระเหยและละลายไปกับน้ำทำให้ค่าคลาดเคลื่อน และ TMB มีการตรวจพบว่า ระดับของไตรเมทิลามีน ไม่มีความสัมพันธ์กับความสดของกุ้ง (Cobb III และ Vanderzant, 2514) การวิเคราะห์ชนิดและนับจำนวนจุลินทรีย์เป็นดัชนีบ่งชี้ความสดของกุ้งที่ไม่มีความแน่นอน (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535)

มีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดระดับความสดของกุ้ง อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวสดระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ดังนั้น ใครงานนี้จึงศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพื่อทดสอบหาวิธีการและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวระหว่างการเก็บรักษาในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำแข็ง อีกทั้งยังได้สังเกตเห็นความสำคัญของการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส จึงทำการศึกษการเรียนรู้เครื่องตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัสทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-Learning หรือ Electronic-Learning) ประกอบขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1. ศึกษาหาวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์จากการตรวจด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่เหมาะสมที่สามารถบอกความแตกต่างเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่เก็บในน้ำแข็งเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเปลี่ยนไป

1.2.2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) สี และเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง

1.2.3. ศึกษาวิธีการทำ E-Learning สำหรับผู้ที่ต้องการเรียนรู้เกี่ยวกับเนื้อสัมผัสของอาหาร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตรวจสอบระดับสดของกุ้งขาว ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและสีของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง และศึกษาการทำ E-Learning

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ได้วิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบระดับความสดของกุ้งขาวระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง

1.4.2. ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและสีของกุ้งขาวสดที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง

1.4.3. มีเว็บ E-Learning สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาเกี่ยวกับเรื่องเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 กุ้งขาว

กุ้งขาว หรือ Whiteleg shrimp ชื่อวิทยาศาสตร์ *Litopenacus vannamei* หรือที่เรียกว่า กุ้งแวนนาไม มีลำตัวขาวใส ลำไส้โคเห็นได้ชัด ขามีสีขาวยาวสีแดง โดยเฉพาะบริเวณปลายหางจะมีสีแดงเข้ม การนำกุ้งมาบริโภคนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือ ระดับความสดของกุ้ง (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) แต่กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่เน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากกุ้งที่มีชีวิตนั้นระดับของสารประกอบต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อเช่น กรดอะมิโน นิเวคลิโอไทด์ และน้ำตาล จะถูกรักษาให้อยู่ในสภาพสมดุลโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ (anabolic pathways) และการบวนการแตกสลาย (catabolic pathways) ด้วยกลไกที่ซับซ้อน (Lehninger, 2528) หลังการตายการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมียังคงดำเนินต่อไป แต่เป็นไปโดยปราศจากการควบคุม เช่น สภาพเกร็งตัวของกล้ามเนื้อหลังการตาย (rigor mortis) (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงสี และการอ่อนตัวของเนื้อกุ้ง (สุทธวัฒน์ เบญจกุลและคณะ, 2548) เป็นต้น การย่อยสลายเนื้อเยื่อ โคนเอนไซม์จากกุ้งเอง และแบคทีเรียเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระดับความสดของกุ้งลดลง (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) เอนไซม์โดยทั่วไปทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส และจะมีอัตราเร็วสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันกับอัตราเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง (Lehninger, 2528) การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถรักษาสภาพธรรมชาติของกุ้งเช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้การใช้สารยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอหรือลดการเสื่อมเสียของกุ้งก่อนเข้าสู่โรงงานได้ (สุทธวัฒน์ เบญจกุลและคณะ, 2548)

2.1.1 การเก็บรักษาด้วยความเย็น (บุหลัน พิทักษ์พล)

2.1.1.1 การใช้น้ำแข็ง ความเย็นของน้ำแข็งที่ใช้ในการแช่อาหารจะทำให้อุณหภูมิจึงของอาหารลดลงได้เร็ว และถ้ามี ปริมาณเพียงพอจะทำให้อาหารนั้นเย็นลงจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับ 0 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการเก็บรักษาสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาสด ซึ่งจะสามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 1 สัปดาห์

2.1.1.2 การใช้สารผสมแช่แข็ง การใช้น้ำแข็งผสมเกลือแกง หรือเกลืออนินทรีย์อื่น ๆ จะทำให้ได้สารผสมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ที่ 1 บรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส แต่ถ้ามีการเติมสารที่แตกตัวได้เช่นเกลือแกง จะทำให้จุดเยือกแข็งลดลง เช่น ถ้าเติมเกลือแกงลงไป ใน น้ำแข็งในอัตราส่วน 1:3 จะทำให้อุณหภูมิจึงของ น้ำแข็งนั้นลดลงถึง -18 องศาเซลเซียส ซึ่งในสมัยก่อนใช้ วิธีนี้มากในการปั่นไอศกรีมโดยใช้มือหมุนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมแข็งตัวเร็วขึ้น ปัจจุบันใช้วิธีนี้ในการเก็บรักษาพลาสติก และการรักษาความเย็นของอาหารแช่แข็งที่บรรจุใน ภาชนะสำหรับการขนส่ง

2.1.1.3 การใช้น้ำแข็งแห้ง น้ำแข็งแห้ง คือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เย็นจนแข็ง มีอุณหภูมิประมาณ -80 องศาเซลเซียส ใช้ในการเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการแช่แข็งมาแล้ว เหมาะสำหรับการขนส่งในระยะเวลา 2-3 วัน แต่ไม่เหมาะสำหรับการให้ความเย็น โดยให้น้ำแข็งแห้ง สัมผัสกับอาหารโดยตรง เนื่องจากมีความแตกต่าง กันมากระหว่างอุณหภูมิของอาหารกับน้ำแข็งแห้งอาจทำให้ผิวสัมผัสของอาหารเสียหายได้

2.1.1.4 การใช้ไนโตรเจนเหลว ไนโตรเจนเหลวที่ความดันปกติจะระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถจะทำให้อาหารเย็นลงได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยไม่เป็นอันตรายกับอาหารและผู้บริโภค จึงนิยมนำมาใช้กับอาหารแช่แข็งโดยเฉพาะในปัจจุบันแค่ไม่นิยมแช่อาหารสดในไนโตรเจนเหลว ส่วนมากจะใช้ร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบสายพานจะเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น เหมาะสำหรับการแช่แข็งอาหารทั้งสำเร็จรูป และ อาหารสำเร็จรูปแทบทุกชนิด

2.1.1.5 การใช้เครื่องทำความเย็น เครื่องทำความเย็นที่ใช้กันโดยทั่วไปโดย เฉพาะตามบ้านเรือน คือ ตู้เย็น ปัจจุบันตู้เย็นมีช่องทำความเย็นแยกส่วนกัน บางชนิดมี 2 ช่อง คือ ช่องเก็บอาหารทั่วไป อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส กับช่องแช่แข็ง อุณหภูมิประมาณ -10 องศาเซลเซียส ตู้เย็นบางชนิดแยกเป็นหลายส่วน โดยมีช่องเก็บอาหารพิเศษบางประเภทเพิ่มขึ้น เช่น ที่เก็บผักสด

2.1.1.6 การใช้เครื่องทำความเย็นในระบบอุตสาหกรรม การทำอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งจำเป็นต้องใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง จึง จะทำให้คุณภาพของอาหารแช่แข็งใกล้เคียงกับ คุณภาพเดิมก่อนการแช่แข็งมากที่สุด ขณะนี้อาหารแช่แข็งที่ทำเป็นอุตสาหกรรมและส่งขายต่างประเทศในแต่ละปีซึ่งนำเงินตราต่างประเทศ เข้าเป็นจำนวนมาก คือ กุ้งเยือกแข็ง และไก่สดเยือกแข็ง

2.1.2 การตรวจสอบความสด

กุ้งหลังการตายถือว่ามีความสดอยู่ในระดับสูงสุดและลดลงเรื่อย ๆ ระหว่างการเก็บรักษาจนกระทั่งเน่าเสียในที่สุด (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) การตรวจสอบระดับความสดและการเน่าเสียของกุ้งสามารถทำได้หลายวิธี

2.1.2.1 การตรวจสอบทางเคมี

หลังการตายของสัตว์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยปราศจากการควบคุม (สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล, 2535) จึงสามารถใช้การวิเคราะห์ทางเคมีช่วยในการตรวจสอบระดับความสดของกุ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการตรวจสอบทางเคมี เช่น การตรวจหาระดับของค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB) Chen และคณะ (2533) พบว่าค่าที่ระเหยได้ทั้งหมดมีอยู่แล้วในกุ้ง (*P. monodon*) แม้ขณะยังมีชีวิตอยู่ โดยมีค่าประมาณ 3.50 มก/100 กรัม

การตรวจหาระดับของอินซูลินโมโนฟอสเฟต (IMP) Fatima และคณะ (2524) รายงานว่า กุ้งสด *Penaeus merguensis* มีระดับของอินซูลินโมโนฟอสเฟตประมาณ 5.7 ไมโครกรัม/กรัม และจะลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาและวิธีการเก็บรักษา

การวัดพีเอช (pH) สุณิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2535) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำ ระหว่างการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า กุ้งจากเกษตรกรมีอายุการเก็บในน้ำแข็งได้นาน 8 วัน โดยมีพีเอชเป็น 7.33 ขณะที่กุ้งจากพ่อค้าคนกลางมีอายุการเก็บได้น้อยกว่า 6 วัน โดยในวันที่ 4 นั้น กุ้งจากพ่อค้าคนกลาง มีพีเอชเป็น 7.42 กุ้งที่จับจากบ่อก่อนการเก็บเกี่ยวมีคุณภาพดีที่สุดทุกลักษณะที่ศึกษาโดย มีพีเอชเป็น 6.50–6.60 และเมื่อผ่านการแปรรูปเป็นกุ้งแช่เยือกแข็งมีพีเอชเป็น 6.80–7.10 เมื่อเก็บรักษากุ้งกุลาดำแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของพีเอช ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนการยอมรับของกุ้งลดลงตามอายุการเก็บ หลังจากเก็บกุ้งในน้ำแข็งเป็นเวลานานจะทำให้เกิดมีสีดำบริเวณหัว ท้องและหาง

Sung Jae Shin และคณะ (2541) ศึกษาการพัฒนา omithine biosensor เพื่อประยุกต์ใช้ในการหาความสดของกุ้ง omithine biosensor มีพื้นฐานมาจากการทำให้เอนไซม์หยุดการเคลื่อนที่ ภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ศึกษาได้คือ pH 8.2 อุณหภูมิ 32°C, อัตราการไหล 0.2 ml/min ปริมาตรตัวอย่าง 50 μ l และสารละลายบัฟเฟอร์ Tris-HCl 0.1 M และประมวลผลโดยวิธี high performance liquid chromatography (HPLC) ผลปรากฏว่า omithine biosensor ใช้หาความสดของกุ้งได้

R. Lakshmanan I และคณะ (2545) ศึกษาการอยู่รอดของแบคทีเรียในปลาหรือกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลานาน 14 วัน พบว่า อัตราการอยู่รอดของแบคทีเรียทั้งหมดในปลาเป็น 74.63% ในกุ้งเป็น 56.05%

ผ่องเพ็ญ รัตติกุล และคณะ (2530) ศึกษาการใช้รังสีกำจัด Salmonella/Shigella ในกุ้งดัมแช่แข็ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ โดยฉายรังสีในขณะที่กุ้งอยู่ในสภาพแช่แข็ง ที่ 0 1 2 และ 3 KGY. ด้วยโคบอลต์ 60 (Co-60) จากนั้นนำตัวอย่างฉายรังสีนั้นไปบรรจุใหม่ (repacked) ขนาด 1 ปอนด์ แล้วจึงนำไปเก็บในตู้เย็น ($8\pm 2^{\circ}\text{C}$) พบว่าที่ รังสี 3 KGY. จะสามารถยืดอายุความสดของกุ้งได้นานขึ้น 4-5 วัน

Sirintra Boonsumrej และคณะ (2550) ศึกษาการผลกระทบของการแช่แข็งและการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งแช่แข็งที่แช่แข็งโดยวิธี air-blast และ cryogenic freezing โดยทำการตรวจสอบหาค่า thiobarbituric acid (TBA) salt-soluble protein (SSP) %freezing loss (%FL) %thawing loss (%TL) and cutting force (CF) การหาค่า CF ทำได้โดยละลายกุ้งที่ 20°C ใช้เครื่องเอกซารนี้เป็นเอกซารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Texture Analyzer (TA.XT2) ใช้ knife blade 25 kg Load Cell Cross head speed 2 mm/s. ระยะทาง 25 mm. การแช่แข็งโดยใช้ air-blast ที่ความเร็วลม 6 m/s. ให้ %freezing loss น้อยกว่า กุ้งสด ให้ค่า CF เท่ากับกุ้งสด สำหรับการแช่แข็งโดยใช้ cryogenic freezing ที่ -70 °C มีค่า CF เท่ากับกุ้งสด ส่วนการละลายกุ้งโดยใช้ microwave ให้ค่า TBA มากกว่าการละลายโดยใช้ refrigerator temperature เล็กน้อย การละลายกุ้งไม่มีผลกระทบต่อค่า SSP และ CF ส่วนการเพิ่มรอบการแช่แข็ง-การละลายทำให้ค่า TBA และ CF เพิ่มขึ้น แต่ค่า SSP ลดลง ส่วนการละลายและวงจรการแช่แข็ง-การละลายมีผลกระทบต่อค่า %TL

2.1.2.2 การวัดสี

สีเป็นลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ สีของกุ้งจะเปลี่ยนไประหว่างการเก็บรักษา จึงสามารถใช้การวัดสีเพื่อตรวจสอบระดับความสดของกุ้งได้

M.C. Erickson และคณะ (2550) ศึกษาคุณภาพของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา มากกว่า 10 วัน โดยนำออกมาทดสอบในวันที่ 0 3 7 และ 10 วัน มาทำการวัดสี ลักษณะภายนอกที่ปรากฏ พบว่า สีของหางกุ้งจะเปลี่ยนไประหว่างการเก็บรักษา กุ้งที่เก็บรักษาในระยะเวลา 0-3 วัน คุณภาพของกุ้งยังคงยอมรับได้เหมือนกุ้งสด แต่เมื่อระยะเวลา 3-10 วันขึ้นไปแล้วคุณภาพจะลดลง

2.1.2.3 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การตรวจวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัสสามารถบอกถึงความรู้สึกเมื่อสัมผัสกับอาหารได้ จึงสามารถอธิบายระดับความสดของกุ้งได้ดี

S. Pornrat และคณะ (2550) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อกุ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน โดยนำกุ้งมาตัดหัว ปล่อยเปลือก วัดเนื้อสัมผัส โดยใช้ knife blade ตัด โดยใช้ 50 kg Load Cell และ cross head speed 1 mm/s. พบว่าแรงเฉือนมีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในกุ้งสดมีค่าแรงเฉือน 18.21 N/g. และเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน . 6 วัน , และ 14 วัน แรงเฉือนมีค่า 14.50 , 12.46 และ 10.79 N/g พบว่า 0-3 วัน กุ้งยังสดอยู่ 4-6 วันหลังแช่เย็นพบว่าเนื้อกุ้งนิ่ม และหลังจาก 6 วันไปแล้วพบว่ากุ้งนิ่มมาก

2.2 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร

เนื้อสัมผัสในเชิงของอาหารเป็นคุณสมบัติทางกายภาพเกี่ยวกับโครงสร้างทั้งภายในและภายนอกของอาหารที่สามารถรับรู้ได้ทางการสัมผัส การมองเห็นและการได้ยิน ซึ่งไม่สัมพันธ์กับการรับรู้ทางรสและกลิ่น (Maleolm C. Boume, 2545) เมื่ออาหารยังไม่สัมผัสปากเราสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสได้จากการที่อาหารสัมผัสกับซอ้น ส้อม มีดหรือนิ้วมือ เมื่ออาหารเข้าไปอยู่ในปากแล้วจะสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสได้โดยใช้ฟันขบอาหาร การถูกันระหว่างลิ้นและเพดาน การคลุกเคล้าผสมกับน้ำลาย การบดระหว่างฟันและการเคลื่อนคลิ้น มีการพัฒนาและสร้างเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองการทำงานของปากมนุษย์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์แตก และวัดเนื้อสัมผัสออกมาในรูปของแรงในหน่วยมาตรฐาน (กิตติชัย บรรจง, 2535)

2.2.1 วิธีการวัดทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation methods)

เป็นวิธีวัดค่าทางคุณภาพอาหาร โดยใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ ส่วนใหญ่ได้จากความรู้สึกทางปากหรือการกิน ซึ่งจะคงมีการฝึกฝนผู้ทดสอบชิมเพื่อให้ได้ผลที่เชื่อถือได้ ในการทดสอบชิมต้องมีการกำหนดสเกลมาตรฐานของลักษณะเนื้อสัมผัสแต่ละค่าให้เข้าใจตรงกัน (บริษัท จาพาร์ เท็คเซินเตอร์ จำกัด)

คำนิยามทาง Sensory Test

- Initial (ความรู้สึกเมื่อกัดอาหารครั้งแรก): แข็ง เปราะ
- Residual (ความรู้สึกหลังการเคี้ยว): เคลือบในปาก
- Fibrousness (ความรู้สึกเป็นสารเยื่อใยในอาหาร): ส่วนที่ไม่สามารถเคี้ยวบดได้และเหลือค้างอยู่จาการบดของฟัน
- Grittiness (ความรู้สึกเป็นกรวด ทราช): การมีชิ้นส่วนของแข็งเล็กอยู่ในอาหาร แต่เป็นเนื้ออาหารที่รับประทานได้
- Mealiness (ความรู้สึกเป็นแป้ง): ลักษณะของเนื้ออาหารยังไม่ได้ที่พอที่จะบริโภคน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกแป้ง เช่น ข้าวหุงสุก ๆ คิบ ๆ
- Stickiness (ความเหนอะ): ลักษณะของเนื้ออาหารที่เมื่อเคี้ยวจะเหนอะติดฟัน
- Oiliness (ความเลี่ยน): ลักษณะของเนื้ออาหารที่ที่น้ำมันมาก ทำให้เลี่ยนปากเมื่อเคี้ยวอาหารนั้น เช่น หมูกรอบซึ่งมีน้ำมันติดอยู่มาก

2.2.2 วิธีทางกายภาพหรือการใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ (Physical methods or Instrumental methods)

มีการพยายามออกแบบเครื่องมือเพื่อวัดค่าทางกายภาพที่ใกล้เคียงความรู้สึกของมนุษย์ให้มากที่สุด ทั้งความรู้สึกที่เกิดจากมือ และความรู้สึกสัมผัสที่เกิดจากปาก เช่นการเคี้ยวอาหาร ส่วนใหญ่เครื่องมือจะวัดค่าแรงดันที่เกิดจากการสัมผัส ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด (กิตติชัย บรรจง, 2535)

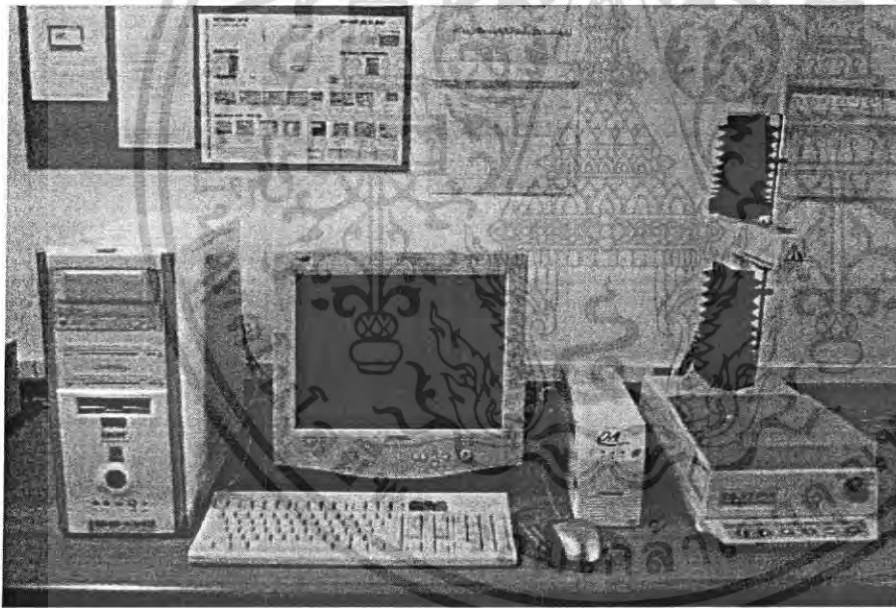
การวัดโดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสให้ได้ค่าที่เที่ยงตรงนั้นผู้ทดสอบต้องได้รับการฝึกฝนจนชำนาญซึ่งอาจใช้เวลานาน เนื่องจากแต่ละบุคคลมีความชอบส่วนตัวแตกต่างกันและข้อจำกัดเรื่องเวลาการทำงานของมนุษย์ที่อาจเมื่อยล้าจากการทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลานาน จึงไม่สามารถควบคุมผู้ทดสอบให้อยู่ในสภาวะควบคุมเดียวกันได้ (กิตติชัย บรรจง, 2535) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องมือวัดที่สามารถทำงานได้ต่อเนื่องเป็นเวลานานและมีความถูกต้องแม่นยำ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขควบคุม ปัญหาในการทดลองนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากความแตกต่างของตัวอย่างอาหารมากกว่าเกิดจากความไม่แม่นยำของเครื่องมือวัด สามารถให้ค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยมาตรฐาน สามารถนำมาวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการนำไปใช้งาน (<http://www.stablemicrosystems.com/why%20texture.htm>) การใช้เครื่องมือวัดจึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่า

2.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและการใช้งาน

2.3.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเครื่อง Texture Analyzer ของบริษัท Stable Micro System รุ่น TA.XT plus คือ หัววัดหรือ Probe จะเชื่อมต่ออยู่กับ Load cell เมื่อ Probe ให้แรงกระทำกับอาหารและอาหารจะมีแรงปฏิกิริยามากกระทำต่อ Probe ทำให้ Load cell ได้รับแรงจึงเปลี่ยนค่าแรงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (http://en.wikipedia.org/wiki/Load_cell) และแปลค่าออกมาเขียนเป็นกราฟระหว่างแรงและเวลา (F-T) หรือกราฟระหว่างแรงและระยะทาง (F-D) จึงสามารถอ่านค่าและนำมาวิเคราะห์เป็นค่าต่าง ๆ ได้ เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

2.3.2 วิธีการวัดแบบต่าง ๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

2.3.2.1 การทดสอบแบบ TPA (Texture Profile Analysis)

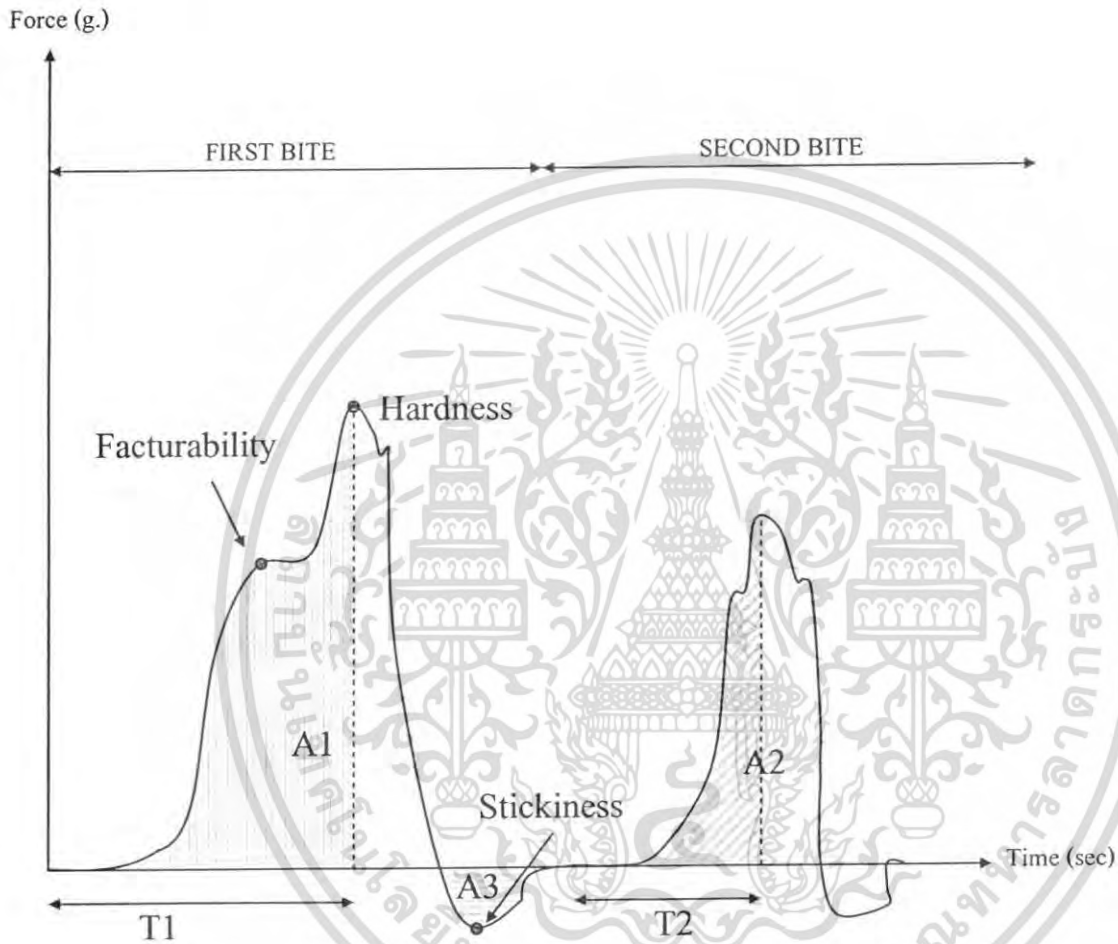
การทดสอบ โดยใช้หัววัดซึ่งเป็นตัวแทนของฟันส่วนต่าง ๆ กดลงบนอาหารสองครั้ง เพื่อจำลองการเคี้ยวของมนุษย์ (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี จำกัด)

ตัวอย่างอาหารที่ใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- custard puddings
- whipped toppings
- เนื้อสัตว์

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA (Malcolm C. Bourne, 2545)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

- Hardness, Firmness: ความแข็งของอาหาร หาได้จากแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก
- Adhesiveness: งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง หาได้จากพื้นที่

ได้กราฟที่มีค่าเป็นลบ (A3)

- Stickiness: แรงที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Springiness, Elasticity: ความสูงของอาหารที่กลับคืนระหว่างสิ้นสุดการกดครั้งแรกกับการเริ่มการกดครั้งที่สอง หาได้จาก อัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการกดให้ถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองกับเวลาที่ใช้กดให้ถึงแรงสูงสุดครั้งแรก ($T2/T1$)

- Cohesiveness: แรงยึดเกาะกันภายในเนื้อของอาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรกกับพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่สอง ($A2/A1$)

- Gumminess: พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น semi-solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ หาได้จาก $Hardness * Cohesiveness$

- Chewiness: พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น solid ให้อยู่ในสภาพที่กลืนได้ หาได้จาก $Gumminess * Springiness = Hardness * Cohesiveness * Springiness$

- Fracturability, Brittleness: แรงที่ต้องการในการทำให้อาหารแตก

Virginia Giannou และ Constantina Tzia (2550) ศึกษาเนื้อสัมผัสของแป้งขนมปังในระหว่างการแช่แข็งก่อนการนำไปอบ ทำการทดลองกด 2 ครั้ง โดยใช้ SMS P/45C probe และตัดโดยใช้ TA-45 Craft Knife พบว่าตัวอย่างมีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของการเก็บรักษาใน 2 เดือนแรก และมีสภาพคงที่หลังจาก 2-3 เดือนและคงที่ตลอดไปจนถึง 9 เดือน นอกจากนี้สามารถนำพฤติกรรมทางเนื้อสัมผัสของแป้งขนมปังมาทำนายเนื้อสัมผัสของขนมปังได้อีกด้วย

H.C. Reinbach และคณะ (2550) ศึกษาเนื้อสัมผัสใน pork patties ที่มีส่วนประกอบของแป้งในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0.5% และ 5% โดยใช้ Probe ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของ pork patties ทดลองโดยทำการกด 2 ครั้ง ครั้งแรกให้ค่า Fracture และครั้งที่ 2 ให้ค่า Hardness พบว่า pork patties ที่มีแป้ง 0.5% มีค่า Fracture มากกว่า pork patties ที่มีแป้ง 5% และค่า Hardness แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

I. CARBONELL และคณะ(2546) ศึกษาเนื้อสัมผัสของ Gilthead Sea Bream ซึ่งถูกเก็บใน polystyrene boxes บรรจุน้ำแข็งน้ำแข็งอย่างน้อย 6 ซม. หลังจากถูกจับมา วัดเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA ใช้ cylindrical probe 5 mm. compression/penetration

J.L. WILES และ B.W. GREEN (2547) ศึกษาเนื้อสัมผัสของ Minced Catfish Product ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. ยาว 15 mm. โดยวิธี TPA ระยะทาง 35%ของความสูง test speed 5 mm/s. Hardness ลดลงจาก 19.1 N. เป็น 11.9 N. , Chewiness ลดลงจาก 14.2 N. เป็น 8.83 N. , shear energy ลดลงจาก 0.82 J. เป็น 0.51 J

2.3.2.2 การทดสอบแบบการเจาะ (Puncture and Penetration Test)

เป็นการที่หัววัดเจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร (Malcolm C. Boume, 2545) ในการทดสอบจะเกิดทั้งแรงกดและแรงเฉือน ตัวอย่างที่ทดสอบต้องมีพื้นที่ผิวมากกว่า contact area ของหัววัด (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ จำกัด)

หัววัดที่ใช้

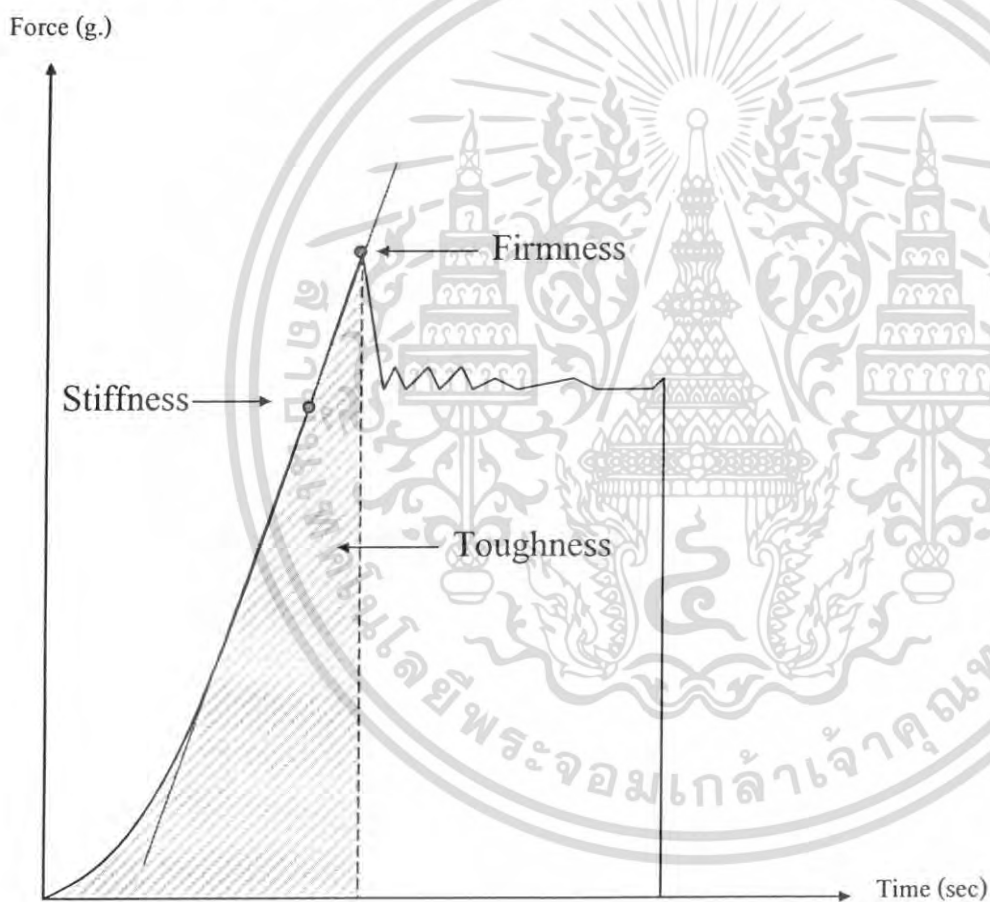
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- cylinder probes (เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 มิลลิเมตร)
- needle probes
- conical probes

ตัวอย่างของอาหารที่มักใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

- Biscuit dough consistency
- Cheese maturity/hardness
- Gel rupture strength
- Fruit

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะ แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะ กับลูกแพร์ (บริษัทอาหาร เท็คเซินเตอร์ จำกัด)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

- Firmness: แรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากจุด Peak force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Stiffness: ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด

- Toughness: งานที่ใช้เจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force

Dilip Jain และคณะ (2550) ศึกษาการประเมินผลค่าตัวแปรลักษณะเนื้อสัมผัสของ Rohu fish ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง ทำการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ใช้วิธีการเจาะโดยใช้หัว flat-ended cylindrical probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. เริ่มต้นมีค่า Hardness มีค่าระหว่าง 86.911 ถึง 95.656 N ค่า stiffness มีค่าอยู่ในช่วง 3.1474 ถึง 4.6340 Nmm-1. และค่า toughness มีค่าอยู่ในช่วง 588.9 ถึง 713.2 Nmm. หลังจากเก็บเป็นเวลานาน 5 วัน ค่า Hardness ลดลงเหลือ 48.714 ถึง 65.920 N ค่า stiffness มีค่าอยู่ในช่วง 2.0030 ถึง 2.8111 Nmm-1. และค่า toughness มีค่าอยู่ในช่วง 415.0 ถึง 526.3 Nmm.

2.3.2.3 การทดสอบแบบการตัด (Cutting and Shearing Test)

การทดสอบวัดแรงที่ใช้ในการตัดหรือแรงเฉือน ใช้หัววัดที่เป็นใบมีดหรือเส้นลวดตัดผ่านเข้าไปในเนื้ออาหาร (Malcolm C. Bourne, 2545)

วัดได้หลายแบบ

- Knife/Guillotine Blade ใช้กับ ผลิตภัณฑ์เนื้อ เนยแข็งและผัก

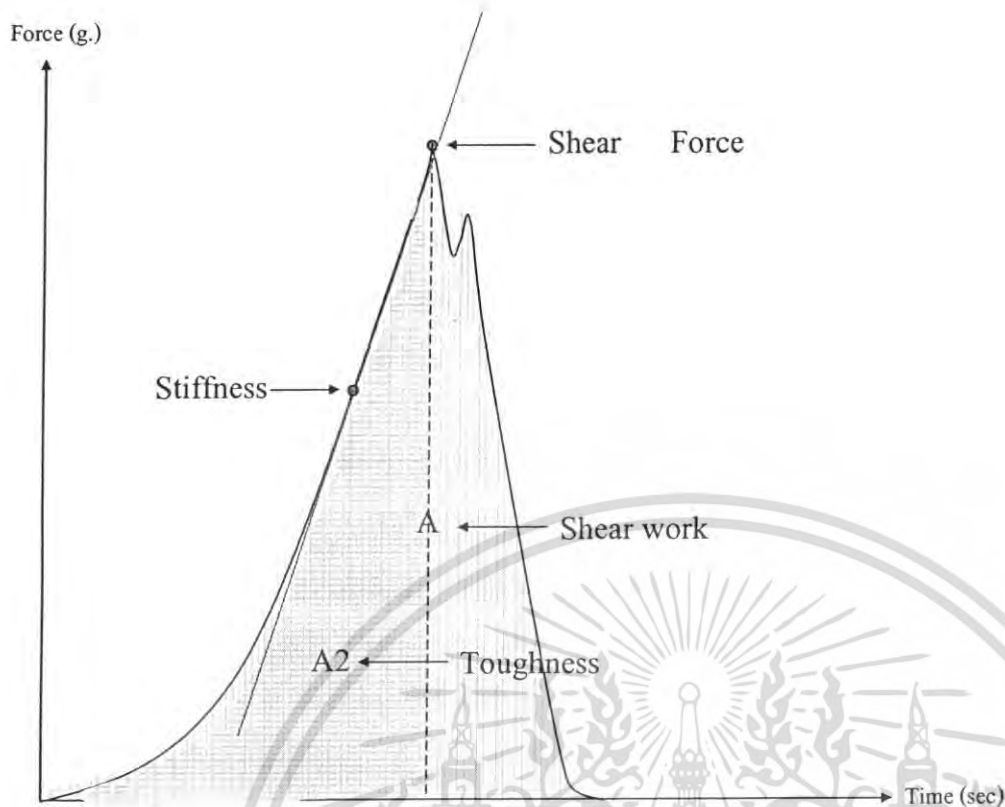
- Warner-Bratzler Blabd ใช้ใบมีดตรงกลางแทนแบบเวียน ในระหว่างการทดสอบจะให้ cutting action มากกว่า

- Volodkevich Bite Jaws เป็นการเลียนแบบฟันเวลากัด Force เป็นตัวบอก toughness ในผลิตภัณฑ์เนื้อ หรือ Fibrousness ในผัก

- Wire Cutter คัดด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก Mean force เป็นตัวบอก Firmness

- Kramer Shear Cell ใบมีดเป็นชุด เหมาะสำหรับอาหารชนิดที่ภายในเนื้ออาหารมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น cereal bar, Fruit, Peas, Beans ค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนบอกค่า Hardness

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบการตัดกับข้าวโพดหวาน (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี จำกัด)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

- Shear force: แรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลงไปเนื้ออาหาร หาได้จาก Peak force
- Shear work: งานทั้งหมดที่ใช้ในการตัดอาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด (A)
- Stiffness: ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มี

แนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด

- Toughness: งานที่ใช้เจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (A2)

S. Pomrat และคณะ (2550) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อกึ่งระหว่าง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน โดยนำกุ้งมาตัดหัว ปลอกเปลือก วัตถุประสงค์ โดยใช้ knife blade ตัดที่กล้ามเนื้อเส้นแรก โดยใช้ 50 kg Load Cell และ cross head speed 1 mm/s. พบว่าแรงเฉือนมีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในกุ้งสดมีค่าแรงเฉือน 18.21 N/g. และเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน , 6 วัน , และ 14 วัน แรงเฉือนมีค่า 14.50 , 12.46 และ 10.79 N/g พบว่า 0-3 วัน กุ้งยังสดอยู่ 4-6 วันหลังแช่เย็นพบว่าเนื้อกุ้งนิ่ม และหลังจาก 6 วันไปแล้วพบว่ากุ้งนิ่มมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 การทดสอบแบบการค้ำ (Fracture and Bending Test)

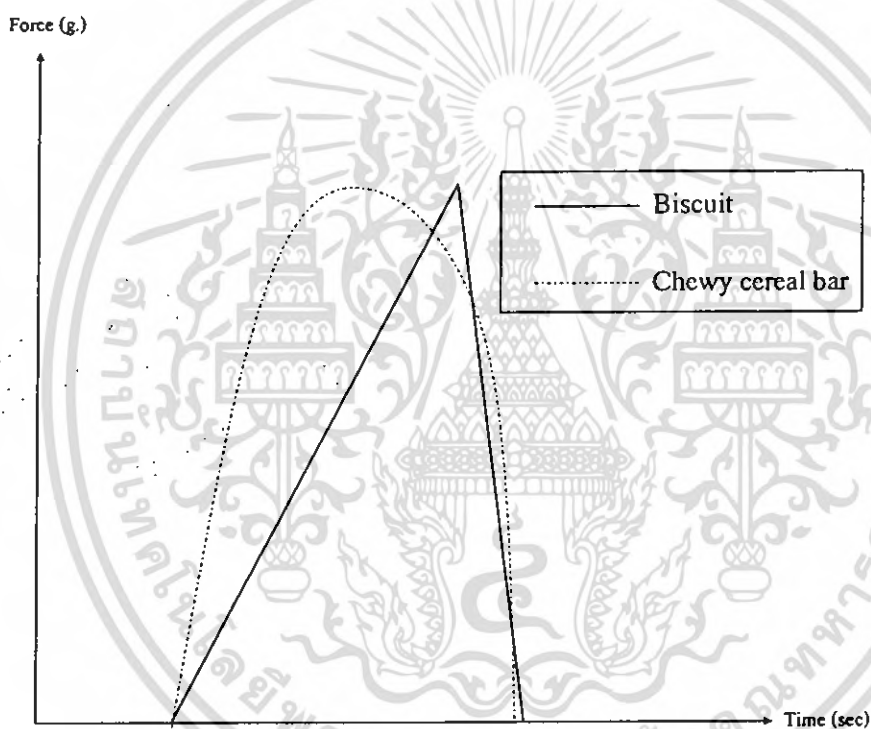
การทดสอบวัดแรงที่ทำให้เกิดการหัก วัดความโค้งงอของอาหาร โดยวางอาหารบนฐานรองแล้วให้หัววัดเคลื่อนที่ลงระหว่างฐานรอง จนกว่าอาหารจะเกิดการหัก (Malcolm C. Boume, 2545)

วัดได้หลายแบบ

- Three Point Bend Rig ใช้วัด Fracture และ break strength ของ บิสกิต ช็อคโกแลต Bread sticks และวัด Freshness ของผัก

- Crisp Fracture Support Rig ใช้วัด Fracture (ค่า Peak force) Crisps, Snack food

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบค้ำ แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการค้ำ กับ Biscuit และ Chewy cereal bar (บริษัท อาหาร เท็คเซินเตอร์ จำกัด)

2.3.2.4 การทดสอบแบบ Extrusion (Extrusion (Forward) Test)

ตัวอย่างถูกแรงดันผ่านช่องเปิดด้านล่างของถ้วย หัววัดใช้แรงดันผ่านตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูก Extrude รอบ ๆ หัววัด (บริษัท อาหาร เท็คเซินเตอร์ จำกัด)

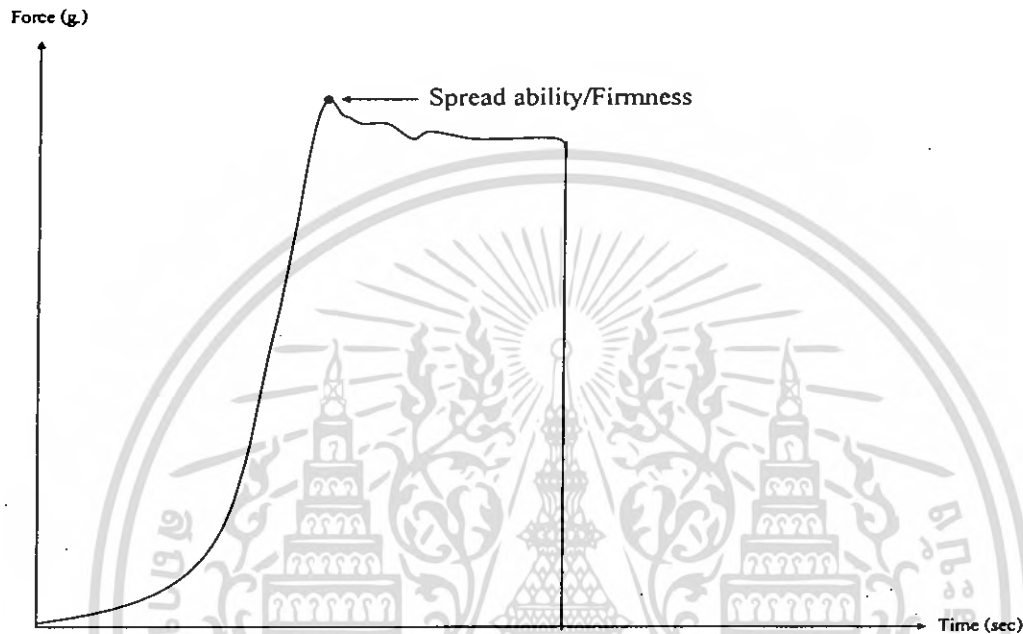
ตัวอย่างของอาหารที่มักใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

- Viscous liquids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gels
- Pastes
- Processed fruit and vegetables
- Creams

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ Extrusion (Forward) Test แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟความต้านทานของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Extrusion กับเนยเทียม (บริษัท อาหาร เทคเจเนเตอร์ จำกัด)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

- Mean Extrusion Force: Spreadability/Firmness เป็นค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดจนกระทั่งอาหารถูกคั้นผ่านลงไป หาได้จาก Peak force

2.3.2.3 การทดสอบแบบ Compress- Extrusion (Crompression-Extrusion (Backward

Test)

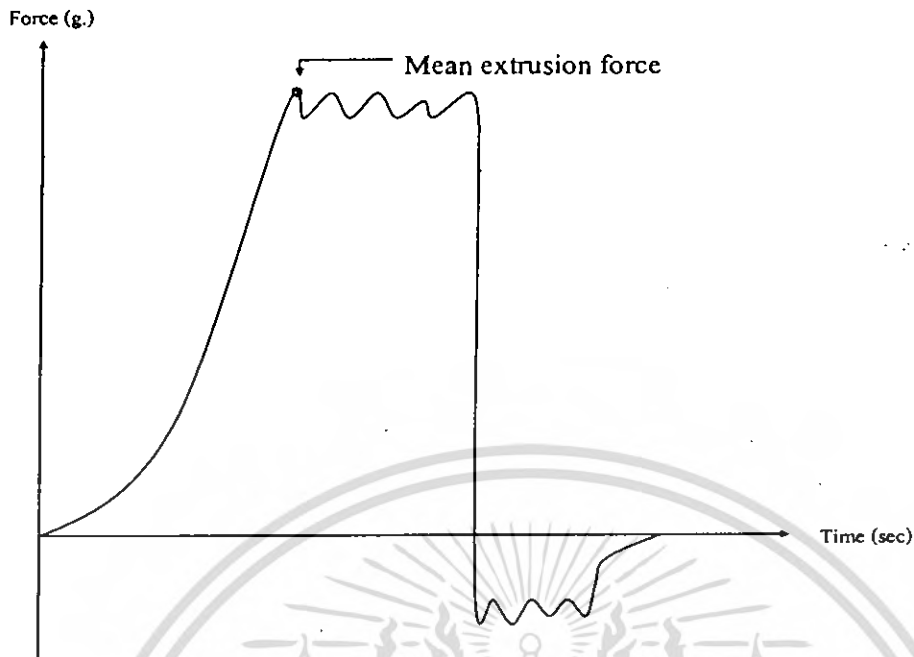
การทดสอบวัดแรงที่ใช้กดจนอาหารไหลย้อนทิศออกมา (Malcolm C. Boume, 2545)

ตัวอย่างของอาหารที่มักใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

- Viscous liquids and sauces
- Gels
- Pastes
- Processed fruit and vegetables

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ Compression-Extrusion แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Compression-Extrusion กับ Low-fat yoghurt (บริษัท จาพาร์ เท็คเซ็นเตอร์ จำกัด)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

Mean Extrusion Force: Consistencies เป็นค่าของแรงสูงสุดที่ทำให้อาหารไหลย้อนทิศขึ้น ด้านบน หาได้จาก Peak force

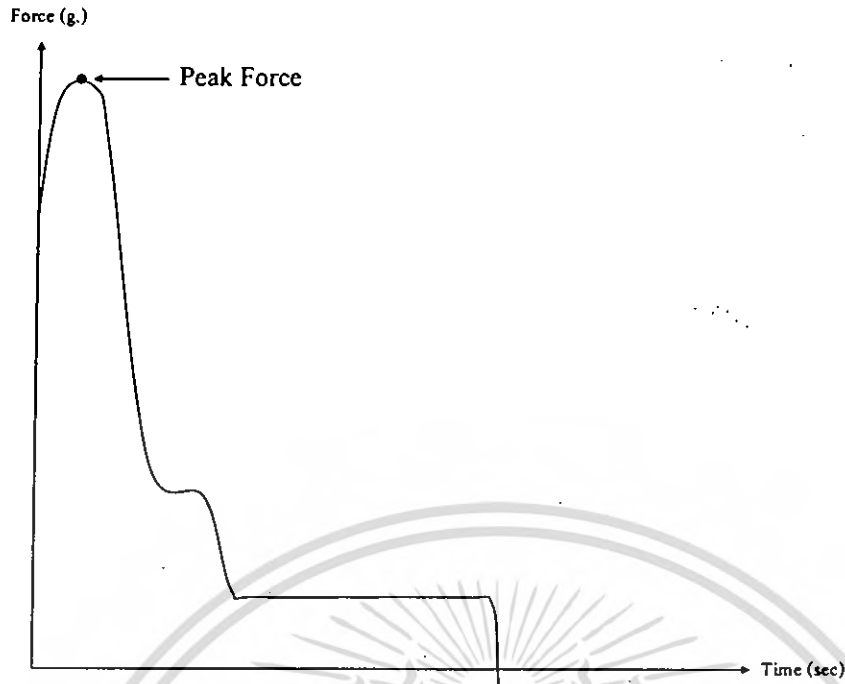
2.3.2.4 การทดสอบแบบการดึง (Tensile Test)

การทดสอบวัดแรงยืดเคาะ วัดความเหนียวว่ามีการยืดเคาะได้ดีเพียงใด โดยการออกแรงกระทำกับอาหารในทิศทางตรงข้ามกัน จนกระทั่งเกิดการ break ของอาหาร (บริษัท จาพาร์ เท็คเซ็นเตอร์ จำกัด)

ตัวอย่างของอาหารที่มักใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

Pizza

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการดึง แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะกราฟความดันขั้นของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการดึง กับพิซซ่า (บริษัท อาหาร เทคโนโลยี จำกัด)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

Peak force: ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้อาหารเกิดการ break

2.3.2.5 การทดสอบแบบ Relaxation (Relaxation Test)

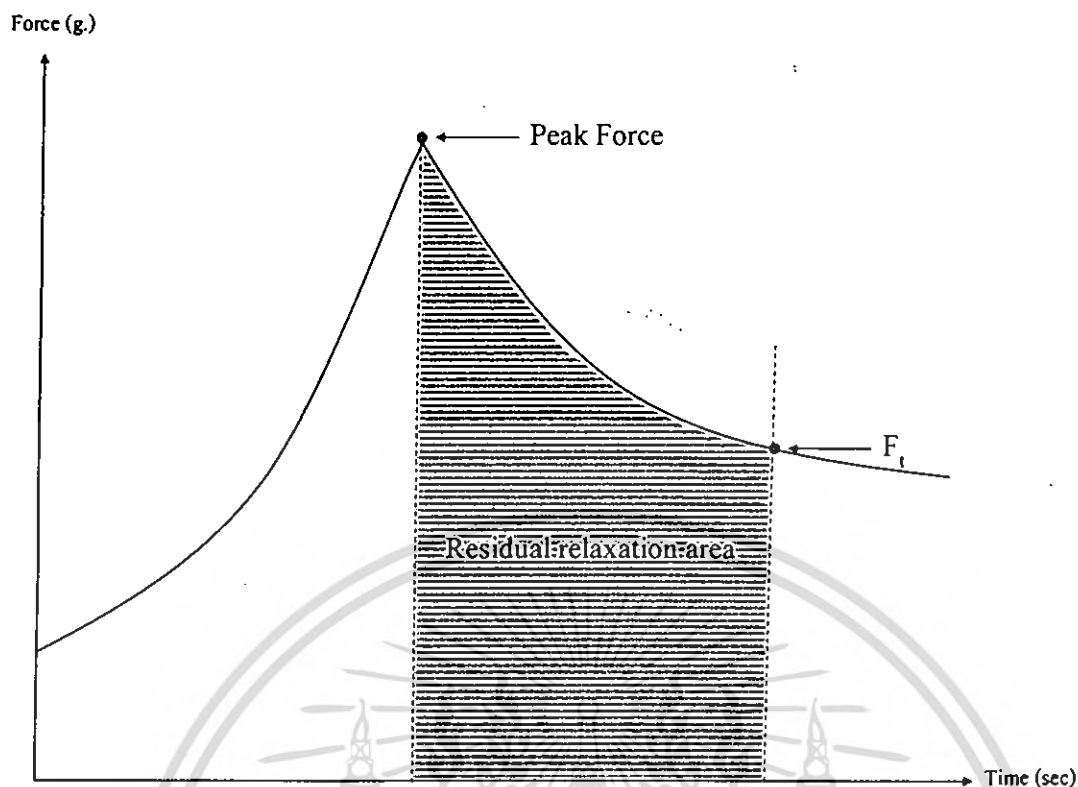
เครื่องจะกดหัววัดลงบนตัวอย่าง เมื่อหัววัดอยู่ครบเวลาที่กำหนดแล้ว หัววัดจะเคลื่อนที่ไปยังจุดที่อ่านแรงได้ใกล้ศูนย์ที่สุด คือจุดที่ผิวของตัวอย่างหลังกดจนครบเวลาที่กำหนด หากตัวอย่างเป็นผลิตภัณฑ์ที่คืนตัวได้ดี ระยะทางที่หัววัดย้อนกลับที่แรงใกล้ศูนย์นี้จะเป็นศูนย์ (บริษัท อาหาร เทคโนโลยี จำกัด)

ตัวอย่างของอาหารที่มักใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

- เนื้อสัตว์
- jelly

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation แสดงในรูปที่ 2.9

83044



รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

- Peak force: แรงสูงสุดที่ใช้ในการกด (F_{max})
- F_t : แรงต้านสุดท้ายก่อนที่หัววัดจะเคลื่อนที่ขึ้น
- Residual relaxation area: ค่าความสามารถต้านแรงที่มากระทำ หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ

จาก F_{max} ถึง F_t

- Modulus of elasticity: ค่าความยืดหยุ่นของอาหาร แสดงความสามารถในการคืนตัวเมื่อได้รับแรงกระทำ หาได้จาก F_t / F_{max}

Maria Dolores Alvarez และ Wenceslao Canet (2549) ศึกษาวิธีที่เหมาะสมที่ใช้เปรียบเทียบลักษณะทางเนื้อสัมผัสของ potato tissue ที่ทำให้นิ่มโดยใช้ความร้อนและไอน้ำ เลือกใช้วิธี Compression shear และ Tension Test ซึ่ง Stress-Relaxation Test ใช้หัววัดทรงกระบอก กดลงไป 20 % ของความสูง Texture Profile Analysis (TPA) ใช้หัววัดทรงกระบอก กดลงบนตัวอย่าง 2 ครั้ง Shear Test ใช้หัววัดแบบ shear cell และ Tension Test ใช้ long bone shape หนา 5 มิลลิเมตร พบว่าค่า Maximum Shear Force เป็นค่าที่ดีที่สุดในการแสดงแบบจำลองสมการอันดับหนึ่งของการทำ potato tissue ให้นิ่มโดยใช้ไอน้ำ และ Texture Profile Analysis (TPA) เป็นวิธีที่เหมาะสมในการแสดงแบบจำลองสมการอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

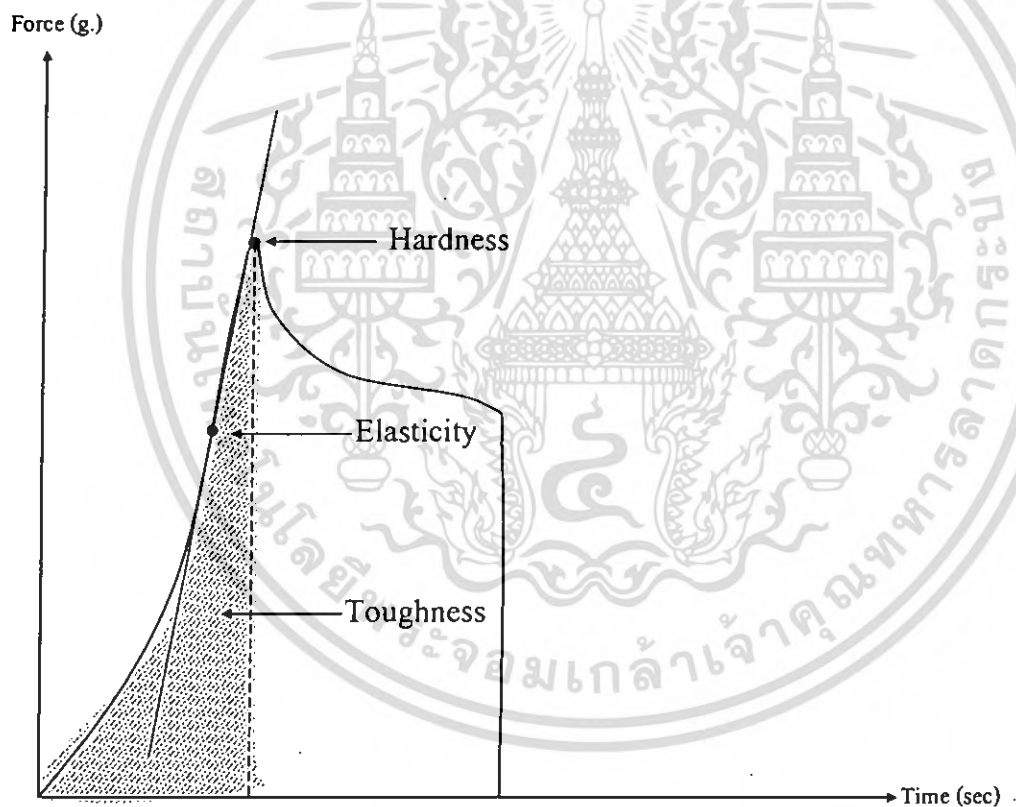
2.3.2.6 การทดสอบแบบการกด (Compression Test)

การทดสอบวัดแรงกด โดยให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างอาหาร เป็นผลทำให้อาหารมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป (Malcolm C. Bourne, 2545) หัววัดที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับพื้นที่ผิวของตัวอย่างอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้หัววัดที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 มิลลิเมตร (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี จำกัด)

ตัวอย่างของอาหารที่มักใช้วิธีนี้ในการทดสอบ

- Breakfast cereal
- Tablet
- ชูริมิ
- เค้ก, ขนมปัง
- ผลไม้

ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการกด แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการกด กับ Robu fish (Dillip Jala และคณะ 2550)

ค่าที่ได้จากการทดสอบ

- Hardness: แรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดลงไปเนื้ออาหาร หาได้จาก Peak force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Elasticity: ความยืดหยุ่นของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด

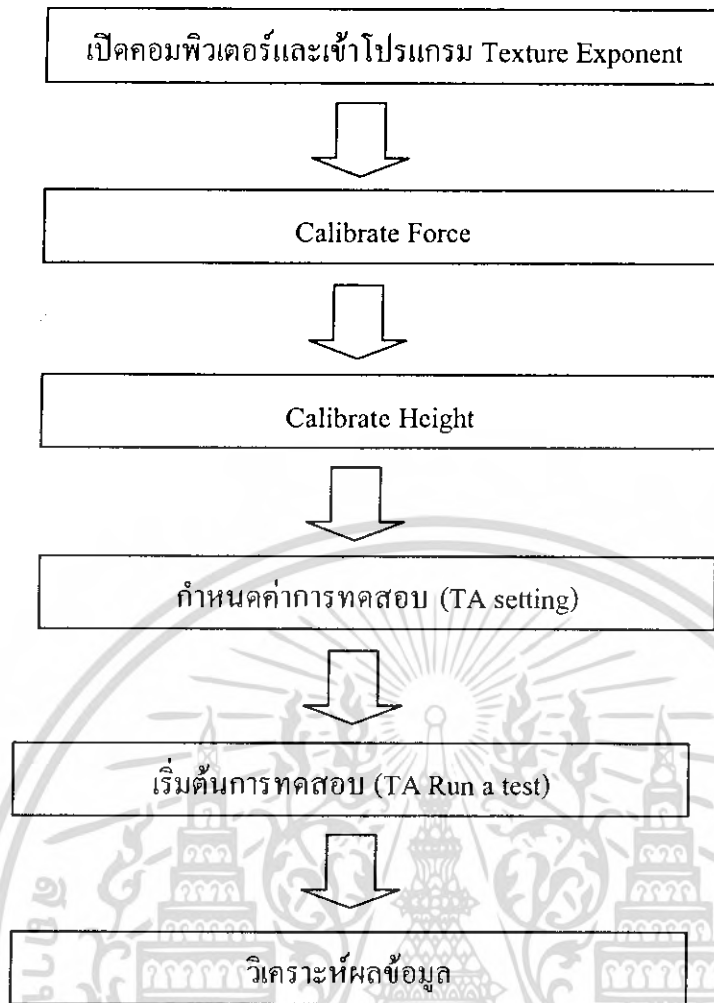
- Toughness: งานที่ใช้กดทับลงบนชิ้นอาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force

R. Ravi. B.S. Roopa และ Bhattacharya (2550) ศึกษาการวัดเนื้อสัมผัสโดยวิธี Compression กับอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ Fried Chickpea Batter Drops, Corn balls และ Puffed Rice ที่ความเร็วต่าง ๆ กัน 4 ค่า ได้แก่ 0.01, 0.1, 1.0 และ 10.0 mm/s. เก็บค่า maximum shear force, fracture strain, firmness และ จำนวน major และ minor peak ระหว่างการกด พบว่าใช้ความเร็วต่ำในการกดเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดสอบ crisp snack foods

Pritam Mazumder (2550) และคณะ ทำการศึกษาเนื้อสัมผัสของ snack food เล็ก Corn balls เป็นตัวแทน ทำการกดตัวอย่าง พบว่าดัชนีที่สามารถตัดสินเนื้อสัมผัสของ snack ได้ คือ Firmness, Young's modulus และจำนวน peaks

2.3.3 ขั้นตอนการใช้เครื่อง

การใช้เครื่อง Texture Analyzer ของบริษัท Stable Micro System รุ่น TA.XT plus มีขั้นตอนการใช้ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แผนผังขั้นตอนการใช้เครื่อง Texture Analyzer (บริษัท จาฟาร์ เทคโนโลยี จำกัด)

ข้อสังเกต

1. การ Calibrate Force ควรทำเมื่อ

- เมื่อมีการเปลี่ยนขนาด Load cell
- เมื่อมีการเคลื่อนย้ายเครื่อง
- เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของหัววัด
- เมื่อเครื่องเกิดการ Over load
- เมื่อเครื่องถูกใช้งานโดยผู้ใช้หลายคน และไม่แน่ใจว่า Calibrate ไปแล้วหรือยัง
- เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดให้ Calibrate

2. การ Calibrate Height ควรทำเมื่อ

- ต้องการวัดค่าเป็น % Strain
- ต้องการบันทึกค่าความสูงของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องการให้หัววัดอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกันเมื่อเริ่มการทดลองแต่ละครั้ง
- ควร Calibrate Height ใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนหัววัด

2.3.4 ข้อควรระวังในการใช้เครื่อง Texture Analyzer

2.3.4.1 เครื่อง Texture Analyzer เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บได้หากใช้ไม่ถูกวิธี ดังนั้นจึงควรปฏิบัติตามคำแนะนำต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด

2.3.4.2 ควรอ่านคู่มือการใช้เครื่อง Texture Analyzer ให้เข้าใจก่อนการติดตั้งหรือใช้งานเครื่อง สายที่ต่อเครื่อง Texture Analyzer เข้ากับปลั๊กไฟ ควรเป็นชนิดที่มีสายดินต่อ เพื่อความปลอดภัยของทั้งผู้ใช้งานและตัวเครื่อง

2.3.4.3 ไม่ความลดจรรยาบรรณไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม (หากเครื่องมีปัญหาควรติดต่อตัวแทนจำหน่าย)

2.3.4.4 ในการทดลองบางประเภทหัววัดจะเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยไม่มีสัญญาณเตือนล่วงหน้า ดังนั้นอย่าให้เสื้อผ้าหรือเครื่องประดับอยู่ใกล้ส่วนของเครื่องที่กำลังเคลื่อนที่

2.3.4.5 ใช้ความระมัดระวังอย่างสูงในการทดสอบที่กำหนดระยะทาง โดยเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบทั้งภาชนะบรรจุ เนื่องจากแรงที่ใช้ทดสอบอาจทำให้ภาชนะแตกหรือระเบิดได้

2.3.4.6 ควรปิดสวิทช์และถอดสายไฟออกก่อนทุกครั้งหากต้องการเคลื่อนย้ายเครื่อง

2.3.4.7 ก่อนการทดลองต้องมีการ Calibrate ทุกครั้ง

2.3.5 การบำรุงรักษา

2.3.5.1 ก่อนการยกหรือเคลื่อนย้ายเครื่อง Texture Analyzer ควรปิดสวิทช์และถอดสายไฟออกก่อน และให้ยกเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้มือซ้ายจับที่ด้านหน้าของเครื่อง มือขวาจับที่ Stop bar จากนั้นยกเครื่องขึ้น โดยให้นำหนักส่วนใหญ่อยู่บนซ้ายมือ และมือขวาเพียงแต่ประคองไว้

2.3.5.2 ในการใช้งานหัววัด ให้ต่อหัววัดเข้ากับคานใต้ของแขนเครื่อง Texture Analyzer โดยต่อเข้าที่ช่องที่สอง ซึ่งหากหัววัดต้องใช้คู่กับ Probe Adapter ก่อน และส่วนฐานที่ใช้รองรับหัววัด ให้ต่อเข้ากับฐานเครื่อง (บริษัท จาฟาร์ เทคโนโลยี จำกัด)

2.3.6 ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่อง

2.3.6.1 ข้อดี

- เครื่องสามารถวัดและประมวลผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากก่อนการวัดเนื้อสัมผัสมีการ Calibrate ก่อนทุกครั้ง

- เครื่องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ภายใต้สภาวะเงื่อนไขควบคุม

- เครื่องคอมพิวเตอร์มีโปรแกรมที่ประมวลผลเป็นค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขได้ จึงง่ายต่อการนำไปใช้งาน

- ให้ค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขในหน่วยมาตรฐาน

- ผู้ใช้เครื่องสามารถศึกษาจากข้อมูลต่าง ๆ จากคู่มือการใช้และทำการวัดตามคู่มือได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประยุกต์ใช้กับอาหาร ได้หลายชนิด
- ใช้จำนวนคนน้อยในการวัด

2.3.6.2 ข้อจำกัด

- เครื่องมีราคาแพง
- ผู้ใช้เครื่องต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ การใช้เครื่อง Texture Analyzer และการเลือกใช้หัววัดให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง
- ผู้ใช้เครื่องต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสเพื่อใช้ในการแปรผลค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัส
- ผู้ใช้เครื่องต้องทราบความหมายของค่าเนื้อสัมผัสต่าง ๆ จึงจะสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และนำไปใช้ได้ถูกต้อง
- เครื่อง Texture Analyzer ทำการเคลื่อนย้ายยาก ต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญในการเคลื่อนย้าย จึงต้องทำการวัดเฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น (บริษัท จาพาร์ เทคโนโลยี จำกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-Learning)

3.1 E- Learning

3.1.1 ความหมายของ E-Learning

E-Learning หรือ Electronic Learning หมายถึงการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือเรียนรู้ผ่านสื่อคอมพิวเตอร์มา ผ่านสัญญาณดาวเทียม แลน อินเทอร์เน็ต หรือสัญญาณ โทรศัพท์ก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักจะหมายถึงการเรียนแบบออนไลน์ (ที่นี้ e-Learning , 2545)

3.1.2 ระบบที่ใช้ในการทำ E-Learning ในปัจจุบัน

ปัจจุบันระบบที่ใช้ทำ E-Learning เกิดขึ้นมามากมาย อาทิเช่น CMS, LMS, Weblog, RSS เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบ LMS หรือ Learning Management System โดย LMS เป็นระบบที่ใช้ในการบริหารและสร้างบทเรียนแบบสำเร็จรูป(E-Learning) ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเป็นก็สามารถสร้างบทเรียนได้ ซึ่งปัจจุบันนี้ระบบ LMS มีให้เลือกใช้งานหลายตัว อาทิ Moodle, ATutor, Claroline เป็นต้น ซึ่งในการเรียนการสอนเรื่อง Texture Analyzer นั้น ได้เลือกระบบ ATutor เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่าย

3.1.3 E-learning ในประเทศไทย

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการนำ E-Learning มาใช้ในหลายรูปแบบแล้วซึ่งมี soft-ware ที่ทำโดยฝีมือคนไทยเองด้วยคือ Education Sphere เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับการยอมรับจากมาตรฐานสากล (เปิดโลก e-Learning, 2545)

3.1.4 ข้อดีและข้อเสียของการเรียนผ่านเว็บ

ข้อดี

1. ใช้อำนวยให้กับการติดต่อสื่อสารที่รวดเร็วไม่จำกัดเวลาและสถานที่รวมทั้งบุคคล
2. เวลาของผู้เรียนและผู้สอนไม่จำเป็นต้องเป็นเวลาเดียวกัน
3. ผู้เรียนและผู้สอนไม่จำเป็นต้องมาพบกัน
4. ตอบสนองความต้องการของผู้เรียน และผู้สอนที่ไม่พร้อมด้านเวลาและระยะทางในการเรียนได้เป็นอย่างดี
5. ผู้เรียนที่ไม่มั่นใจตัวเองในการถามหรือกลัวการตอบ ให้มีความกล้ามากกว่าเดิมเนื่องจากไม่ต้องพบหน้ากันจึงจำเป็นต้องอาย ทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถรับรู้ ความรู้สึก ปฏิกริยาที่แท้จริงของผู้เรียนและผู้สอน

2. สามารถสื่อความรู้สึก อารมณ์ในการเรียนรู้ได้อย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผู้เรียนและผู้สอนต้องมีความพร้อมในด้านคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต
4. ไม่เหมาะกับผู้เรียนที่ไม่มีความรับผิดชอบ(ผู้ที่ไม่สามารถศึกษาด้วยตนเองได้(การเรียนรู้แบบออนไลน์. 2548)

3.2 วิธีการใช้งาน

1 เข้าไปที่ <http://lcms.kmitl.ac.th/login.php> ซึ่งจะขึ้นมาหน้าจอนี้

รูปที่ 3.1 หน้าจอ log in

(สามารถเปลี่ยน เป็นเมนูภาษาไทยได้โดยการ คลิกที่ Thai บริเวณด้านล่างของ Register)

2. จากนั้นทำการสมัคร โดยคลิกไปที่ Register ซึ่งจะขึ้นหน้าจอด้านล่าง จากนั้น ทำการกรอกข้อมูล ให้ครบถ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Register

Required Information

* Login Name

 • May contain only letters, numbers, underscores, hyphens or periods.
 • 20 character maximum

* Password

 • Use a combination of letters, numbers and symbols
 • 8 characters minimum, 15 characters maximum

* Password Again

* Email Address
 Keep email hidden from others.

* First Name

Second Name

* Last Name

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสมัคร

3. หลังจากสมัครเสร็จแล้ว ให้คลิกที่ “เลือกรายวิชา (Browse Courses)” เพื่อทำการเลือกรายวิชาที่ต้องการ
 เมื่อเลือกวิชาเสร็จแล้ว เข้ามาในรายวิชาจะขึ้นหน้าจอดังรูป

รูปที่ 3.3 หน้าจอหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งบทเรียนต่าง ๆ นั้น จะมีหัวข้ออยู่ทางขวามือ หากต้องการ ถามคำถามก็สามารถ คลิกที่ FAQ หรือสามารถเข้าห้อง Chat เพื่อคุยกับผู้เรียนด้วยกัน แล้วยังสามารถ ทำแบบทดสอบเพื่อทดสอบความเข้าใจของเราเองอีกด้วย

เนื้อหาภายในที่เรียนจะแบ่งออกเป็น 4 บทด้วยกัน

บทที่ 1 เกี่ยวกับเครื่อง Texture Analyzer

บทที่ 2 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งแบ่งเป็น 2 ข้อย่อย

2.1 วิธีทางประสาทสัมผัส

2.2 วิธีทางกายภาพ

บทที่ 3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการสำคัญๆ เกี่ยวกับการใช้เครื่อง แบ่งเป็น 7 ข้อย่อย

3.1 ข้อควรระวังในการใช้เครื่อง

3.2 การบำรุงรักษา

3.3 แผนผังขั้นตอนการใช้เครื่อง

3.4 หลักการทำงานของเครื่อง

3.5 การ Calibrate

3.6 การกำหนดค่าการทดสอบ

3.7 เริ่มต้นการทดสอบ

บทที่ 4 การวัดแบบต่างๆ ซึ่งแบ่งการวัดเป็น 9 วิธี

4.1 TPA

4.2 Puncture and Penetration Test

4.3 Cutting and Shearing Test

4.4 Fracture and Bending Test

4.5 Extrusion (Forward) Test

4.6 Compression - Extrusion (Backward) Test

4.7 Tensile Test

4.8 Relaxation Test

4.9 Compression Test

ในส่วนของการถามผู้ออกข้อสอบ สามารถออกแบบข้อสอบได้หลากหลายวิธี ทั้งแบบ อัตโนมัติ หรือ เลือกตอบแบบถูกหรือผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรี และคณะ (2549) นำเสนอบทเรียน e-learning เรื่องการสื่อสารเส้นใยแสง ซึ่งเป็นการนำเสนอบทเรียน โดยใช้ โปรแกรม Macromedia Flash มีการนำเสนอที่มีรูปแบบน่าสนใจ มีทั้งภาพเคลื่อนไหว และมีคำถามตอบท้ายบทเรียน

ฐิรกร และอิบร้อเหมม (2547) นำเสนอเนื้อหาบทเรียน e-learning เรื่อง นิวเมติกส์ ซึ่งสร้างบทเรียนด้วย โปรแกรม Macromedia Flash MX และระบบ Ten นำเสนอบนเครือข่าย Internet ของสถาบัน ออกแบบให้มีการใช้งานง่าย และมีสื่อการเรียนที่น่าสนใจ ซึ่งจากผลในแบบสอบถามพบว่าได้รับการตอบรับเป็นอย่างดี และสามารถใช้เรียนได้จริง

สุนิสสา และอภิชาติ (2547) นำเสนอบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์ วิชาสื่อการเรียนการสอน การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างเนื้อหา คุณภาพบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ โปรแกรม Macromedia Flash MX ในการออกแบบและพัฒนา สามารถสร้างภาพเคลื่อนไหวได้ ซึ่งมีแนวคิดที่น่าสนใจ

จักรี และธนวัชร (2548) นำเสนอการสร้างและออกแบบบทเรียน e-learning วิชาหลักพื้นฐานในการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา ซึ่งประกอบด้วยข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว และแบบทดสอบ ซึ่งใช้โปรแกรม Flash MX ร่วมกับ โปรแกรมอื่นๆ ช่วยในการสร้างและออกแบบบทเรียนที่สร้างขึ้นนั้น ถูกบันทึกลงใน Sever ผ่านระบบบริหารจัดการเรียน (LMS) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 การเตรียมตัววัดจุดดิบ

กุ้งขาวสดจากตลาดไท จังหวัด ปทุมธานี ขนาด 64-68 ตัวต่อ 1 กิโลกรัม ขนส่งทางรถยนต์จากจุดซื้อจนถึงที่จัดเก็บเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

กุ้งขาวสดที่ซื้อมาถูกจัดเก็บในน้ำแข็งทันที โดยสุ่มตัวอย่างตามจำนวนที่จะใช้แต่ละวัน ห่อด้วยผ้าขาวบาง เก็บในกล่องโฟมที่รองก้นด้วยกระดาษพลาสติกสีเหลือง ใส่ น้ำแข็งเกล็ดลงไป จัดเรียงกุ้งที่ห่อด้วยผ้าขาวบางและน้ำแข็งเกล็ดสลับกันเป็นชั้น ๆ ในอัตราส่วนกุ้งต่อน้ำแข็ง 1:1.5 โดยกล่องโฟมแต่ละกล่องสามารถเรียงกุ้งได้ 2 ชั้น เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4-5 องศาเซลเซียส ทำการเปลี่ยนน้ำแข็งทุก 3 วัน สุ่มตัวอย่างในวันที่ 1 เพื่อทำการทดลองเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดและทดลองเลือกจุดที่จะทำการวัด และสุ่มตัวอย่างในวันที่ 0 (กุ้งสด) 1 2 3 4 6 8 10 12 และ 14 เพื่อทำการวัดสี วัดพีเอช และทดลองเลือกวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ของลักษณะทางเนื้อสัมผัส

เตรียมตัวอย่าง โดยการนำกุ้งมาตัดหัวออก ปอกเปลือก ชับด้วยกระดาษทิชชู วัดขนาดความกว้างและความสูงของลำตัวกุ้งที่ข้อที่ 4 นับจากหางดังรูปที่ 4.1 ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งและลักษณะการวัดขนาดกุ้ง

4.2 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Stable Micro System Texture Analyzer TA.XT

plus)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (Loading rate)

ทำการทดลองเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (Loading rate) จาก 3 ระดับความเร็ว ได้แก่ 0.1, 0.5 และ 1.0 mm/s ใช้วิธีการวัด 2 วิธีคือ การทดสอบแบบ Relaxation และการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม ทำการทดลอง 10 ซ้ำ ดังค่าดังนี้

50 kilograms Load cell pre-test speed 1 mm/s. Trigger force 5 g

Test speed 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s.

post-test speed 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s. (โดยให้ Test speed และ post-test speed มีค่าเท่ากัน)

4.2.1.1 การทดสอบแบบ Relaxation ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) กำหนดค่าดังนี้

Time 90 sec. Proportional gain 20

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F_{max} (Peak force): แรงสูงสุดที่ใช้ในการกด คอพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

- F_r : แรงต้านสุดท้ายก่อนที่หัววัดจะเคลื่อนที่ขึ้น คอพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

- R (Residual relaxation area): ค่าความสามารถต้านแรงที่มากกว่า หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจาก F_{max} ถึง F_r (N.mm)

- E (Modulus of elasticity): ค่าความยืดหยุ่นของอาหาร แสดงความสามารถในการคืนตัวเมื่อได้รับแรงกระทำ หาได้จาก F_r / F_{max}

4.2.1.2 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม ใช้หัววัดแบบใบมีดคม (Craft Knife blade : A/CKB) กำหนดค่าดังนี้

Strain 60 %

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F_s (Shear force): แรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลงไปเนื้ออาหาร คอพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

- W (Shear work): งานทั้งหมดที่ใช้ในการตัดอาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด (N.mm)

- T (Toughness): งานที่ใช้เจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (N.mm)

- S (Stiffness): ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)

4.2.2 การเลือกวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์

ทำการทดลองเลือกวิธีการและค่าพารามิเตอร์ ใช้วิธีการวัด 7 วิธีการทดสอบ ได้แก่ การทดสอบแบบ Relaxation การทดสอบแบบการกด การทดสอบแบบ TPA การทดสอบแบบการตัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยใบมีดแบบ warmer และใบมีดคม การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมและหัววัดทรงกระบอก ดังค่าดังนี้

50 kilograms Load cell pre-test speed 1 mm/s. Test speed 0.1 mm/s.
 post-test speed 0.1 mm/s. Trigger force 5 g.
 ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

4.2.2.1 การทดสอบแบบ Relaxation ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) กำหนดค่าดังนี้

Time 90 sec.

Proportional gain 20

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F_{max} (Peak force): แรงสูงสุดที่ใช้ในการกด ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)
- F_1 : แรงต้านสุดท้ายก่อนที่หัววัดจะเคลื่อนที่ขึ้น ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)
- R_a (Residual relaxation area): ค่าความสามารถด้านแรงที่มากระทำ หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจาก F_{max} ถึง F_1 (N.mm)
- E (Modulus of elasticity): ค่าความยืดหยุ่นของอาหาร แสดงความสามารถในการคืนตัวเมื่อได้รับแรงกระทำ หาได้จาก F_1 / F_{max}

4.2.2.2 การทดสอบแบบการกด ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) กำหนดค่าดังนี้

Strain 60 %

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการกด มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- H (Hardness): แรงสูงสุดที่ใช้ในการกดลงไปเนื้ออาหาร หาได้จาก Peak force กด ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)
- E (Elasticity): ความยืดหยุ่นของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)
- T (Toughness): งานที่ใช้กดทับลงบนชิ้นอาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (N.mm)

4.2.2.3 การทดสอบแบบ TPA ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) กำหนดค่าดังนี้

Strain 60 % Time 3 sec

นำกราฟที่ได้จาก TPA มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F_{max} (Peak force): ความแข็งของอาหาร หาได้จากแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก (N/mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- S (Springiness): ความสูงของอาหารที่กลับคืนระหว่างสิ้นสุดการกดครั้งแรกกับการเริ่มการกดครั้งที่สอง หาได้จาก อัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการกดให้ถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองกับเวลาที่ใช้กดให้ถึงแรงสูงสุดครั้งแรก

- Co (Cohesiveness): แรงยึดเกาะกันภายในเนื้อของอาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรกกับพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่สอง

- G (Gumminess): พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น semi-solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ หาได้จาก $\text{Hardness} * \text{Cohesiveness} (\text{N/mm}^2)$

- C (Chewiness): พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็น solid ให้อยู่ในสภาพที่กลืนได้ หาได้จาก $\text{Gumminess} * \text{Springiness} = \text{Hardness} * \text{Cohesiveness} * \text{Springiness} (\text{N/mm}^2)$

4.2.2.4 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner ใช้หัววัดแบบ Warner (Warner blade: HDP/BSW) กำหนดค่าดังนี้

Distance 35 mm.

นำกราฟที่ได้จากการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F_s (Shear force): แรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลงไปเนื้ออาหาร ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

- W (Shear work): งานทั้งหมดที่ใช้ในการตัดอาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด (N.mm)

- T (Toughness): งานที่ใช้เจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (N.mm)

- A (Adhesiveness): งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่มีค่าเป็นลบ (N.mm)

- S (Stiffness): ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)

4.2.2.5 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม ใช้หัววัดแบบมีดคม กำหนดค่าดังนี้

Strain 90 %

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F_c (Shear force): แรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลงไปเนื้ออาหาร ต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

- W (Shear work): งานทั้งหมดที่ใช้ในการตัดอาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด (N.mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- T (Toughness): งานที่ใช้เจาะทะลุลงไป เนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (N.mm)

- S (Stiffness): ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)

4.2.2.6 การทดสอบด้วยการเจาะแบบหัววัดทรงกลม ใช้หัววัดทรงกลม (P/5S) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กำหนดค่าดังนี้

Strain 90 %

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F (Firmness): แรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุลงไป เนื้ออาหาร หาได้จากจุด Peak force (N)

- S (Stiffness): ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N)

- T (Toughness): งานที่ใช้เจาะทะลุลงไป เนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (N.mm)

4.2.2.7 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P/2) กำหนดค่าดังนี้

Strain 90 %

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสดังนี้

- F (Firmness): แรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุลงไป เนื้ออาหาร หาได้จากจุด Peak force (N)

- S (Stiffness): ความแข็งของเนื้ออาหาร หาได้จากความชันก่อนถึงจุด Peak force ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)

- T (Toughness): งานที่ใช้เจาะทะลุลงไป เนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Peak force (N.mm)

4.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวหลังการปรุงสุก

นำกุ้งที่เตรียมไว้มาต้มในน้ำเดือด อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเป็น 80 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลา 60 วินาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็น จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเหลือ 18 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลา 30 วินาที แล้วชับด้วยกระดาดหิซซู่ นำกุ้งที่ปรุงสุกมาทดสอบลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยวิธีที่เลือก

4.3 การวัดสี

นำกุ้งที่เตรียมไว้ มาถ่ายรูปในกล่องควบคุมแสงขนาด 60x60x60 cm³ ที่เตรียมไว้ นำรูปที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสีใน โปรแกรม Photoshop ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

4.4 การวัดพีเอช

นำกุ้งที่เตรียมไว้ 12 ตัว มาบดรวมกัน แบ่งชั่งน้ำหนักประมาณ 20 กรัม เติมน้ำกลั่น 1.5 เท่า (30 มิลลิลิตร) แล้วทำการวัดพีเอช โดยใช้พีเอชมิเตอร์ (pH meter) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ

4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส สี และพีเอชของกุ้งขาวด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan's Multiple rang test ($P \leq 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (Loading rate)

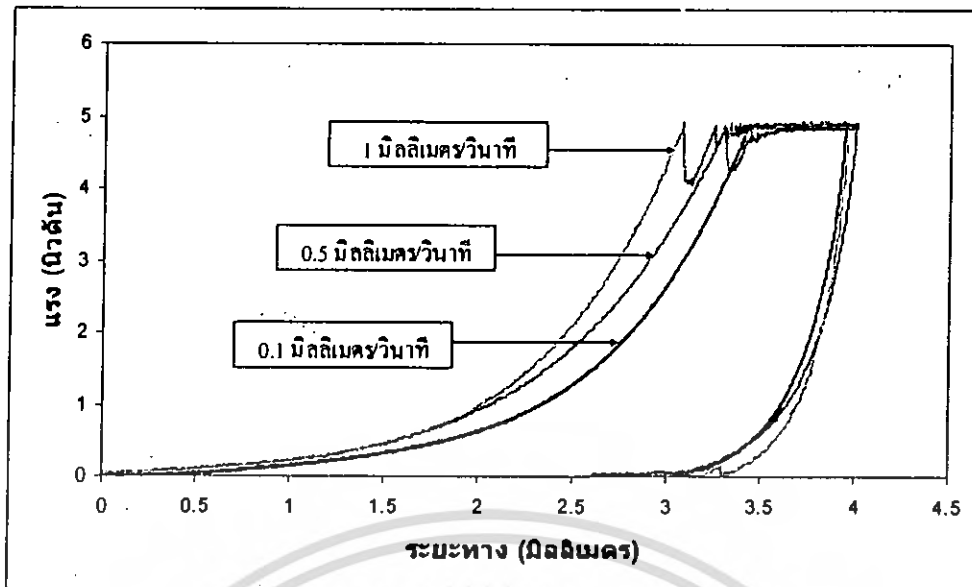
จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดพบว่าที่ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดมากกว่า 1.0 mm/s ค่าของแรงขณะที่หัววัดสัมผัสกับเนื้อกระดูกมีค่ามากกว่าศูนย์ เนื่องจากขณะที่หัววัดสัมผัสกับผิวกระดูก หัววัดเกิดการกระแทกกับผิวกระดูก ทำให้แรงที่วัดได้นั้นมีค่ามากกว่าแรงที่เกิดจากการต้านของเนื้อกระดูกที่เกิดขึ้นจริง ที่ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 mm/s ค่าของแรงขณะที่หัววัดสัมผัสกับเนื้อกระดูกมีค่าใกล้ศูนย์ สามารถใช้ในการทดสอบเนื้อสัมผัสของกระดูกได้ ที่ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดน้อยกว่า 0.1 mm/s ใช้เวลาในการทดสอบมากเกินไป จึงพิจารณาเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดในช่วง 0.1-1.0 mm/s

พิจารณาผลของความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่อค่าพารามิเตอร์จากความเร็ว 3 ระดับ ได้แก่ 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Relaxation และแบบการตัดด้วยใบมีดคม โดยวิธีทดสอบแบบ Relaxation เป็นตัวแทนของการทดสอบลักษณะการกด แรงที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแรงกด ส่วนวิธีทดสอบแบบการตัดเป็นตัวแทนของการทดสอบลักษณะการตัด แรงที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแรงเฉือน

5.1.1 การทดสอบแบบ Relaxation

พิจารณาผลของความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่อค่าพารามิเตอร์ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Relaxation กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกระดูกด้วยวิธีทดสอบแบบ Relaxation คือ แรงสูงสุดที่ระยะการกด 20% ของความหนาของตัวกระดูก (Maximum force: N) แรงต้านสุดท้ายก่อนที่หัววัดจะเคลื่อนที่ขึ้น (F_r : N) ค่าความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity = Maximum force/ F_r) และความสามารถในการต้านแรง (Residual relaxation area: N.mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และรูปที่

5.2



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s

จากรูปที่ 5.1 พบว่าที่ระยะการกดเพิ่มขึ้นค่าแรงด้านที่ตัวอย่างกระทำกับกับหัววัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระยะการกด 20% ของความหนาของตัวกึ่ง จากนั้นคงหัววัดไว้เป็นเวลา 90 วินาที พบว่าแรงด้านมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลา 90 วินาที ที่ระยะทางในการกดเท่ากัน พบว่าที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 1.0 mm/s กึ่งมีแรงด้านมากกว่าที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.5 และ 0.1 mm/s ตามลำดับ เนื่องจากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดสูง ขณะที่หัววัดสัมผัสกับผิวกึ่งเกิดการกระแทกกระท่างระหว่างหัววัดกับผิวกึ่งทำให้แรงที่วัดได้มีค่ามากกว่าแรงที่เกิดขึ้นจริง ที่ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.5 และ 1.0 mm/s เกิดความเสียหายกับกึ่งที่เกิดจากแรงกระแทกทำให้เนื้อกึ่งแตก แต่ที่ความเร็ว 0.1 mm/s นั้นกึ่งไม่เกิดความเสียหายจากแรงกระแทก

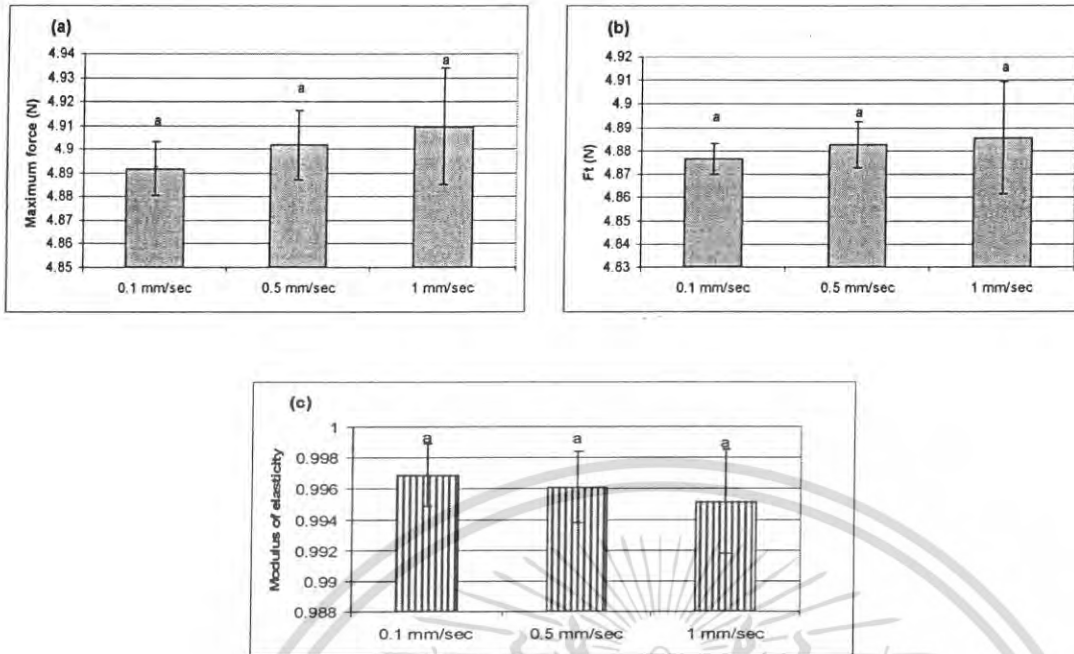
ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s

Loading rate	Maximum force (N)	Ft (N)	Modulus of elasticity
0.1 mm/s	4.892 ± 0.012^a	4.877 ± 0.007^a	0.997 ± 0.002^a
0.5 mm/s	4.902 ± 0.015^a	4.883 ± 0.010^a	0.996 ± 0.002^a
1.0 mm/s	4.910 ± 0.024^a	4.886 ± 0.024^a	0.995 ± 0.003^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน ในแนวตั้ง (a b และ c) แสดงความแตกต่างกันทาง

สถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$), $n=10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s

(a) Maximum Force: N

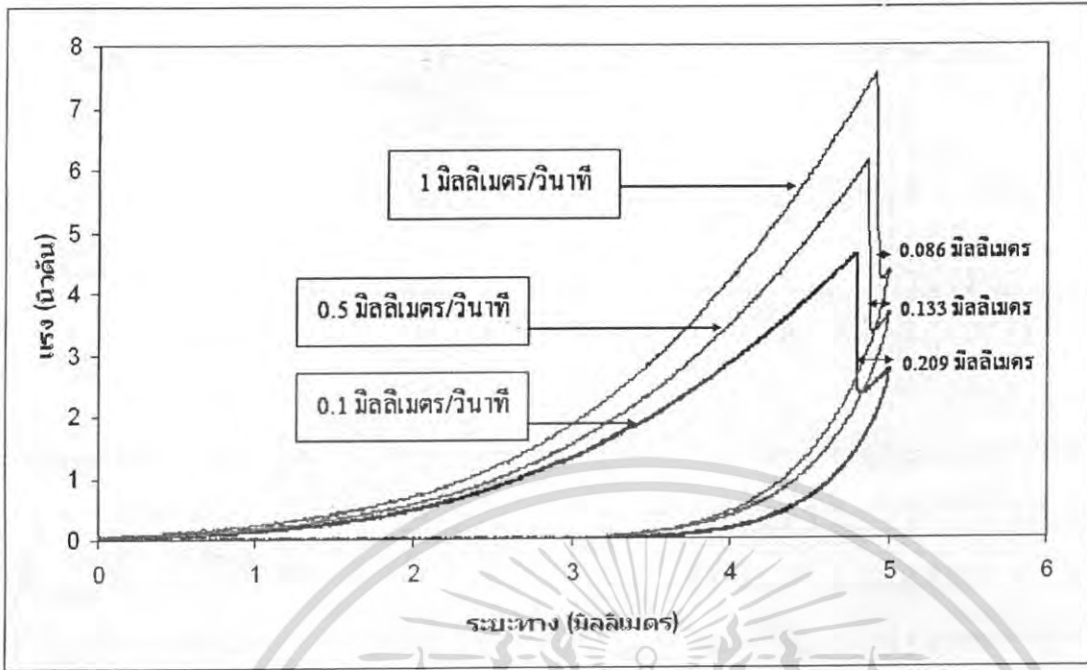
(b) F_t : N

(c) Modulus of elasticity

5.1.2 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม

พิจารณาผลของความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่อค่าพารามิเตอร์ ด้วยวิธีการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม คือ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการตัด 60% (Shear force: N) ความสามารถในการต้านแรง (Shear work: N.mm) ค่าความยืดหยุ่นปรากฏ (Stiffness: N/mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s

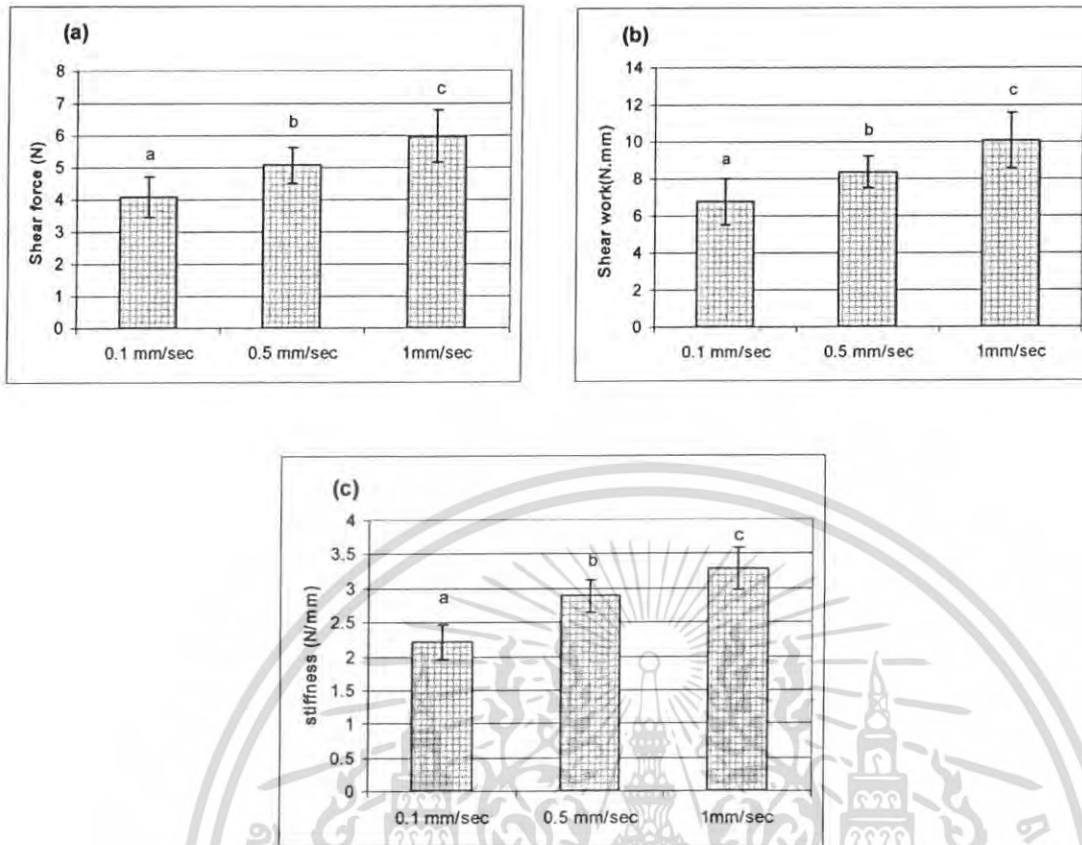
จากรูปที่ 5.3 พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงต้านที่เกิดขึ้นจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดแรกของกราฟเป็นจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายกับเนื้อกึ่งที่เกิดจากแรงกด เรียกจุดนี้ว่า Break point หัววัดสามารถตัดเข้าไปในหนังกึ่งได้จากนั้นค่าแรงต้าน ซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งโบบมีคสามารถตัดเข้าไปในบริเวณของเนื้อกึ่งได้ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทาง (รูปที่ 5.3) จึงมีจุดยอด 2 จุดซึ่งจุดที่ 1 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดการขาดของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่ง (เป็นจุดที่โบบมีคสามารถตัดผ่านผิวกึ่ง) และจุดที่ 2 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดจากการขาดของเนื้อกึ่ง

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดกับกึ่งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s

Loading rate	Shear force (N)	Shear work(N.mm)	Stiffness (N/mm)
0.1 mm/s	4.09 ± 0.62 ^a	6.77 ± 1.24 ^a	2.20 ± 0.26 ^a
0.5 mm/s	5.07 ± 0.57 ^b	8.36 ± 0.89 ^b	2.88 ± 0.24 ^b
1.0 mm/s	5.98 ± 0.80 ^c	10.06 ± 1.47 ^c	3.28 ± 0.31 ^c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b และ c) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

ไม่วารณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1, 0.5 และ 1.0 mm/s

(a) Shear force: N

(b) Shear work: N.mm

(c) Stiffness : N/mm

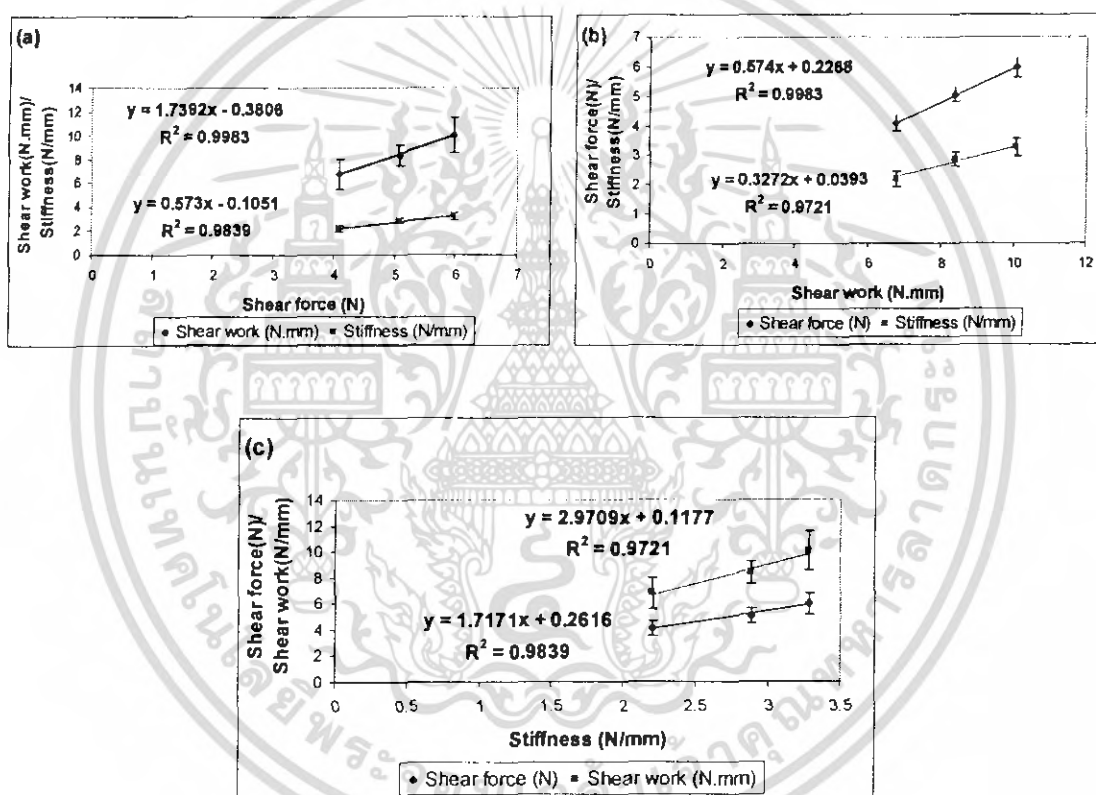
จากตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 พบว่าค่า Maximum force F_1 และ Modulus of elasticity ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดเปลี่ยนไป ดังนั้นการทดสอบแบบ Relaxation จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อเลือกความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดได้

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.4 พบว่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดเพิ่มขึ้น ค่า Shear force Shear work และ Stiffness มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และจากการพิจารณากราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด (รูปที่ 5.3) พบว่า กราฟมีจุดยอด 2 จุดซึ่งจุดที่ 1 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดการขาดของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่ง (เป็นจุดที่ใบมีดสามารถตัดผ่านผิวกึ่ง) และจุดที่ 2 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดจากการขาดของเนื้อกึ่ง โดยความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 mm/s มีความละเอียดมากที่สุดสามารถบอกความแตกต่างของระยะทางและการเกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่งและบริเวณเนื้อกึ่งขาดได้ชัดเจนกว่าที่ความเร็ว 0.5 และ 1.0 mm/s ดังนั้น

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาหาวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถใช้บ่งชี้ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง จึงเลือกค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดเท่ากับ 0.1 mm/s สำหรับทุกวิธีการทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ R. Ravi, B.S. Roopa และคณะ (2550) ว่าใช้ความเร็วต่ำในการกด เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดสอบ crisp snack foods สามารถบอกความแตกต่างของจุดสูงสุดและจุดยอดอื่น ๆ ได้ชัดเจนมากกว่าความเร็วสูงในการกด

ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด กราฟความสัมพันธ์ สมการ และค่า R^2 ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 0.5 และ 1.0 mm/s ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด

(a) Shear work และ Stiffness กับ Shear force

(b) Shear force และ Stiffness กับ Shear work

(c) Shear force และ Shear work กับ Stiffness

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัด จากรูปที่ 5.5 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและมีค่า R^2 มากที่สุดคือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

force และค่า Shear work จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อทราบค่าใดค่าหนึ่งสามารถแทนค่าในสมการความสัมพันธ์เพื่อคำนวณหาอีกค่าหนึ่งได้จากสมการ

$$\text{Shear work} = (1.7392 * \text{Shear force}) - 0.3806 \quad R^2 = 0.9983 \quad (5.1)$$

$$\text{Shear work} = (2.9709 * \text{Stiffness}) + 0.1177 \quad R^2 = 0.9721 \quad (5.2)$$

5.2 การเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการวัด

พิจารณาเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการวัด จากบริเวณลำตัวของกุ้ง จากรูปที่ 5.6 เส้นข้อที่ 1 จัดว่าเป็นส่วนหางกุ้ง เส้นข้อที่ 5 จัดว่าเป็นส่วนหัวของกุ้ง และเส้นข้อที่ 2-4 จัดว่าเป็นส่วนลำตัวของกุ้ง ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาตำแหน่งที่ใช้ในการวัดจากเส้นข้อที่ 2-4

พิจารณาผลของตำแหน่งที่ใช้ในการวัดต่อค่าพารามิเตอร์จาก 3 ตำแหน่ง ได้แก่ เส้นข้อที่ 2, 3 และ 4 ด้วยวิธีการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีด (Cutting-Shear with Craft knife blade) และการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม (Penetration test with spherical probe)



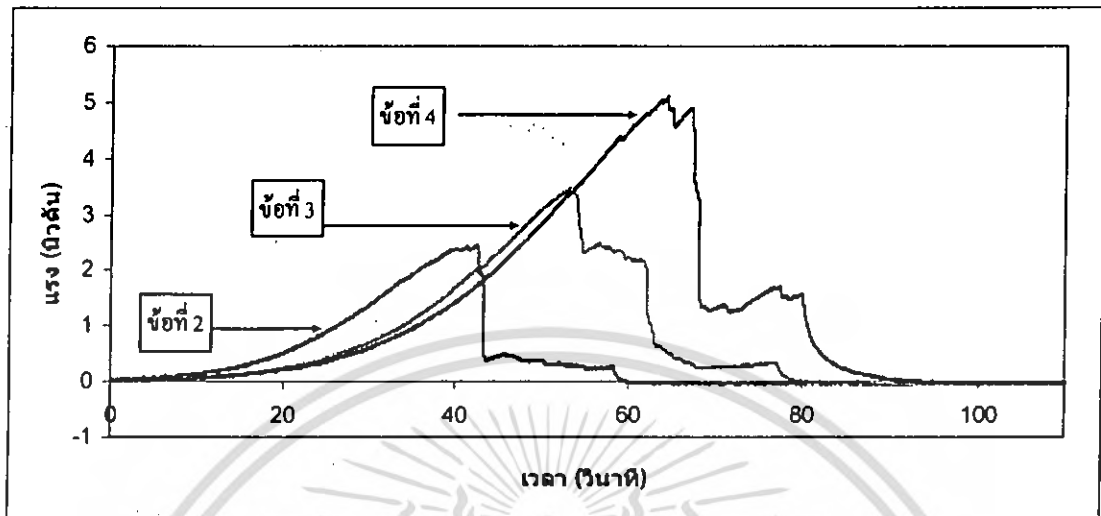
รูปที่ 5.6 เส้นข้อต่าง ๆ ของกุ้ง

5.2.1 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก

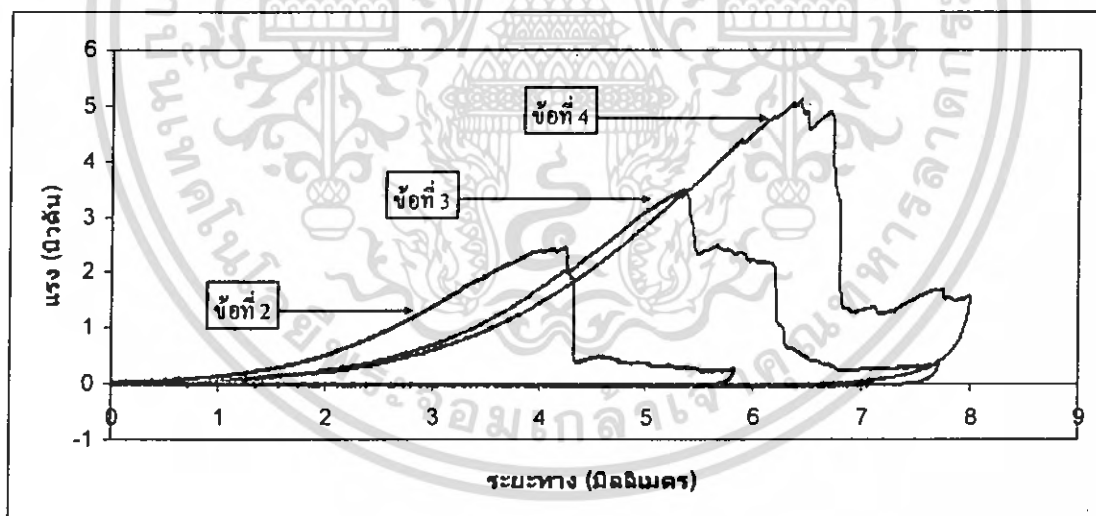
พิจารณาผลของตำแหน่งที่ใช้ในการวัดต่อค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.7-5.8 ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกุ้งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก คือ ค่า

ไม่วารณมีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่งและเนื้อกึ่งขาด (mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเอ็นข้อที่ 2 3 และ 4



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเอ็นข้อที่ 2 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งขาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4

ข้อที่	ผลต่างของแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกระดูก (นิวตัน)	ผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกระดูก (มิลลิเมตร)
2	1.29 ± 0.68^a	0.01 ± 0.83^b
3	1.59 ± 0.86^a	0.39 ± 0.14^{ab}
4	3.34 ± 1.89^a	0.95 ± 0.47^a

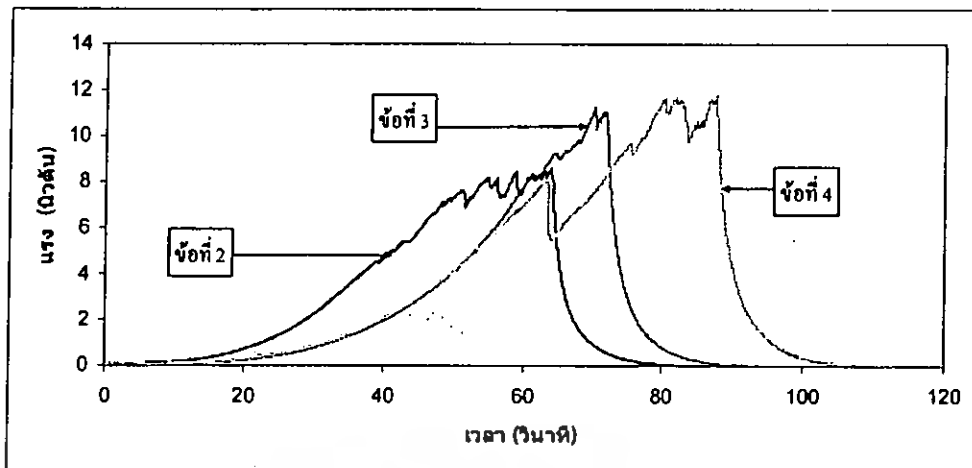
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a และ b) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=5$

พิจารณารูปที่ 5.7-5.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งขาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4 พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงต้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดของกราฟเป็นจุดที่หัววัดเริ่มเจาะเข้าไปในตัวกึ่งขาได้ค่าแรงต้านซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง

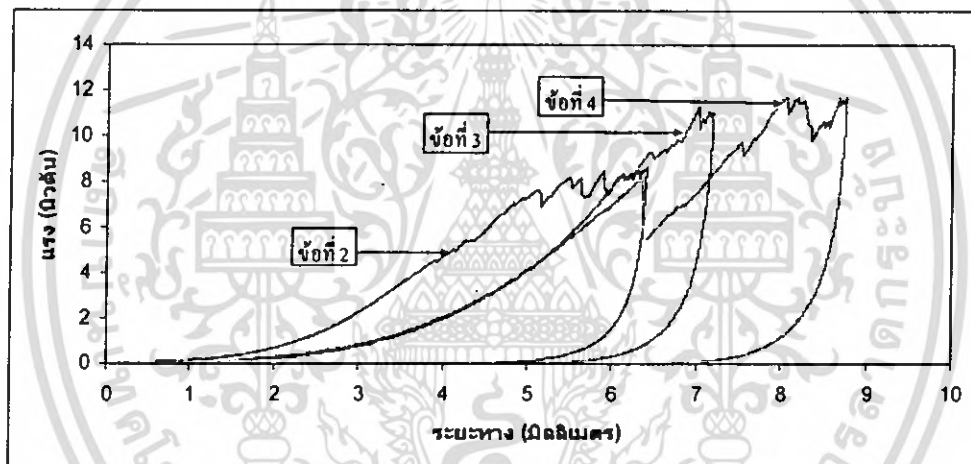
จากตารางที่ 5.3 พบว่า ค่าผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกระดูก ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งที่ใช้ในการวัด

5.2.2 การทดสอบแบบการตัดแบบใบมีดคม

พิจารณาผลของตำแหน่งที่ใช้ในการวัดต่อค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการทดสอบแบบการตัดแบบใบมีดคม กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งขาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.9-5.10 ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม คือ ค่าผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกระดูก (mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.4



รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4



รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4

ข้อที่	ผลต่างของแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณ ผิวหนังและเนื้อกุ้งขาด (นิวตัน)	ผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้ เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกุ้งขาด (มิลลิเมตร)
2	1.34 ± 0.44^a	1.27 ± 0.07^b
3	1.68 ± 1.16^a	0.88 ± 0.24^a
4	3.77 ± 0.83^b	1.58 ± 0.20^c

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a และ b) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=5$

พิจารณารูปที่ 5.9-5.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยใบมีดคมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 วัน บริเวณเส้นข้อที่ 2 3 และ 4 พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงด้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดแรกของกราฟเป็นจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายกับเนื้อกุ้งที่เกิดจากแรงกด หัววัดสามารถตัดเข้าไปในหนังกุ้งได้ จากนั้นค่าแรงด้าน ซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งใบมีดสามารถตัดเข้าไปในบริเวณของเนื้อกุ้งได้ กราฟจึงมีจุดยอด 2 จุดซึ่งจุดที่ 1 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดการขาดของเนื้อเยื่อบริเวณผิวหนัง (เป็นจุดที่ใบมีดสามารถตัดผ่านผิวหนัง) และจุดที่ 2 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดจากการขาดของเนื้อกุ้ง

จากตารางที่ 5.4 พบว่า ค่าผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกุ้งขาด มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งที่ใช้ในการวัด โดยที่ตำแหน่งเส้นข้อที่ 5 สามารถเห็นผลต่างของระยะทางที่ทำให้เกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังและเนื้อกุ้งขาดได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นข้อที่ 2 และ 3

ดังนั้นในการพิจารณาหาวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถใช้บ่งชี้ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง จึงเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการวัดบริเวณเส้นข้อที่ 4 สำหรับทุกวิธีการทดสอบ

5.3 การเลือกวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์

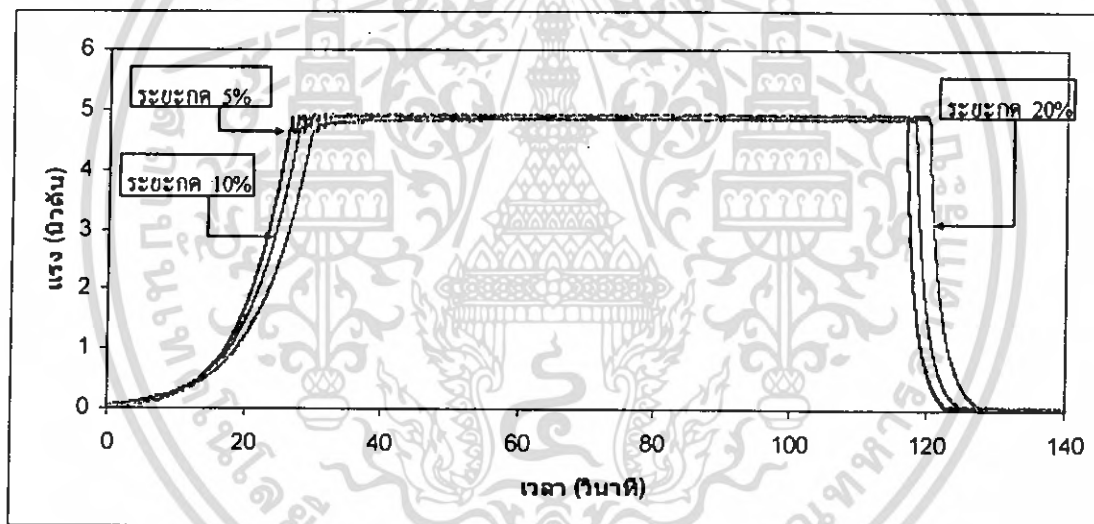
จากการทดสอบการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่ระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งต่าง ๆ ในเบื้องต้น เป็นเวลา 4 วัน ด้วยวิธีการทดสอบแบบกด แบบ Relaxation และแบบ TPA ด้วยหัววัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

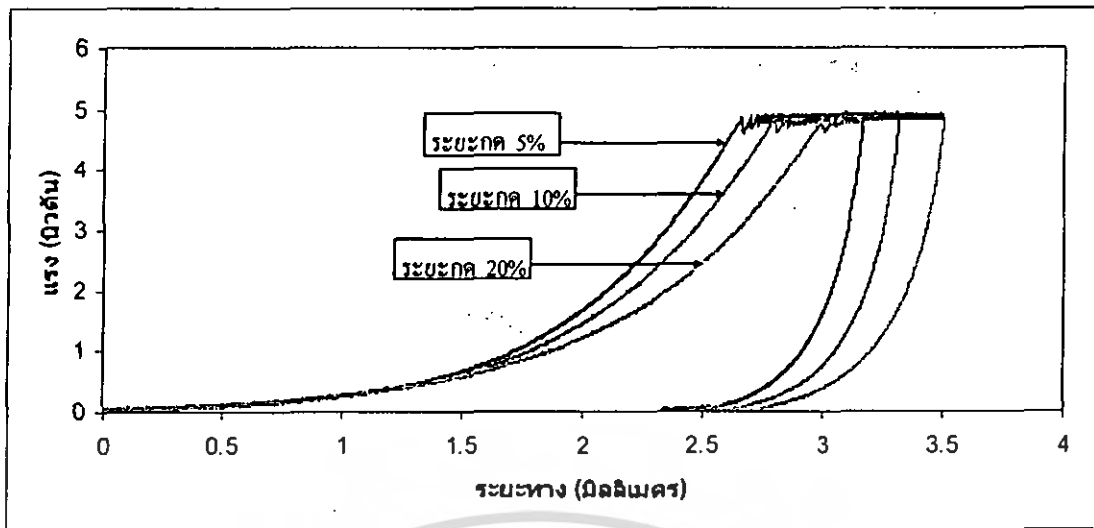
ชนิดแผ่นกลมเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร การทดสอบแบบการคัดด้วยใบมีดแบบ Warner และใบมีดคม และการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรและหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยทำการทดลอง 5 ซ้ำ พบว่า การทดสอบแบบกดและแบบ Relaxation ไม่พบความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเหล่านี้ ดังนั้น การเลือกวิธีทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงเหลือเพียงการทดสอบแบบ TPA แบบการคัดด้วยใบมีดแบบ Warner และ ใบมีดคม และการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมและหัววัดทรงกระบอก โดยทำการทดลอง 10 ซ้ำ

5.3.1 การทดสอบแบบ Relaxation

จากการทดสอบเนื้อสัมผัสของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วันเพื่อเลือกระยะเวลาการกดที่เหมาะสม โดยทดสอบที่ระยะการกด 20-10 และ 5% ของความหนาของกุ้ง กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation แสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation ที่ระยะการกด 20 10 และ 5% ของความสูง กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



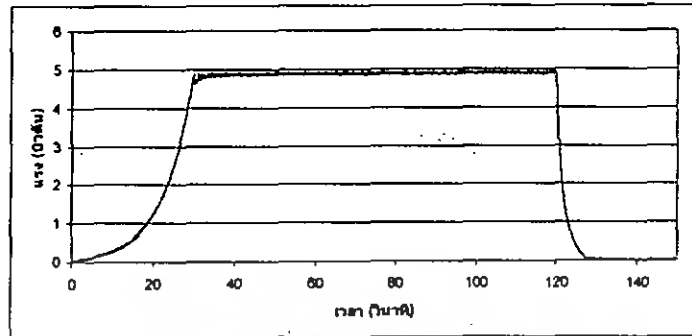
รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation ที่ระยะการกวด 20 10 และ 5% ของความสูงกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

จากรูปที่ 5.11 และ 5.12 พบว่ากึ่งสามารถคืนตัวได้ดีมากที่ระยะการกวด 20 10 และ 5% ของความหนาของตัวกึ่ง โดยที่แต่ละระยะการกวดค่าการคืนตัวของกึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ในระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาานานกึ่งอาจมีการคืนตัวได้น้อยลง เนื่องจากวิธีทดสอบแบบ Relaxation เป็นการวิเคราะห์การคืนตัวของกึ่งเมื่อได้รับแรงกด การกวดที่ระยะมากกว่าจะทำให้สามารถเห็นการคืนตัวได้มากกว่า จึงเลือกระยะการกวด 20% ซึ่งกวดเป็นระยะมากที่สุดเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ค่าความสามารถในการคืนตัวได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Bourne (2002) ว่าในการทดสอบค่าการคืนตัวของวัสดุระยะการกวดไม่ควรมีค่าสูงกว่า 20% ของความหนาของวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุเกษตรประเภทผักและผลไม้

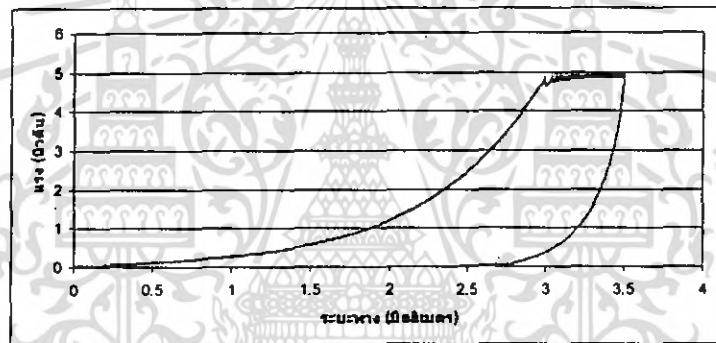
พิจารณารูปที่ 5.13-5.14 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน พบว่าที่เวลาและระยะการกวดเพิ่มมากขึ้นค่าแรงด้านจากการกวดที่กระทำกับหัววัดก็เพิ่มมากขึ้นด้วย จนกระทั่งจุดที่หัววัดค้างไว้ที่ระยะการกวด 20% แรงด้านที่กึ่งมีต่อหัววัดมีค่าคงที่เท่ากับแรงด้าน ณ จุด Maximum Force จนครบเวลา 90 วินาที เนื้อกึ่งสามารถคืนตัวส่งแรงด้านกระทำกับหัววัดได้คงที่ แสดงให้เห็นว่าเนื้อกึ่งสามารถคืนตัวได้ดีมากเมื่อได้รับแรงกด

รูปที่ 5.15-5.16 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบ Relaxation คือ แรงสูงสุดที่ระยะการกวด 20% ของความสูงของตัวกึ่ง (Maximum force: N) แรงด้านสุดท้ายก่อนที่หัววัดจะเคลื่อนที่ขึ้น (F_c : N) ค่าความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity = Maximum force/ F_c) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

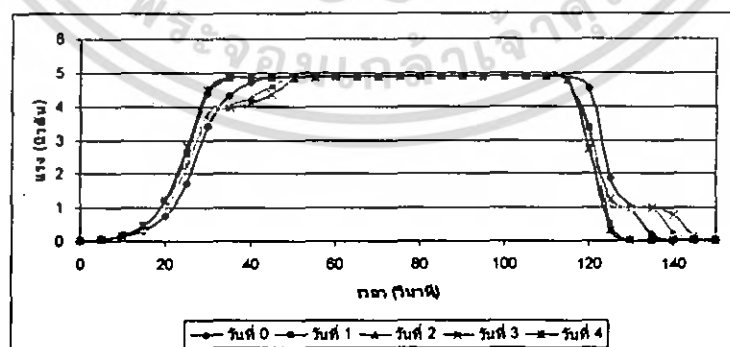
และความสามารถในการต้านแรง (Residual relaxation area: N.mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.13 กราฟความต้านทานของแรงและเวลาที่ได้ออกจากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

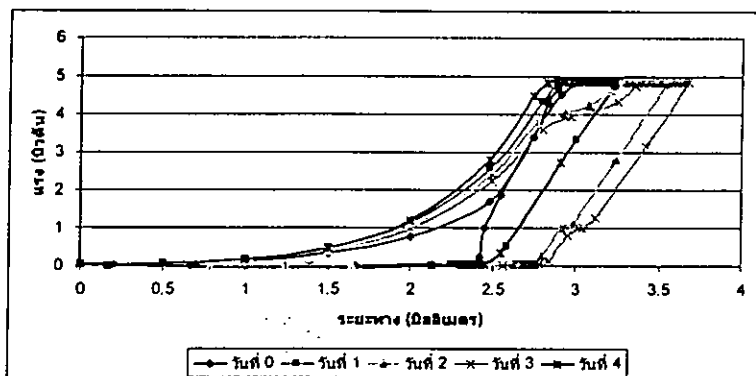


รูปที่ 5.14 กราฟความต้านทานของแรงและระยะทางที่ได้ออกจากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



รูปที่ 5.15 กราฟความต้านทานของแรงและเวลาที่ได้ออกจากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



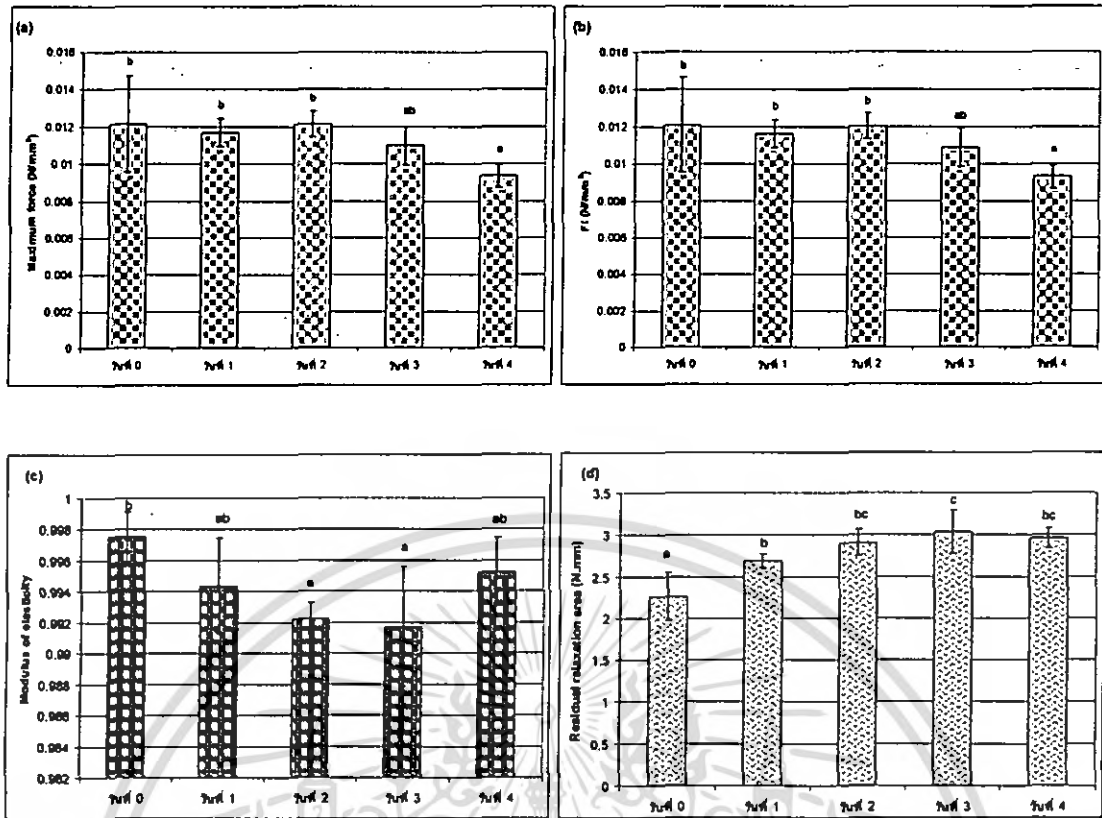
รูปที่ 5.16 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

ตารางที่ 5.5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

วันที่	Maximum (N/mm ²)	Ft (N/mm ²)	Modulus of elasticity	Residual relaxation area (N.mm)
0	0.0121 ± 0.003 ^b	0.0121 ± 0.003 ^b	0.9975 ± 0.002 ^b	2.26 ± 0.32 ^a
1	0.0117 ± 0.001 ^b	0.0116 ± 0.001 ^b	0.9944 ± 0.003 ^{ab}	2.69 ± 0.10 ^b
2	0.0121 ± 0.001 ^b	0.0120 ± 0.001 ^b	0.9922 ± 0.001 ^a	2.91 ± 0.18 ^{bc}
3	0.0110 ± 0.001 ^{ab}	0.0109 ± 0.001 ^{ab}	0.9917 ± 0.004 ^a	3.04 ± 0.29 ^c
4	0.0093 ± 0.001 ^a	0.0093 ± 0.001 ^a	0.9953 ± 0.003 ^{ab}	2.96 ± 0.13 ^{bc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b และ c) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05), n=5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 ค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

(a) Maximum Force: N/mm^2

(b) F_1 : N/mm^2

(c) Modulus of elasticity

(d) Residual relaxation area : $N.mm$

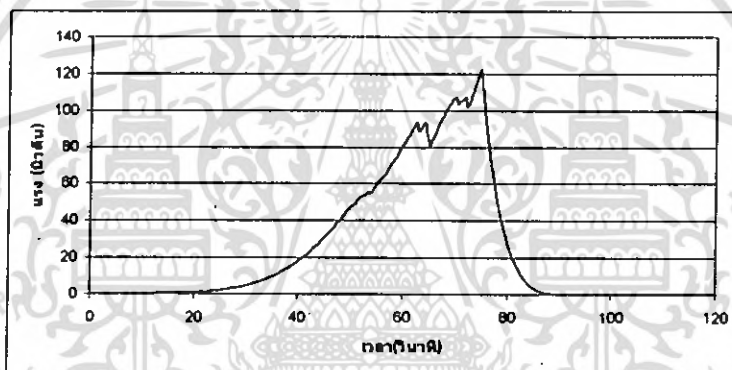
จากรูปที่ 5.15-5.17 และตารางที่ 5.5 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางมีลักษณะเช่นเดียวกันคือ แรงต้านจากตัวกึ่งที่กระทำกับหัววัดมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง แสดงว่าเนื้อกึ่งมีความสามารถในการคืนตัว ได้ดีมากแม้เก็บรักษาในน้ำแข็งนานเป็นเวลา 4 วัน ค่า Residual relaxation area มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่า Hardness และ F_1 ซึ่งแสดงถึงแรงสูงสุดที่เนื้อกึ่งต้านหัววัดเมื่อได้รับแรงกด มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 และมีลดลงตามระยะเวลาการเก็บแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าความสามารถในการต้านแรงกดของเนื้อกึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง

ค่า Modulus of elasticity ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการคืนตัวของเนื้อกึ่งเมื่อได้รับแรงกด มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 และลดลงตามระยะเวลาการเก็บแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

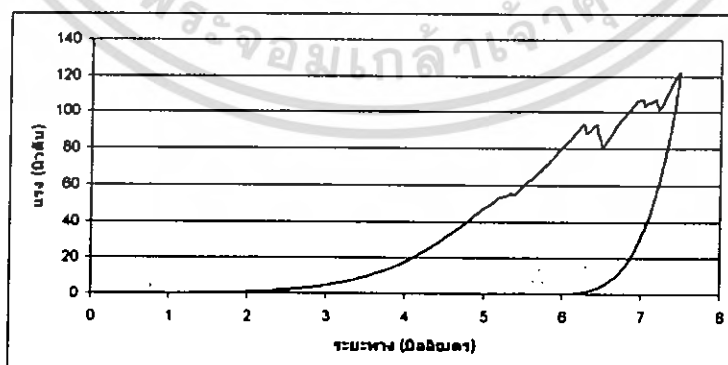
ความสามารถในการคืนตัวของกึ่งเมื่อได้รับแรงกดไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ดังนั้น การทดสอบแบบ Relaxation จึงไม่สามารถใช้เพื่อพิจารณาลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้

5.3.2 การทดสอบแบบการกด

กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน แสดงในรูปที่ 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ รูปที่ 5.20 และ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ห่วัดทำกับกึ่งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบการกดคือ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการกด 60% (Hardness: N/mm²) ความสามารถในการต้านแรง (Toughness: N.mm) ค่าความยืดหยุ่นปรากฏ (Elasticity: N/mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.22

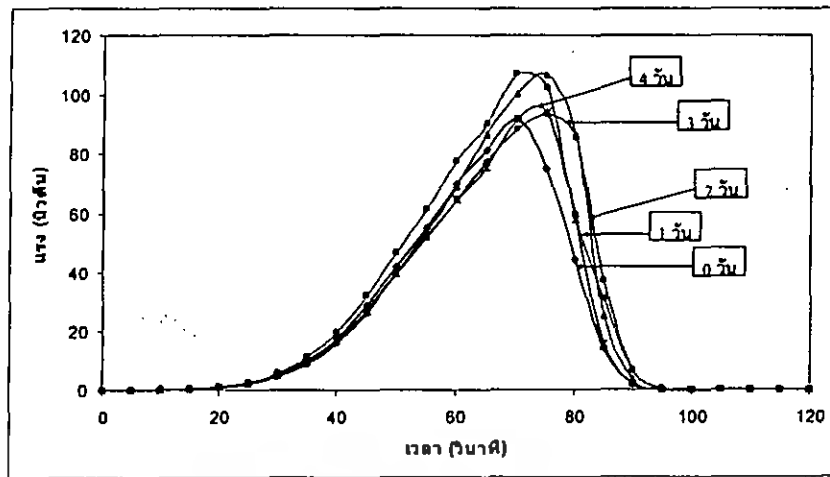


รูปที่ 5.18 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

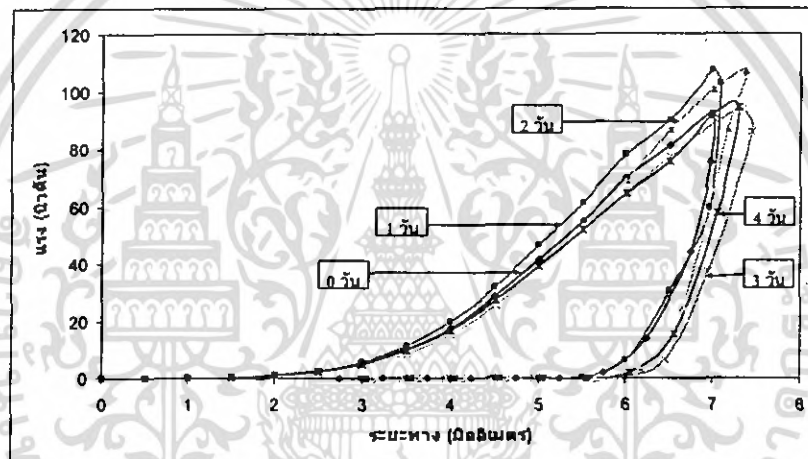


รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้อจากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน



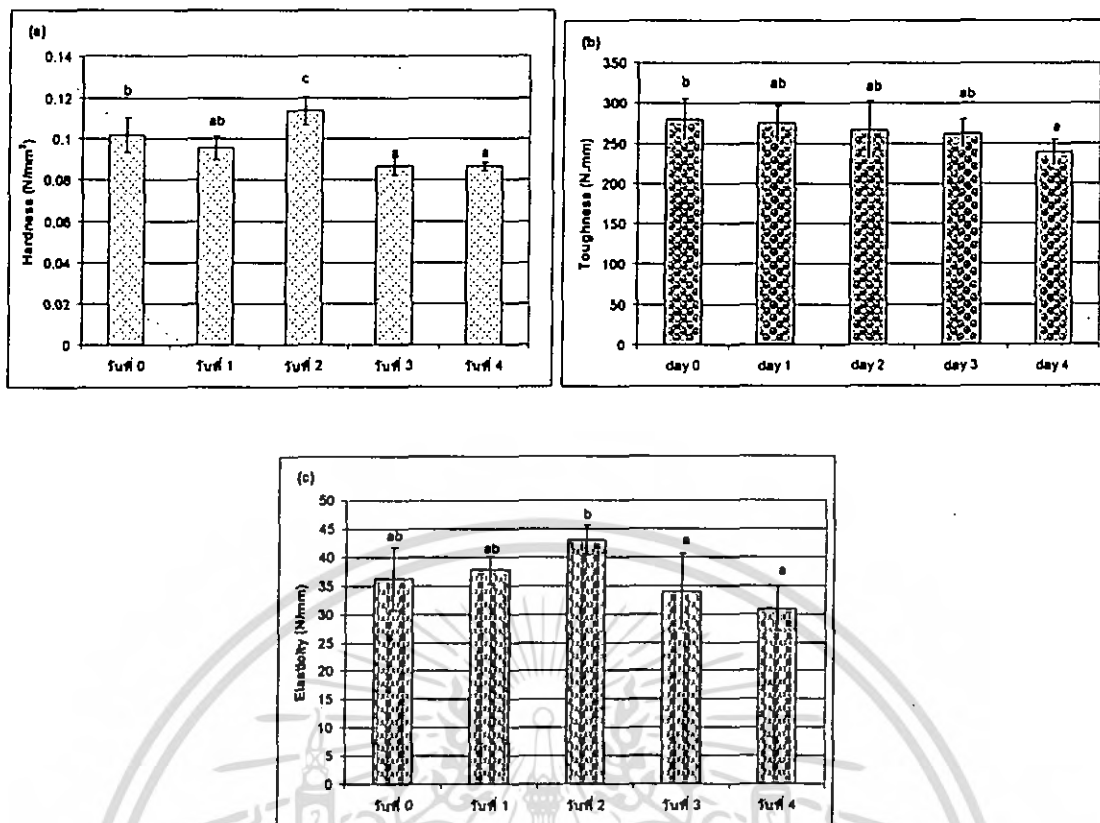
รูปที่ 5.21 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้อจากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

ตารางที่ 5.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

วันที่	Hardness (N/mm ²)	Toughness (N.mm)	Elasticity (N/mm)
0	0.102 ± 0.010 ^b	280.02 ± 28.96 ^b	36.24 ± 6.15 ^{ab}
1	0.096 ± 0.006 ^{ab}	275.07 ± 24.29 ^{ab}	37.84 ± 2.81 ^{ab}
2	0.114 ± 0.008 ^c	266.94 ± 39.60 ^{ab}	43.07 ± 2.84 ^b
3	0.087 ± 0.005 ^a	262.08 ± 19.57 ^{ab}	33.99 ± 7.38 ^a
4	0.087 ± 0.002 ^a	239.08 ± 17.52 ^a	30.97 ± 4.40 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b และ c) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05), n=5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการกดกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

(a) Hardness: N/mm²

(b) Toughness: N.mm

(c) Elasticity: N/mm

จากรูปที่ 5.18-5.19 พบว่าที่ระยะการกดเพิ่มมากขึ้นเนื้อกึ่งมีแรงต้านกับหัววัดเพิ่มมากขึ้นด้วย จนกระทั่งเนื้อกึ่งแตกทำให้แรงต้านมีค่าลดลง ขณะที่หัววัดยังคงเคลื่อนที่ลงมากดบนตัวกึ่ง กึ่งจะมีแรงต้านมากขึ้นจนกระทั่งถึงระยะการกด 90% หัววัดเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิมแรงต้านจึงมีค่าลดลง โดยที่อายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มที่ชัดเจนของกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทาง (รูปที่ 5.20-5.21)

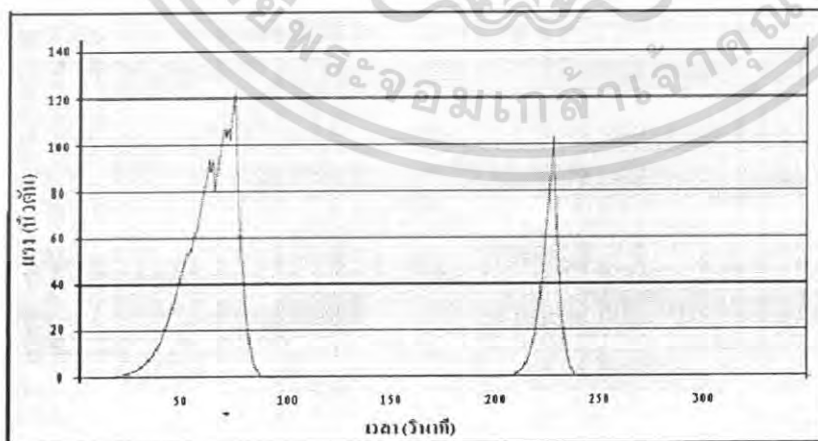
จากตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.22 พบว่า ค่า Hardness ซึ่งแสดงถึงแรงสูงสุดที่เนื้อกึ่งต้านหัววัดเมื่อได้รับแรงกดและค่า Elasticity ซึ่งแสดงถึงความยืดหยุ่นของเนื้อกึ่งมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าความสามารถในการต้านแรงกดและความยืดหยุ่นของเนื้อกึ่งไม่ขึ้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ค่า Toughness ซึ่งแสดงถึงงานที่เกิดจากการต้านหัววัดที่กดทับลงบนตัวกึ่ง มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 และมีลดลงตามระยะเวลาการเก็บแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ ดังนั้น การทดสอบ

แบบการกดจึงไม่สามารถใช้เพื่อพิจารณาลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้

5.3.3 การทดสอบแบบ TPA

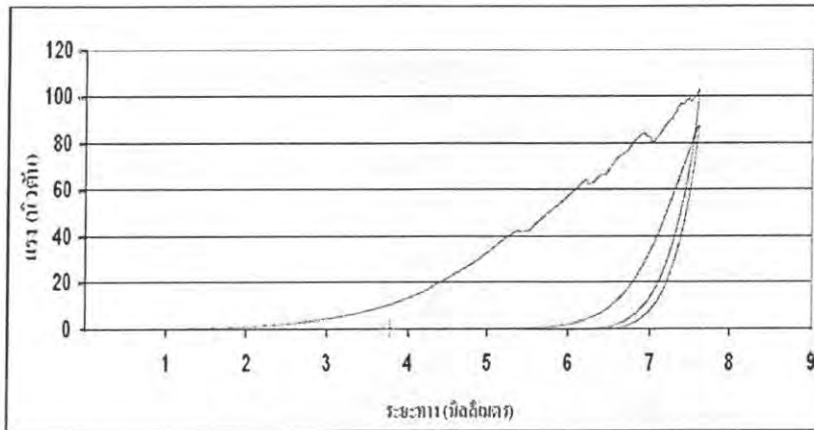
พิจารณารูปที่ 5.23-5.24 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน พบว่าในการกดครั้งแรกที่ระยะการกดเพิ่มมากขึ้นเนื้อกึ่งมีแรงต้านจากการกดกระทำกับหัววัดเพิ่มมากขึ้นด้วย จนกระทั่งเนื้อกึ่งแตกทำให้แรงต้านมีค่าลดลง ขณะที่หัววัดยังคงเคลื่อนที่ลงมากจนตัวกึ่ง กึ่งจะมีแรงต้านมากขึ้นจนกระทั่งถึงระยะการกด 60% หัววัดเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิมแรงต้านจึงมีค่าลดลง ในการกดครั้งที่ 2 มีลักษณะคล้ายกับการกดครั้งแรกแต่ที่จุดยอดของการกดนั้นค่าแรงมีค่าน้อยกว่าการกดครั้งแรก เนื่องจากในการกดครั้งแรกเนื้อกึ่งเกิดความเสียหายจากแรงกดทำให้เนื้อกึ่งแตก ในการกดครั้งที่ 2 เนื้อกึ่งจึงต้านแรงกดได้น้อยกว่าการกดครั้งแรก การกดเริ่มจากจุดที่หัววัดสัมผัสกับเนื้อกึ่งจนถึงจุดยอดที่ทำให้เกิดแรงสูงสุดในครั้งแรกใช้เวลามากกว่าการกดครั้งที่ 2 เนื่องจากการกดครั้งแรกทำให้เนื้อกึ่งแตก ซึ่งเมื่อหัววัดลดลงไปอีกครั้งจะสามารถกดลงไปได้ง่ายและเร็วกว่าครั้งแรก

รูปที่ 5.25-5.26 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบ TPA คือ ค่าแรงสูงสุดการกดครั้งแรก (Peak Force: N/mm^2) ความสามารถในการคืนตัว (Springiness) แรงยึดเกาะภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness) และ พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ (Chewiness: N/mm^2) ดังแสดงในตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.27

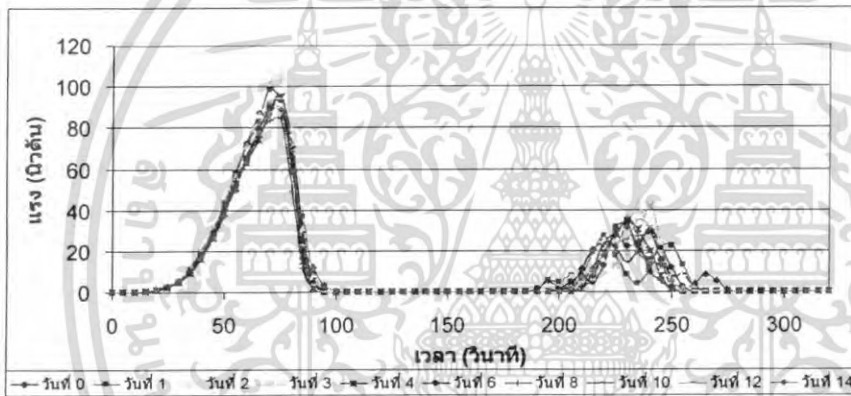


รูปที่ 5.23 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

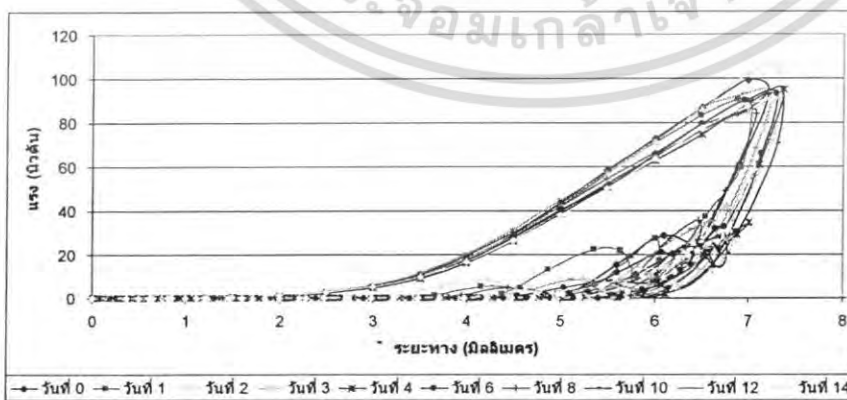
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



รูปที่ 5.25 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ี้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน



รูปที่ 5.26 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกึ่งที่เก็บ

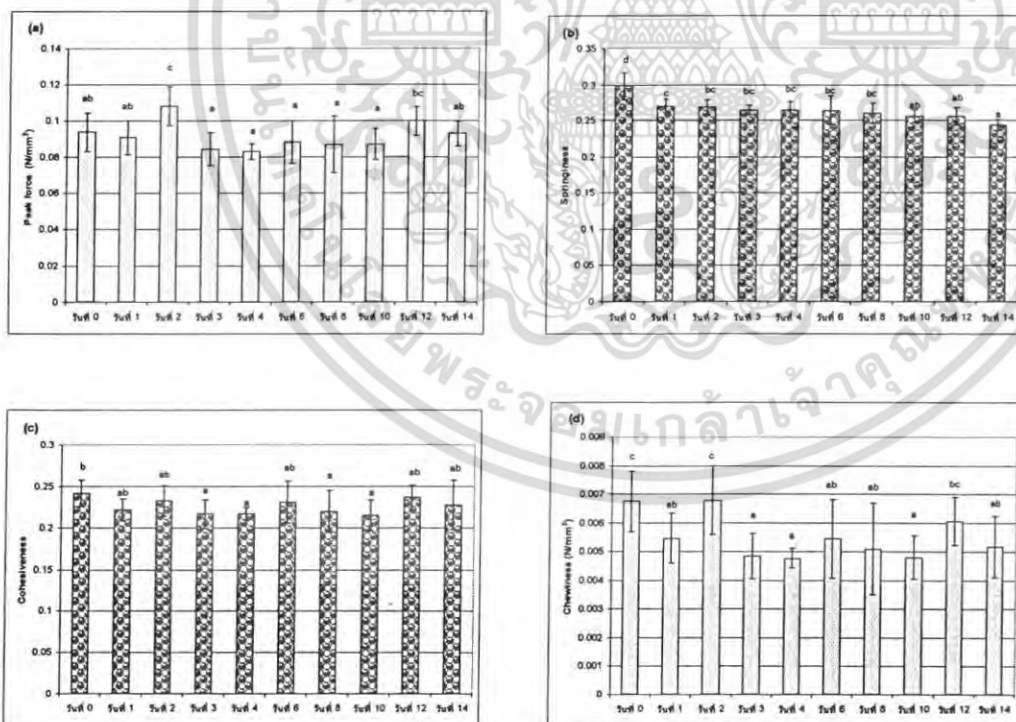
รักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรง และระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบ TPA กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

วันที่	Peak force (N/mm ²)	Springiness	Cohesiveness	Chewiness(N/mm ²)
0	0.094 ± 0.0113 ^{ab}	0.298 ± 0.020 ^d	0.241 ± 0.017 ^b	0.0067 ± 0.0011 ^c
1	0.091 ± 0.0098 ^{ab}	0.270 ± 0.010 ^c	0.221 ± 0.014 ^{ab}	0.0054 ± 0.0009 ^{ab}
2	0.108 ± 0.0114 ^c	0.269 ± 0.011 ^{bc}	0.232 ± 0.020 ^{ab}	0.0068 ± 0.0013 ^c
3	0.084 ± 0.0095 ^a	0.264 ± 0.007 ^{bc}	0.216 ± 0.019 ^a	0.0048 ± 0.0008 ^a
4	0.083 ± 0.0045 ^a	0.265 ± 0.012 ^{bc}	0.217 ± 0.008 ^a	0.0048 ± 0.0004 ^a
6	0.088 ± 0.0122 ^a	0.264 ± 0.021 ^{bc}	0.231 ± 0.027 ^{ab}	0.0055 ± 0.0014 ^{ab}
8	0.087 ± 0.0163 ^a	0.260 ± 0.015 ^{bc}	0.220 ± 0.026 ^a	0.0051 ± 0.0018 ^{ab}
10	0.087 ± 0.0089 ^a	0.255 ± 0.009 ^{ab}	0.215 ± 0.019 ^a	0.0048 ± 0.0008 ^a
12	0.100 ± 0.0083 ^{bc}	0.256 ± 0.013 ^{ab}	0.237 ± 0.016 ^{ab}	0.0061 ± 0.0009 ^{bc}
14	0.093 ± 0.0069 ^{ab}	0.243 ± 0.008 ^a	0.228 ± 0.032 ^{ab}	0.0052 ± 0.0011 ^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05), n=10



รูปที่ 5.27 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

(a) Peak force: N/mm² (b) Springiness (c) Cohesiveness (d) Chewiness: N/mm² ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่วารณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปที่ 5.25 และ 5.26 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ที่มีแนวโน้มชัดเจน กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ มีลักษณะใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.27 พบว่า ค่า Peak force ซึ่งแสดงถึงแรงสูงสุดที่เนื้อกุ้งด้านหัววัดเมื่อได้รับแรงกดในการกดครั้งแรก มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าความสามารถในการต้านแรงกดของเนื้อกุ้งไม่ขึ้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ค่า Springiness ซึ่งแสดงความสามารถในการคืนตัวของเนื้อกุ้งหาได้จากอัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการกดให้ถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองกับเวลาที่ใช้กดให้ถึงแรงสูงสุดครั้งแรก มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 และแตกต่างกันทางสถิติจากกุ้งที่ผ่านการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จากนั้นลดลงตามระยะเวลาในการเก็บ ซึ่งในช่วงเวลาของการเก็บ 2-12 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าขณะที่กุ้งสดความสามารถคืนตัวได้ดีที่สุด และลดลงเมื่อผ่านการเก็บรักษาแต่เวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลทำให้ความสามารถในการคืนตัวเปลี่ยนไปมากนัก ค่า Cohesiveness ซึ่งแสดงถึงแรงยึดเกาะกันภายในเนื้อของอาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรกกับพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่สอง มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่างานที่เนื้อกุ้งใช้ในการต้านแรงกดของหัววัดนั้นไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และค่า Chewiness ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหารที่เป็นของแข็ง (solid) ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าพลังงานที่ใช้บดเคี้ยวให้เนื้อกุ้งอยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บ ดังนั้น การทดสอบแบบ TPA จึงไม่สามารถใช้เพื่อพิจารณาลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้

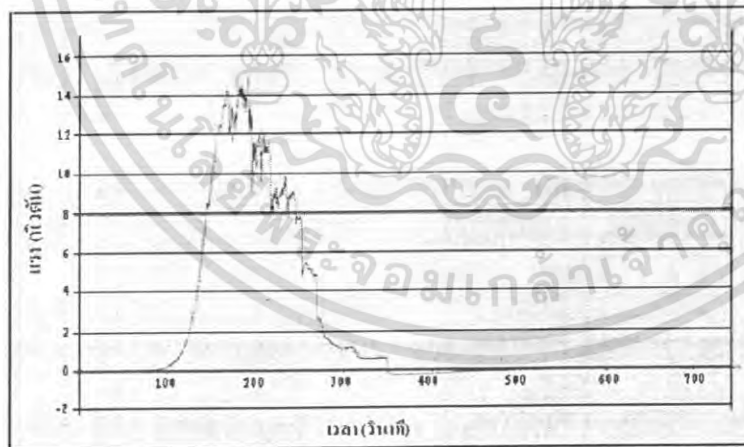
เปรียบเทียบผลของการเก็บรักษากุ้งในน้ำแข็งที่เวลาต่าง ๆ ค่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation Compression และ TPA ซึ่งเป็นการทดสอบลักษณะการกด พบว่า ไม่สามารถใช้เพื่อพิจารณาลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสามารถในการคืนตัวของกุ้งเช่น ค่า Modulus of elasticity ที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation และค่า elasticity ที่ได้จากการทดสอบแบบ Compression ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า Springiness ที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA แบ่งระดับความสดของกุ้งออกเป็น กุ้งสดและกลุ่มของกุ้งที่ผ่านการเก็บรักษา โดยกุ้งสดสามารถคืนตัวได้ดีที่สุดและกุ้งที่ผ่านการเก็บรักษาความสามารถในการคืนตัวไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังนั้น การทดสอบลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่ใช้แรงกด จึงไม่ใช่การทดสอบที่เหมาะสมไม่สามารถใช้ทดสอบเพื่อพิจารณาระดับความสดของกุ้งที่อายุการเก็บต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีด Warner

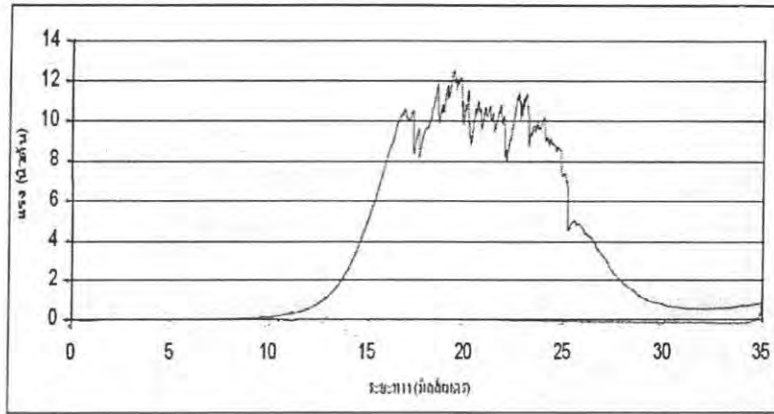
พิจารณารูปที่ 5.28 และ 5.29 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน พบว่า ในช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงด้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดของกราฟเป็นจุดที่เริ่มเกิดแรงเฉือนบริเวณผิวกึ่ง เมื่อหัววัดสามารถตัดเข้าไปในหนังกึ่งและเนื้อกึ่งได้ ค่าแรงด้านจะลดลง โดยหัววัดแบบ Warner ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสกับส่วนลำตัวของกึ่งมาก แรงที่ใช้จึงเกิดทั้งแรงกดและแรงเฉือน เมื่อหัววัดเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิม แรงด้านมีค่าลดลงจนติดลบ เนื่องจากเกิดแรงด้านการเคลื่อนที่กลับที่กึ่งกระทำกลับหัววัด ซึ่งเป็นแรงเฉือน

รูปที่ 5.30 และ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาคือวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner คือ ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัด (Shear force: N/mm^2) ความสามารถในการต้านแรงทั้งหมด (Shear work: $N.mm$) ความสามารถในการต้านแรงจนถึงระยะทางที่ทำให้เกิดแรงสูงสุด (Toughness: $N.mm$) งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง (Adhesiveness: $N.mm$) และค่าความยืดหยุ่นปรากฏ (Stiffness: N/mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.32

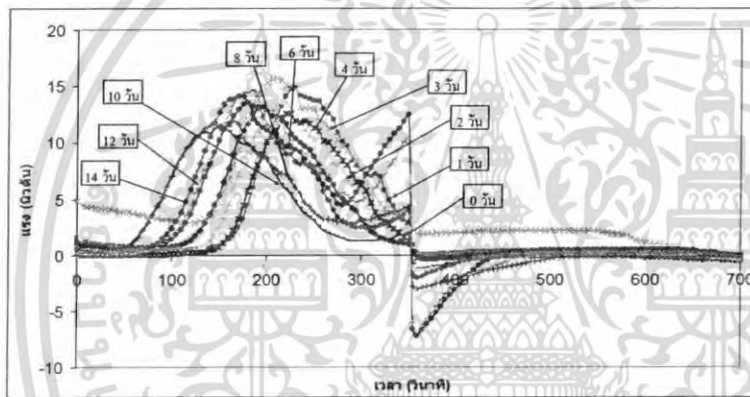


รูปที่ 5.28 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

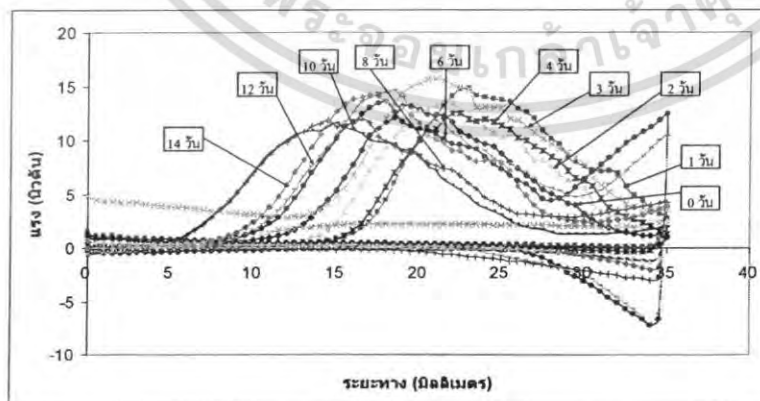
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



รูปที่ 5.30 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ี้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน



รูปที่ 5.31 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

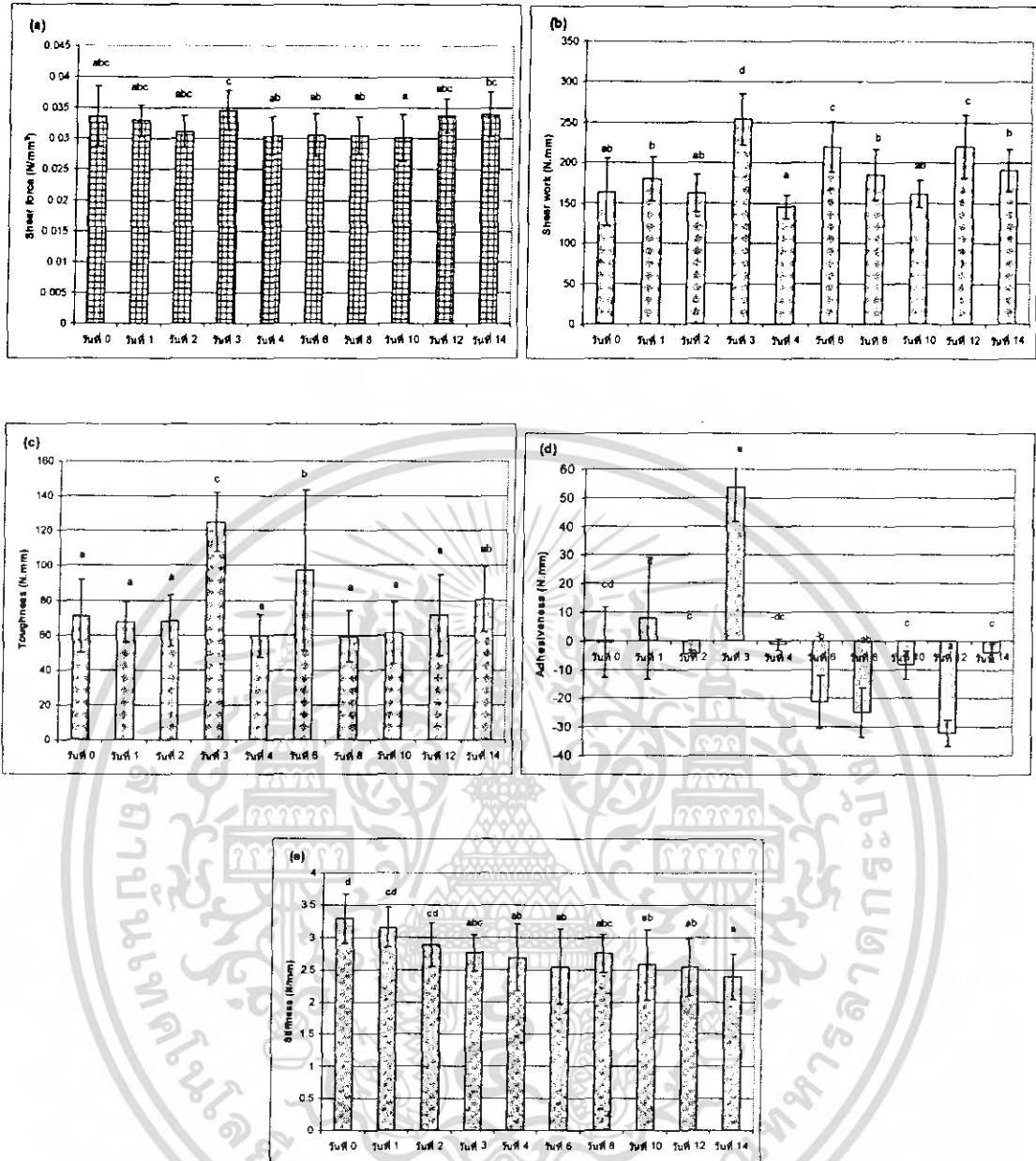
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการคัดด้วยใบมีดแบบ Warner กับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

Day	Shear force (N/mm ²)	Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Adhesiveness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	0.034 ± 0.0052 ^{abc}	163.42 ± 44.42 ^{ab}	71.19 ± 22.05 ^a	0.60 ± 12.95 ^d	3.30 ± 0.40 ^d
1	0.033 ± 0.0027 ^{abc}	180.66 ± 28.99 ^b	67.65 ± 12.50 ^a	7.90 ± 22.33 ^d	3.15 ± 0.32 ^{cd}
2	0.031 ± 0.0052 ^{abc}	162.57 ± 24.56 ^{ab}	68.23 ± 15.55 ^a	4.52 ± 1.24 ^c	2.89 ± 0.36 ^{bcd}
3	0.035 ± 0.0034 ^c	253.94 ± 33.51 ^d	124.97 ± 17.72 ^c	53.74 ± 12.76 ^c	2.77 ± 0.29 ^{abc}
4	0.030 ± 0.0032 ^{ab}	145.24 ± 15.67 ^a	59.79 ± 13.08 ^a	1.13 ± 2.20 ^{cd}	2.69 ± 0.55 ^{ab}
6	0.031 ± 0.0037 ^{ab}	219.75 ± 32.83 ^c	97.39 ± 48.59 ^b	21.37 ± 9.70 ^b	2.55 ± 0.62 ^{ab}
8	0.031 ± 0.0032 ^{ab}	185.53 ± 33.21 ^b	59.39 ± 15.32 ^a	24.93 ± 9.08 ^{ab}	2.76 ± 0.31 ^{abc}
10	0.030 ± 0.0040 ^a	161.32 ± 17.32 ^{ab}	61.37 ± 18.33 ^a	8.47 ± 5.04 ^c	2.58 ± 0.57 ^{ab}
12	0.034 ± 0.0029 ^{abc}	220.14 ± 40.95 ^c	71.61 ± 24.65 ^a	32.26 ± 4.85 ^a	2.54 ± 0.47 ^{ab}
14	0.034 ± 0.0039 ^{bc}	190.91 ± 27.68 ^b	80.70 ± 19.71 ^a	3.97 ± 3.27 ^c	2.40 ± 0.37 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c d และ e) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

จากรูปที่ 5.30-5.32 และตารางที่ 5.8 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันกราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มชัดเจน เมื่อระยะเวลาการเก็บเปลี่ยนไป โดยพบว่า ค่า Shear force ซึ่งแสดงถึงแรงสูงสุดที่เนื้อกุ้งด้านหัววัดเมื่อได้รับแรง ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นเป็นแรงเฉือนเพราะหัววัดสามารถตัดเข้าไปในเนื้อกุ้ง ได้มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าความสามารถในการต้านแรงกดของเนื้อกุ้งมีการเปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ค่า Shear work และ Toughness ซึ่งแสดงถึงงานที่เกิดจากการต้านหัววัดที่กดทับลงบนตัวกุ้ง มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่างานที่เนื้อกุ้งใช้ในการต้านแรงกดของหัววัดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นกับระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า Adhesiveness ซึ่งแสดงถึงงานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากตัวกุ้ง มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้



รูปที่ 5.32 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบWarner กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

(a) Shear force: N/mm²

(b) Shear work: N.mm,

(c) Toughness: N.mm

(d) Adhesiveness: N.mm

(e) Stiffness: N/mm

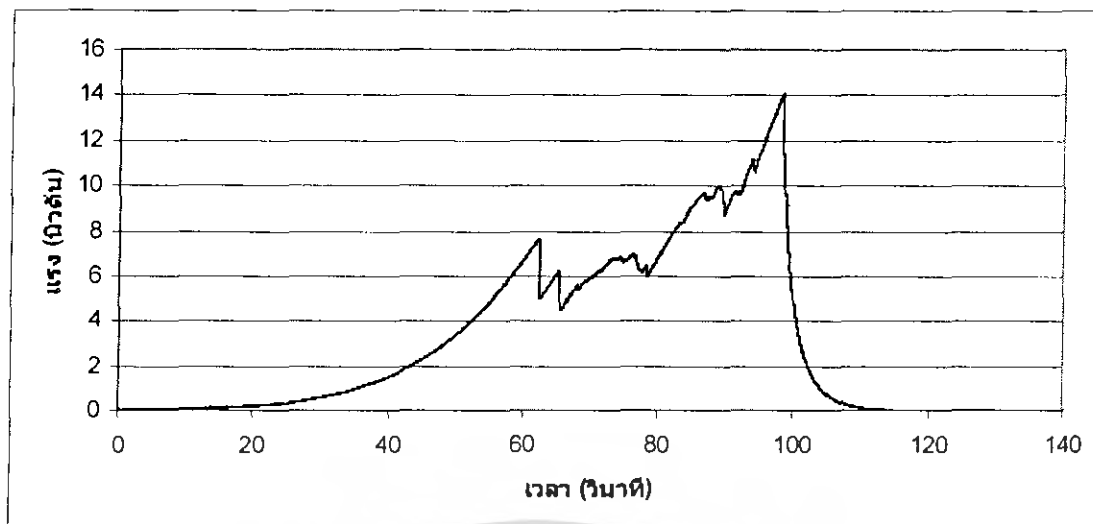
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่างานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากตัวกึ่งหรือความเหนียวในเนื้อกึ่งที่ด้านการเคลื่อนที่กลับของหัววัดมีการเปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ และค่า Stiffness ซึ่งแสดงถึงความยืดหยุ่นของเนื้อกึ่ง มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 จากนั้นลดลงตามระยะเวลาในการเก็บ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าความยืดหยุ่นของกึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ ดังนั้น การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner จึงไม่สามารถใช้เพื่อพิจารณาถึงลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้

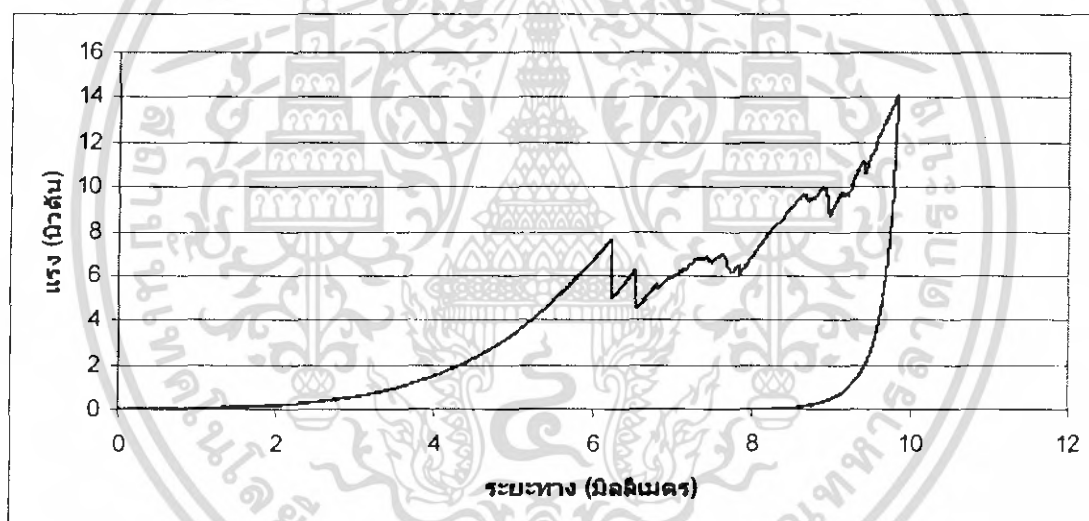
5.3.5 การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม

พิจารณารูปที่ 5.33 และ 5.34 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด โดยที่ระยะการกดมากขึ้นแรงด้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดแรกของกราฟเป็นจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายกับเนื้อกึ่งที่เกิดจากแรงกด เรียกจุดนี้ว่า Break point หัววัดสามารถตัดเข้าไปในหนังกึ่งได้ค่าแรงด้าน ซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งใบมีดสามารถตัดเข้าไปในบริเวณของเนื้อกึ่งได้ กราฟมีจุดยอด 2 จุดซึ่งจุดที่ 1 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดการขาดของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่ง (เป็นจุดที่ใบมีดสามารถตัดผ่านผิวกึ่ง) และจุดที่ 2 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดจากการขาดของเนื้อกึ่ง

รูปที่ 5.35 และ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบ การตัดด้วยใบมีดคมคือ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการตัด 90 % (Shear force: N/mm^2) ความสามารถในการต้านแรง (Shear work: $N.mm$) ความสามารถในการต้านแรงจนถึงระยะทางที่ทำให้เกิดแรงสูงสุด (Toughness: $N.mm$) ค่าความยืดหยุ่นปรากฏ (Stiffness: N/mm) และ Break point ดังแสดงในตารางที่ 5.9 และ 5.10 และรูปที่ 5.37 และ 5.38

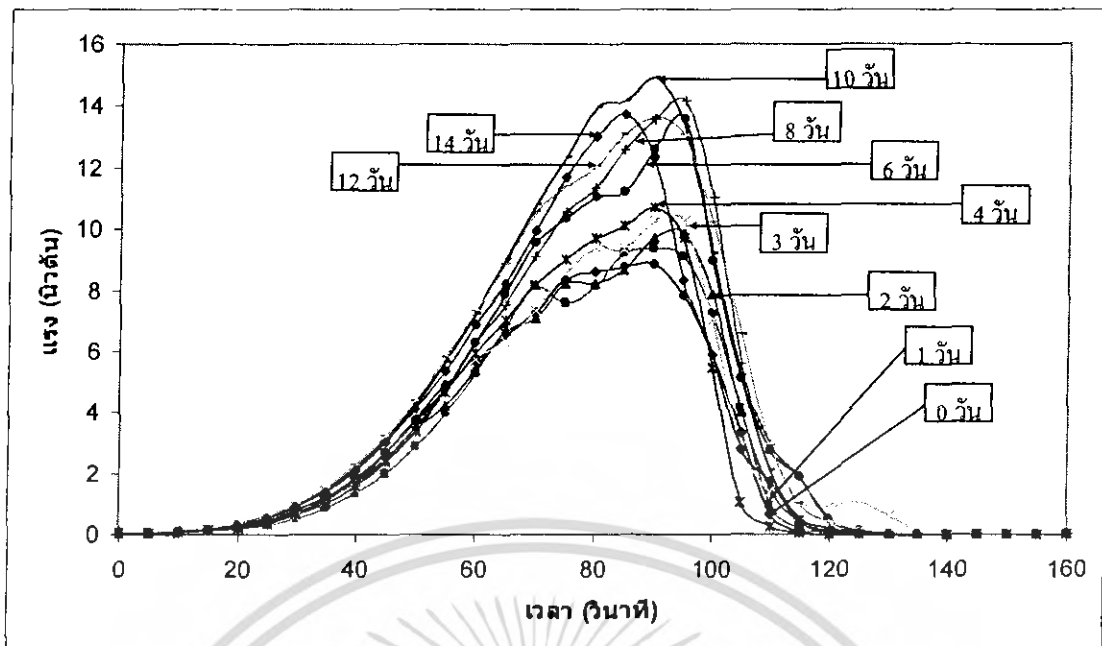


รูปที่ 5.33 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคนกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

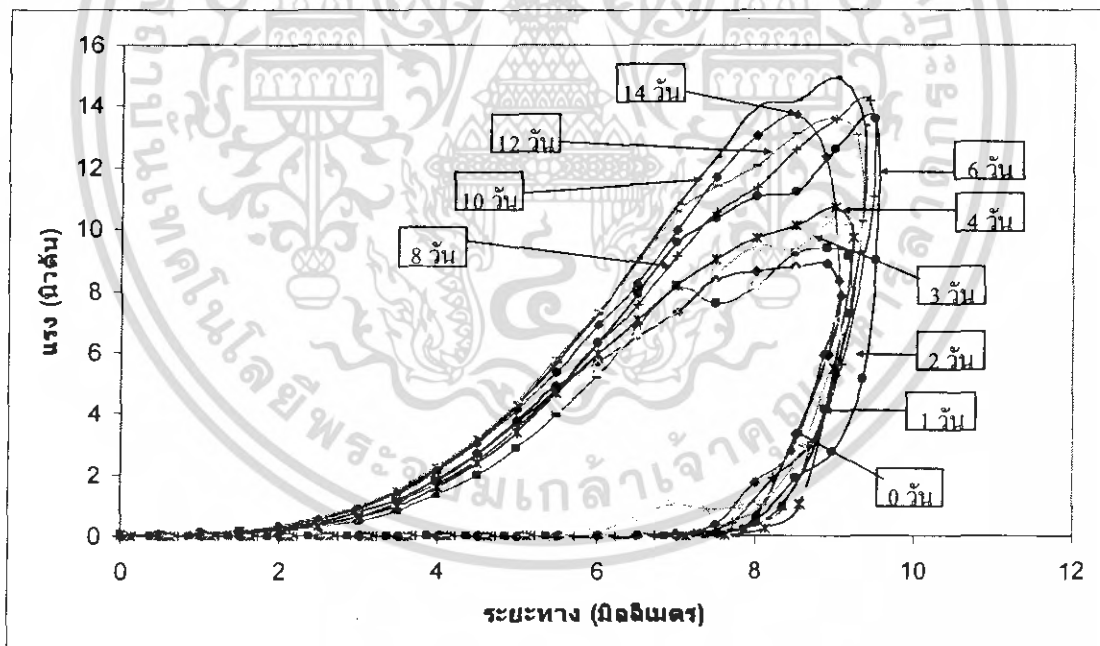


รูปที่ 5.34 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคนกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.35 กราฟความสัมพันธ์ของแรงแท่งและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน



รูปที่ 5.36 กราฟความสัมพันธ์ของแรงแท่งและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรง และระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

วันที่	Shear force (N/mm ²)	Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Breaking point	
					Force (N/mm ²)	distance (mm)
0	0.0282 ± 0.003 ^a	43.84 ± 5.20 ^{ab}	38.68 ± 7.35 ^a	3.36 ± 0.43 ^{ab}	0.0185 ± 0.005 ^a	6.08 ± 0.98 ^a
1	0.0280 ± 0.002 ^a	44.08 ± 5.47 ^{ab}	40.66 ± 5.60 ^a	3.14 ± 0.43 ^{ab}	0.0227 ± 0.003 ^a	7.20 ± 0.54 ^b
2	0.0286 ± 0.004 ^a	46.14 ± 6.15 ^{ab}	42.62 ± 5.42 ^a	2.97 ± 0.50 ^a	0.0196 ± 0.005 ^a	6.53 ± 1.00 ^{ab}
3	0.0322 ± 0.003 ^b	48.33 ± 6.77 ^b	42.01 ± 6.50 ^a	3.24 ± 0.35 ^{ab}	0.0197 ± 0.006 ^a	6.54 ± 1.36 ^{ab}
4	0.0318 ± 0.003 ^b	42.03 ± 7.02 ^a	43.20 ± 4.23 ^b	3.53 ± 0.47 ^b	0.0188 ± 0.006 ^a	6.20 ± 0.87 ^a

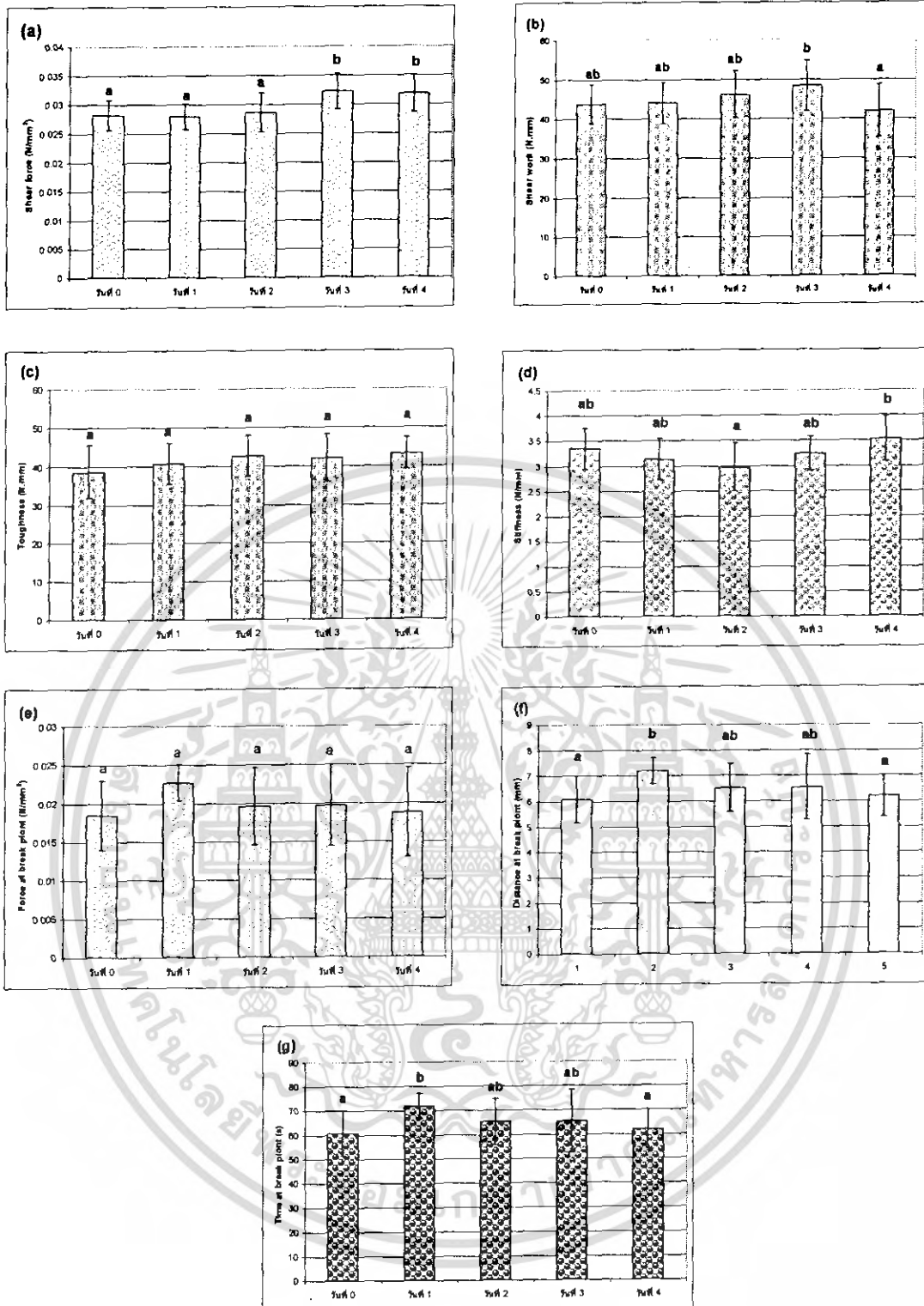
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b c d e และ f) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05), n=10

ตารางที่ 5.10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

วันที่	Shear force (N/mm ²)	Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Breaking point	
					Force (N/mm ²)	distance (mm)
0	0.0282 ± 0.003 ^a	43.84 ± 5.20 ^a	38.68 ± 7.35 ^a	3.36 ± 0.43 ^{abc}	0.0185 ± 0.005 ^a	6.08 ± 0.98 ^a
1	0.0280 ± 0.002 ^a	44.08 ± 5.47 ^a	40.66 ± 5.60 ^{ab}	3.14 ± 0.43 ^{ab}	0.0227 ± 0.003 ^{ab}	7.20 ± 0.54 ^{bc}
2	0.0286 ± 0.004 ^{ab}	46.14 ± 6.15 ^a	42.62 ± 5.42 ^{abc}	2.97 ± 0.50 ^a	0.0196 ± 0.005 ^a	6.53 ± 1.00 ^{abc}
3	0.0322 ± 0.003 ^b	48.33 ± 6.77 ^a	42.01 ± 6.50 ^{abc}	3.24 ± 0.35 ^{ab}	0.0197 ± 0.006 ^a	6.54 ± 1.36 ^{abc}
4	0.0318 ± 0.003 ^{ab}	42.03 ± 7.02 ^a	43.20 ± 4.23 ^{abc}	3.53 ± 0.47 ^{bcd}	0.0188 ± 0.006 ^a	6.20 ± 0.87 ^{ab}
6	0.0376 ± 0.005 ^c	59.88 ± 6.00 ^{bc}	48.52 ± 9.79 ^{bcd}	3.68 ± 0.30 ^{cd}	0.0265 ± 0.007 ^{bc}	7.19 ± 0.90 ^{bc}
8	0.0396 ± 0.005 ^c	61.13 ± 8.10 ^{bc}	51.25 ± 10.57 ^{cd}	3.69 ± 0.28 ^{cd}	0.0252 ± 0.005 ^{bc}	7.05 ± 1.07 ^{abc}
10	0.0403 ± 0.004 ^c	65.99 ± 7.20 ^c	50.87 ± 6.39 ^{cd}	3.85 ± 0.22 ^c	0.0308 ± 0.005 ^c	7.31 ± 0.77 ^c
12	0.0383 ± 0.004 ^c	65.30 ± 17.20 ^c	53.85 ± 19.04 ^d	3.50 ± 0.43 ^{bcd}	0.0265 ± 0.005 ^{bc}	6.79 ± 0.59 ^{abc}
14	0.0390 ± 0.005 ^c	56.53 ± 9.56 ^b	45.89 ± 9.68 ^{abcd}	3.72 ± 0.41 ^{cd}	0.0288 ± 0.008 ^c	6.99 ± 1.11 ^{abc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b c d e และ f) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05), n=10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



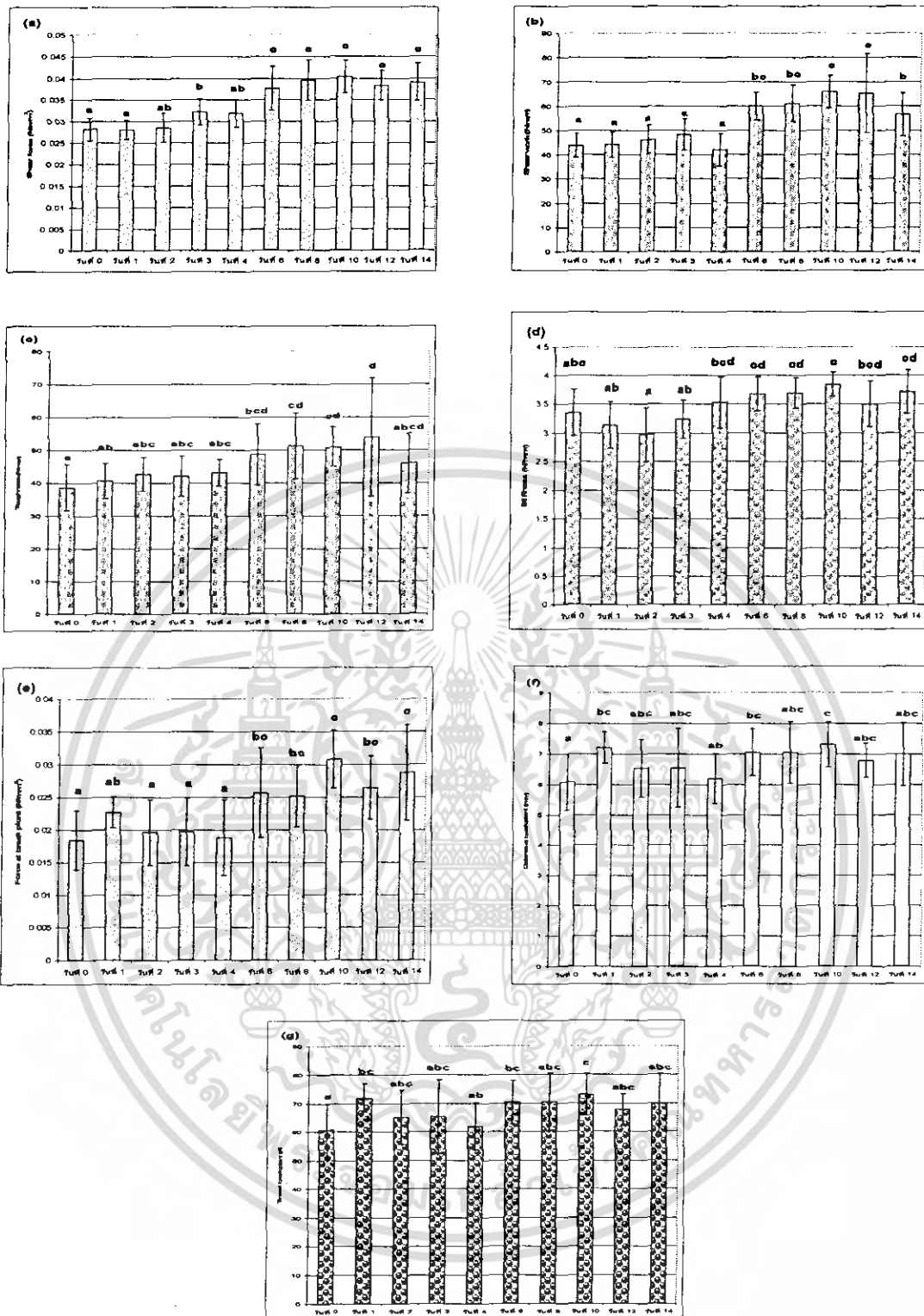
รูปที่ 5.37 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

(a) Shear force: N/mm^2 (b) Shear work: $N.mm$ (c) Toughness: $N.mm$

(d) Stiffness: N/mm (e) Force at break point: N/mm^2

(f) Distance at break point: mm (g) Time at break point: s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.38 ค่าพารามิเตอร์ (Shear force: N/mm^2) ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม กับ กิ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

- (a) Shear force: N/mm^2
- (b) Shear work: $N.mm$
- (c) Toughness: $N.mm$
- (d) Stiffness: N/mm
- (e) Force at break point: N/mm^2
- (f) Distance at break point: mm
- (g) Time at break point: s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.35 และ 5.36 พบว่า กราฟความสัมพันธ์ที่ได้สามารถแบ่งออกตามจุดยอดของกราฟได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ กลุ่มวันที่ 0-4 และ กลุ่มวันที่ 6-12 พิจารณาค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 5.9 และ 5.10 และรูปที่ 5.37 และ 5.38 พบว่า ค่า Shear force และค่า Shear work มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วันออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-4 วัน และ 6-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พิจารณาในกลุ่ม 0-4 วัน พบว่าค่า Shear force สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 4 วันออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 0-2 วัน และ 3-4 วัน โดยทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าค่าความสามารถในการต้านแรงเฉือนของเนื้อกุ้งสามารถใช้เพื่อพิจารณาระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ ในขณะที่ค่า Shear work ในกลุ่ม 0-4 วัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่า Toughness มีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ แต่ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Shear work แสดงว่าความสามารถในการต้านแรงเฉือนสามารถใช้เพื่อพิจารณาความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ดีกว่าความสามารถในการต้านแรงกด

ค่า Stiffness ซึ่งแสดงถึงความแข็งของเนื้อกุ้ง มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ แสดงว่าความยืดหยุ่นของกุ้งมีการเปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ และค่า Break point ซึ่งแสดงถึงค่าแรงและระยะทางที่เนื้อกุ้งเกิดความเสียหายเนื่องจากการรับแรงกด โดยค่าระยะทางที่ Break point มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่สามารถใช้เป็นดัชนีแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ ส่วนแรงที่ Break point สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน ออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-4 วัน และ 6-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พิจารณาในกลุ่ม 0-4 วัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ดังนั้น วิธีการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ โดยพิจารณาจากค่า Shear force, Shear work, Toughness และ แรงที่ Break point

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเก็บรักษาในน้ำแข็งที่เวลาต่าง ๆ ค่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner และใบมีดคมพบว่า การทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคมสามารถแยกลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ดีกว่าการตัดด้วยใบมีดแบบ Warner เนื่องจากใบมีดแบบ Warner มีพื้นที่หน้าตัดในการกดมากกว่าใบมีดคม ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่า การทดสอบในลักษณะการกด ไม่สามารถใช้พิจารณาลักษณะความ

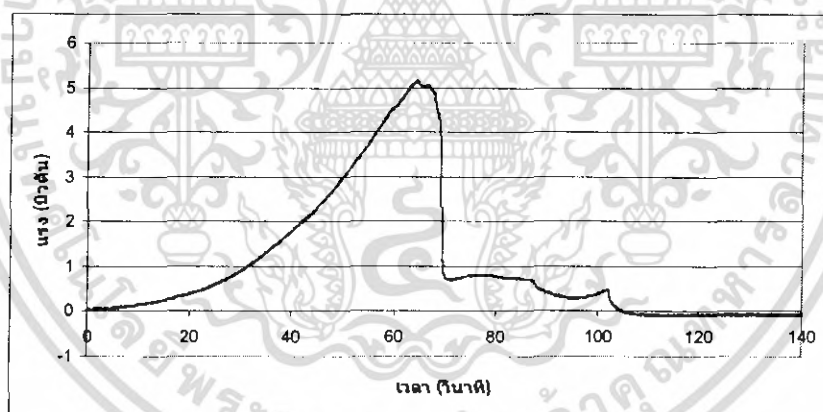
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ ดังนั้นการทดสอบในลักษณะการตัดหรือการใช้แรงเฉือนสามารถใช้เพื่อพิจารณาลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ดีกว่าการทดสอบในลักษณะการกด

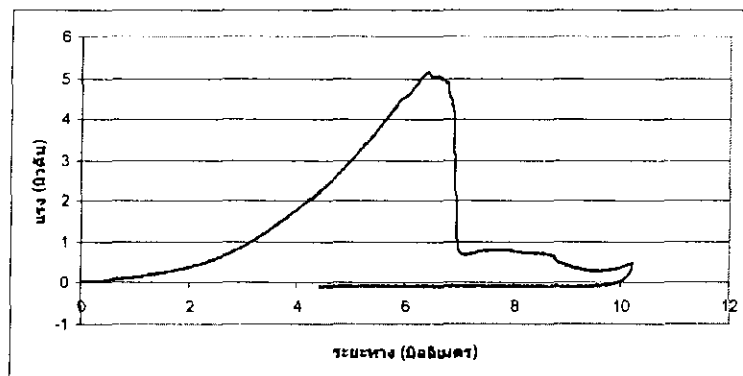
5.3.6 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม

พิจารณารูปที่ 5.39 และ 5.40 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงด้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดของกราฟเป็นจุดที่หัววัดเริ่มเจาะเข้าไปในตัวกึ่งได้ค่าแรงด้านซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง

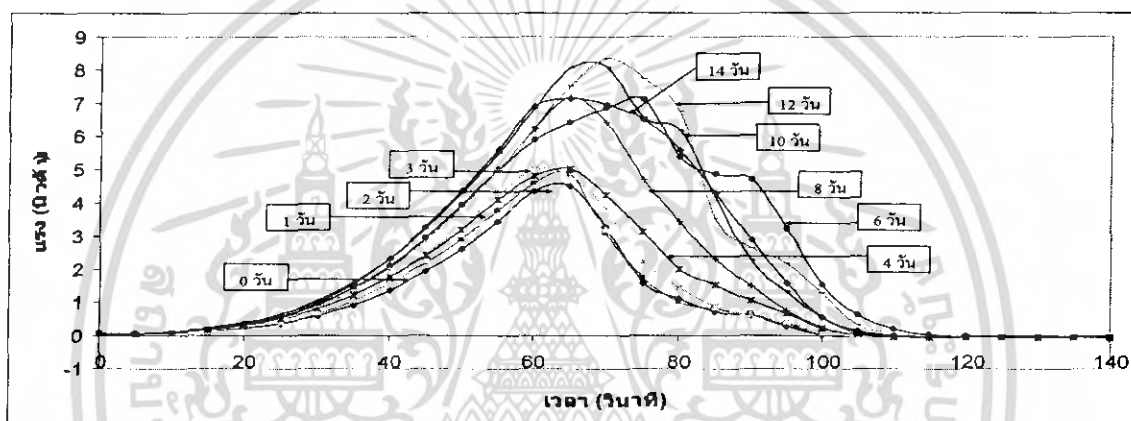
รูปที่ 5.41 และ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม คือ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการเจาะ 90 % (Firmness: N) ความสามารถในการต้านแรงจนถึงระยะทางที่ทำให้เกิดแรงสูงสุด (Toughness: N.mm) และค่าความแข็ง (Stiffness: N/mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.11 และ 5.102 และรูปที่ 5.43 และ 5.44



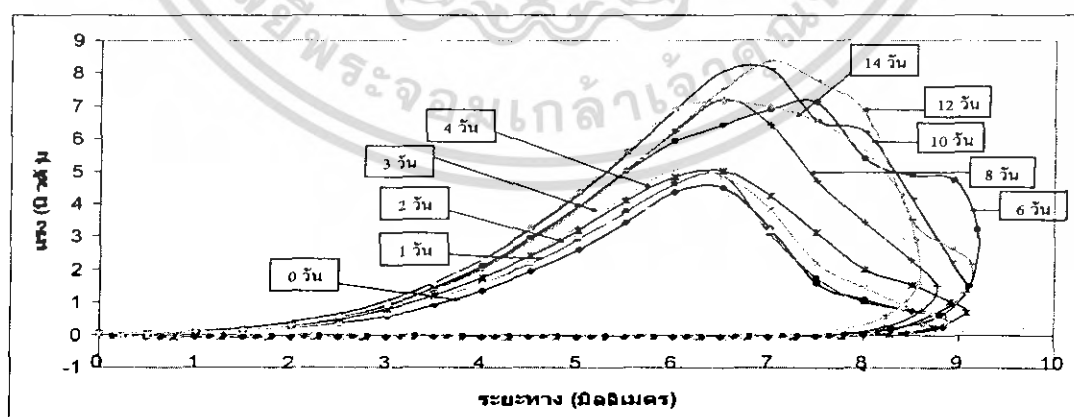
รูปที่ 5.39 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



รูปที่ 5.40 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



รูปที่ 5.41 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาที่ี้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน



รูปที่ 5.42 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

วันที่	Firmness (N)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	5.362 ± 0.9418^a	9.97 ± 2.34^a	1.67 ± 0.21^a
1	5.489 ± 0.5267^a	10.58 ± 2.22^a	1.69 ± 0.14^a
2	5.572 ± 0.7813^{ab}	9.94 ± 2.13^a	1.72 ± 0.22^a
3	6.354 ± 0.9605^{bc}	12.10 ± 2.08^{ab}	1.97 ± 0.31^b
4	6.475 ± 1.2032^c	13.37 ± 3.59^b	1.96 ± 0.28^b

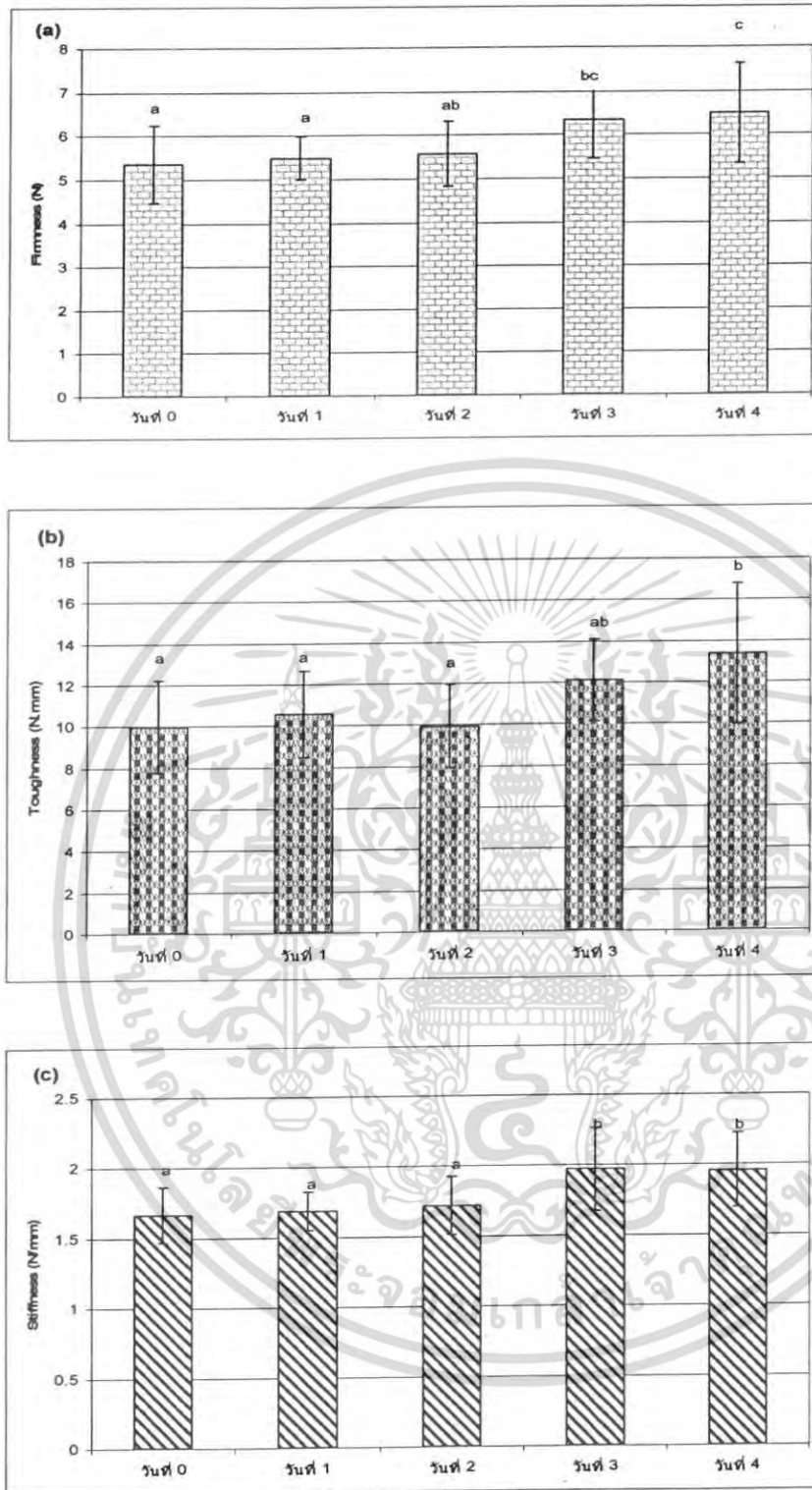
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละวัน (a b และ c) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

ตารางที่ 5.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

วันที่	Firmness (N)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	5.362 ± 0.9418^a	9.97 ± 2.34^a	1.67 ± 0.21^a
1	5.489 ± 0.5267^a	10.58 ± 2.22^a	1.69 ± 0.14^a
2	5.572 ± 0.7813^a	9.94 ± 2.13^a	1.72 ± 0.22^a
3	6.354 ± 0.9605^a	12.10 ± 2.08^{ab}	1.97 ± 0.31^a
4	6.475 ± 1.2032^a	13.37 ± 3.59^{ab}	1.96 ± 0.28^a
6	9.519 ± 2.7840^{bc}	25.30 ± 13.07^d	2.41 ± 0.39^b
8	8.328 ± 2.3244^b	17.59 ± 6.08^{bc}	2.32 ± 0.57^b
10	9.957 ± 1.8338^c	23.76 ± 7.19^{cd}	2.60 ± 0.29^b
12	9.998 ± 1.6231^c	24.21 ± 7.87^d	2.58 ± 0.23^b
14	9.954 ± 1.9252^c	23.62 ± 9.97^{cd}	2.59 ± 0.23^b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละวัน (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



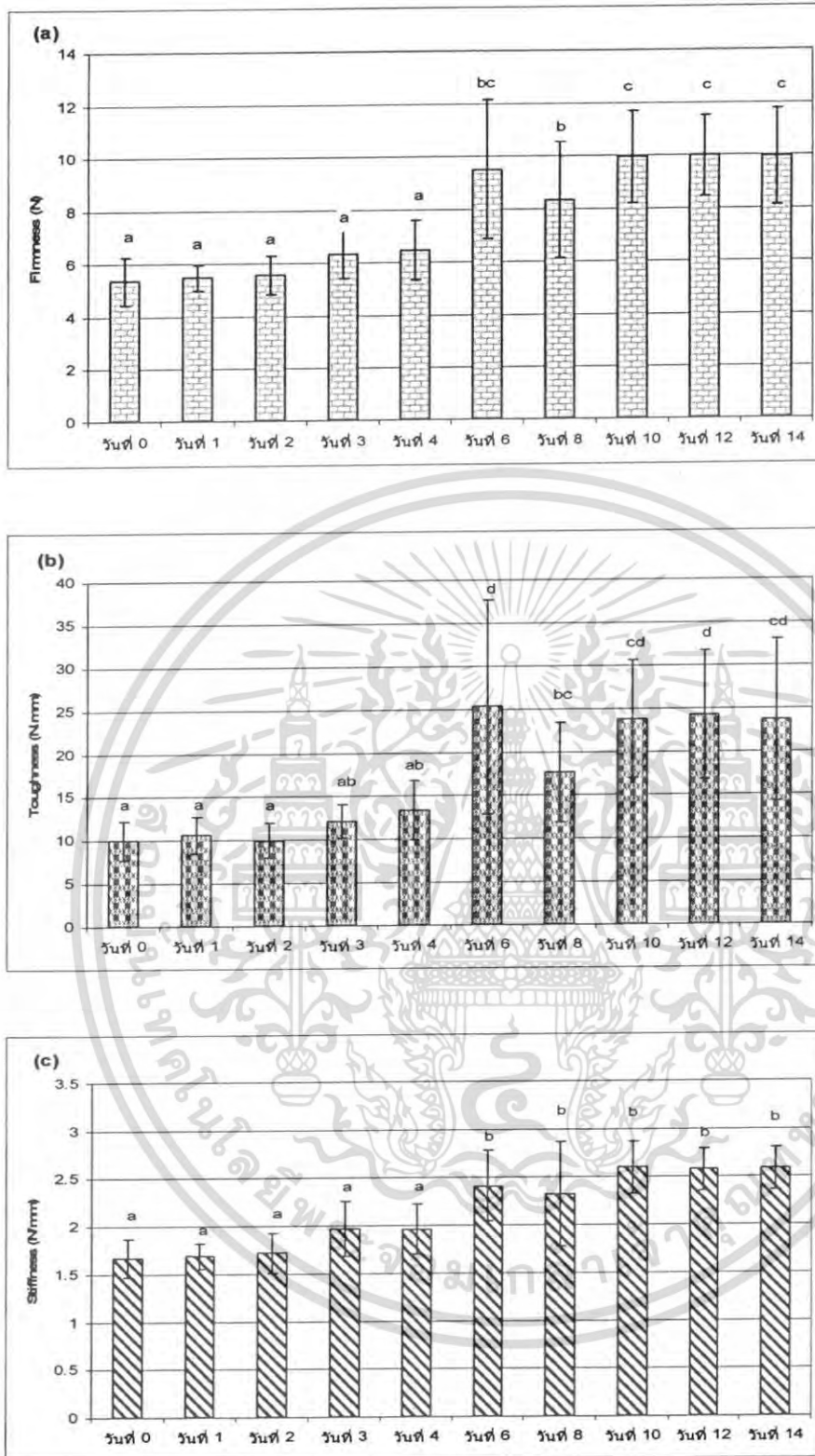
รูปที่ 5.43 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

(a) Firmness: N

(b) Toughness: N.mm

(c) Stiffness: N/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.44 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

(a) Firmness: N

(b) Toughness: N.mm

(c) Stiffness: N/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

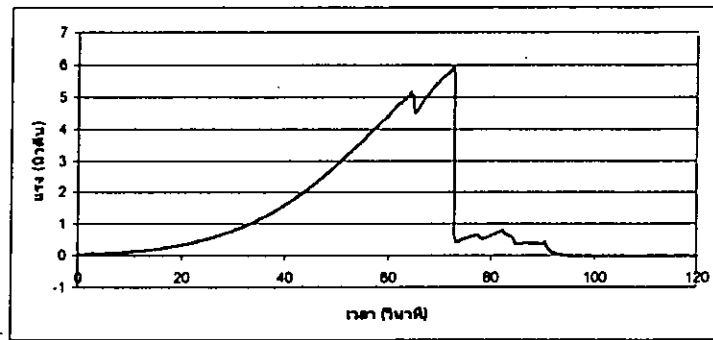
จากรูปที่ 5.41 และ 5.42 พบว่า กราฟความสัมพันธ์ที่ได้สามารถแบ่งออกตามจุดยอดของกราฟได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ กลุ่มวันที่ 0-4 และ กลุ่มวันที่ 6-12 พิจารณาค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 5.11 และ 5.12 และรูปที่ 5.43 และ 5.44 พบว่า ค่า Firmness ซึ่งแสดงถึงแรงสูงสุดที่เนื้อกึ่งตันหัววัดเมื่อได้รับแรง ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นเป็นแรงเฉือนเพราะหัววัดยังสามารถเจาะเข้าไปในเนื้อกึ่งได้ ค่า Toughness ซึ่งแสดงถึงงานที่เกิดจากการดันหัววัดที่เจาะลงไปในตัวกึ่ง และค่า Stiffness ซึ่งแสดงถึงความแข็งของเนื้อกึ่งมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บสามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วันออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-4 วัน และ 6-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พิจารณาในกลุ่ม 0-4 วัน พบว่า ค่า Firmness และ Toughness ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งในวันที่ 0-4 ได้ ค่า Stiffness สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 4 วันออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 0-2 วัน และ 3-4 วัน อย่างไรก็ตาม การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมไม่สามารถใช้บอกความแตกต่างของกึ่งสด (0 วัน) และกึ่งที่ผ่านการเก็บรักษาในน้ำแข็งได้

ดังนั้น วิธีการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ โดยพิจารณาจากค่า Firmness, Toughness และ Stiffness

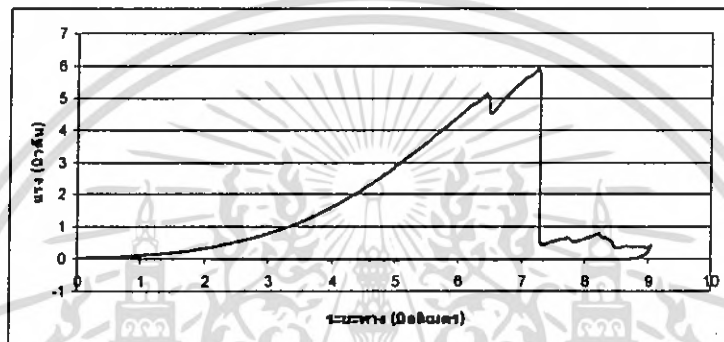
5.3.7 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก

จากรูปที่ 5.45 และ 5.46 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงต้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดของกราฟเป็นจุดที่หัววัดเริ่มเจาะเข้าไปในตัวกึ่งได้ค่าแรงต้านซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง

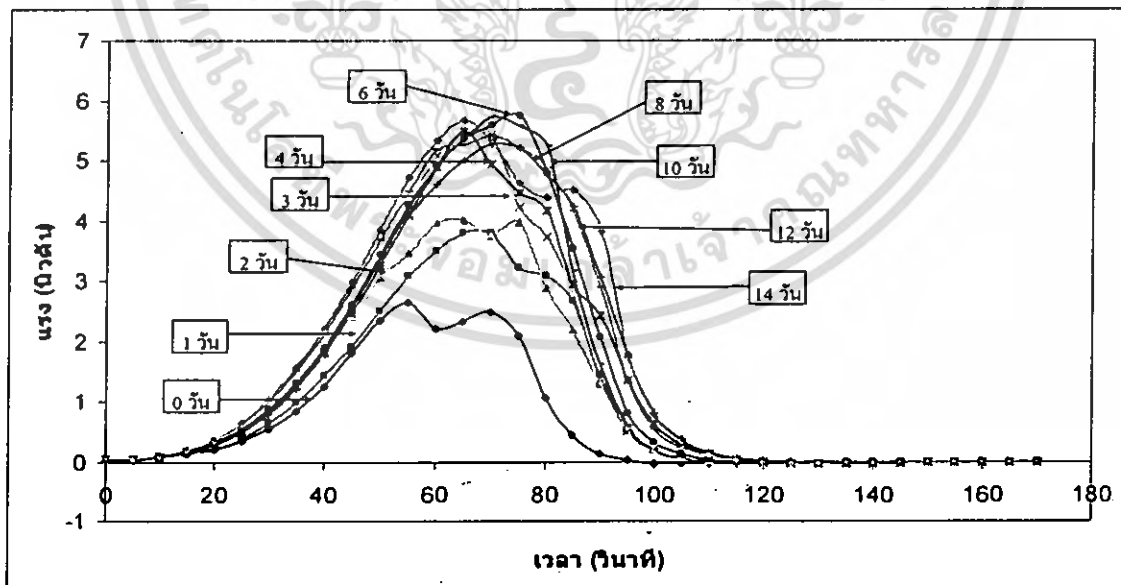
รูปที่ 5.47 และ 5.48 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกึ่งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกคือ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการเจาะ 90 % (Firmness: N) ความสามารถในการต้านแรงจนถึงระยะทางที่ทำให้เกิดแรงสูงสุด (Toughness: N.mm) ค่าความแข็ง (Stiffness: N/mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.13 และ 5.14 และรูปที่ 5.49 และ 5.50



รูปที่ 5.45 กราฟความเข้มข้นของแรงและเวลาที่ได้อจากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน

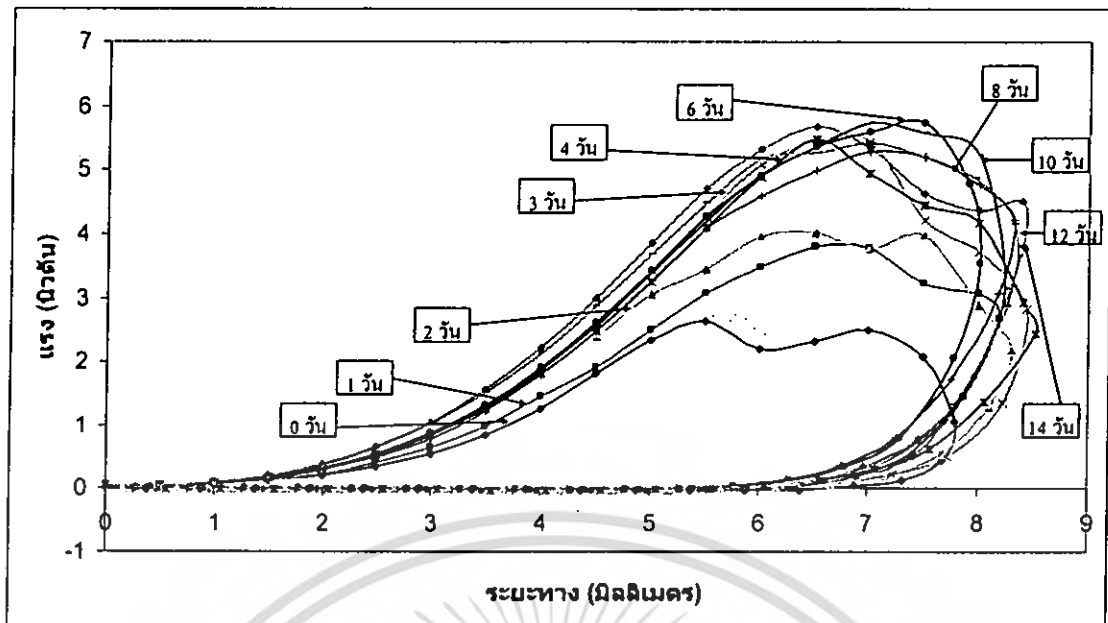


รูปที่ 5.46 กราฟความเข้มข้นของแรงและระยะทางที่ได้อจากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน



รูปที่ 5.47 กราฟความเข้มข้นของแรงและเวลาที่ได้อจากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.48 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

ตารางที่ 5.13 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

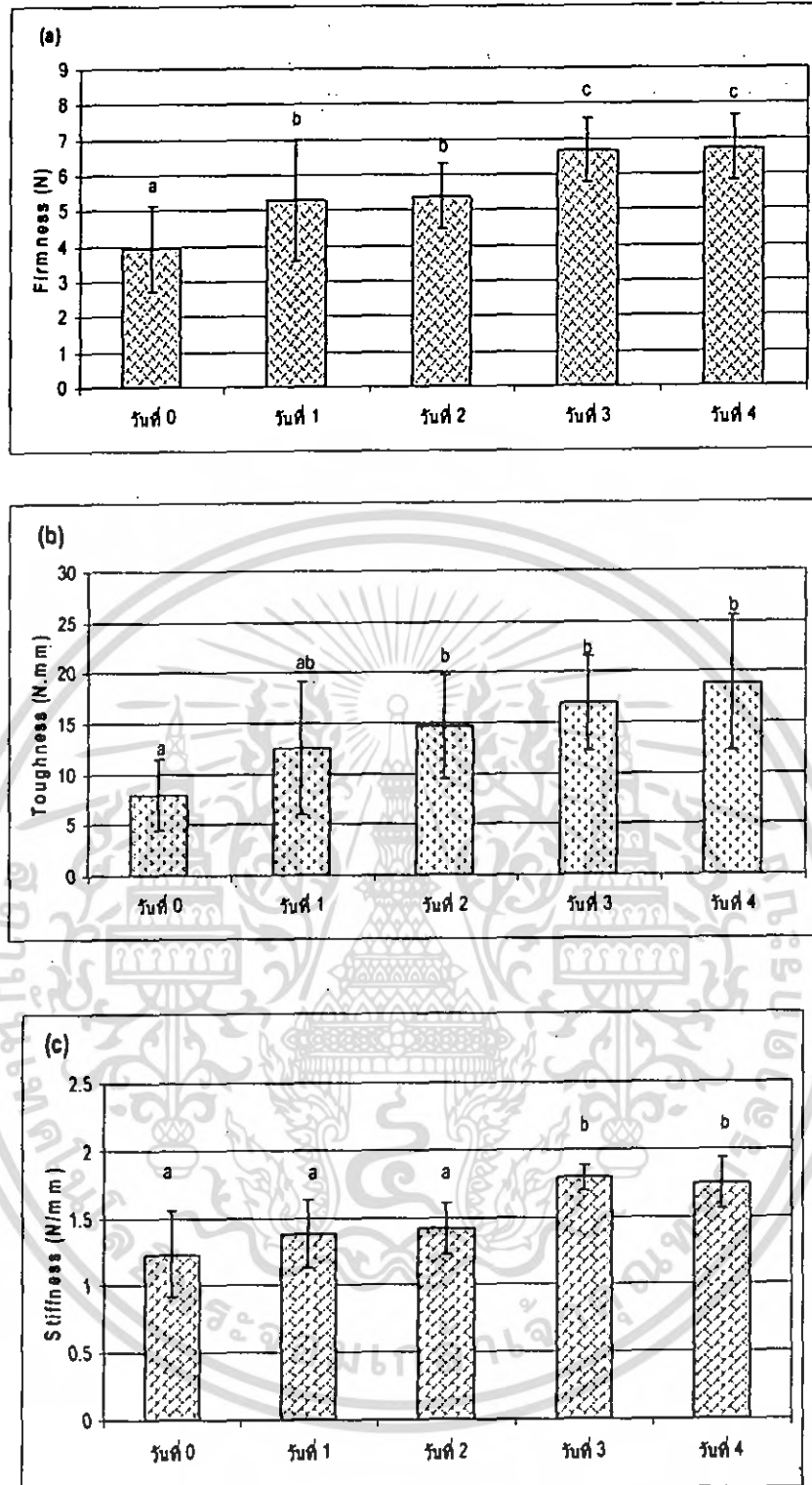
วันที่	Firmness (N)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	3.95 ± 1.31^a	7.99 ± 3.77^a	1.24 ± 0.35^a
1	5.30 ± 1.80^b	12.52 ± 6.96^{ab}	1.39 ± 0.26^a
2	5.39 ± 0.97^b	14.65 ± 5.50^b	1.42 ± 0.20^a
3	6.68 ± 0.95^c	16.92 ± 4.96^b	1.79 ± 0.10^b
4	6.72 ± 0.97^c	18.83 ± 7.06^b	1.75 ± 0.20^b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b และ c) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

ตารางที่ 5.14 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

วันที่	Firmness (N)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	3.95 ± 1.31 ^a	7.99 ± 3.77 ^a	1.24 ± 0.35 ^a
1	5.30 ± 1.80 ^b	12.52 ± 6.96 ^{ab}	1.39 ± 0.26 ^a
2	5.39 ± 0.97 ^b	14.65 ± 5.50 ^{bc}	1.42 ± 0.20 ^a
3	6.68 ± 0.95 ^c	16.92 ± 4.96 ^{bcd}	1.79 ± 0.10 ^b
4	6.72 ± 0.97 ^c	18.83 ± 7.06 ^{cde}	1.75 ± 0.20 ^b
6	6.82 ± 0.77 ^c	20.76 ± 4.79 ^{cde}	1.65 ± 0.12 ^b
8	6.71 ± 0.83 ^c	20.05 ± 6.06 ^{cde}	1.65 ± 0.14 ^b
10	6.85 ± 0.52 ^c	19.60 ± 3.69 ^{cde}	1.65 ± 0.11 ^b
12	6.74 ± 0.64 ^c	21.32 ± 5.17 ^{de}	1.72 ± 0.23 ^b
14	7.15 ± 0.83 ^c	23.70 ± 7.03 ^{de}	1.80 ± 0.15 ^b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b และ c) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05), n=10



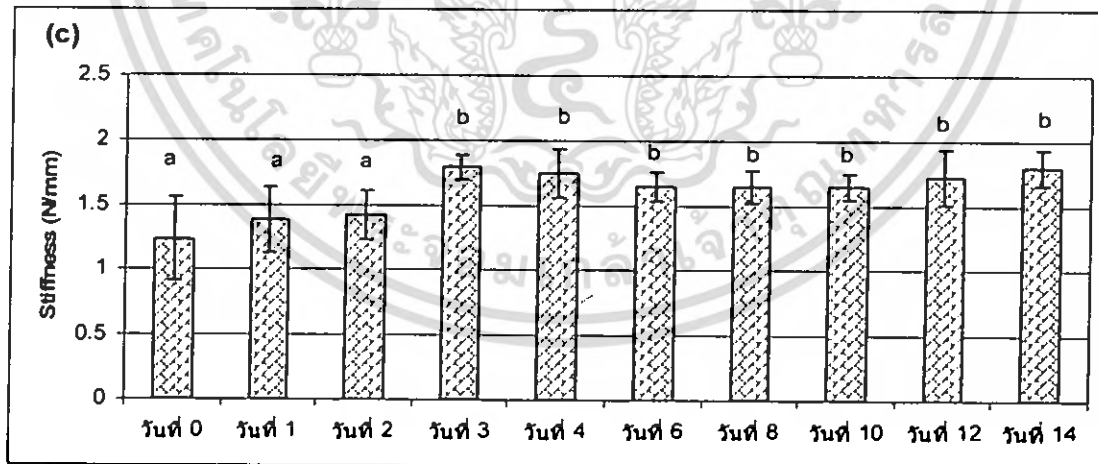
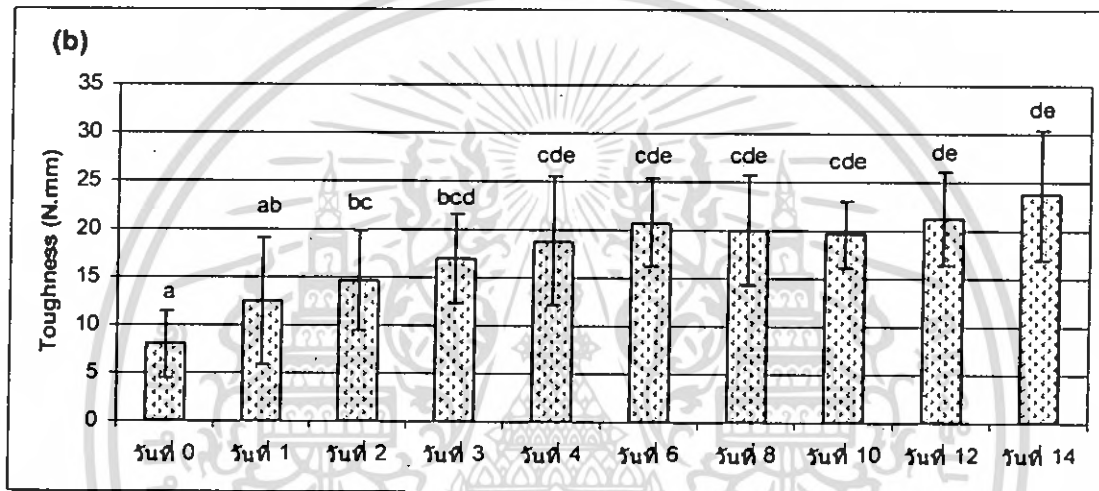
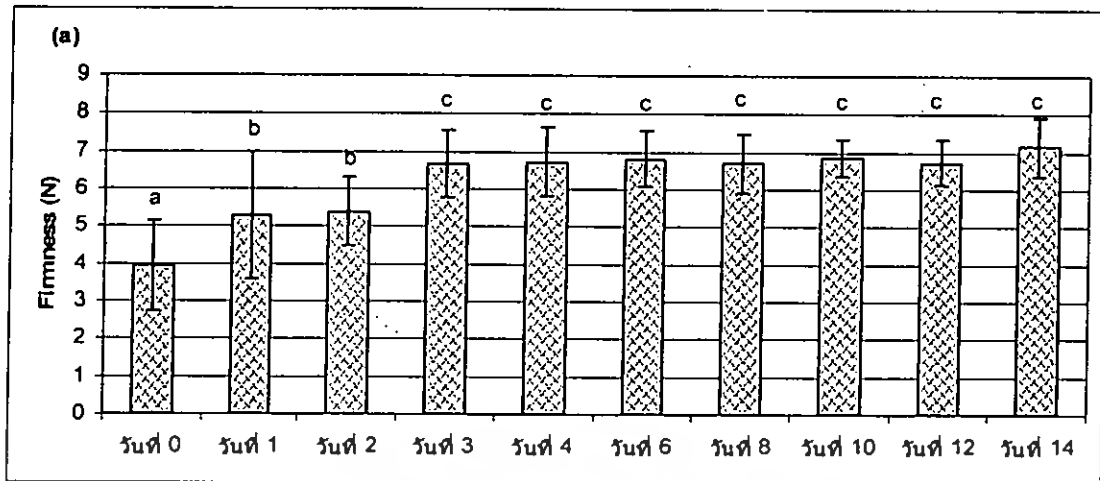
รูปที่ 5.49 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วัน

(a) Firmness: N

(b) Toughness: N.mm

(c) Stiffness: N/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.50 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

(a) Firmness: N

(b) Toughness: N.mm

(c) Stiffness: N/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

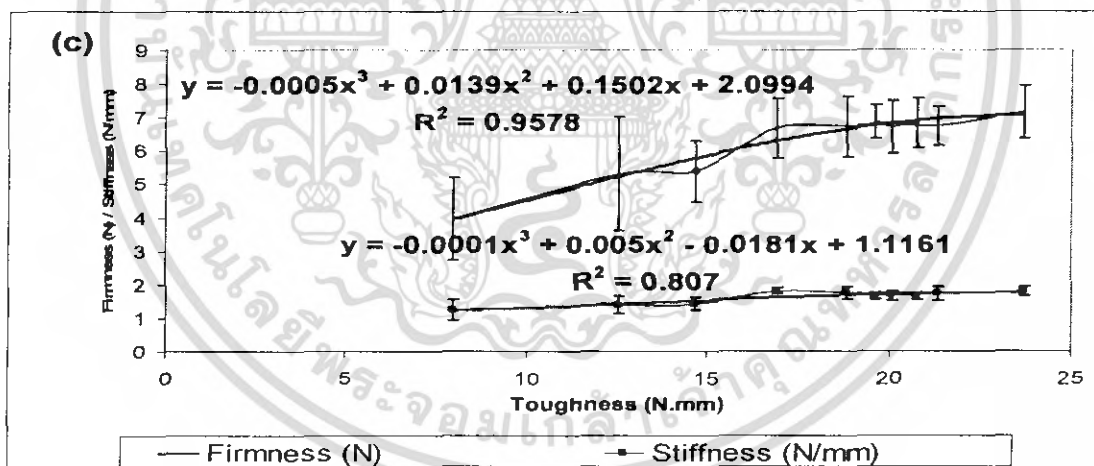
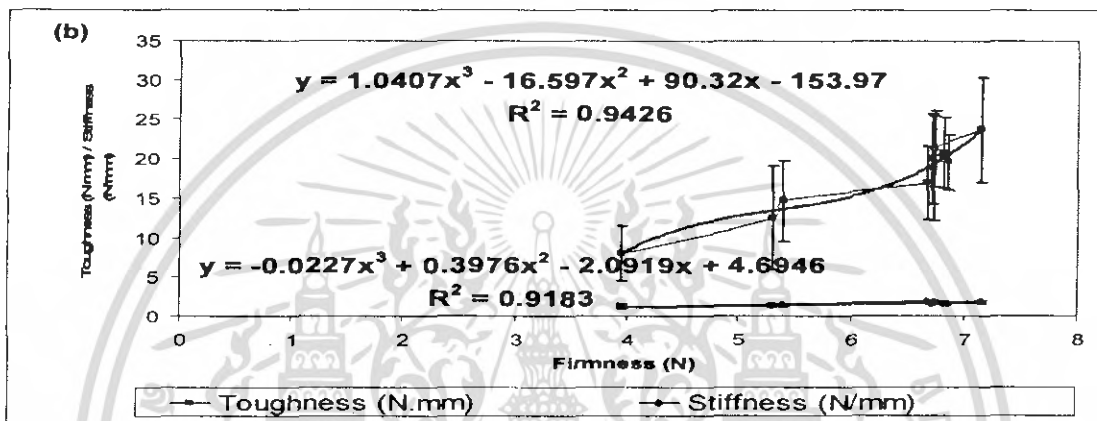
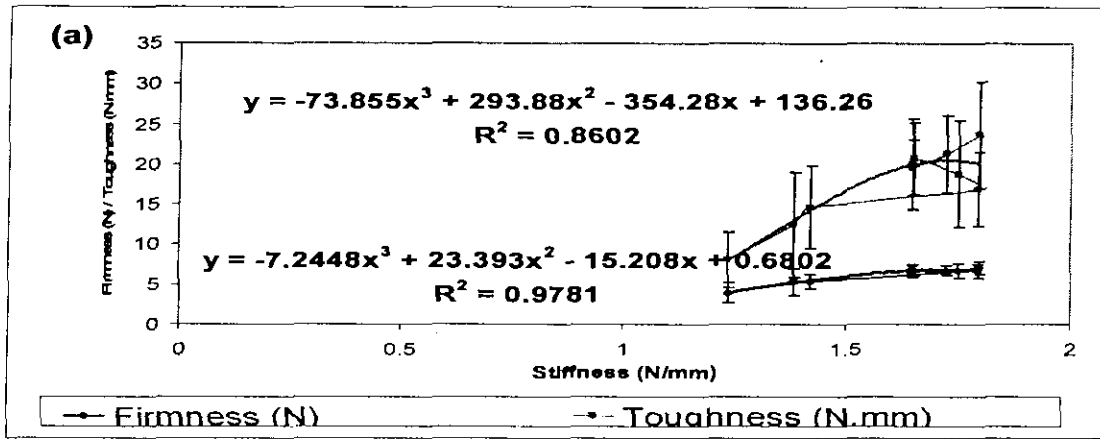
จากรูปที่ 5.47-5.50 และ ตารางที่ 5.13 พบว่า กราฟความสัมพันธ์ที่ได้สามารถแบ่งออกตามจุดยอดของกราฟได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ กลุ่มวันที่ 0-4 และ กลุ่มวันที่ 6-12

พิจารณาค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 5.11 และ 5.12 และรูปที่ 5.43 และ 5.44 พบว่า ค่า Firmness มีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วันออกเป็น 3 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0 วัน กลุ่ม 1-2 วัน และ 3-14 วัน โดยทั้ง 3 กลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พิจารณาใน 0-4 วัน พบว่า สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 4 วัน ออกเป็น 3 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0 วัน กลุ่ม 1-2 วัน และ 3-4 วัน โดยทั้ง 3 กลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ค่า Toughness มีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ แต่ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งในวันที่ 0-14 ได้ ค่า Stiffness มีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วันออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-2 วัน และ 3-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พิจารณาใน 0-4 วัน พบว่า สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 4 วัน ออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-2 วัน และ 3-4 วัน โดยทั้ง 3 กลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ดังนั้น การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ และสามารถใช้ออกความแตกต่างของกุ้งสด (0 วัน) และกุ้งที่ผ่านการเก็บรักษาในน้ำแข็งได้จากค่า Firmness และ Stiffness

ถึงแม้ว่าวิธีการเถื่อนจะสามารถใช้วัดได้ เนื่องจากวิธีการตัดด้วยใบมีดคม วิธีการเจาะด้วยหัววัดทรงกลมและทรงกระบอกนั้นใช้แรงเหวี่ยงเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม วิธีการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกดีที่สุด และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถใช้แบ่งระดับความสดของกุ้งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็งได้ดีที่สุดคือค่า Firmness

พิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก กราฟความสัมพันธ์ สมการและค่า R^2 ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.51



รูปที่ 5.51 กราฟความสัมพันธ์ของที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน

(a) Firmness และ Toughness กับ Stiffness

(b) Toughness และ Stiffness กับ Firmness

(c) Stiffness และ Firmness กับ Toughness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก จากรูปที่ 5.51 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นสมการพหุนามอันดับสามและมีค่า R^2 มากที่สุดคือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Firmness และค่า Stiffness จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อทราบค่าใดค่าหนึ่งสามารถแทนค่าในสมการความสัมพันธ์เพื่อคำนวณหาอีกค่าหนึ่งได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Firmness} &= -7.2448(\text{Stiffness})^3 + 23.393(\text{Stiffness})^2 - (15.208 * \text{Stiffness}) + 0.6802 \\ R^2 &= 0.9781 \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Firmness} &= -0.0005(\text{Toughness})^3 + 0.0139(\text{Toughness})^2 + (0.1502 * \text{Toughness}) + 2.0994 \\ R^2 &= 0.9578 \end{aligned} \quad (5.4)$$

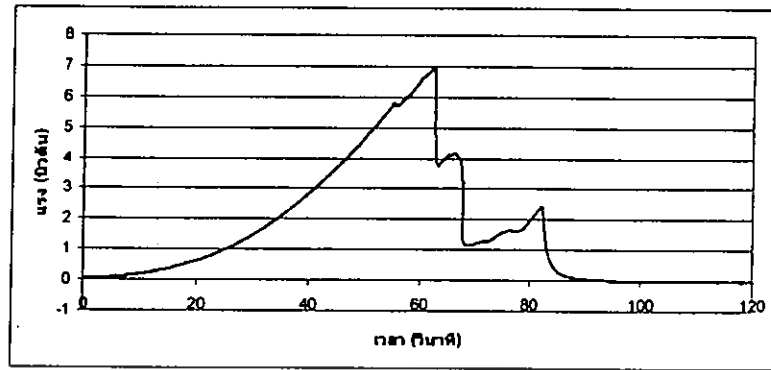
5.4 การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งสุก

เนื่องจากวิธีการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกเป็นวิธีทดสอบที่ดีที่สุดที่สามารถใช้แย่งแยกระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ ดังนั้นวิธีการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกอาจจะใช้เป็นวิธีการทดสอบที่สามารถใช้แย่งแยกระดับความสดของกุ้งสุกได้

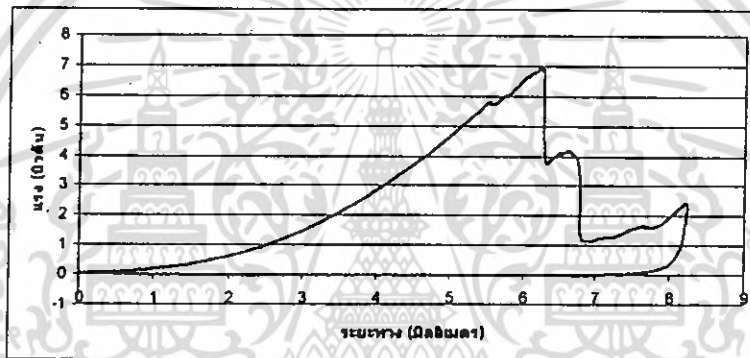
จากรูปที่ 5.52 และ 5.53 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน ที่นำมาปรุงสุก พบว่าช่วงแรกของกราฟแรงที่ใช้เป็นแรงกด ที่ระยะการกดมากขึ้นแรงต้านที่เกิดจากการกดก็มีค่ามากขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงจุดยอดแรกของกราฟเป็นจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายกับเนื้อกุ้งที่เกิดจากแรงกด หัววัดสามารถตัดเข้าไปในหนังของกุ้งสุกได้ จากนั้นค่าแรงต้านซึ่งเป็นแรงเฉือนจึงลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งใบมีดสามารถตัดเข้าไปในบริเวณของเนื้อกุ้งได้ กราฟจึงมีจุดยอด 2 จุดซึ่งจุดที่ 1 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดการขาดของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกุ้ง (เป็นจุดที่ใบมีดสามารถตัดผ่านผิวของกุ้งสุก) และจุดที่ 2 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดจากการขาดของเนื้อของกุ้งสุก

รูปที่ 5.54 และ 5.55 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาและความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกึ่งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ที่นำมาปรุงสุก ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดทำกับกุ้งขาวด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกคือ ค่าแรงสูงสุดที่ระยะการเจาะ 90 % (Firmness: N) ความสามารถในการต้านแรงจนถึงระยะทางที่ทำให้เกิดแรงสูงสุด (Toughness: N.mm) ค่าความแข็งของเนื้อกุ้ง (Stiffness: N/mm) และค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (Appearance Modulus of Elasticity average: N/mm) ดังแสดงในตารางที่ 5.15 และ 5.16 และรูปที่ 5.55 และ 5.56

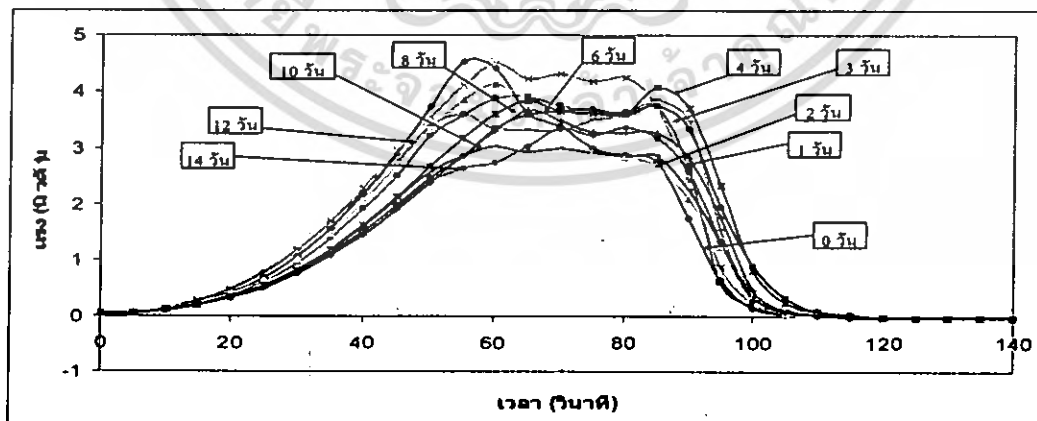
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.52 กราฟความเข้มพัทธ์ของแรงและเวลาที่ได้อจากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับถังที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน ที่นำมาปรุ่รงตุก

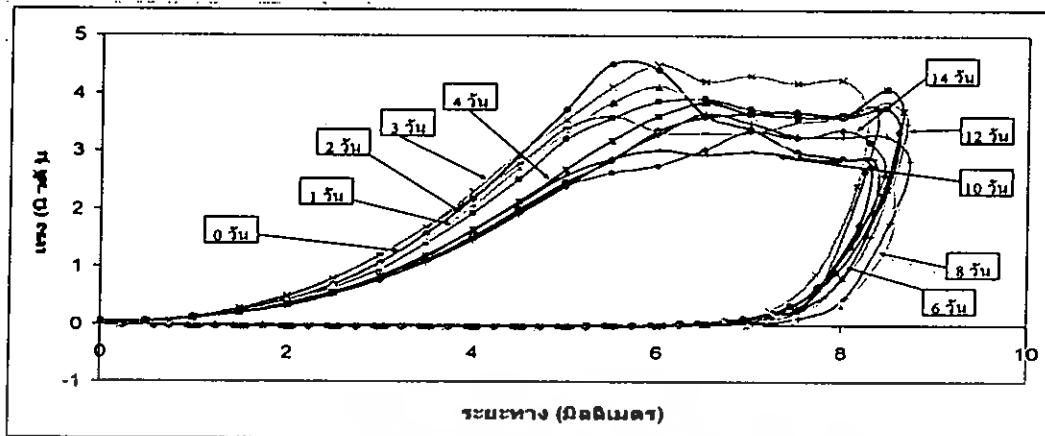


รูปที่ 5.53 กราฟความเข้มพัทธ์ของแรงและระยะทางที่ได้อจากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับถังที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0 วัน ที่นำมาปรุ่รงตุก



รูปที่ 5.54 กราฟความเข้มพัทธ์ของแรงและเวลาที่ได้อจากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับถังที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ที่นำมาปรุ่รงตุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.55 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วันที้นำมาปรุงสุก

ตารางที่ 5.15 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วันที้นำมาปรุงสุก

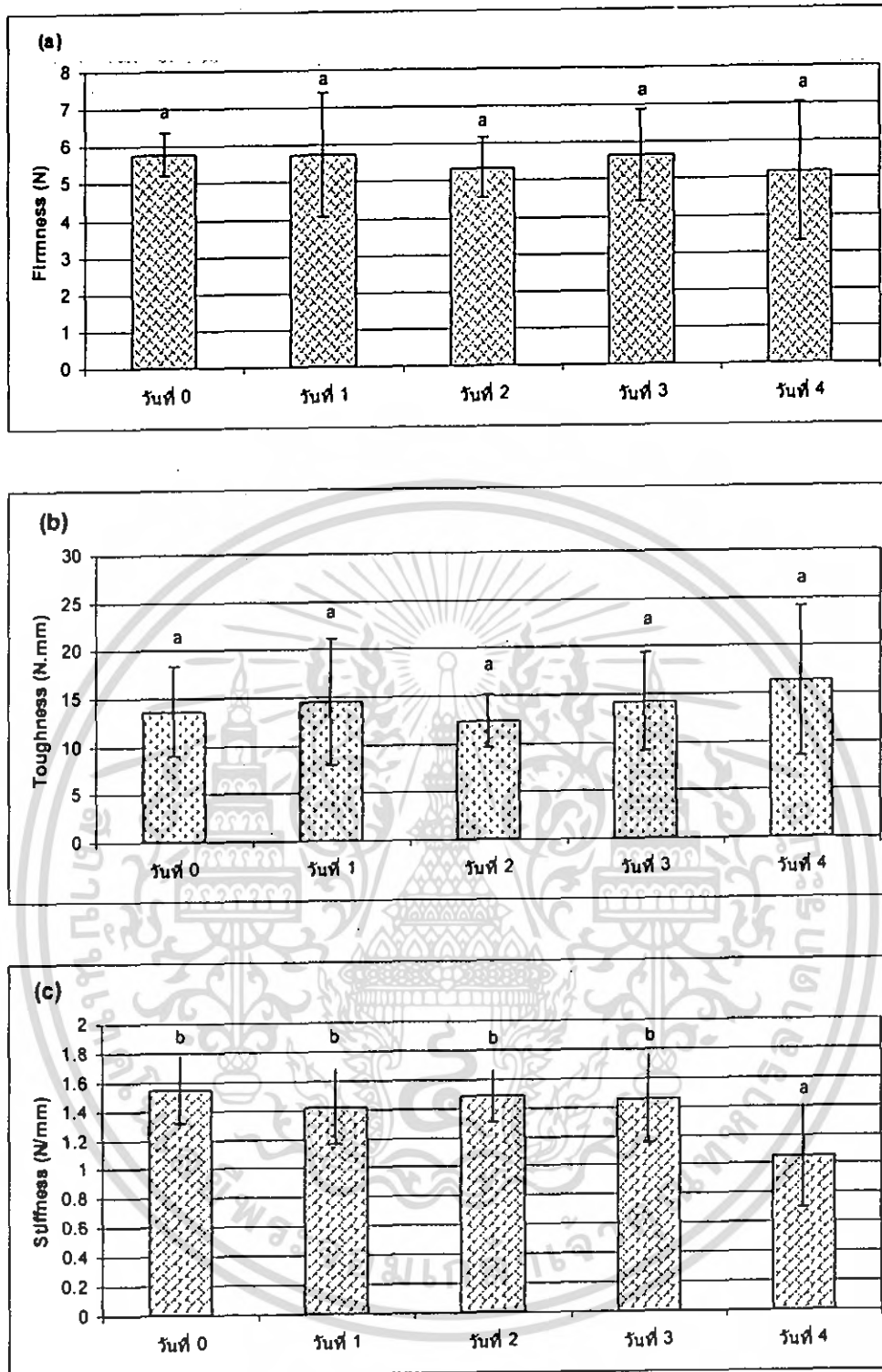
วันที่	Firmness (N)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	5.79 ± 0.61 ^a	13.68 ± 4.89 ^a	1.55 ± 0.24 ^b
1	5.73 ± 1.78 ^a	14.55 ± 6.99 ^a	1.42 ± 0.27 ^b
2	5.35 ± 0.86 ^a	12.46 ± 2.89 ^a	1.49 ± 0.19 ^b
3	5.66 ± 1.32 ^a	14.31 ± 5.50 ^a	1.46 ± 0.32 ^b
4	5.18 ± 1.98 ^a	16.38 ± 8.26 ^a	1.06 ± 0.37 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b และ c) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

ตารางที่ 5.16 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางด้วยวิธีทดสอบแบบการเจาะค้ำสยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วันที่นำมาปรุงสุก

วันที่	Firmness (N)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
0	5.79 + 0.61 ^b	13.68 ± 4.89 ^a	1.55 ± 0.24 ^b
1	5.73 + 1.78 ^b	14.55 ± 6.99 ^a	1.42 ± 0.27 ^b
2	5.35 + 0.86 ^{ab}	12.46 ± 2.89 ^a	1.49 ± 0.19 ^b
3	5.66 + 1.32 ^b	14.31 ± 5.50 ^a	1.46 ± 0.32 ^b
4	5.18 + 1.98 ^{ab}	16.38 ± 8.26 ^a	1.06 ± 0.37 ^a
6	5.04 + 1.19 ^{ab}	14.78 ± 5.76 ^a	1.09 ± 0.30 ^a
8	4.79 + 1.23 ^{ab}	13.93 ± 4.46 ^a	1.11 ± 0.32 ^a
10	4.18 + 1.01 ^a	11.78 ± 5.00 ^a	1.02 ± 0.31 ^a
12	5.00 + 1.30 ^{ab}	16.21 ± 7.40 ^a	1.14 ± 0.16 ^a
14	4.51 + 1.18 ^{ab}	12.92 ± 3.86 ^a	1.00 ± 0.23 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b และ c) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$



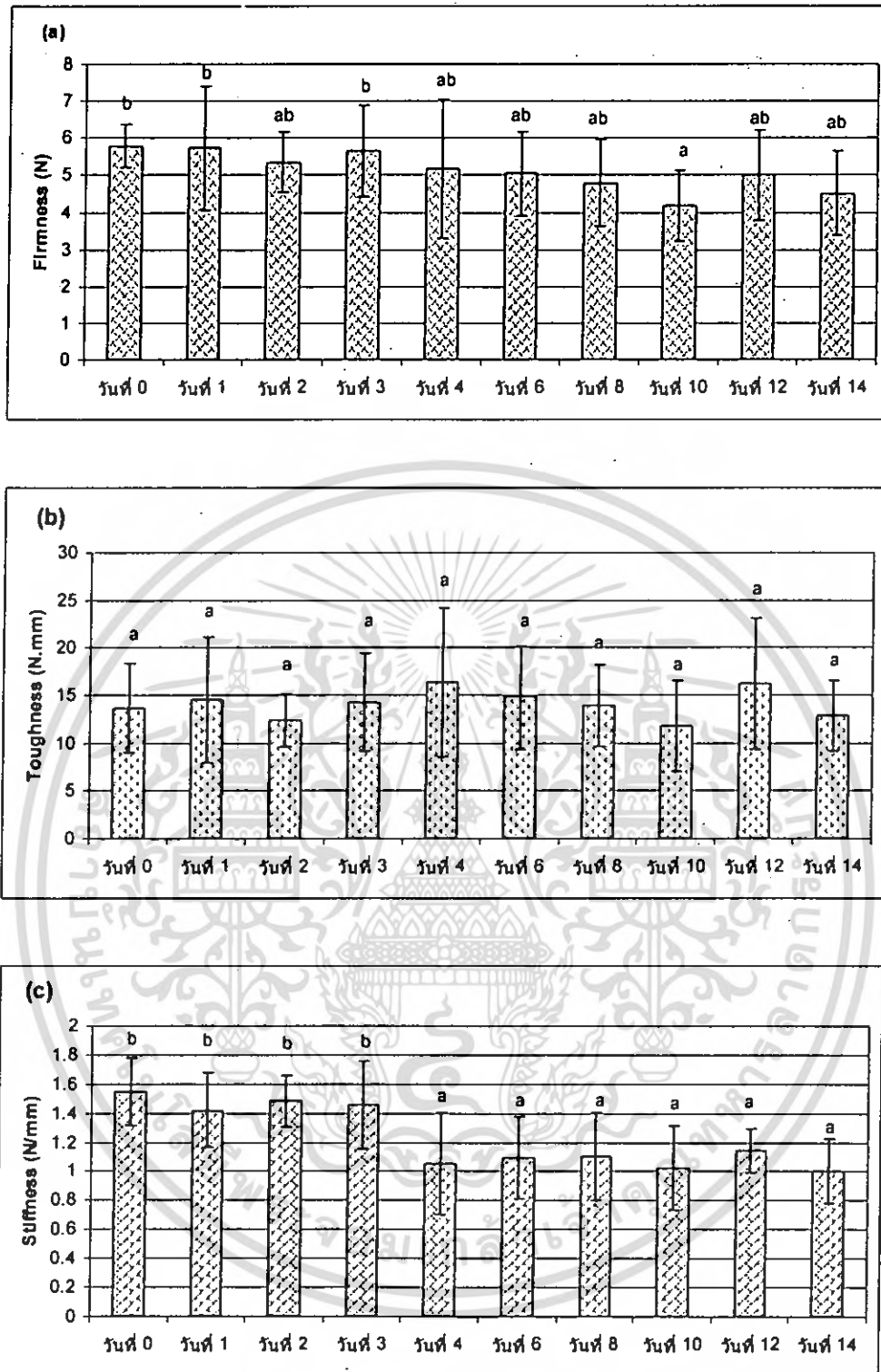
รูปที่ 5.56 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-4 วันที่นำมาปรุงสุก

(a) Firmness: N

(b) Toughness: N.mm

(c) Stiffness: N/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.57 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วันที่นำมาปรุงสุก

(a) Firmness: N

(b) Toughness: N.mm

(c) Stiffness: N/mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

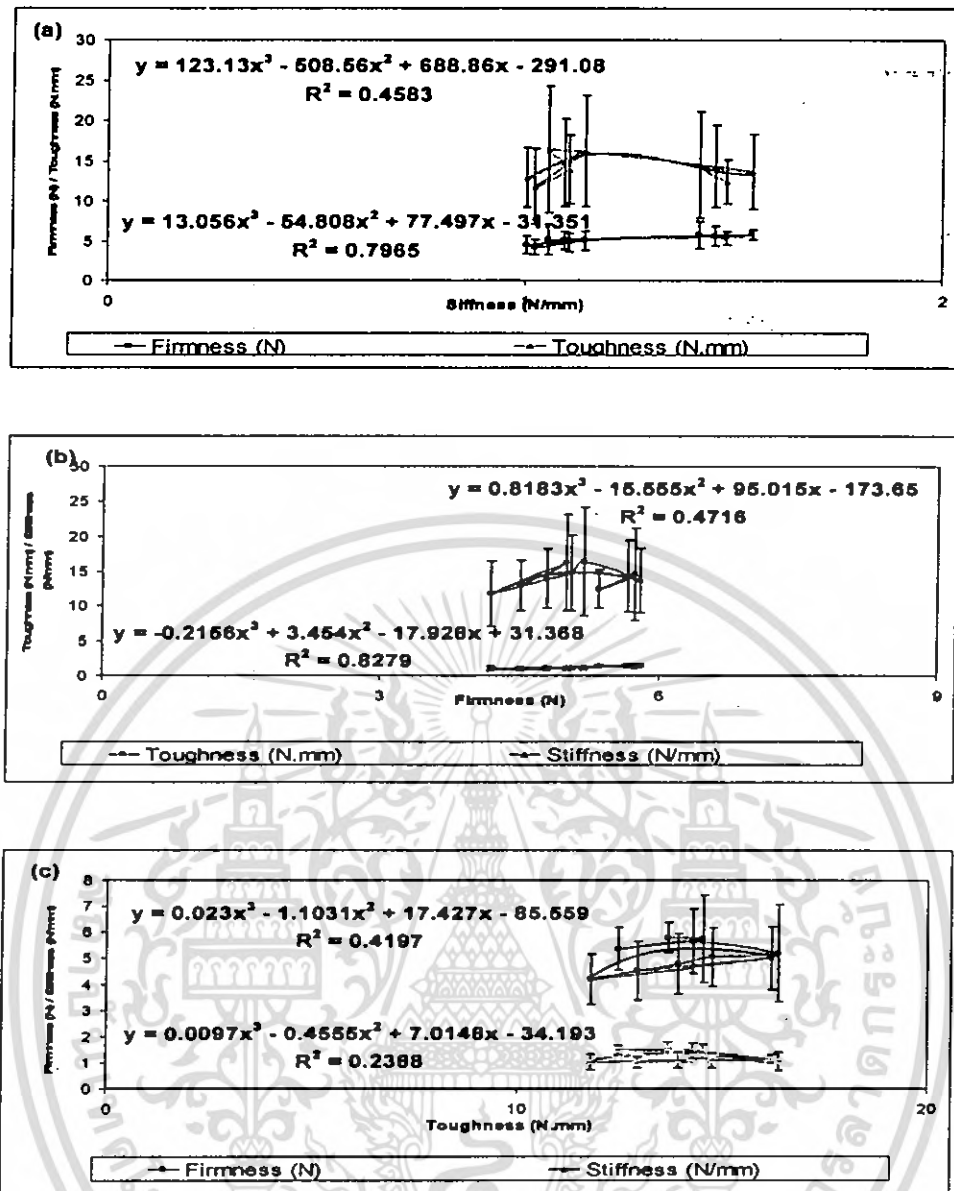
จากรูปที่ 5.54-5.57 และ ตารางที่ 5.15-5.16 พบว่า กราฟความสัมพันธ์ที่ได้ไม่สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยค่า Firmness และค่า Toughness มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีแนวโน้มชัดเจน ไม่สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ และค่า Stiffness มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บ สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วันออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-3 วัน และ 4-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พิจารณาใน 0-4 วัน พบว่า สามารถแบ่งระดับความสดของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 4 วันออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-2 วัน และ 3-4 วัน โดยทั้ง 3 กลุ่มนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ดังนั้น การทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประเมินลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งสุกที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้จากค่า Stiffness

พิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ กราฟความสัมพันธ์ สมการและค่า R^2 ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งและกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งสุกที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.58 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นพหุนามอันดับ 3 และมีค่า R^2 มากที่สุดคือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Firmness และค่า Stiffness จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อทราบค่าใดค่าหนึ่งสามารถแทนค่าในสมการความสัมพันธ์เพื่อคำนวณหาอีกค่าหนึ่งได้จากสมการ

$$\text{Stiffness} = -0.2156(\text{Firmness})^3 + 3.454(\text{Firmness})^2 - 17.928(\text{Firmness}) + 31.368$$

$$R^2 = 0.827 \quad (5.5)$$



รูปที่ 5.58 กราฟความสัมพันธ์ของที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งแล้วนำมาปรุงสุกเป็นเวลา 14 วัน

- (a) Firmness และ Toughness กับ Stiffness
 (b) Toughness และ Stiffness กับ Firmness
 (c) Stiffness และ Firmness กับ Toughness

5.5 การวัดสี

พิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสีของกุ้งระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสีในระบบ RGB ส่วนหัว ส่วนลำตัวและส่วนหางกุ้งก่อนปอกเปลือกและส่วนลำตัวกุ้งหลังปอกเปลือก ดังแสดงในตารางที่ 5.17-5.20 และรูปที่ 5.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 แสดงค่าสีส่วนหัวของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ก่อนปอกเปลือก

วันที่	หัว/มีเปลือก		
	R	G	B
0	106.7 ± 11.86 ^f	92.83 ± 10.21 ^f	56.72 ± 7.91 ^d
1	96.87 ± 5.66 ^{ef}	83.58 ± 4.75 ^{ef}	50.57 ± 7.29 ^d
2	89.32 ± 12.17 ^c	75.20 ± 10.60 ^{de}	40.27 ± 7.16 ^c
3	85.35 ± 11.04 ^{de}	68.67 ± 10.65 ^{cd}	34.19 ± 7.84 ^{bc}
4	85.44 ± 18.32 ^{de}	66.46 ± 16.27 ^{cd}	32.47 ± 9.43 ^b
6	76.37 ± 24.70 ^d	61.64 ± 19.23 ^c	33.91 ± 11.27 ^{bc}
8	57.43 ± 13.00 ^c	45.62 ± 9.25 ^b	23.96 ± 6.70 ^a
10	44.95 ± 12.70 ^b	36.82 ± 9.45 ^b	23.26 ± 5.75 ^a
12	29.54 ± 7.18 ^a	25.86 ± 5.16 ^a	17.88 ± 2.51 ^a
14	24.76 ± 3.37 ^a	23.47 ± 2.67 ^a	17.87 ± 2.57 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b c d e และ f) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05), n=10

ตารางที่ 5.18 แสดงค่าสีส่วนลำตัวของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ก่อนปอกเปลือก

วันที่	ตัว/มีเปลือก		
	R	G	B
0	144.51 ± 22.37 ^{ab}	123.78 ± 19.37 ^{abc}	81.10 ± 16.79 ^{bcd}
1	156.20 ± 10.45 ^b	136.46 ± 10.05 ^c	92.12 ± 10.15 ^d
2	146.68 ± 10.93 ^b	126.71 ± 9.59 ^{bc}	82.61 ± 7.92 ^{bcd}
3	141.95 ± 17.48 ^{ab}	121.32 ± 17.12 ^{abc}	80.88 ± 16.97 ^{bcd}
4	140.03 ± 21.88 ^{ab}	118.93 ± 21.23 ^{ab}	77.12 ± 17.62 ^{abc}
6	144.84 ± 18.85 ^{ab}	125.55 ± 17.86 ^{bc}	83.76 ± 16.02 ^{cd}
8	140.76 ± 13.74 ^{ab}	119.73 ± 14.52 ^{abc}	75.50 ± 13.02 ^{abc}
10	141.26 ± 15.24 ^{ab}	119.80 ± 12.24 ^{abc}	76.97 ± 12.72 ^{abc}
12	126.56 ± 18.94 ^a	108.26 ± 16.58 ^a	64.85 ± 13.63 ^a
14	137.80 ± 25.30 ^{ab}	116.67 ± 22.56 ^{ab}	67.78 ± 19.03 ^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05), n=10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 แสดงค่าสีส่วนหางของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน ก่อนปอกเปลือก

วันที่	หาง/มีเปลือก		
	R	G	B
0	119.33 ± 22.40 ^{cd}	98.94 ± 18.41 ^c	73.05 ± 14.56 ^d
1	121.73 ± 13.38 ^d	98.36 ± 14.11 ^c	72.02 ± 10.16 ^d
2	118.44 ± 12.90 ^{cd}	96.18 ± 12.45 ^c	66.95 ± 11.37 ^d
3	106.11 ± 14.35 ^{bcd}	82.67 ± 13.23 ^{bc}	54.02 ± 12.56 ^{bc}
4	105.64 ± 25.24 ^{bcd}	83.75 ± 21.40 ^{bc}	53.77 ± 18.19 ^{bc}
6	113.22 ± 23.93 ^{bcd}	89.13 ± 22.24 ^{bc}	54.73 ± 15.52 ^c
8	97.97 ± 19.21 ^{abc}	74.70 ± 15.94 ^{ab}	41.56 ± 9.26 ^a
10	100.42 ± 21.15 ^{abcd}	78.62 ± 17.26 ^{ab}	42.05 ± 12.95 ^{ab}
12	84.27 ± 20.88 ^a	63.10 ± 13.68 ^a	31.37 ± 8.56 ^a
14	94.99 ± 31.25 ^{ab}	74.61 ± 23.88 ^{ab}	33.21 ± 12.51 ^a

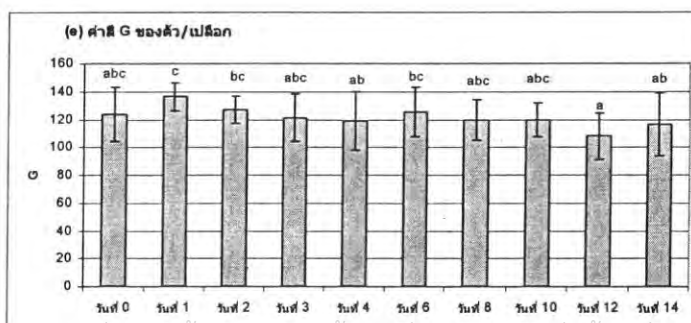
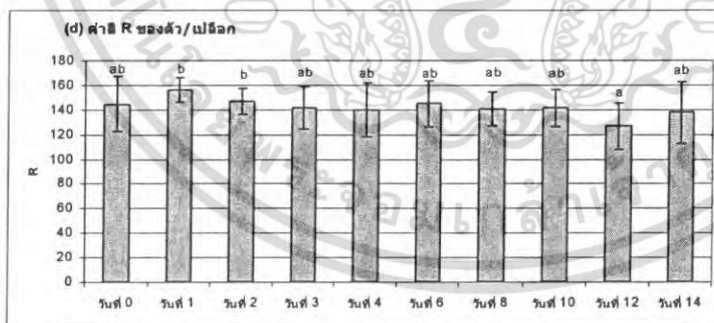
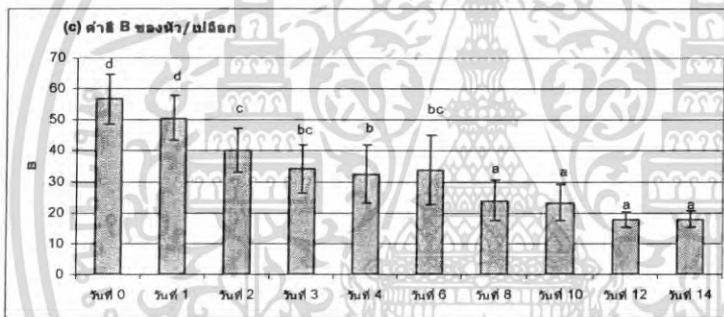
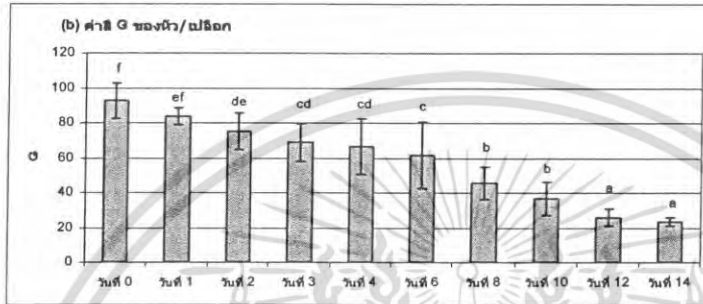
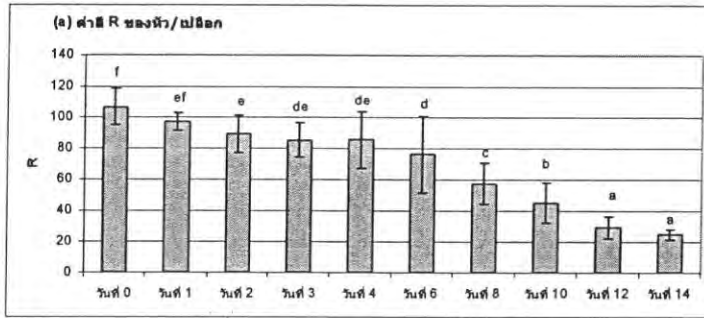
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

ตารางที่ 5.20 แสดงค่าสีส่วนลำตัวของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน หลังปอกเปลือก

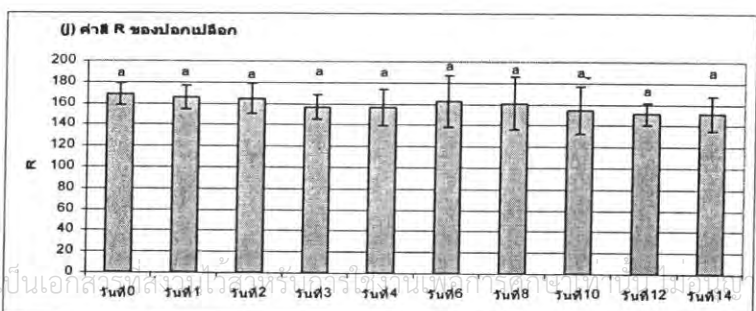
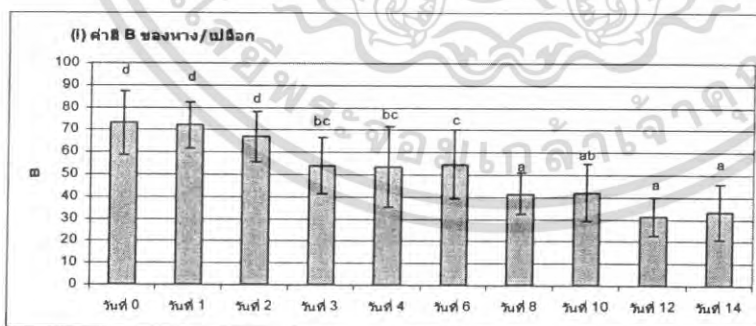
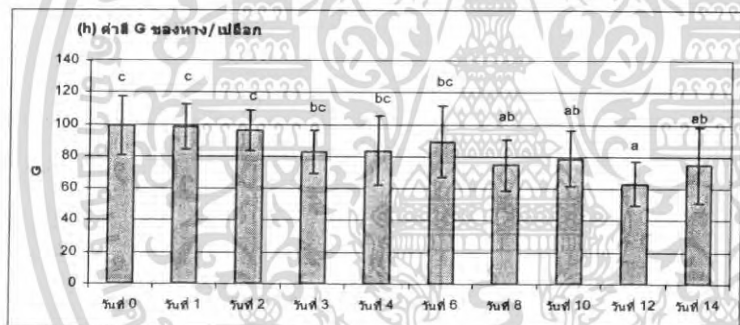
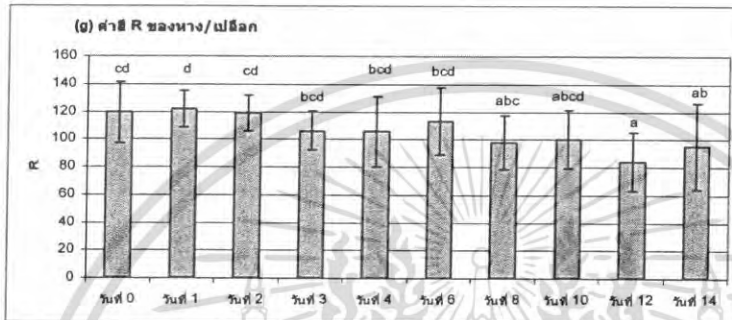
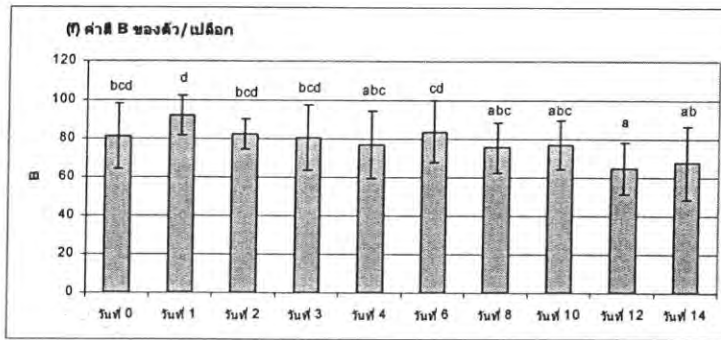
วันที่	ปลอกเปลือก		
	R	G	B
0	168.58 ± 10.12 ^a	147.34 ± 10.32 ^c	105.81 ± 10.12 ^d
1	165.48 ± 10.79 ^a	144.72 ± 10.65 ^{bc}	103.16 ± 8.76 ^{cd}
2	164.68 ± 13.78 ^a	144.44 ± 14.40 ^{bc}	101.15 ± 13.19 ^{cd}
3	156.92 ± 11.27 ^a	136.32 ± 12.31 ^{abc}	96.84 ± 12.79 ^{bcd}
4	156.33 ± 17.44 ^a	135.94 ± 16.96 ^{abc}	96.03 ± 15.84 ^{bcd}
6	162.67 ± 24.32 ^a	136.76 ± 20.73 ^{abc}	90.61 ± 18.45 ^{abc}
8	160.97 ± 24.48 ^a	135.54 ± 20.78 ^{abc}	89.41 ± 17.57 ^{abc}
10	154.56 ± 22.28 ^a	130.25 ± 19.91 ^{ab}	83.34 ± 17.52 ^{ab}
12	151.09 ± 10.19 ^a	127.21 ± 8.96 ^a	78.07 ± 8.34 ^a
14	151.45 ± 16.44 ^a	129.98 ± 14.28 ^{ab}	82.00 ± 12.27 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

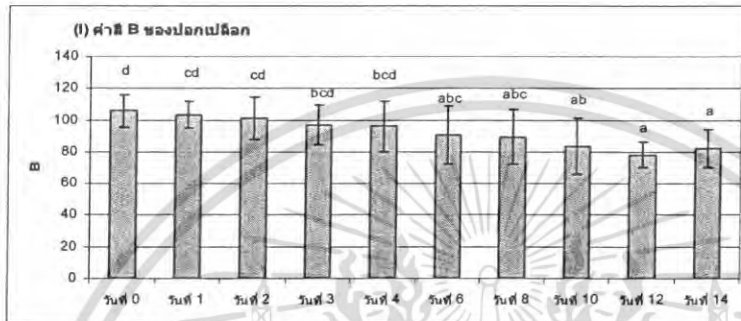
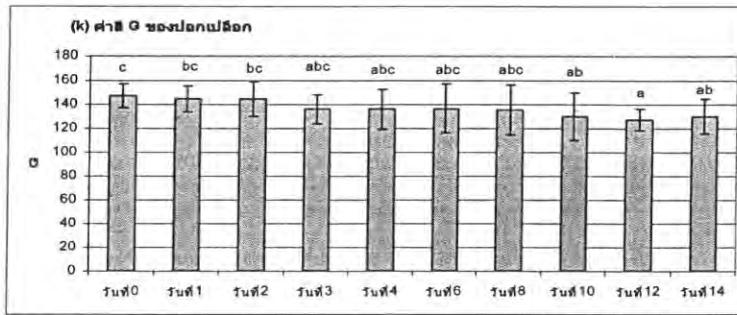
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดของงานวิชาการและเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่การณใด ๆ ทั้งสิน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



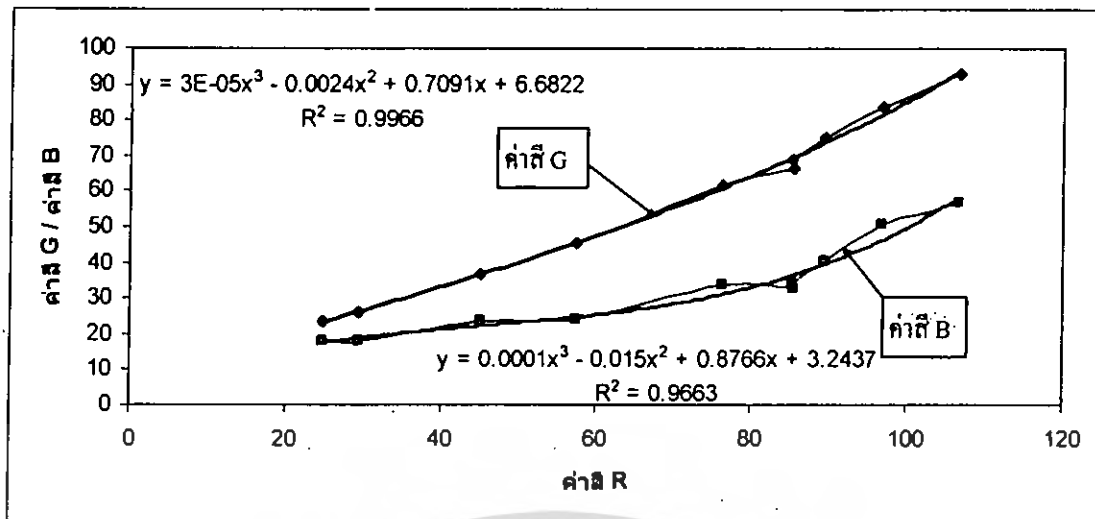
รูปที่ 5.59 แสดงค่าสีส่วนหัว ลำตัว หางก่อนลอกเปลือกและส่วนลำตัวหลังลอกเปลือกของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| (a) ค่าสี R ของหัว/เปลือก | (b) ค่าสี G ของหัว/เปลือก | (c) ค่าสี B ของหัว/เปลือก |
| (d) ค่าสี R ของตัว/เปลือก | (e) ค่าสี G ของตัว/เปลือก | (ก) ค่าสี B ของตัว/เปลือก |
| (g) ค่าสี R ของหาง/เปลือก | (h) ค่าสี G ของหาง/เปลือก | (i) ค่าสี B ของหาง/เปลือก |
| (j) ค่าสี R ของปกเปลือก | (k) ค่าสี G ของปกเปลือก | (l) ค่าสี B ของปกเปลือก |

พิจารณาผลของการเก็บรักษาต่อค่าสีของกุ้ง จากตารางที่ 5.17-5.20 และรูปที่ 5.59 พบว่าค่าสีทั้ง R แทนค่าสีแดง G แทนค่าสีเขียว และ B แทนค่าสีน้ำเงิน มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่มีเฉพาะค่าสีบริเวณหัวกุ้งเท่านั้นที่สามารถแบ่งระดับความสดออกได้เป็น กลุ่ม โดยแบ่งเป็น 0-6 วัน และ 8-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) การที่ค่าสีลดลงแสดงให้เห็นว่ากุ้งมีสีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2535) ว่า หลังจากเก็บกุ้งในน้ำแข็งเป็นเวลานานจะทำให้เกิดมีสีค่าบริเวณหัว ท้องและหาง

พิจารณาความสัมพันธ์ของค่าสี RGB กราฟความสัมพันธ์ สมการและค่า R^2 ของค่าสีกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งและกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.60 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี RGB

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ของค่าสี RGB จากรูปที่ 5.60 พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นพหุนามอันดับสามและมีค่า R^2 ดังแสดงในสมการ

$$G = 3 \cdot 10^{-5}(R)^3 - 0.0024(R)^2 + 0.7091(R) + 6.6822 \quad R^2 = 0.9966 \quad (5.6)$$

$$B = 0.0001(R)^3 - 0.015(R)^2 + 0.8766(R) + 3.2437 \quad R^2 = 0.9663 \quad (5.7)$$

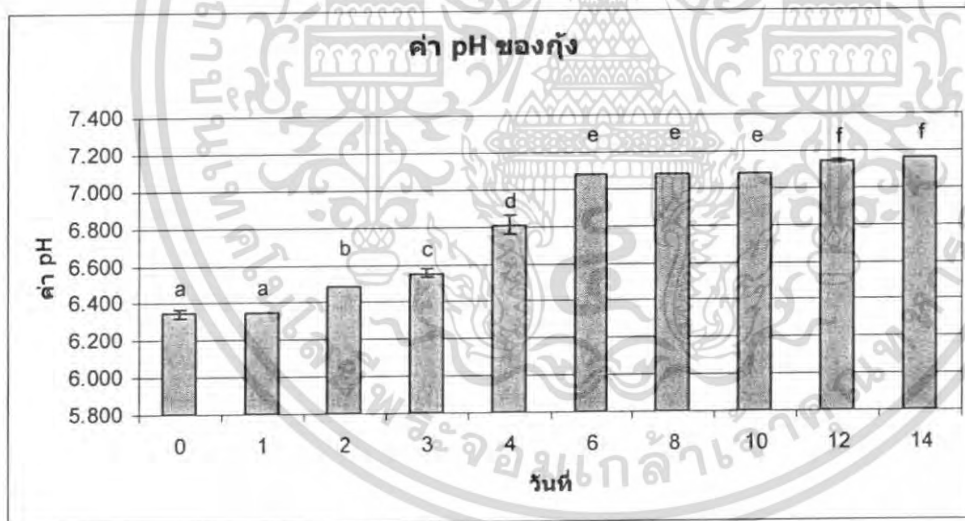
5.6 การวัดพีเอช

ผลการวัดพีเอชของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.61 พบว่า ค่าพีเอชมีค่าต่ำสุดในวันที่ 0(กุ้งสด) และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บสามารถแบ่งระดับความแตกต่างของพีเอชของกุ้งออกเป็น 6 กลุ่ม โดยแบ่งเป็น 0-1 วัน 2 วัน 3 วัน 4 วัน 6-10 วัน และ 12-14 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล (2535) ว่า พีเอชและปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมดของกุ้งกุลาดำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บ และงานวิจัยของ Dilip Jain และคณะ (2550) ว่าค่าพีเอชของ Rohu fish เพิ่มขึ้นจากจาก 6.10 ถึง 6.90 ในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง

ตารางที่ 5.21 แสดงค่า pH ของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

วันที่	pH
0	6.345 ± 0.024 ^a
1	6.350 ± 0.000 ^a
2	6.490 ± 0.000 ^b
3	6.553 ± 0.022 ^c
4	6.808 ± 0.051 ^d
6	7.308 ± 0.000 ^e
8	7.080 ± 0.000 ^e
10	7.080 ± 0.000 ^e
12	7.145 ± 0.010 ^f
14	7.160 ± 0.000 ^f

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b c d e และ f) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

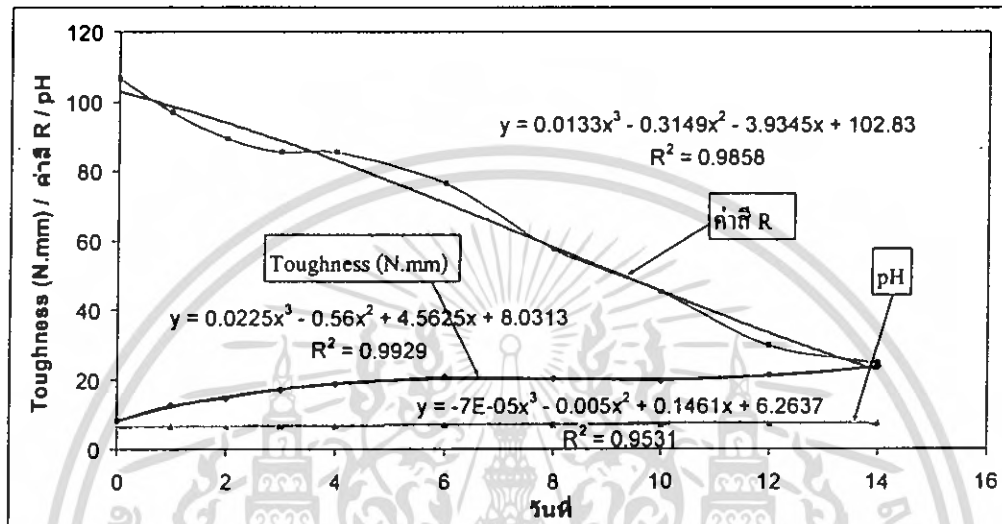


รูปที่ 5.61 กราฟค่าพีเอชของกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0-14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัส ค่าสี และค่าพีเอช

พิจารณาความสัมพันธ์ของค่า Toughness ค่าสี R และค่าพีเอช กับเวลา กราฟความสัมพันธ์ สมการและค่า R^2 ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก กับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งและกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงใน รูปที่ 5.62



รูปที่ 5.62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Toughness ค่าสี R และค่าพีเอช กับเวลา

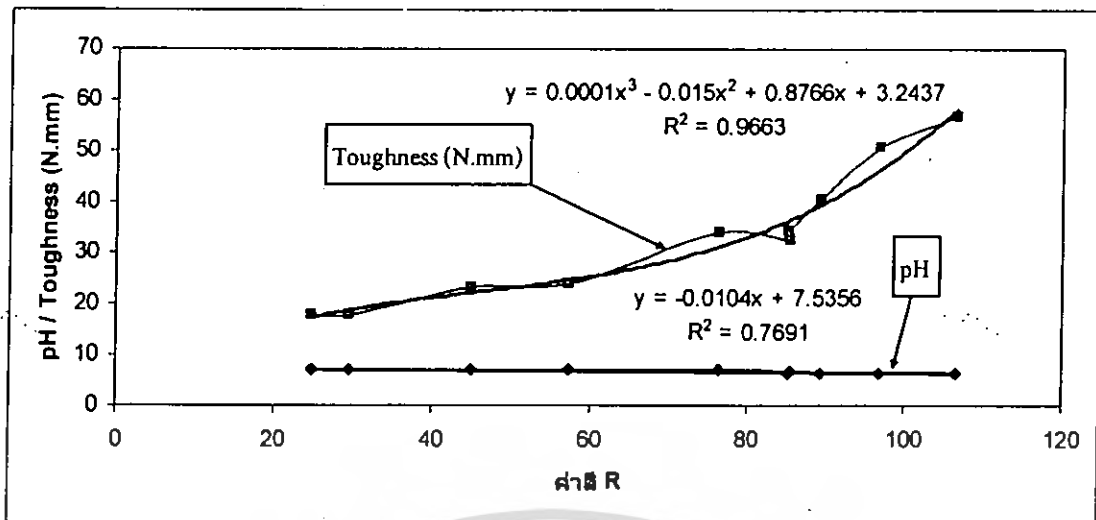
พิจารณากราฟความสัมพันธ์ของค่า Toughness ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก ค่าสี R และค่าพีเอช กับเวลาจากรูปที่ 5.62 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นพหุนามอันดับสามและมีค่า R^2 ดังแสดงในสมการ

$$\text{Toughness} = -0.0225(\text{วัน})^3 - 0.56(\text{วัน})^2 + 4.5625(\text{วัน}) + 8.0313 \quad R^2 = 0.9929 \quad (5.8)$$

$$\text{ค่าสี R} = 0.0133(\text{วัน})^3 - 0.3149(\text{วัน})^2 - 3.9345(\text{วัน}) + 102.83 \quad R^2 = 0.9858 \quad (5.9)$$

$$\text{pH} = -7 \cdot 10^{-5}(\text{วัน})^3 - 0.005(\text{วัน})^2 + 0.1461(\text{วัน}) + 6.2637 \quad R^2 = 0.9531 \quad (5.10)$$

พิจารณาความสัมพันธ์ของค่า Toughness และค่าพีเอช กับค่าสี R กราฟความสัมพันธ์ สมการ และค่า R^2 ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแบบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งและกุ้งที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.62



รูปที่ 5.63 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Toughness และค่าพีเอช กับค่าสี R

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ของค่า Toughness ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกกับค่าสี R จากรูปที่ 5.61 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นพหุนามอันดับสามและมีค่า R^2 ดังแสดงในสมการ (5.11) และค่าพีเอช กับค่าสี R จากรูปที่ 5.61 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและมีค่า R^2 ดังแสดงในสมการ (5)

$$\text{Toughness} = 0.0001(R)^3 - 0.015(R)^2 + 0.8766(R) + 3.2437 \quad R^2 = 0.9663 \quad (5.11)$$

$$\text{pH} = -0.0104(R) + 7.691 \quad R^2 = 0.7691 \quad (5.12)$$

ค่างานด้านที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก ค่าสีและค่าพีเอช มีความสัมพันธ์กับเวลา และค่างานด้านมีความสัมพันธ์กับค่าสีและค่าพีเอช เนื่องจากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเป็นวิธีทดสอบที่มีค่าใช้จ่ายสูง จึงสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสได้จากการวัดสีหรือพีเอช แล้วนำมาคำนวณในสมการความสัมพันธ์ จะสามารถบอกระดับความสดของกุ้งได้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 การตั้งค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยที่ความเร็ว 0.1 mm/s ไม่ทำให้เกิดความเสียหายจากแรงกระแทกกับตัวกึ่งและสามารถบอกความแตกต่างเนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่งและเนื้อกึ่งได้ชัดเจนกว่าความเร็วของหัววัดที่ 0.5 และ 1.0 mm/s

6.2 การวัดบริเวณเส้นข้อที่ 4 สามารถบอกความแตกต่างของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่งและเนื้อกึ่งได้ชัดเจนกว่าบริเวณเส้นข้อที่ 2 และ 3

6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถแบ่งระดับความสดของกึ่งที่ผ่านการเก็บที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ดีที่สุดคือ ค่าแรงสูงสุด จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก โดยที่ระยะเวลาการเก็บนานขึ้นบริเวณผิวของกึ่งขาวจะมีความเหนียวและยืดหยุ่นมากขึ้น

6.4 ค่า RGB บริเวณหัวกึ่งมีค่าลดลงแสดงว่า กึ่งมีสีดำนมากขึ้น

6.5 ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยจาก 6.345 ถึง 7.160 ตามระยะเวลาการเก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 14 วัน

6.6 สมการความสัมพันธ์ระหว่าง เนื้อสัมผัส (Toughness) กับสี และพีเอชมีความสัมพันธ์แบบพหุนามอันดับ 3 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9663 และ 0.9383 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย บรรจง. 2535. “เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร”. แบบแสดงรายละเอียดโครงการวิจัยที่ดำเนินการประจำปีงบประมาณ 2535 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปราโมทย์ พิศรสาธร, พรานทอง กฤตชยานนท์, ครุณรัตน์ วิบูลย์ศิลป์, ภาวิณี บุญเกษมสันต์ และเจนเนตร มณีนาถ. 2545. ทั่นี้ e-Learning. กรุงเทพฯ : IJm Book.
- ไพโรจน์ ตีรณพากุล, ไพบูลย์ เกียรติโกมล และเสกสรร แยมพิณีจ. 2546. การออกแบบและการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์การเรียนการสอนสำหรับ e-Learning. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ
- สุกชัย สุขะนินทร์. เปิดโลก e-Learning การเรียนการสอนบนอินเทอร์เน็ต. 2545. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น
- สุนิสา ศรีพงษ์พันธุ์กุล. 2535. “การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำระหว่างการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- หลักการพื้นฐานของเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser. ม.ป.ป. กรุงเทพฯ : บริษัท จาพาร์ เท็คเซนเตอร์ จำกัด
- Bourne, M.C. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, 2nd Ed.,. Pp. 171-189. Academic Press, New York, NY.
- Clucas, I.J. 1982. Fish handling preservation and processing in the tropics : Part 2.G.143. Tropical Product Institute, London.
- Cobb III, B.F. and Vanderzant. 1971. Biochemical changes in shrimp inculcate with Pseumonas, Bacillus and coryneform bacterium. J. Milk Food Technol, 34:533-540
- Dilip Jain, Pankaj B. Patharea and M.R. Manikantana. 2007. “Evaluation of texture parameters of Rohu fish (Labeo rohita) during iced storage.” Journal of Food Engineering. 81 : 336-340
- Fatima, R. and Qadri, R.B. 1979. Studies on the prolongation of keeping quality of shrimp in ice. Pakistan J. Sci. Ind. Sea. 22: 332-337
- H.C. Reinbach , L. Meinert , D. Ballabio , M.D. Aaslyng , W.L.P. Bredie ,K. Olsen , P. Møller.2007. “Interactions between oral burn, meat flavor and texture in chili spiced pork patties evaluated by time-intensity”. Food Quality and Preference. 18 : 909-919
- I. CARBONELL, L. DUdN, L. IZQUIERDO and E. COSTELL. 2003. “TEXTURE OF CULTURED GILTHEAD SEA BREAM (SPARUS AURATA): INSTRUMENTAL AND SENSORY MEASUREMENT”. Journal of Texture Studies. 34 : 203-217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- J.L. WILES and B.W. GREEN. 2004. "TEXTURE PROFILE ANALYSIS AND COMPOSITION OF A MINCED CATFISH PRODUCT". *Journal of Texture Studies*. 35 : 325-337
- Malcolm C. Bourne. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. California : Academic Press. 2002
- Maria Dolores Alvarez และ Wenceslao Canet. 2002. "A comparison of various rheological properties for modeling the kinetics of thermal softening of potato tissue (c.v. Monalisa) by water cooking and pressure steaming". *International Journal of Food Science and Technology*. 37 :41-55
- Matsumoto, M. and Yamanaka, H. 1990. Post-mortem biochemical changes in the muscle of Kurama prawn during storage and evaluation of freshness. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 56:1145-1149
- M.C. Erickson, , M.A. Bulgarelib, A.V.A. Resurreccionb, R.A. Vendettic and K.A. Gateg. 2007 "Sensory differentiation of shrimp using a trained descriptive analysis panel". *LWT*. 40 : 1774-1783
- Pritam Mazumder, B.S. Roopa และ Suvendu Bhattacharya. 2007. "Textural attributes of a model snack food at different moisture contents". *Journal of Food Engineering*. 79 : 511-516
- R. RAVI, B.S. ROOPA และ S. BHATTACHARYA. 2007. "Texture Evaluation by uniaxial compression of some snack foods". *Journal of Texture Studies*. 38 : 135-152
- R. Lakshmanan, R. Jeya Shakila and G. Jeyasekaran. 2002. "Survival of amine-forming bacteria during the ice storage of fish and shrimp". *Food Microbiology*. 19 : 617-625
- Sirintra Boonsumrej , Saiwarun Chaiwanichsiri , Sumate Tantratian ,Toru Suzuki , Rikuo Takai. 2007. "Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing". *Journal of Food Engineering*. 80 : 292-299
- S. Pornrata, T. Sumateb, S. Rommaneeb, K. Sumolayac, W.L. Kerrd. 2007. "Changes in the ultrastructure and texture of prawn muscle (*Macrobrachium rosenbergii*) during cold storage". *LWT*. 40 : 1747-1754
- Sung Jae Shin, Hideaki Yamanaka, Hideaki Endo and Etsuo Watanabe. 1998. "Development of ornithine biosensor and application to estimation of prawn freshness". *Analytica Chimica Acta*, 364 :159-164

Virginia Giannou และ Constantina Tzia. 2007. "Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage – Prediction of final product characteristics". *Journal of Food Engineering*, 79 : 929–934



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเลือก Loading rate แบบ Relaxation

Loading rate	Maximum force (N)	Ft (N)	Modulus of elasticity	Residual relaxation area (N.mm)	
0.1 mm/sec	4.8854	4.8658	0.9960	43.84	
	4.8677	4.8658	0.9996	43.89	
	4.8854	4.8756	0.9980	43.85	
	4.9050	4.8756	0.9940	43.85	
	4.8952	4.8756	0.9960	43.82	
	4.8864	4.8785	0.9984	43.85	
	4.8864	4.8844	0.9996	43.88	
	4.8981	4.8864	0.9976	43.85	
	4.9089	4.8766	0.9934	43.85	
	4.9001	4.8815	0.9962	43.77	
	0.5 mm/sec	4.8736	4.8687	0.9990	218.85
		4.8864	4.8815	0.9990	218.86
		4.8932	4.8873	0.9988	218.83
		4.8981	4.8766	0.9956	218.97
4.9001		4.8815	0.9962	218.94	
4.9079		4.8766	0.9936	218.91	
4.9050		4.8736	0.9936	218.59	
4.9089		4.8844	0.9950	218.53	
4.9276		4.8903	0.9924	218.63	
4.9178		4.9060	0.9976	218.92	
1 mm/sec		4.9089	4.8952	0.9972	437.22
		4.8452	4.8187	0.9945	437.18
		4.9001	4.8952	0.9990	437.79
		4.9315	4.8972	0.9930	437.46
	4.9138	4.8922	0.9956	437.46	
	4.9109	4.9070	0.9992	437.44	
	4.9158	4.9011	0.9970	437.20	
	4.9197	4.8932	0.9946	437.41	
	4.9423	4.8775	0.9869	436.96	
	4.9070	4.8785	0.9942	437.38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเหล็ก Loading rate แบบการตัดด้วยใบมีดคม

Loading rate	yield point		Shear work (N.mm)	Stiffness (N/mm)	
	Shear force (N)	distance (mm)			
0.1 mm/sec	3.04	5.00	4.58	1.86	
	5.25	5.00	9.05	2.75	
	4.07	5.00	6.41	2.16	
	4.05	5.00	6.50	2.26	
	3.97	5.00	6.51	2.16	
	4.41	5.00	7.69	2.35	
	3.13	5.00	4.97	1.77	
	4.00	4.83	7.06	2.16	
	4.64	4.79	7.59	2.35	
	4.30	5.00	7.37	2.26	
	0.5 mm/sec	5.22	4.73	8.51	2.86
		4.09	5.00	6.43	2.51
		6.14	4.87	9.95	3.28
4.62		4.63	8.61	3.10	
4.66		5.00	8.15	2.59	
4.74		4.94	8.04	2.55	
5.79		4.83	9.38	2.92	
5.35		5.00	8.47	3.06	
4.92		5.00	7.80	2.98	
5.16		5.00	8.25	2.98	
1 mm/sec		7.56	4.91	12.23	3.81
		6.38	5.00	11.04	3.32
		6.38	5.00	10.71	3.71
	5.53	5.00	9.38	3.19	
	6.16	5.00	10.59	3.21	
	6.02	4.82	9.79	3.25	
	5.14	5.00	8.20	3.13	
	4.87	5.00	8.43	2.68	
	5.03	5.00	8.07	3.04	
	6.72	5.00	12.21	3.43	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ Relaxation

	Maximum force (N/mm ²)	Ft (N/mm ²)	Modulus of elasticity	Residual relaxation area (N.mm)
วันที่ 0	0.0103	0.0103	0.9965	1.88
	0.0103	0.0103	0.9984	2.33
	0.0098	0.0098	0.9975	2.62
	0.0140	0.0140	1.0000	1.99
	0.0163	0.0162	0.9953	2.49
วันที่ 1	0.0122	0.0122	0.9988	2.67
	0.0103	0.0102	0.9918	2.53
	0.0115	0.0115	0.9963	2.75
	0.0122	0.0122	0.9947	2.70
	0.0122	0.0121	0.9902	2.79
วันที่ 2	0.0109	0.0108	0.9931	3.06
	0.0122	0.0121	0.9918	2.79
	0.0123	0.0122	0.9929	2.66
	0.0131	0.0130	0.9904	3.08
	0.0122	0.0121	0.9930	2.95
วันที่ 3	0.0122	0.0122	0.9990	3.37
	0.0115	0.0114	0.9914	2.72
	0.0093	0.0092	0.9900	3.21
	0.0103	0.0102	0.9906	2.75
	0.0116	0.0114	0.9876	3.13
วันที่ 4	0.0103	0.0102	0.9971	2.99
	0.0093	0.0093	0.9977	2.74
	0.0089	0.0088	0.9941	2.99
	0.0085	0.0085	0.9957	3.09
	0.0098	0.0097	0.9916	2.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการกด

	yield point		Toughness (N.mm)	Elasticity (N/mm)
	Hardness (N/mm ²)	distance (mm)		
วันที่ 0	0.091	7.48	249.96	40.39
	0.113	7.82	318.02	32.02
	0.110	7.23	286.62	27.58
	0.099	7.03	252.06	41.81
	0.096	7.25	293.48	39.42
วันที่ 1	0.091	8.09	250.38	34.68
	0.105	7.05	274.23	38.79
	0.099	7.49	309.26	35.86
	0.091	7.16	287.25	37.94
	0.092	7.22	254.26	41.94
วันที่ 2	0.108	7.19	217.23	44.97
	0.119	7.42	309.26	44.43
	0.103	7.59	233.56	40.86
	0.120	7.71	281.54	39.28
	0.119	7.76	293.11	45.82
วันที่ 3	0.081	7.63	247.33	32.24
	0.087	8.03	261.21	40.45
	0.093	7.89	277.46	21.95
	0.083	7.87	285.41	36.93
	0.091	7.08	239.01	38.37
วันที่ 4	0.086	7.52	221.79	34.92
	0.084	7.10	222.57	23.97
	0.086	7.18	251.03	32.07
	0.089	7.61	261.74	34.17
	0.089	7.89	238.29	29.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA

	yield point		Springiness	Cohesiveness	Chewiness(N/mm ²)
	Peak force (N/mm ²)	distance (mm)			
วันที่ 0	0.0799	7.54	0.298	0.266	0.006
	0.0906	7.48	0.290	0.227	0.006
	0.0866	7.55	0.281	0.238	0.006
	0.1132	7.82	0.286	0.264	0.009
	0.1104	7.23	0.293	0.236	0.008
	0.0840	6.92	0.274	0.215	0.005
	0.0868	7.36	0.318	0.238	0.007
	0.0995	7.03	0.309	0.236	0.007
	0.0886	7.89	0.341	0.261	0.008
	0.0959	7.25	0.290	0.233	0.006
วันที่ 1	0.0868	8.00	0.255	0.199	0.004
	0.1024	8.07	0.277	0.239	0.007
	0.0911	8.09	0.275	0.231	0.006
	0.0843	6.36	0.258	0.202	0.004
	0.1050	7.05	0.257	0.229	0.006
	0.0746	7.15	0.269	0.227	0.005
	0.0993	7.49	0.283	0.236	0.007
	0.0906	7.16	0.282	0.207	0.005
	0.0921	7.22	0.274	0.228	0.006
	0.0792	7.46	0.275	0.217	0.005
วันที่ 2	0.0940	8.31	0.263	0.224	0.006
	0.1000	7.54	0.262	0.207	0.005
	0.1081	7.19	0.274	0.236	0.007
	0.1192	7.42	0.285	0.261	0.009
	0.0995	7.01	0.258	0.210	0.005
	0.1031	7.59	0.283	0.250	0.007
	0.1232	7.17	0.272	0.208	0.007
	0.1195	7.71	0.266	0.245	0.008
	0.1192	7.76	0.272	0.251	0.008
	0.0941	7.88	0.251	0.232	0.005
วันที่ 3	0.0765	7.41	0.266	0.174	0.004
	0.0724	7.14	0.261	0.220	0.004
	0.0810	7.63	0.271	0.228	0.005
	0.0865	8.03	0.268	0.240	0.006
	0.0793	7.78	0.261	0.216	0.004
	0.0927	7.89	0.264	0.231	0.006
	0.0833	7.87	0.276	0.219	0.005
	0.0911	7.08	0.250	0.219	0.005
	0.1035	7.86	0.266	0.222	0.006
	0.0756	7.46	0.261	0.195	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA (ต่อ)

	yield point		Springiness	Cohesiveness	Chewiness(N/mm ³)
	Peak force (N/mm ²)	distance (mm)			
วันที่ 4	0.0825	7.49	0.273	0.219	0.005
	0.0810	7.74	0.276	0.228	0.005
	0.0860	7.52	0.247	0.223	0.005
	0.0837	7.10	0.264	0.220	0.005
	0.0857	7.18	0.273	0.203	0.005
	0.0886	7.61	0.247	0.208	0.005
	0.0890	7.89	0.270	0.223	0.005
	0.0741	7.63	0.258	0.220	0.004
	0.0790	7.31	0.256	0.210	0.004
	0.0815	7.38	0.283	0.213	0.005
วันที่ 6	0.0691	7.34	0.244	0.208	0.004
	0.0918	7.90	0.263	0.230	0.006
	0.0944	7.39	0.255	0.221	0.005
	0.0710	7.28	0.281	0.213	0.004
	0.1103	7.34	0.305	0.230	0.008
	0.0924	7.06	0.279	0.301	0.008
	0.0866	6.80	0.228	0.230	0.005
	0.0887	7.94	0.259	0.236	0.005
	0.0971	8.12	0.270	0.233	0.006
	0.0815	7.62	0.253	0.206	0.004
วันที่ 8	0.0950	7.09	0.233	0.210	0.005
	0.0953	7.48	0.263	0.215	0.005
	0.0994	7.68	0.268	0.235	0.006
	0.0925	7.20	0.253	0.237	0.006
	0.0801	7.29	0.253	0.210	0.004
	0.0593	7.96	0.243	0.185	0.003
	0.0881	7.27	0.280	0.237	0.006
	0.1149	7.61	0.277	0.271	0.009
	0.0713	7.11	0.259	0.213	0.004
	0.0718	6.27	0.273	0.185	0.004
วันที่ 10	0.0717	7.75	0.237	0.197	0.003
	0.0932	7.22	0.247	0.212	0.005
	0.0868	7.45	0.262	0.265	0.006
	0.0941	7.32	0.261	0.227	0.006
	0.0841	7.83	0.265	0.211	0.005
	0.1014	7.18	0.253	0.215	0.006
	0.0942	7.77	0.255	0.208	0.005
	0.0824	8.33	0.261	0.208	0.004
	0.0771	7.95	0.264	0.203	0.004
	0.0845	7.38	0.249	0.205	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA (ต่อ)

	yield point		Springiness	Cohesiveness	Chewiness(N/mm ²)
	Peak force (N/mm ²)	distance (mm)			
วันที่ 12	0.1066	7.24	0.255	0.262	0.007
	0.0912	6.89	0.265	0.244	0.006
	0.1007	7.21	0.236	0.212	0.005
	0.0958	7.90	0.261	0.227	0.006
	0.0899	7.55	0.257	0.213	0.005
	0.0968	7.99	0.249	0.255	0.006
	0.1123	7.69	0.258	0.244	0.007
	0.0893	7.66	0.243	0.234	0.005
	0.1087	6.40	0.282	0.236	0.007
	0.1055	7.47	0.251	0.239	0.006
วันที่ 14	0.0906	7.52	0.233	0.224	0.005
	0.0870	7.19	0.234	0.208	0.004
	0.0968	7.41	0.252	0.253	0.006
	0.0893	8.05	0.253	0.209	0.005
	0.0816	7.06	0.245	0.197	0.004
	0.1004	7.43	0.243	0.231	0.006
	0.0947	7.47	0.245	0.208	0.005
	0.1046	8.73	0.240	0.302	0.008
	0.0947	7.31	0.255	0.241	0.006
	0.0873	6.91	0.235	0.203	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดแบบใบมีด warner

	yield point		Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Adhesiveness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Shear force (N/mm ²)	distance (mm)				
วันที่ 0	0.037	17.09	176.30	65.63	-2.07	4.09
	0.031	19.15	183.75	88.46	-1.82	3.64
	0.046	19.28	147.40	69.96	-1.88	3.07
	0.035	19.37	121.28	48.05	-1.52	3.73
	0.034	23.61	108.92	58.40	-24.70	3.08
	0.026	21.64	128.54	65.98	10.72	2.78
	0.032	19.46	202.39	66.02	13.42	3.16
	0.029	19.10	121.92	43.03	-17.66	3.01
	0.034	19.26	200.81	88.11	16.58	3.09
	0.032	20.63	242.94	118.23	2.88	3.3
วันที่ 1	0.035	22.47	198.27	75.99	2.67	3.69
	0.032	22.32	185.87	76.54	23.33	3.26
	0.034	22.67	206.62	82.05	25.66	3.27
	0.035	24.12	134.13	48.17	-28.91	3.23
	0.030	22.05	168.98	58.10	-11.03	3.42
	0.027	21.96	159.96	55.94	20.67	2.6
	0.035	22.80	180.71	70.47	19.68	2.83
	0.034	21.74	213.75	75.06	27.10	3.34
	0.036	22.88	216.07	80.84	26.33	2.95
	0.032	23.16	142.30	53.34	-26.49	2.91
วันที่ 2	0.030	19.59	201.11	50.13	-6.06	3.4
	0.030	21.10	136.80	47.70	-3.98	3.07
	0.034	21.53	161.03	69.10	-5.64	3.31
	0.029	21.18	153.97	55.68	-4.71	2.48
	0.037	21.58	202.90	86.96	-4.64	2.85
	0.029	23.18	152.40	88.73	-6.20	2.24
	0.032	21.45	151.65	59.12	-2.84	2.91
	0.028	21.97	130.50	61.72	-4.60	2.77
	0.031	22.66	155.98	84.40	-3.95	3.1
	0.031	21.59	179.37	78.72	-2.56	2.75
วันที่ 3	0.031	24.82	212.10	147.05	34.92	2.84
	0.038	20.26	289.85	125.85	39.98	3.07
	0.039	20.62	292.82	135.03	60.03	2.86
	0.031	21.15	212.11	109.58	50.05	2.79
	0.036	22.19	273.53	159.24	64.67	3.23
	0.030	20.59	222.64	109.35	59.46	2.54
	0.035	21.59	226.41	118.42	35.33	2.85
	0.033	19.21	249.68	104.09	67.25	2.25
	0.036	20.15	268.07	115.01	59.16	2.81
	0.039	19.63	292.20	126.13	66.58	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดแบบใบมีด wamer (ต่อ)

	yield point		Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Adhesiveness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Shear force (N/mm ²)	distance (mm)				
วันที่ 4	0.033	22.66	141.19	57.53	-2.42	2.82
	0.028	21.37	145.03	51.51	-3.36	3.25
	0.029	22.05	125.96	48.54	3.05	2.46
	0.030	25.00	137.43	79.46	-3.83	3.6
	0.028	22.67	138.02	60.48	-0.08	2.71
	0.026	21.81	138.85	41.07	-1.39	1.72
	0.033	22.80	169.23	75.56	-2.37	2.64
	0.035	22.11	168.55	60.64	-1.28	3.08
	0.035	23.66	160.63	74.72	1.90	2.5
	0.027	22.18	127.58	48.37	-1.55	2.08
วันที่ 6	0.027	18.04	182.71	61.03	-4.62	2.53
	0.032	17.47	226.60	70.96	-18.77	2.32
	0.027	34.98	198.15	197.90	-32.85	2.31
	0.030	17.20	198.64	56.84	-25.69	3.24
	0.025	35.00	171.01	170.93	-33.85	2.84
	0.029	17.33	240.26	65.33	-32.08	3.58
	0.036	18.57	272.86	104.58	-21.36	1.94
	0.034	17.91	219.42	70.55	-12.88	1.68
	0.032	19.08	226.98	94.69	-17.43	3.04
	0.035	17.51	260.94	81.07	-14.17	1.99
วันที่ 8	0.033	14.47	247.17	88.48	-16.81	3.08
	0.026	18.21	150.49	76.83	-14.57	2.49
	0.028	16.95	136.20	44.40	-15.33	2.78
	0.029	10.79	185.85	42.15	-29.55	2.12
	0.034	12.66	195.97	43.81	-36.88	2.82
	0.028	14.28	173.16	57.93	-22.95	2.86
	0.033	13.11	224.15	68.73	-30.34	2.76
	0.026	11.38	168.49	49.32	-32.80	2.69
	0.034	11.70	201.34	60.44	-35.51	3.26
	0.034	18.30	172.55	61.78	-14.66	2.7
วันที่ 10	0.036	18.14	169.36	70.11	-2.62	3.39
	0.029	13.05	150.28	51.81	-5.33	2.37
	0.032	18.51	186.14	106.82	-6.68	2.54
	0.026	15.16	160.14	62.35	-3.67	3.57
	0.024	13.94	134.90	49.75	-6.24	2.97
	0.032	13.21	176.45	70.15	-11.35	1.83
	0.031	10.50	166.07	45.17	-15.77	2.62
	0.034	10.60	177.78	47.64	-15.20	2.27
	0.026	15.86	135.82	59.55	-4.14	2.22
	0.029	11.89	156.27	50.33	-13.70	2.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดแบบใบมีด warmer (ต่อ)

	yield point		Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Adhesiveness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Shear force (N/mm ²)	distance (mm)				
วันที่ 12	0.037	16.27	321.28	115.50	-44.03	3.04
	0.030	17.75	186.38	62.58	-28.54	2.45
	0.035	18.85	212.54	78.51	-31.98	2
	0.035	17.81	197.69	51.59	-31.81	2.39
	0.033	18.74	184.51	60.73	-32.95	2.05
	0.031	17.03	241.26	79.43	-30.29	2.31
	0.037	18.56	199.16	58.36	-28.92	3.41
	0.034	16.48	220.82	47.07	-27.17	2.88
	0.036	19.99	241.28	111.78	-36.20	2.09
	0.029	16.70	196.53	50.56	-30.72	2.78
วันที่ 14	0.031	18.39	189.05	95.33	-4.55	2.31
	0.037	17.12	261.30	112.71	1.77	1.86
	0.033	18.54	180.34	86.38	-7.70	2.44
	0.043	18.10	189.01	81.16	-9.90	2.56
	0.031	17.22	208.29	99.96	-5.08	2.2
	0.031	18.81	173.29	89.07	-2.82	2.05
	0.030	16.29	160.55	53.50	-3.12	2.98
	0.035	16.79	186.83	71.11	-4.76	2.55
	0.033	16.35	184.89	58.21	-2.32	2.09
	0.035	17.31	175.58	59.58	-1.26	2.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม

	yield point		Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Breaking point			
	Shear force (N/mm ²)	distance (mm)				Force (N/mm ²)	distance (mm)	Time (s)	
วันที่ 0	0.0292	9.82	41.63	38.95	3.59	0.0158	6.23	62.29	
	0.0275	10.08	47.52	44.45	3.21	0.0248	7.87	78.71	
	0.0300	10.32	52.00	48.51	3.79	0.0169	5.73	57.30	
	0.0306	7.80	42.11	29.60	2.95	0.0124	4.89	48.95	
	0.0266	8.74	41.08	35.38	3.44	0.0162	5.26	52.59	
	0.0282	9.26	36.85	32.93	2.89	0.0132	5.77	57.72	
	0.0230	7.96	38.35	29.05	2.74	0.0183	5.50	54.96	
	0.0323	10.13	44.79	42.07	3.81	0.0241	7.41	74.15	
	0.0264	9.39	50.22	47.11	3.82	0.0245	6.03	60.28	
	0.0312	9.76	46.26	43.17	2.89	0.0107	5.76	57.56	
	วันที่ 1	0.0261	9.35	40.00	36.88	2.81	0.0229	6.92	69.20
		0.0296	10.05	44.90	41.98	3.07	0.0205	7.04	70.39
0.0253		10.09	49.60	46.53	3.28	0.0223	7.36	73.56	
0.0282		9.51	44.85	41.89	3.31	0.0266	7.22	72.17	
0.0249		9.92	42.93	40.40	2.86	0.0227	7.19	71.86	
0.0306		10.37	55.72	52.24	3.96	0.0231	7.48	74.79	
0.0261		9.96	43.12	36.24	2.91	0.0245	8.53	85.35	
0.0278		9.60	43.56	40.46	3.34	0.0235	6.84	68.42	
0.0300		9.19	40.29	37.36	2.38	0.0172	6.64	66.38	
0.0314		8.71	35.80	32.57	3.45	0.0240	6.82	68.16	
วันที่ 2		0.0258	10.00	41.42	38.60	2.19	0.0108	5.05	50.51
		0.0272	9.57	45.66	43.14	2.82	0.0206	6.36	63.57
	0.0311	9.17	43.22	40.26	2.6	0.0124	5.04	50.43	
	0.0282	8.98	36.45	33.35	2.71	0.0157	5.73	57.31	
	0.0344	10.00	53.04	49.17	3.61	0.0271	7.67	76.73	
	0.0284	10.04	50.16	46.60	3.03	0.0242	7.09	70.92	
	0.0244	10.67	50.83	47.63	2.81	0.0187	7.71	77.08	
	0.0344	9.59	54.79	48.03	3.93	0.0249	7.48	74.83	
	0.0257	10.13	47.04	43.37	3.12	0.0208	6.47	64.66	
	0.0263	9.23	38.79	36.07	2.9	0.0208	6.72	67.20	
	วันที่ 3	0.0311	9.70	47.17	42.31	2.6	0.0129	5.34	53.40
		0.0298	10.30	59.78	56.03	3.28	0.0203	6.17	61.70
0.0342		8.15	56.02	37.63	3.36	0.0308	7.37	73.72	
0.0388		9.09	39.38	36.58	3.56	0.0195	6.26	62.60	
0.0352		9.30	46.03	40.92	3.07	0.0184	5.90	59.01	
0.0314		8.92	40.99	38.16	2.77	0.0127	5.11	51.09	
0.0332		8.25	51.07	36.16	3.45	0.0253	6.84	68.45	
0.0280		9.79	51.62	48.58	3.77	0.0201	6.65	66.55	
0.0311		9.62	50.55	46.41	3.19	0.0153	5.83	58.35	
0.0292		12.56	40.68	37.36	3.34	0.0216	9.90	99.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีคม (ต่อ)

	yield point		Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Breaking point		
	Shear force (N/mm ²)	distance (mm)				Force (N/mm ²)	distance (mm)	Time (s)
วันที่ 4	0.0304	9.23	42.40	45.52	3.29	0.0069	4.38	43.84
	0.0315	9.73	44.28	41.20	3.61	0.0230	6.89	68.86
	0.0319	9.56	44.39	40.26	3.03	0.0155	5.92	59.19
	0.0371	9.59	50.53	46.38	4.18	0.0174	5.96	59.63
	0.0329	8.89	47.50	37.41	3.95	0.0261	7.45	74.55
	0.0278	9.18	39.54	43.61	3.21	0.0220	6.54	65.36
	0.0334	7.82	28.06	41.17	3.48	0.0247	6.85	68.50
	0.0270	9.72	49.17	45.14	3.72	0.0239	6.61	66.12
	0.0296	9.19	33.25	39.31	2.74	0.0147	5.86	58.63
	0.0366	8.48	41.19	51.95	4.11	0.0138	5.49	54.89
วันที่ 6	0.0335	7.21	52.15	27.79	3.67	0.0335	7.21	72.12
	0.0374	9.41	58.38	50.54	3.31	0.0243	6.81	68.14
	0.0388	9.51	54.47	50.32	3.73	0.0127	5.01	50.13
	0.0427	8.00	60.68	38.66	4.37	0.0385	7.62	76.23
	0.0413	8.78	60.03	43.92	3.72	0.0274	7.06	70.57
	0.0311	11.32	66.37	62.12	3.58	0.0215	7.59	75.86
	0.0375	9.52	68.39	53.26	3.34	0.0258	7.60	76.02
	0.0286	10.39	55.55	52.23	3.65	0.0238	7.12	71.23
	0.0382	9.52	54.53	48.58	3.5	0.0233	7.38	73.76
	0.0465	10.09	68.29	57.79	3.92	0.0345	8.54	85.42
วันที่ 8	0.0473	9.81	71.94	59.85	3.36	0.0306	7.70	76.98
	0.0385	10.90	51.63	42.26	3.97	0.0249	8.68	86.83
	0.0434	10.10	68.90	60.94	3.96	0.0355	8.57	85.74
	0.0388	9.66	63.74	58.79	3.99	0.0247	7.29	72.86
	0.0420	9.67	70.48	64.01	3.66	0.0237	6.31	63.13
	0.0299	9.58	57.31	49.73	3.53	0.0212	6.01	60.14
	0.0418	9.01	60.81	48.89	3.96	0.0254	6.75	67.53
	0.0357	7.50	54.34	31.78	3.32	0.0216	6.08	60.77
	0.0387	9.19	51.00	45.00	3.48	0.0191	6.04	60.36
	0.0298	8.78	51.36	42.46	3.57	0.0252	6.40	63.97
วันที่ 10	0.0381	7.97	58.27	42.66	3.61	0.0236	5.95	59.51
	0.0360	8.40	61.03	41.12	3.58	0.0311	7.34	73.36
	0.0454	9.30	56.46	50.44	3.62	0.0295	7.42	74.21
	0.0442	9.30	68.54	61.27	3.99	0.0293	6.60	66.01
	0.0407	8.79	65.39	51.96	3.88	0.0315	6.99	69.87
	0.0360	8.95	68.48	47.21	4.02	0.0358	8.33	83.28
	0.0367	9.02	80.46	55.62	3.97	0.0250	6.99	69.87
	0.0459	9.24	70.09	54.70	4.2	0.0380	8.01	80.15
	0.0396	9.57	65.17	52.84	3.75	0.0332	8.14	81.37
	0.0462	9.14	59.36	50.80	3.64	0.0307	7.61	76.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีคม (ค่อ)

	yield point		Shear work (N.mm)	Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)	Breaking point			
	Shear force (N/mm ²)	distance (mm)				Force (N/mm ²)	distance (mm)	Time (s)	
วันที่ 12	0.0397	9.18	54.57	49.79	3.24	0.0291	6.83	68.31	
	0.0384	10.19	71.03	66.86	3.75	0.0226	6.26	62.65	
	0.0321	7.16	48.48	25.80	3.49	0.0321	7.16	71.64	
	0.0438	10.09	74.50	67.86	4.05	0.0301	7.49	74.87	
	0.0359	9.84	63.64	55.33	3.14	0.0221	6.90	68.99	
	0.0389	7.69	53.12	36.23	3.25	0.0283	6.21	62.06	
	0.0421	10.45	104.74	90.00	4.15	0.0295	7.56	75.56	
	0.0347	9.72	53.31	46.52	2.86	0.0160	5.84	58.36	
	0.0390	8.43	64.29	46.22	3.59	0.0283	6.87	68.72	
	0.0493	9.06	59.10	53.03	3.85	0.0319	6.78	67.78	
	วันที่ 14	0.0364	8.75	46.36	42.37	3.42	0.0132	4.82	48.18
		0.0340	8.89	44.46	40.86	3.3	0.0223	6.18	61.82
0.0415		8.37	59.33	44.36	4.29	0.0363	7.62	76.24	
0.0420		8.81	60.39	47.82	4.12	0.0329	7.41	74.11	
0.0452		8.18	58.39	41.08	3.61	0.0285	6.46	64.60	
0.0355		10.66	73.98	68.82	3.75	0.0352	8.26	82.64	
0.0441		8.60	59.83	43.48	4.07	0.0335	7.38	73.81	
0.0335		8.93	49.52	38.30	3.19	0.0283	7.80	78.01	
0.0331		9.50	56.88	51.71	3.66	0.0210	6.23	62.32	
0.0290		10.15	56.94	53.79	3.45	0.0223	6.55	65.49	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม

	yield point		Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Firmness (N)	distance (mm)		
วันที่ 0	5.45	6.54	10.65	1.65
	7.24	6.52	14.07	2.06
	5.48	6.88	11.99	1.68
	3.73	6.14	5.96	1.32
	6.20	6.03	10.99	1.64
	4.66	6.32	7.94	1.54
	5.16	6.42	10.46	1.50
	4.86	6.62	10.83	1.59
	5.80	6.41	9.12	1.89
	5.03	5.97	7.71	1.82
วันที่ 1	5.33	6.15	9.60	1.68
	4.74	6.21	8.91	1.48
	4.94	6.23	9.14	1.62
	5.75	6.11	10.63	1.84
	5.85	6.02	10.55	1.88
	5.29	6.27	9.56	1.70
	4.94	5.76	8.00	1.67
	5.65	6.88	12.45	1.62
	6.11	6.42	11.23	1.89
	6.29	7.21	15.75	1.52
วันที่ 2	6.45	6.50	12.82	1.54
	4.56	5.90	8.71	1.51
	5.86	6.61	10.26	1.40
	4.76	4.86	6.49	1.94
	5.76	6.20	9.99	1.81
	5.54	6.46	11.45	1.72
	5.83	6.86	10.37	1.93
	5.83	5.92	10.30	1.91
	6.75	6.92	12.30	1.97
	4.38	5.26	6.66	1.49
วันที่ 3	6.11	5.87	10.39	1.96
	6.09	6.41	12.87	1.90
	5.95	5.95	10.98	1.86
	7.28	5.77	12.33	2.39
	7.91	6.79	14.43	2.41
	6.33	6.55	10.99	1.92
	6.77	6.54	13.90	2.09
	7.11	6.24	13.22	2.14
	5.40	8.03	14.10	1.53
	4.60	5.69	7.77	1.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม (ต่อ)

	yield point		Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Firmness (N)	distance (mm)		
วันที่ 4	7.19	8.47	14.86	2.19
	5.73	6.54	13.81	1.80
	6.07	6.80	13.42	1.84
	9.20	7.46	22.68	2.29
	7.74	5.75	13.54	2.49
	5.79	6.39	11.35	1.73
	5.51	6.01	11.56	1.68
	5.50	6.04	10.39	1.71
	6.15	6.16	11.17	1.98
	5.88	6.76	10.92	1.89
	วันที่ 6	6.18	6.18	12.24
9.53		7.46	21.06	2.49
7.07		5.80	11.96	2.34
4.41		5.34	6.68	1.58
9.50		7.48	23.09	2.41
11.89		8.18	32.20	2.50
10.29		7.30	25.89	2.73
12.16		9.00	37.96	2.90
12.38		9.26	48.73	2.65
11.79		7.98	33.20	2.56
วันที่ 8		7.19	6.74	15.57
	11.22	6.87	25.94	3.04
	9.56	7.03	20.06	2.69
	5.80	6.40	12.50	1.56
	8.44	6.58	16.99	2.58
	5.59	6.26	10.43	1.64
	5.02	6.22	9.61	1.59
	9.06	6.39	16.73	2.62
	10.08	7.15	20.25	2.80
	11.33	7.42	27.80	2.76
	วันที่ 10	11.11	7.71	28.09
11.20		7.54	27.80	2.54
7.04		6.13	13.24	2.21
7.93		6.63	17.68	2.28
8.92		6.44	17.09	2.44
11.89		7.93	33.06	2.91
11.12		7.57	28.00	3.00
10.79		6.87	25.87	2.75
11.77		7.96	31.44	2.82
7.80		6.55	15.37	2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกลม (ค่อ)

	yield point		Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Firmness (N)	distance (mm)		
วันที่ 12	6.79	7.39	11.95	2.14
	10.50	8.00	29.91	2.51
	9.74	6.92	20.02	2.59
	7.83	6.39	13.77	2.40
	11.98	8.05	35.29	2.78
	9.72	7.01	22.03	2.57
	10.34	6.83	21.63	2.83
	10.54	7.76	25.24	2.62
	11.88	7.95	34.06	2.92
	10.67	8.07	28.24	2.42
วันที่ 14	11.75	8.29	35.11	2.72
	8.40	6.10	14.65	2.59
	11.42	7.54	30.73	2.59
	7.38	5.91	12.30	2.46
	9.59	7.13	21.34	2.52
	8.62	6.16	16.03	2.51
	7.68	6.62	15.11	2.21
	10.00	7.09	19.94	2.72
	12.73	8.61	41.56	2.47
	11.98	7.43	29.40	3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก

	yield point		Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Firmness (N)	distance (mm)		
วันที่ 0	4.15	5.42	6.31	1.65
	5.07	7.37	12.66	1.34
	1.72	7.04	4.50	0.52
	5.03	7.06	11.48	1.33
	4.23	5.46	6.21	1.38
	2.54	4.84	3.35	1.18
	4.92	6.66	11.39	1.26
	6.41	8.36	19.23	1.40
	6.09	6.42	12.64	1.70
	5.84	7.97	19.85	1.66
วันที่ 1	6.99	7.65	17.34	1.55
	2.30	4.10	2.88	0.81
	5.13	6.43	9.40	1.51
	6.81	7.83	16.95	1.61
	3.06	5.16	4.46	1.15
	5.64	7.58	16.62	1.31
	7.08	6.61	15.10	1.51
	4.01	5.73	6.55	1.40
	6.68	8.72	23.40	1.61
	6.90	8.36	21.86	1.52
วันที่ 2	5.52	7.45	15.66	1.62
	4.88	6.23	10.74	1.15
	5.52	8.30	20.09	1.37
	3.30	4.63	4.59	1.10
	5.98	8.02	18.25	1.44
	6.58	7.85	20.29	1.57
	5.47	7.54	16.84	1.54
	5.83	5.95	10.75	1.57
	5.78	8.45	20.05	1.49
	6.63	8.38	23.71	1.48
วันที่ 3	5.41	6.17	9.92	1.71
	7.71	7.65	21.27	1.74
	7.18	6.77	16.53	1.92
	6.80	6.63	14.51	1.78
	5.80	6.75	14.10	1.89
	6.03	7.70	18.86	1.71
	8.14	8.34	25.87	1.90
	6.35	6.57	14.33	1.69
	5.01	6.06	8.51	1.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก (ต่อ)

วันที่ 4	6.03	7.67	15.81	1.53
	7.70	9.00	28.19	1.98
	6.40	6.58	14.68	1.75
	6.58	7.38	18.89	1.65
	7.13	6.53	14.08	2.10
	8.39	8.94	30.66	1.84
	5.33	6.62	10.60	1.48
	7.18	8.19	23.50	1.73
	5.76	6.47	13.09	1.69
	7.80	8.06	20.98	1.65
วันที่ 6	6.85	7.45	20.58	1.71
	7.58	7.80	21.54	1.78
	6.05	7.54	16.65	1.57
	5.91	7.35	16.73	1.45
	7.74	8.12	22.43	1.69
	7.57	8.67	27.80	1.69
	5.85	7.30	14.04	1.53
	7.36	8.69	27.82	1.83
	6.46	7.21	19.28	1.60
	5.42	7.35	13.88	1.42
วันที่ 8	6.41	7.97	20.97	1.82
	6.29	6.56	13.62	1.77
	7.39	8.49	23.30	1.62
	5.64	6.78	12.59	1.65
	6.50	7.29	16.37	1.60
	7.32	9.26	26.56	1.56
	8.12	8.86	29.72	1.68
	7.01	8.19	22.64	1.76
	5.66	7.06	14.64	1.36
	4.97	6.26	9.87	1.32
วันที่ 10	6.40	7.33	16.95	1.49
	7.13	7.67	20.17	1.69
	5.58	6.76	12.25	1.51
	6.89	7.90	23.43	1.59
	7.02	7.87	21.87	1.66
	6.78	7.95	19.61	1.56
	7.28	8.13	21.84	1.67
	6.96	6.23	15.20	1.84
	7.17	8.40	23.24	1.74
	7.26	7.78	21.45	1.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก (ต่อ)

	6.87	8.01	22.71	1.45
	6.37	7.44	18.66	1.51
	7.28	9.12	27.99	1.70
	5.90	7.93	19.03	1.55
	6.04	7.23	17.50	1.70
	7.11	5.93	13.85	2.12
	7.76	8.66	28.93	1.98
	5.85	6.75	14.05	1.59
	5.61	6.04	11.23	1.55
วันที่ 14	6.95	8.70	25.59	1.61
	7.33	8.76	28.84	1.84
	7.97	8.95	29.69	1.88
	8.29	8.38	30.68	2.06
	7.57	9.01	30.84	1.87
	6.65	7.22	17.90	1.73
	6.23	6.90	15.90	1.72
	5.74	6.34	11.44	1.65
	6.72	7.19	18.99	1.65
	8.02	8.17	27.15	1.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก (กึ่งสุก)

	yield point		Toughness (N.mm)	Stiffness (N/mm)
	Firmness (N)	distance (mm)		
วันที่ 0	6.02	6.86	14.43	1.42
	5.69	6.08	12.34	1.68
	6.33	5.80	12.52	1.91
	5.78	8.50	21.98	1.60
	5.03	5.44	8.54	1.24
	5.56	5.67	9.82	1.44
	5.43	9.14	22.29	1.48
	4.97	6.03	9.11	1.65
	6.98	6.23	14.46	1.87
	6.10	5.84	11.32	1.18
วันที่ 1	5.12	5.54	8.95	1.58
	5.55	8.71	21.69	1.47
	5.61	6.37	11.58	1.21
	7.55	8.80	22.32	1.36
	9.76	8.48	26.06	1.86
	5.34	8.22	18.28	1.19
	5.57	6.31	11.89	1.64
	3.49	6.17	6.98	0.93
	3.93	5.05	6.35	1.33
	5.41	6.21	11.40	1.63
วันที่ 2	4.01	5.98	7.12	1.25
	5.79	6.59	13.22	1.34
	6.09	5.59	11.45	1.69
	4.69	8.71	17.37	1.28
	5.20	5.92	10.39	1.57
	4.06	7.10	12.86	1.32
	6.58	6.63	13.83	1.78
	5.97	6.88	15.62	1.61
	5.53	6.69	12.43	1.61
	5.54	5.73	10.28	1.41
วันที่ 3	6.27	8.53	22.17	1.47
	6.39	5.96	13.46	1.72
	6.53	6.02	13.45	1.81
	2.92	6.01	7.26	0.82
	6.47	7.07	14.63	1.73
	6.16	7.96	20.52	1.35
	4.29	4.65	6.80	1.29
	6.22	6.39	16.18	1.48
	4.89	8.60	15.74	1.20
	7.11	7.02	16.83	1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก (กึ่งสุก) (ต่อ)

วันที่ 4	4.08	7.73	12.50	1.05
	2.06	8.59	8.74	0.60
	2.66	5.64	5.26	0.61
	4.91	6.38	11.10	1.08
	4.78	8.36	12.02	0.50
	5.08	9.18	20.25	1.20
	8.60	9.10	32.66	1.51
	6.07	9.18	23.80	1.28
	6.86	8.68	22.16	1.24
	6.69	6.58	15.36	1.51
วันที่ 6	6.18	7.12	14.25	1.57
	5.13	6.50	11.27	1.15
	5.17	8.84	17.50	0.95
	6.39	8.98	24.26	1.44
	5.23	9.10	18.56	0.98
	4.88	9.24	17.71	1.13
	4.46	8.66	13.63	0.72
	6.37	7.32	18.03	1.40
	2.49	4.76	4.05	0.70
	4.10	6.11	8.56	0.90
วันที่ 8	6.00	9.19	20.99	1.19
	4.05	9.38	14.87	0.89
	5.52	8.51	18.18	1.28
	5.88	6.75	13.74	1.51
	5.40	6.27	12.18	1.34
	5.60	8.06	19.92	1.17
	2.50	8.35	8.36	0.53
	5.37	6.45	10.81	1.37
	4.60	6.53	9.22	1.13
	2.99	8.97	11.06	0.65
วันที่ 10	4.22	8.36	14.54	1.05
	5.02	8.71	20.65	1.33
	5.51	6.73	11.36	1.10
	2.19	7.79	6.94	0.32
	4.80	6.63	11.69	1.33
	4.61	8.11	15.36	0.83
	3.77	9.36	16.66	0.93
	4.98	5.71	8.90	1.30
	3.50	4.79	5.50	1.19
	3.24	5.46	6.22	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอก (กึ่งสุก) (ต่อ)

วันที่ 12	6.90	8.93	24.90	1.20
	5.78	8.55	20.49	1.14
	5.53	8.77	24.30	1.32
	4.52	8.41	16.97	0.96
	5.28	5.51	10.25	1.57
	4.35	8.20	18.23	1.44
	5.24	5.34	10.72	1.54
	2.43	4.82	3.80	0.82
	4.71	5.24	8.64	1.42
	7.57	7.77	19.10	1.46
วันที่ 14	5.55	7.49	15.48	1.15
	4.62	8.05	15.00	1.07
	5.19	6.97	12.98	1.29
	4.59	9.17	17.70	0.86
	4.28	8.13	12.59	1.09
	4.40	8.01	12.94	0.80
	2.18	9.17	7.29	0.54
	5.55	6.90	13.21	1.26
	5.87	7.70	16.58	1.10
	2.88	5.43	5.48	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบเลือก Loading rate แบบ Relaxation Test

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Fmax	Between Groups	.002	2	.001	2.251	.125
	Within Groups	.009	27	.000		
	Total	.011	29			
Ft	Between Groups	.000	2	.000	.804	.458
	Within Groups	.007	27	.000		
	Total	.008	29			
Modulus of elasticity	Between Groups	.000	2	.000	.990	.385
	Within Groups	.000	27	.000		
	Total	.000	29			
Residual relaxation area	Between Groups	777397.640	2	388698.820	1.527E7	.000
	Within Groups	.687	27	.025		
	Total	777398.327	29			

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบเลือก Loading rate แบบ Cutting-Shearing Test

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Shear force	Between Groups	17.935	2	8.967	17.941	.000
	Within Groups	13.495	27	.500		
	Total	31.430	29			
Toughness	Between Groups	54.272	2	27.136	16.297	.000
	Within Groups	44.957	27	1.665		
	Total	99.229	29			
stiffness	Between Groups	5.842	2	2.921	36.004	.000
	Within Groups	2.191	27	.081		
	Total	8.033	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Relaxation Test

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Fmax	Between Groups	.000	4	.000	3.028	.042
	Within Groups	.000	20	.000		
	Total	.000	24			
Ft	Between Groups	.000	4	.000	3.016	.042
	Within Groups	.000	20	.000		
	Total	.000	24			
Modulus of elasticity	Between Groups	.000	4	.000	3.419	.028
	Within Groups	.000	20	.000		
	Total	.000	24			
Residual relaxation area	Between Groups	1.954	4	.489	10.078	.000
	Within Groups	.970	20	.048		
	Total	2.924	24			

ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Compression Test

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Hardness	Between Groups	.003	4	.001	14.604	.000
	Within Groups	.001	20	.000		
	Total	.003	24			
Toughness	Between Groups	5052.962	4	1263.241	1.713	.187
	Within Groups	14748.647	20	737.432		
	Total	19801.609	24			
Elasticity	Between Groups	409.498	4	102.374	4.011	.015
	Within Groups	510.420	20	25.521		
	Total	919.918	24			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ TPA Test

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Peak force	Between Groups	.005	9	.001	5.424	.000
	Within Groups	.010	90	.000		
	Total	.015	99			
Springiness	Between Groups	.018	9	.002	11.073	.000
	Within Groups	.016	90	.000		
	Total	.034	99			
Cohesiveness	Between Groups	.008	9	.001	1.960	.053
	Within Groups	.039	90	.000		
	Total	.047	99			
Chewiness	Between Groups	.000	9	.000	4.877	.000
	Within Groups	.000	90	.000		
	Total	.000	99			

ตารางที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Cutting-Shearing Test (Warner blade)

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Shear force	Between Groups	.000	9	.000	2.420	.016
	Within Groups	.001	90	.000		
	Total	.001	99			
Shear work	Between Groups	102471.798	9	11385.755	11.728	.000
	Within Groups	87374.755	90	970.831		
	Total	189846.553	99			
Toughness	Between Groups	38030.188	9	4225.576	7.977	.000
	Within Groups	47672.198	90	529.691		
	Total	85702.385	99			
Adhesiveness	Between Groups	50529.005	9	5614.334	52.389	.000
	Within Groups	9644.959	90	107.166		
	Total	60173.964	99			
Stiffness	Between Groups	7.178	9	.798	4.112	.000
	Within Groups	17.458	90	.194		
	Total	24.636	99			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้นั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Cutting-Shearing Test (Craft Knife blade)

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Shear force	Between Groups	.002	9	.000	15.994	.000
	Within Groups	.001	84	.000		
	Total	.003	93			
Shear work	Between Groups	7490.970	9	832.330	11.745	.000
	Within Groups	5952.958	84	70.869		
	Total	13443.928	93			
Toughness	Between Groups	2186.544	9	242.949	2.851	.006
	Within Groups	7159.102	84	85.227		
	Total	9345.647	93			
Stiffness	Between Groups	6.916	9	.768	4.980	.000
	Within Groups	12.963	84	.154		
	Total	19.879	93			
Force at Break point	Between Groups	.002	9	.000	5.882	.000
	Within Groups	.003	84	.000		
	Total	.004	93			
Distance at Break point	Between Groups	16.070	9	1.786	1.989	.051
	Within Groups	75.420	84	.898		
	Total	91.489	93			
Time at Break point	Between Groups	1607.287	9	178.587	1.989	.051
	Within Groups	7541.843	84	89.784		
	Total	9149.130	93			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Penetration test (spherical)

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Firmness	Between Groups	373.542	9	41.505	15.371	.000
	Within Groups	243.020	90	2.700		
	Total	616.562	99			
Toughness	Between Groups	3885.006	9	431.667	9.527	.000
	Within Groups	4078.011	90	45.311		
	Total	7963.017	99			
Stiffness	Between Groups	13.677	9	1.520	15.982	.000
	Within Groups	8.558	90	.095		
	Total	22.235	99			

ตารางที่ ข.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Penetration test (cylindret)

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Firmness	Between Groups	72.716	9	8.080	7.896	.000
	Within Groups	78.792	77	1.023		
	Total	151.508	86			
Toughness	Between Groups	1622.424	9	180.269	5.580	.000
	Within Groups	2487.523	77	32.305		
	Total	4109.947	86			
Stiffness	Between Groups	2.658	9	.295	7.842	.000
	Within Groups	2.900	77	.038		
	Total	5.557	86			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบแบบ Penetration test (กึ่งสุก)

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Firmness	Between Groups	24.847	9	2.761	1.628	.120
	Within Groups	145.796	86	1.695		
	Total	170.642	95			
Toughness	Between Groups	191.036	9	21.226	.658	.744
	Within Groups	2775.253	86	32.270		
	Total	2966.289	95			
Stiffness	Between Groups	4.073	9	.453	5.799	.000
	Within Groups	6.711	86	.078		
	Total	10.783	95			

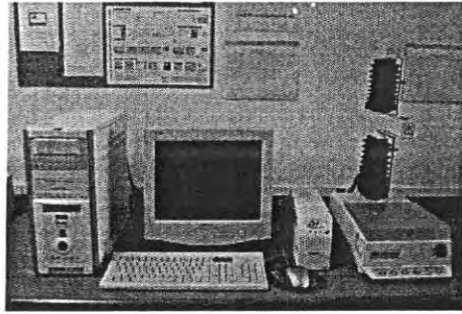
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



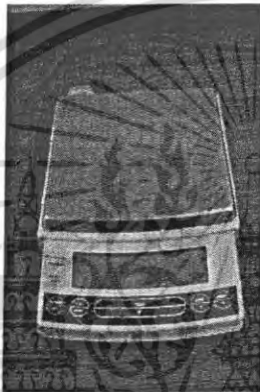
ภาคผนวก ค.

รูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและการเก็บรักษาถังในน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer (Stable Micro System TA-XT.Plus)

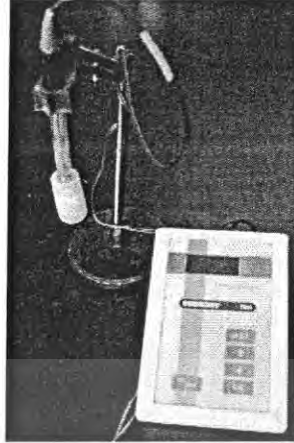


รูปที่ ค.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Shimadzu, BX3000)

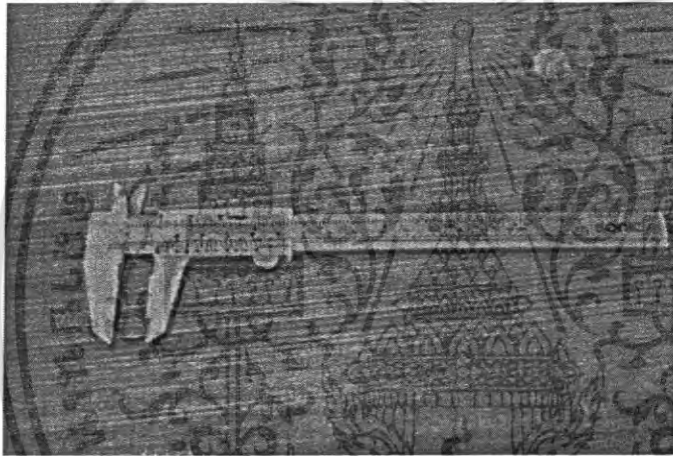


รูปที่ ค.3 Hot Plate

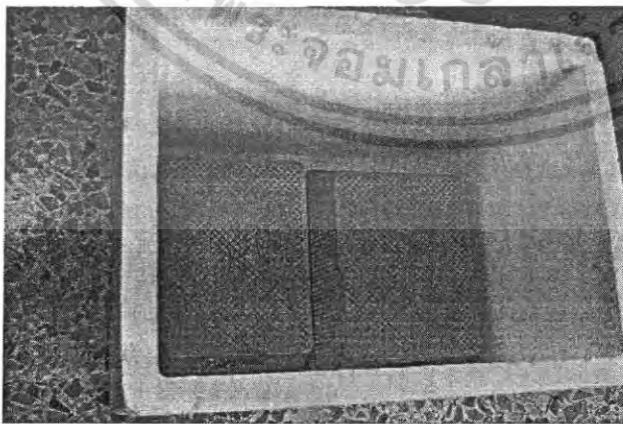
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๔ เครื่องวัดพีเอช

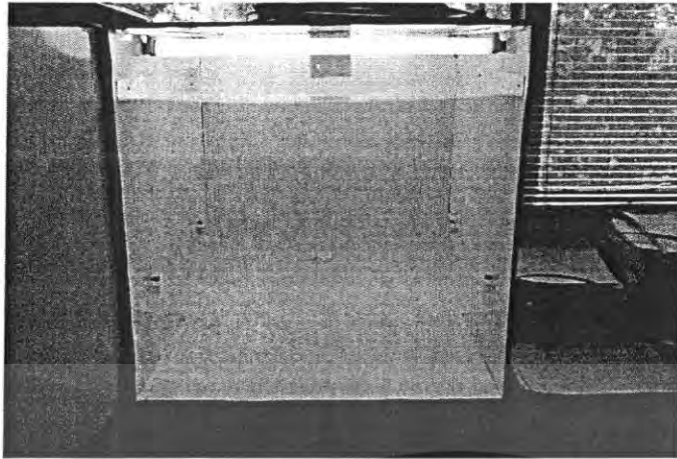


รูปที่ ๕ เวอร์เนียคาลิปเปอร์



รูปที่ ๖ ลักษณะการวางตะกร้าในกล่องโฟม

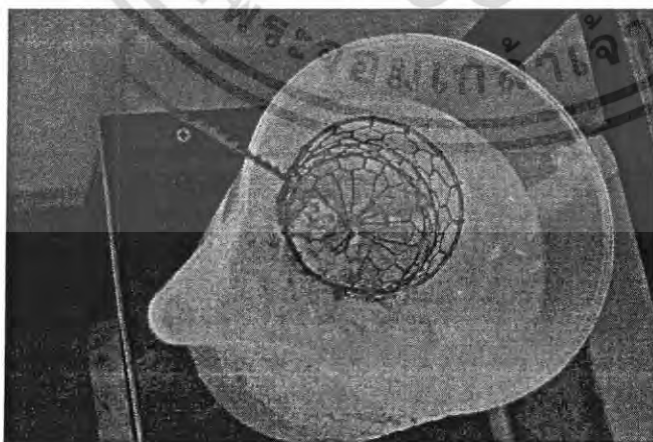
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค. 7 กล่องควบคุมแสง



รูปที่ ค. 8 การต้มกุ้ง



รูปที่ ค. 9 การแช่น้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค. 10 รูปถ่ายกุ้งก่อนลอกเปลือกในวันที่ 0-14



รูปที่ ค. 11 รูปถ่ายกุ้งหลังลอกเปลือกในวันที่ 0-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. The entire design is surrounded by a decorative border containing the university's name in Thai script: "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

ภาคผนวก ง.

**การศึกษาหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวในระหว่าง
การเก็บรักษาในน้ำแข็ง**

**Study on an Appropriate Test to Evaluate Texture Characteristics of
White Shrimp during Iced Storage**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง Study on an
Appropriate Test to Evaluate Texture Characteristics of White Shrimp during Iced Storage

นวกัทรทา หนูนาค¹ วรบรรณ แก้วเนตร¹ รัดนา ธนโกคาไพศาส¹ และ ธงชัย กาญจนชุมพล¹

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง โดยทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (SMS-TA.XT plus) ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (loading rate) และวิธีที่ใช้ในการทดสอบ มีผลต่อการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาว ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด ได้แก่ 0.1, 0.5 และ 1.0 mm/s วิธีที่นำมาใช้ทดสอบ ได้แก่ การทดสอบแบบ TPA (Texture Profile Analysis) การทดสอบแบบกด (Compression Test) การทดสอบแบบการเจาะ (Puncture Test) การทดสอบแบบการตัด (Cutting and Shearing Test) และการทดสอบแบบ Relaxation Test จากการทดลอง พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการตั้งค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ความเร็ว 0.1 mm/s มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ค่าความละเอียดสูงที่สุด และสามารถบ่งบอกความแตกต่างเนื้อเยื่อบริเวณผิวกุ้งและเนื้อกุ้งได้ชัดเจนกว่าความเร็วของหัววัดที่ 0.5 และ 1.0 mm/s และค่าพารามิเตอร์ที่สามารถแบ่งแยกลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งในระยะเวลา 14 วัน ได้ดีที่สุดคือ ค่า Stiffness และ F_{max} ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการเจาะ (penetration test) ด้วยหัววัดชนิดกลม เนื่องจากวิธีนี้สามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน โดยที่ระยะเวลาการเก็บในน้ำแข็งนานขึ้น บริเวณผิวของกุ้งขาวจะมีความเหนียวมากขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวจะลดลง

คำสำคัญ : กุ้งขาว เนื้อสัมผัส เก็บรักษาในน้ำแข็ง

ABSTRACT

The objective of this research was to determine an appropriate test to evaluate texture characteristics of white shrimp during iced storage by using Texture Analyzer (SMS-TA.XT plus). The effect of crosshead speeds was considered in this study. They were set at 0.1, 0.5 and 1.0 mm/s. Texture Profile analysis, Compression, Cutting, and Relaxation Tests were determined. It was found that crosshead speed at 0.1 mm/s gave the lowest standard deviation, the highest resolution and the clearest between shrimp skin and tissues. Therefore, crosshead speed at 0.1 mm/s was selected to perform in the rest of experiments. Stiffness and F_{max} obtained from penetration test with round probe can clearly distinguish texture characteristics of white shrimp at various iced storage time to 2 groups. Increase of storage time increased F_{max} and decreased springiness of flesh shrimp. It can be concluded that the penetration test at 0.1 mm/s of crosshead speed should be an appropriate method to clarify the texture characteristics of white shrimp.

KEYWORDS : White Shrimp, Texture, and Iced Storage

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

* Corresponding author. Tel: 02-7392348, Fax: 02-7392349, E-mail address : kbnavaph@kmitl.ac.th

กึ่งที่เก็บรักษาในระยะเวลา 0-3 วันคุณภาพของกึ่งยังคงยอมรับได้เหมือนกึ่งสด แต่เมื่อระยะเวลา-3-10 วันขึ้นไปแล้วคุณภาพจะลดลง

S. Pomrata (2550) และคณะ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อกึ่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วันโดยนำกึ่งมาตัดหัว ปอกเปลือก วัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ knife blade ตัด โดยใช้ 50 kg Load Cell และ cross head speed 1 mm/s. พบว่าแรงเฉือนมีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในกึ่งสดมีค่าแรงเฉือน 18.21 N/g. และเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน . 6 วัน , และ 14 วัน แรงเฉือนมีค่า 14.50 , 12.46 และ 10.79 N/g พบว่า 0-3 วัน กึ่งยังคงอยู่ 4-6 วันหลังแช่เย็นพบว่าเนื้อกึ่งนุ่ม และหลังจาก 6 วันไปแล้วพบว่ากึ่งนุ่มมาก

มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับความสดของกึ่งมากมาย อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบการศึกษาในการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของกึ่งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ (1) เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของกึ่งขาวในระหว่างการเก็บรักษาในน้ำแข็ง (2) เพื่อทดสอบหาวิธีทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถใช้แบ่งแยกระดับความสดของกึ่งขาวที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. กึ่งขาวสดและภาชนะบรรจุ
2. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer (SMS-TA.XT plus)
3. อุปกรณ์สำหรับวัดขนาด เวอร์เนียคาลิเปอร์และอื่น ๆ

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

กึ่งสดขนาด 70-80 ตัวต่อกิโลกรัมจากตลาดไท จ.ปทุมธานี นำมาเก็บในกล่องโฟมที่รองกันด้วยกระดาษพลาสติกที่เคลือบด้วยน้ำแข็งเกล็ด จัดเรียงกึ่งและน้ำแข็งสลับกันเป็นชั้น ๆ เก็บกล่องโฟมไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิประมาณ 2-5 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างกึ่งจากกล่องโฟมเพื่อทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในวันที่ 0 (กึ่งสด) 1 2 3 4 6 8 10 13 และ 14 วันละ 10 ตัวอย่าง นำกึ่งมาตัดหัวออก ปอกเปลือก วัดขนาด ชั่งน้ำหนัก โดยกึ่งแต่ละตัวหลังการเตรียมหนัก 8.1 ± 0.7 กรัม และหนา 10.9 ± 0.3 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการวัดเนื้อสัมผัส

2. การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 50 kg load Cell, trigger force 5 g และบันทึกค่าที่ 250 จุดต่อวินาที

2.1 ผลของความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด (loading rate) ต่อค่าพารามิเตอร์ วิธีที่ใช้ทดสอบมีดังนี้

- Relaxation Test ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะในการกดบนตัวอย่าง 20% ของขนาดความหนาของตัวอย่าง แล้วค้างไว้เป็นเวลา 90 วินาที

- Cutting and Shearing Test ใช้หัววัดชนิด Craft blade ตัดตัวอย่างลงไปเป็นระยะ 95% ของความหนาของตัวอย่าง ระดับความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 0.1, 0.5 และ 1.0 mm/s ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

2.2 การตรวจวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของกึ่งขาวด้วยวิธีการทดสอบแบบต่าง ๆ

วิธีที่ใช้ทดสอบมีดังนี้

- TPA (Texture Profile Analysis) ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ระยะในการกดบนตัวอย่าง 60% ของความหนาของตัวอย่าง

- Puncture and Penetration Test ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และหัววัดทรงกลม เจาะลงไปเป็นตัวอย่างเป็นระยะทาง 95% ของความหนาของตัวอย่าง

- Cutting and Shearing Test ใช้หัววัดชนิด Craft blade ตัดตัวอย่างลงไป 95% ของความหนาของตัวอย่างและ Warner blade ตัดลงไปเป็นระยะ 25 มิลลิเมตร

- Relaxation Test ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ระยะในการกดบนตัวอย่าง 20% ของความหนาของตัวอย่างแล้วค้างไว้เป็นเวลา 90 วินาที

- Compression Test ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่าง 60% ของความสูงของตัวอย่าง โดยทำการทดลองวิธีละ 10 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะเมื่อสัมผัสของกุ้งขาวด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วย Duncan's Multiple range test ($P \leq 0.05$) ด้วย Microsoft Excel และ SPSS

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของความเร็วยกในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่อค่าพารามิเตอร์

พิจารณาผลของความเร็วยกในการเคลื่อนที่ของหัววัดด้วยวิธีการทดสอบแบบ Relaxation และ cutting-shearing โดยวิธีการทดสอบแบบ Relaxation เป็นตัวแทนของการทดสอบลักษณะการกด ส่วนวิธีการทดสอบแบบ cutting-shearing โดยใช้หัววัดแบบใบมีดเป็นตัวแทนของการทดสอบลักษณะการตัด ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่หัววัดกระทำกับกุ้งขาวด้วยวิธีการทดสอบแบบ relaxation คือ maximum force ที่ระยะการกด 20% (F_{max}) แรงต้านสุดท้ายก่อนที่หัววัดจะเคลื่อนที่ขึ้น (F_i) ค่าความยืดหยุ่น (Relative elasticity: $E_{rel} = F_i/F_{max}$) และความสามารถในการต้านแรง (Area) ดังแสดงในตารางที่ 1 และ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟของแรงและระยะทางที่หัววัดตัดกุ้งขาวด้วยวิธี cutting-shearing คือ stiffness, f_{max} และ toughness ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟ relaxation test ของกุ้งขาวที่เก็บในน้ำแข็ง 1 วัน

Loading rate (mm/s)	F_{max} (N)	F_i (N)	E_{rel}	Area (N.sec)
0.1	$4.892 \pm 0.012a$	$4.877 \pm 0.007a$	$0.997 \pm 0.002a$	$438.44 \pm 0.34b$
0.5	$4.902 \pm 0.015a$	$4.883 \pm 0.010a$	$0.996 \pm 0.002a$	$437.60 \pm 0.32a$
1.0	$4.910 \pm 0.026b$	$4.886 \pm 0.025a$	$0.995 \pm 0.004a$	$437.34 \pm 0.22a$

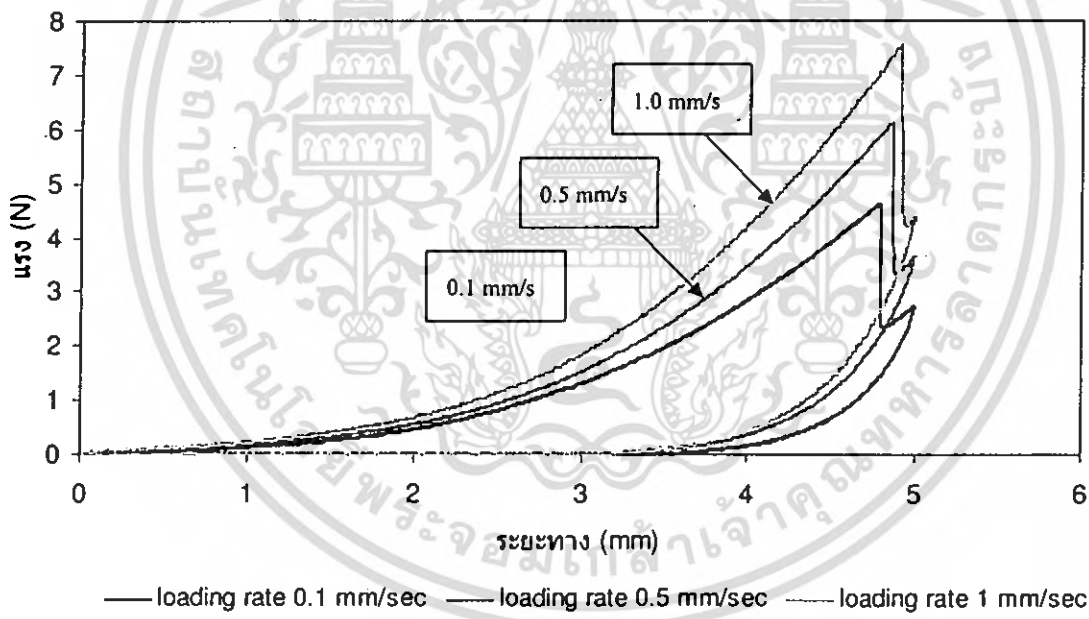
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังค่ากัน (a และ b) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟ cutting-shearing test ของกุ้งขาวที่เก็บในน้ำแข็ง 1 วัน

Loading rate (mm/s)	F_{max} (N)	Toughness (N.sec)	Stiffness (N/sec)
0.1	$4.09 \pm 0.65a$	$6.77 \pm 1.24a$	$0.22 \pm 0.03a$
0.5	$5.07 \pm 0.60b$	$8.36 \pm 0.88b$	$1.44 \pm 0.13b$
1.0	$5.98 \pm 0.84c$	$10.06 \pm 1.47c$	$3.28 \pm 0.32c$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังค่ากัน (a, b และ c) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=10$

พิจารณาผลการทดสอบจากตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดต่างกัน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี cutting-shearing มีค่าต่างกันและสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มทางสถิติได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี relaxation ดังนั้น จึงเลือกทำการวิเคราะห์ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดจากวิธีการทดสอบแบบ cutting-shearing โดยที่เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดเพิ่มขึ้นค่า F_{max} หรือแรงที่ใช้ในการตัดที่ผิวของกึ่ง ค่า Toughness และค่า Stiffness หรือค่าความยืดหยุ่นที่ผิวของกึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากการพิจารณาตารางที่ 2 พบว่าที่ความเร็วของหัววัด 0.1 mm/s ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็ว 1.0 mm/s ยกเว้นค่า toughness และจากการพิจารณาในรูปที่ 1 พบว่า กราฟมีจุดยอด 2 จุดซึ่งจุดที่ 1 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดการขาดของเนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่ง (เป็นจุดที่ใบมีดสามารถตัดผ่านผิวกึ่ง) และจุดที่ 2 สามารถพิจารณาว่าเป็นบริเวณที่เกิดจากการขาดของเนื้อกึ่ง (ใบมีดสามารถตัดเข้าไปในเนื้อกึ่ง) ที่ความเร็วของหัววัด 0.1 mm/s สามารถอธิบายความแตกต่างของการตัดขาดของทั้งสองบริเวณ ได้ชัดเจนที่สุด ซึ่งกราฟที่ได้จากที่ความเร็วของหัววัดนี้มีความละเอียดมากที่สุดสามารถบ่งบอกความแตกต่างของระยะทางและการเกิดแรงที่ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณผิวกึ่งและผิวเนื้อกึ่งขาดได้มากกว่าที่ความเร็ว 0.5 และ 1.0 mm/s ดังนั้น ในการพิจารณาหาวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถใช้ในการบ่งชี้ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของกึ่งที่ระยะเวลาการเก็บในน้ำแข็งต่าง ๆ จึงเลือกค่าความเร็วของหัววัดเท่ากับ 0.1 mm/s สำหรับทุกวิธีการทดสอบ



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางที่ได้จาก Cutting-Shearing Test ของกึ่งขาวที่เก็บในน้ำแข็ง 1 วันที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1, 0.5 และ 1.0 mm/s

2. วิธีการทดสอบและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่ระยะเวลาการเก็บในน้ำแข็ง

14 วัน

จากการทดสอบการประเมินเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่ระยะเวลาการเก็บในน้ำแข็งต่าง ๆ ในเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบแบบ texture profile analysis (TPA), relaxation, การกดด้วยหัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร, การเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรและหัววัดทรงกลม, การตัดด้วยใบมีด (knife blade) และ wamer blade พบว่าวิธีการทดสอบแบบ relaxation แบบกดและการเจาะด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ไม่พบความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟเหล่านี้ ดังนั้น การพิจารณาวิธีการทดสอบที่เหมาะสมจึงเหลือเพียง วิธีการทดสอบแบบ TPA การเจาะด้วยหัววัดทรงกลม การตัดด้วยใบมีดและ wamer blade ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากกราฟของแต่ละวิธีแสดงในตารางที่ 3-6

จากการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ (Area และ Toughness) ที่ได้จากกราฟของวิธีทดสอบแบบ cutting-shearing (knife blade) สามารถแยกลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งที่เก็บในน้ำแข็งเป็นระยะเวลา 14 วัน ได้สองกลุ่มอย่างค่อนข้างชัดเจน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม 0-4 วัน และ 6-14 วัน โดยทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบโดยการตัดด้วย wamer blade ไม่สามารถใช้พิจารณาถึงลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ได้ เมื่อพิจารณาค่า springiness หรือค่าความยืดหยุ่น ที่ได้จากการทดสอบแบบ TPA พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บกุ้งในน้ำแข็งที่นานขึ้นค่า springiness มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์นี้สามารถใช้แบ่งแยกได้เพียงกุ้งสดหรือกุ้งที่ผ่านการเก็บมาเท่านั้น โดยค่า springiness ของกุ้งสดมีค่ามากที่สุดและแตกต่างจากกุ้งที่ผ่านการเก็บอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากนั้นลดลงตามระยะเวลาในการเก็บ ซึ่งในช่วงเวลาของการเก็บ 2-12 วันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า (Fmax, Area และ Stiffness) ที่ได้จากกราฟของวิธีทดสอบแบบการเจาะ (penetration test) พบว่า พารามิเตอร์ทั้ง 3 ชนิดสามารถแบ่งแยกลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2 เช่นเดียวกับค่า Area และ Toughness ที่ได้จากการทดสอบแบบการตัดด้วยใบมีดคม (knife blade) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณา เฉพาะกลุ่ม 0-4 วัน พบว่า ค่า F max และ Stiffness ที่ได้จากการทดสอบแบบการเจาะด้วยหัววัดกลม สามารถแบ่งแยกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งในแต่ละวันได้ดีกว่าการพิจารณาด้วย ค่า Area และ Toughness จากวิธีการตัดด้วยใบมีดคม

กุ้งขาวที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 4 วันสามารถจัดอยู่ในกลุ่มที่ผู้บริโภคยังสามารถยอมรับได้ และหลังจากวันที่ 6 เป็นต้นไปอยู่ในกลุ่มที่ยอมรับไม่ได้ โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Erickson และคณะ (2550) และ Pomrati และคณะ (2550) และเมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวโดยการทดสอบด้วยวิธีการเจาะ ในกลุ่มที่ยอมรับได้ก็สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เมื่อเวลาผ่านไป 2 วัน คุณภาพทางเนื้อสัมผัสยังยอมรับได้เท่ากับวันที่ 0 และวันที่ 3 และ 4 เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยแต่ยังจัดอยู่ในกลุ่มที่ยังยอมรับได้ โดยพบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บกุ้งขาวในน้ำแข็งที่นานขึ้นบริเวณผิวของกุ้งจะมีความเหนียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้แรงในการเจาะที่ผิวกุ้งมากขึ้น ในขณะที่ค่า ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งลดลงตามระยะเวลาการเก็บ

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟ cutting-shearing test (Knife blade) ของกุ้งขาวที่เก็บ
ในน้ำแข็งระยะเวลาต่าง ๆ

วันที่	F _{max} (N/mm ²)	Area (N.sec)	Toughness (N.sec)	Stiffness (N/sec)
0	0.030±0.002 ab	443.19±42.37 a	396.02±56.44 a	0.330±0.04 bc
1	0.027±0.002 a	432.00±38.62 a	398.55±41.40 a	0.300±0.04 ab
2	0.026±0.002 a	444.12±50.40 a	413.91±48.55 a	0.279±0.03 a
3	0.032±0.003 bc	483.28±67.70 a	420.13±64.95 a	0.324±0.04 bc
4	0.030±0.003 ab	423.67±81.03 a	428.32±46.49 bc	0.336±0.04 cd
6	0.034±0.005 cd	577.45±57.65 ab	480.06±94.11 abc	0.346±0.03 cdc
8	0.040±0.006 e	632.86±102.41 abc	528.90±112.35 cd	0.379±0.04 cf
10	0.041±0.004 e	653.26±71.06 bc	508.60±60.24 bc	0.383±0.02 f
13	0.041±0.005 e	682.93±163.54 c	589.33±163.78 d	0.356±0.04 cdef
14	0.037±0.005 de	566.07±84.32 b	472.59±90.29 abc	0.369±0.04 def

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน (a, b, c, d, e และ f) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), n=10

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟ cutting-shearing test (warner blade) ของกุ้งขาวที่เก็บ
ในน้ำแข็งระยะเวลาต่าง ๆ

วันที่	F _{max} (N/mm ²)	Area (N.sec)	Toughness (N.sec)	Adhesiveness (N.sec)	Stiffness (N/sec)
0	0.034±0.005 abc	1739.50±428.73 ab	711.85±220.49 a	6.04±129.52 cd	0.330±0.04 d
1	0.033±0.003 abc	1812.70±292.90 b	676.49±124.96 a	79.01±223.28 d	0.315±0.03 cd
2	0.031±0.005 abc	1625.70±245.86 ab	682.25±155.46 a	45.18±12.37 c	0.289±0.04 bcd
3	0.035±0.003 c	2539.40±335.08 d	249.70±177.16 c	537.43±127.59 e	0.277±0.03 abc
4	0.030±0.003 ab	1452.40±156.70 a	597.88±130.84 a	11.33±21.98 cd	0.269±0.06 ab
6	0.031±0.004 ab	2197.50±328.27 c	973.88±485.91 b	213.70±97.03 b	0.255±0.06 ab
8	0.031±0.003 ab	1855.30±332.05 b	593.87±153.21 a	249.30±90.79 ab	0.276±0.03 abc
10	0.030±0.004 a	1613.20±173.22 ab	613.69±183.26 a	84.69±50.37 c	0.258±0.06 ab
13	0.034±0.003 abc	2201.40±409.49 c	716.10±246.53 a	322.60±48.53 a	0.254±0.05 ab
14	0.034±0.004 bc	1909.10±276.80 b	807.00±197.07 bc	39.73±32.72 c	0.240±0.04 a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน (a, b, c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), n=10

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟ TPA ของกุ้งขาวที่เก็บในน้ำแข็งระยะเวลาต่างๆ

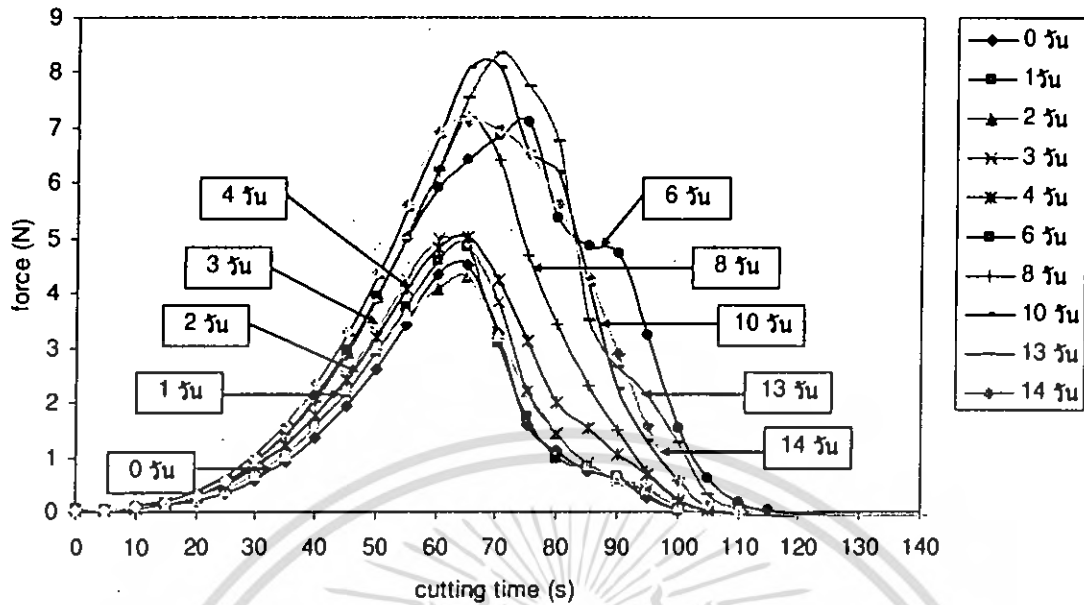
วันที่	F _{max} (N/mm ²)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess(N/mm ²)	Chewiness(N/mm ²)
0	0.094±0.011 ab	0.298±0.02 d	0.241±0.02 b	0.0226±0.003 bcd	0.0067±0.001 c
1	0.091±0.010 ab	0.270±0.01 c	0.221±0.01 ab	0.0201±0.003 abc	0.0054±0.001 ab
2	0.108±0.011 c	0.269±0.01 bc	0.232±0.02 ab	0.0252±0.004 d	0.0068±0.001 c
3	0.084±0.010 a	0.264±0.01 bc	0.216±0.02 a	0.0183±0.003 a	0.0048±0.001 a
4	0.083±0.005 a	0.265±0.01 bc	0.217±0.01 a	0.0180±0.001 a	0.0048±0.001 a
6	0.088±0.012 a	0.264±0.02 bc	0.231±0.03 ab	0.0201±0.004 abc	0.0055±0.001 ab
8	0.087±0.016 a	0.260±0.02 bc	0.220±0.03 a	0.0194±0.006 ab	0.0051±0.002 ab
10	0.087±0.009 a	0.255±0.01 ab	0.215±0.02 a	0.0188±0.003 a	0.0048±0.001 a
13	0.100±0.008 bc	0.256±0.01 ab	0.237±0.02 ab	0.0236±0.003 cd	0.0061±0.001 bc
14	0.093±0.007ab	0.243±0.01 a	0.228±0.03 ab	0.0213±0.005 abc	0.0052±0.001 ab

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน (a, b, c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05), n=10

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟ penetration test (หัววัดทรงกลม) ของกุ้งขาวที่เก็บในน้ำแข็งระยะเวลาต่างๆ

วันที่	F _{max} (N)	Area (N.sec)	Stiffness (N/sec)
0	5.362±0.94 a	99.72±23.42 a	0.167±0.02 a
1	5.489±0.53 a	105.81±22.16 a	0.169±0.01 a
2	5.572±0.78 a	99.35±21.28 a	0.172±0.02 a
3	6.354±0.96 a	120.98±20.76 ab	0.197±0.03 a
4	6.475±1.20 a	133.69±35.92 ab	0.196±0.03 a
6	9.519±2.78 bc	253.00±130.70 d	0.241±0.04 b
8	8.328±2.32 b	175.88±60.84 bc	0.232±0.06 b
10	9.957±1.84 c	237.63±71.92 cd	0.260±0.03 b
13	9.998±1.62 c	242.13±78.73 d	0.258±0.02 b
14	9.954±1.93 c	236.16±99.72 cd	0.259±0.02 b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกัน (a, b, c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05), n=10



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ของแรงและเวลาได้จากการทดสอบเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวด้วยวิธี penetration test (หัววัดทรงกลม) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่ระยะเวลาต่าง ๆ

สรุป

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองหาวิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ที่สามารถบ่งชี้ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่เก็บในน้ำแข็งที่ระยะเวลาค้าง ๆ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบต่าง ๆ พบว่า ที่ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัววัด 0.1 mm/s สามารถอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็ว 0.5 และ 1.0 mm/s และค่าพารามิเตอร์ที่สามารถแบ่งแยกลักษณะความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของกุ้งขาวที่เก็บรักษาในน้ำแข็งในระยะเวลา 14 วันได้ดีที่สุดคือ ค่า Stiffness และ F_{max} ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการเจาะ (penetration test) ด้วยหัววัดชนิดกลม เนื่องจาก วิธีนี้สามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มได้อย่างชัดเจน คือ วันที่ 0-4 วันอยู่ในกลุ่มที่ยอมรับได้ และหลังจากวันที่ 6 เป็นต้นไปจัดอยู่ในกลุ่มที่ยอมรับไม่ได้ โดยที่ระยะเวลาการเก็บที่มากขึ้นผิวของกุ้งขาวจะมีความเหนียวมากขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่นของเนื้อกุ้งขาวจะลดลง

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยส่วนต่อไปควรวิเคราะห์ค่าดัชนีวิเคราะห์ความสดของกุ้งอื่น ๆ ประกอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของกุ้งและการหารูปแบบสมการที่ใช้ในการทำนาระดับความสดของกุ้ง

เอกสารอ้างอิง

ศุมนิศา ศรีพรมพันธ์กุล, 2535. "การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำระหว่างการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง".

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

M.C. Erickson, , M.A. Bulgarellib, A.V.A. Resurreccionb, R.A. Vendettic and K.A. Gatesc. 2007 "Sensory differentiation of shrimp using a trained descriptive analysis panel". LWT. 40 : 1774-1778

- 'Sirintrā Bōonsūmrej', Saiwarūn Chaiwanichsiri', Sumate Tantratian', Toru Suzuki', Rikuo Takai: 2007. "Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing". *Journal of Food Engineering*. 80 : 292-299
- S. Pornrata, T. Sumateb, S. Rommaneeb, K. Sumolayac, W.L. Kerrd. 2007. "Changes in the ultrastructure and texture of prawn muscle (*Macrobrachium rosenbergii*) during cold storage". *LWT*. 40 : 1747-1754

