เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

Simple Device for Food Texture Measurement

รายงานการวิจัยปีงบประมาณ 2535

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทบวงมหาวิทยาลัยแห่งรัฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบแสดงรายละเอียดโครงการวิจัยที่ดำเนินการประจำปีงบประมาณ 2535

แผนก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร กอง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
กรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กระทรวง ทบวงมหาวิทยาลัยแห่งรัฐ

โครงการวิจัยลำดับที่ 2

ชื่อโครงการ	เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร Simple Device for Food Texture Measurement
ประเภทการวิจัย	การวิจัยประยุกต์
สาขาวิชาที่วิจัย	อุตสาหกรรมเกษตรและวิศวกรรมอาหาร
ชื่อหัวหน้าโครงการ	นายกิตติชัย บรรจง Dr.Kittichai Banjong
สถานที่ทำการวิจัย	ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วัตถุประสงค์	เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือทดสอบเนื้อสัมผัสของอาหาร
วิธีวิจัย	สร้างเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารและทดสอบความถูกต้องและแม่นยำในการวัด
ระยะเวลาวิจัย	ตุลาคม 2534 ถึง กันยายน 2535
งบประมาณ	รวมทั้งสิ้น 50,000 บาท ซึ่งได้รับงบประมาณจากรัฐบาล

RCH
TX
380
ก6730
เลขหมู่
19246
เลขทะเบียน
ก.ค. 2536
วัน, เดือน, ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

โดย นายกิตติชัย บรรจง

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจ.ล.

บทคัดย่อ

เครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหารได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อนำมาใช้วัดสมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ แทนการทดสอบด้วยการชิม โดยได้ออกแบบและสร้างหัววัด ซึ่งใช้ทดสอบแรงไหลทะลักของวุ้เกิร์ตเพื่อใช้ศึกษาการทำงานของเครื่องมือนี้ เครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหารประกอบด้วยระบบการส่งกำลังแบบไฮโดรนิวแมติก ทำงานด้วยความดันลม 6 x 10^5 นิวตันต่อตารางเมตรมีความเร็วการเคลื่อนที่ของหัววัดประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อนาที และระบบวัดแรงใช้โหลดเซล บันทึกและแสดงผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์สามารถวัดแรงสูงสุดได้ประมาณ 500 นิวตัน หัววัดเนื้อสัมผัสของวุ้เกิร์ตประกอบด้วยถ้วยวัดแรงไหลทะลัก เป็นถ้วยอะลูมิเนียมขนาดสูง 37 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางปากถ้วยและก้นถ้วย เท่ากับ 105 และ 92 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ก้นถ้วยเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร จำนวน 16 รู เมื่อนำหัววัดมาต่อยึดเข้ากับโหลดเซลของเครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหารและปล่อยให้เคลื่อนที่กดลงบนวุ้เกิร์ตปริมาณ 100 กรัม ที่บรรจุอยู่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาดเดียวกัน จนวุ้เกิร์ตไหลทะลักย้อนออกไปตามรูที่เจาะไว้ จะได้ค่าแรงไหลทะลักมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ซึ่งแทนลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้เกิร์ต ผลการใช้เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหารทดสอบเนื้อสัมผัสของวุ้เกิร์ต พบว่าเครื่องมือนี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างวุ้เกิร์ตที่มีค่าความเป็นกรดแตกต่างกันได้ โดยความแข็งของวุ้เกิร์ตมีค่าอยู่ในช่วง 0.04 ถึง 1.48 กิโลกรัม สำหรับวุ้เกิร์ตที่มีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 0.32 ถึง 1.00 เปอร์เซนต์ และความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองมีแนวโน้มแปรตามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simple Device for Food Texture Measurement

by Kittichai Banjong

Department of Agro-industry, Faculty of Agricultural Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

A device for food texture measurement was developed for measure different kind of food. In this study, an extrusion probe was designed and constructed to measure hardness of yoghurt and used for testing the performance of the device. The food texture device was consisted of hydro-pneumatic driving mechanism working at air pressure 6×10^5 N/m^2 and cross-head speed was 10 mm/min. Force was measured by a 50-kg loadcell and maximum capacity of the instrument was about 500 N. The signal from loadcell was transmitted to a microcomputer via data acquisition system. The extrusion probe was a 37-mm height aluminium cup which diameters at the top and bottom were 105 and 92 mm respectively. At the bottom of the cup, sixteen 3.5-mm holes were punched. Yoghurt texture measurement was performed by attach the extrusion cup to a load-cell of the food texture device and let it compress onto 100-g yoghurt prepared in another aluminium cup of the same size. Hardness of yoghurt was measured in kilograms of the extrusion force. It was shown that texture of yoghurt was measured accurately and the value was ranging between 0.04 to 1.48 kg for yoghurt with 0.32 to 1.00 % acidity and the hardness and the acidity trended to be directly related.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

ปกหน้า	i
แบบแสดงรายละเอียดโครงการวิจัย	ii
บทคัดย่อ	iii
Abstract	iv
สารบัญเรื่อง	v
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	4
2.1 สมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร	4
2.2 คำจำกัดความของเนื้อสัมผัส	4
2.3 การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร	5
2.4 เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร	6
2.5 Instron Universal Testing Machine	7
2.6 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต	7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	8
3.1 เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร สจ.ล.	8
3.1.1 ระบบส่งแรงกระทำต่ออาหาร	8
3.1.2 ระบบวัดแรง	9
3.1.2.1 โหลดเซล	9
3.1.2.2 Data acquisition system	9
3.1.2.3 การปรับเทียบค่า	10
3.1.3 ระบบบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต 12
3.2.1 หัววัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต 12
3.2.2 วิธีการวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต 13
3.3 การเตรียมตัวอย่างโยเกิร์ต 15
3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดกับลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต 16
บทที่ 4 ผลการวิจัย 17
4.1 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วยเครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร 17
4.1.1 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตเปรียบเทียบกับน้ำ 17
4.1.2 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วย Extrusion cup เจาะรูขนาด 2.5 mm 19
4.1.3 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วย Extrusion cup เจาะรูขนาด 3.0 และ 3.5 mm 19
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดและลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต 23
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 27
5.1 ข้อสรุป 27
5.2 ข้อเสนอแนะ 27
เอกสารอ้างอิง 29
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก สรุปรายละเอียดของโหลดเซล CR50 31
ภาคผนวก ข รายละเอียดการตั้งค่าควบคุมการทำงานของ Labtech Acquire 32
ภาคผนวก ค การเตรียมสารเคมีและการหาค่าความเป็นกรด 33
กิตติกรรมประกาศ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ความเป็นกรดและแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตบ่ม เป็นระยะเวลา 0 ถึง 13 ชั่วโมง 24

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ 3.1 เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร 8

ภาพที่ 3.2 ผลการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารที่แสดงทางจอภาพ 11

ภาพที่ 3.3 หัววัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตและถ้วยอะลูมิเนียมบรรจุโยเกิร์ต 12

ภาพที่ 3.4 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วยเครื่องมือ 14

ภาพที่ 4.1 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของน้ำและโยเกิร์ตบ่ม 24 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup ที่ยังไม่ได้เจาะรู 18

ภาพที่ 4.2 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโยเกิร์ตบ่ม 24 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup เจาะรู 2.5 mm จำนวน 4 6 8 10 และ 12 รู 20

ภาพที่ 4.3 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโยเกิร์ตบ่ม 6 และ 10 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup เจาะรู 2.5 mm 12 รู 21

ภาพที่ 4.4 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโยเกิร์ตบ่ม 8 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup เจาะรู 3.0 mm 12 และ 16 รู และ 3.5 mm 16 รู 22

ภาพที่ 4.5 ความเป็นกรดและแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตที่เวลาในการบ่ม 0 ถึง 13 ชั่วโมง 25

ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดกับแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตบ่มเป็นเวลา 0 ถึง 13 ชั่วโมง 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เครื่องมือที่ใช้วัดเนื้อสัมผัสมีอยู่หลายแบบ Instron Universal Testing Machine เป็นเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสแบบที่อาศัยการวัดแรงที่กระทำต่ออาหาร เช่น แรงกด (Compression Force) แรงกดทะลุ (Puncture Force) แรงกดทะลักัก (Compression-Extursion Force) แรงเฉือน (Shear Force) และแรงกดให้โค้ง (Bending Force) เป็นต้น ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็นหน่วยของแรงและสามารถเลือกช่วงการวัดแรงได้โดยเปลี่ยนโหลดเซล (Load cell) ซึ่งมีขนาดให้เลือก คือ 5 50 และ 500 กิโลกรัม ผลของการวัดซึ่งแสดงออกมาในรูปของกราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จะบันทึกลงบนกระดาษกราฟ เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่พัฒนาขึ้นใช้ในการศึกษานี้ เป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยมีหลักการวัดเช่นเดียวกับ Instron Universal Testing Machine แต่ขับเคลื่อนและควบคุมความเร็วด้วยระบบ hydro-pneumatic ผลการวัดจะบันทึกเป็นตัวเลขลงบนจานแม่เหล็กอ่อนในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวลา หรือระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และแสดงผลการวัดเป็นกราฟบนจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ ผ่านทางระบบ data acquisition สำหรับตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองได้แก่โยเกิร์ต ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากนมที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว โดยทั่วไปการวัดคุณภาพของโยเกิร์ตมักใช้การวัดสมบัติทางเคมี โดยวัดค่าเปอร์เซนต์ความเป็นกรด ส่วนการวัดสมบัติเนื้อสัมผัสมักใช้ผู้ทดสอบที่มีความชำนาญเป็นผู้ชิม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติทางเคมีที่วัดได้ ส่วนการวัดความแข็งหรือสมบัติเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส มีใช้ในขอบเขตจำกัดดังนั้นการทดลองนี้จึงออกแบบหัววัดขึ้น เพื่อใช้วัดความแข็งของโยเกิร์ต และทดสอบการใช้งานของเครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสที่ได้พัฒนาขึ้น

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารนี้ในต่างประเทศมีใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งในห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพอาหาร และในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร แม้ว่าเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารจะได้รับการผลิตขึ้นมากมายหลายแบบ แต่หลักการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารโดยทั่วไปต่างก็อาศัยความรู้พื้นฐานทางด้านสมบัติทางกายภาพของอาหารแต่ละชนิดนั่นเอง กล่าวคือจะวัด

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงที่กระทำต่ออาหาร ระยะทางที่อาหารเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป็นตัวแทนแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น ความแน่นเนื้อ ความแข็ง และความกรอบ เป็นต้น เครื่องมือแบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่เครื่องมือที่เรียกว่า universal testing machine ซึ่งออกแบบมาเพื่อวัดสมบัติเชิงกล (Mechnical properties) ของอาหาร ระบบการวัดเนื้อสัมผัสของ universal testing machine ใช้การวัดแรงที่กระทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม ซึ่งเป็นกลไกที่เทียบเคียงได้กับการเคี้ยวอาหารภายในปาก กล่าวคือคนเราอาจบอกได้ว่าอาหารชนิดหนึ่ง ๆ แข็งหรือนิ่มได้ เมื่อกัดอาหารและเคี้ยวอยู่ในปาก โดยอาหารที่แข็งจะต้องใช้แรงกัดและเคี้ยวมากกว่าอาหารที่นิ่ม เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารก็อาศัยหลักการเดียวกันนี้และเครื่องมือจะประกอบด้วย

-ส่วนที่ส่งแรงกดหรือดึงอาหารให้เปลี่ยนแปลงรูปร่าง เปรียบเทียบได้กับขากรรไกร

-ส่วนที่สัมผัสกับอาหารเพื่อทำลายโครงสร้างของอาหาร เปรียบเทียบได้กับฟัน

-ส่วนที่เป็นระบบวัดแรงกระทำต่ออาหาร เปรียบเทียบได้กับประสาทสัมผัส

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วนนี้ อย่างไรก็ตามอาจจำแนกเครื่องมือออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามระบบที่ใช้ส่งแรงกระทำต่ออาหาร ได้แก่

ก) เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารที่ส่งแรงกระทำด้วยมือ (Manual operated device) เครื่องมือในกลุ่มนี้ใช้แรงคนกดหรือดึงชิ้นอาหาร เช่น เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบ Magness-Taylor ซึ่งมีหัวเป็นรูปทรงกระบอกปลายมนขนาดเล็ก ใช้กดลงบนผิวผลไม้จนส่วนหัวแทงทะลุลงไป ผลการวัดแสดงค่าเป็นแรงกดทะลุซึ่งวัดด้วยกลไกของสปริงคล้ายกับตาชั่งสปริง

ข) เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารที่ส่งแรงกระทำด้วยกลไกบังคับ (Power operated device) เครื่องมือในกลุ่มนี้มีกลไกส่งแรงกระทำต่ออาหารแทนการกดด้วยมือ กลไกนี้มักประกอบด้วยสกรูเดี่ยวหรือสกรูคู่ในแนวตั้ง หมุนด้วยกำลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านเฟืองทดรอบ ตัวอย่างเช่น universal testing machine ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะมีระบบวัดแรงด้วยโหลดเซลตอนปลายมีหัววัดที่ถอดเปลี่ยนได้ หัววัดนี้สามารถออกแบบให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ทำให้เครื่องมือแบบนี้นำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหารกลุ่มแรก เหมาะสำหรับงานควบคุมคุณภาพในสนามเช่นการวัดอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลไม้ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีขนาดกระทัดรัด นำไปใช้งานได้สะดวก อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือกลุ่มนี้ผู้ใช้ต้องมีความชำนาญและใช้อย่างระมัดระวัง เพราะความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือขึ้นอยู่กับการกดด้วยความเร็วสม่ำเสมอเท่ากันทุกครั้งทั้งนี้เนื่องจากชีววัสดุและผลิตภัณฑ์อาหารเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหนืดและยืดหยุ่น (Visco-elastic material) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจึงขึ้นกับเวลาด้วย ซึ่งในที่นี้คืออัตราความเร็วของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือความเร็วในการกดนั่นเอง เมื่อพิจารณาเครื่องมือในกลุ่มหลัง การกดหรือดึงถูกบังคับด้วยกลไกจึงควบคุมให้สม่ำเสมอได้เหมือนกันทุกครั้ง ความแปรปรวนของการวัดจึงน้อยกว่าเพราะผลการวัดไม่ขึ้นกับผู้วัด นอกจากนี้การวัดแรงด้วยโหลดเซลยังทำให้ได้ผลการวัดที่ละเอียดมากกว่าระบบสปริง รวมทั้งสามารถเปลี่ยนหัววัดได้จึงใช้วัดอาหารได้หลายชนิด เครื่องมือในกลุ่มนี้จึงเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและห้องวิจัยคุณภาพอาหารทั่วไป อย่างไรก็ตามเครื่องมือนี้มีราคาแพงเมื่อเทียบกับเครื่องมือในกลุ่มแรก การมีเครื่องมือที่ถูกต้อง แม่นยำ และราคาถูกจะช่วยพัฒนาการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารให้ได้มาตรฐานมากขึ้น และช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจในเรื่องสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งยังมีการศึกษากันน้อยมากในประเทศไทย โดยเฉพาะในเรื่องการวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นกล่าวโดยสรุปการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) พัฒนาเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีระบบควบคุมการส่งแรงที่กระทำต่ออาหารอย่างสม่ำเสมอ ใช้งานได้ง่ายและสะดวก มีระบบการวัดแรงด้วยโหลดเซลที่ละเอียด ถูกต้อง และแม่นยำ

2) ทดสอบการใช้งานเครื่องมือนี้เมื่อใช้วัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต ด้วยหัววัดและวิธีการวัดที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 สมบัติเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื้อสัมผัสคือคุณสมบัติที่รับรู้ได้จากประสาทสัมผัส ทำให้สามารถบอกถึงโครงสร้างทั้งภายนอกและภายในของผลิตภัณฑ์ เป็นข้อมูลในการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเนื้อสัมผัสจึงเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่ใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คุณภาพหลักของผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วย (1)

- ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance) เป็นคุณภาพที่อาศัยการสัมผัสทางสายตา ได้แก่ สี รูปร่าง ขนาด เป็นต้น
- กลิ่นรส (Flavor) เป็นคุณภาพที่สัมผัสด้วยปาก ลิ้น และจมูก ได้แก่ รส (Taste) และกลิ่น (Odor) เป็นการตอบสนองของประสาทสัมผัสทางเคมี
- เนื้อสัมผัส (Texture) เป็นคุณภาพที่สัมผัสด้วยบางส่วนของร่างกาย เช่น ปาก ลิ้น ฟัน หรือสัมผัสด้วยมือ โดยเนื้อสัมผัสมีผลต่อการกระตุ้นทางร่างกาย
- คุณค่าทางอาหาร (Nutrition) เป็นสารอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ

คุณภาพ 3 ประการแรกเป็นปัจจัยรับรู้ทางประสาทสัมผัส เกี่ยวกับการยอมรับหรือไม่ยอมรับ เพราะรับรู้ได้ทางประสาทสัมผัสโดยตรง ส่วนคุณค่าทางอาหารไม่จัดอยู่ในกลุ่มดังกล่าว

2.2 คำจำกัดความของเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นสมบัติของอาหารที่สัมผัสด้วยมือ ปากลิ้น และฟัน เป็นคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ใช้เป็นตัวควบคุมคุณภาพได้อย่างหนึ่ง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาคุณสมบัติของอาหาร แต่การพัฒนาเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสยังมีน้อยเพราะขาดความรู้พื้นฐานของเนื้อสัมผัสของอาหารเนื่องจากขาดเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมโดยสรุปอาจกล่าวได้ว่าเนื้อสัมผัสของอาหารมีสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (2)

- เป็นสมบัติทางกายภาพเกี่ยวกับโครงสร้างของอาหาร
- เป็นสมบัติทางกลศาสตร์ โดยไม่รวมสมบัติทางแสง ไฟฟ้า แม่เหล็ก ความร้อน
- รู้สึกได้โดยการสัมผัสด้วยปาก แต่อาจมีส่วนอื่นเกี่ยวข้องด้วยเช่นมือ
- ไม่สัมพันธ์กับการรับรู้ทางรสและกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวัดอาศัยฟังก์ชั่นของ มวล ระยะทาง และเวลา โดยเนื้อสัมผัสอาจวัดเป็น แรง (kg cm/s^2) งาน (kg cm^2/s^2) หรืออัตราการไหล (cm^3/s) เป็นต้น

- สมบัติเนื้อสัมผัส หมายถึง กลุ่มของสมบัติหลายอย่างรวมกัน เช่น

Hardness (ความแข็ง) เละ นุ่ม แข็ง

Cohesiveness (ความเหนียว) เปื่อย เคี้ยวง่าย เหนียว

Viscosity (ความหนืด) ใส หนืด

Adhesiveness (การเกาะตัว) เหนียว ร่วน

2.3 การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร

เนื้อสัมผัสของอาหารจะเริ่มรับรู้โดยทันทีตั้งแต่อาหารเริ่มสัมผัสกับ ช้อน ส้อม มีด หรือ มือ เช่นเมื่อใช้มือบิขนมปังบิสกิตและเมื่อใช้ช้อนตักเยลลี่ เราจะบอกลักษณะของเนื้อสัมผัสได้โดย อาหารยังไม่ต้องสัมผัสปาก และเมื่ออาหารเข้าไปอยู่ในปากแล้วเรายังสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสได้ โดยการใช้ฟันขบอาหาร การถูกันระหว่างลิ้นและเพดานปาก การคลุกเคล้าผสมกับน้ำลาย การบดระหว่างฟัน และการละเลียดกลืน นอกจากนี้อาจใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่สร้างให้มี การทำงานคล้ายปากมนุษย์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์แตก และวัดเนื้อสัมผัสออกมาในรูปของแรงในหน่วย มาตราฐาน กล่าวโดยสรุปวิธีการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารอาจจำแนกได้ดังนี้ (1)

ก) การทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบ หรือการทดสอบแบบ subjective มี 2 แบบ คือ การสัมผัสด้วยปากหรือการชิมซึ่งจะบอกได้ว่ายอมรับหรือไม่ยอมรับ และการสัมผัสด้วยมือหรือนิ้ว โดยไม่ต้องให้อาหารเข้าไปในปาก

ข) การทดสอบโดยใช้เครื่องมือ หรือการทดสอบแบบ objective มี 2 แบบเช่นกัน คือ การวัดสมบัติที่เป็นเนื้อสัมผัสโดยตรงเช่นความแข็งและความเหนียว และการวัดสมบัติทางกายภาพที่เป็นผลเนื่องมาจากเนื้อสัมผัส เช่น ระยะทางการไหล การแผ่กระจาย และการยุบตัว

เนื้อสัมผัสที่วัดได้จากผู้ทดสอบซึ่งเป็นการทดสอบแบบ subjective จะสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสซึ่งเป็นการทดสอบแบบ objective (3) แต่เนื่องจากการวัดเนื้อสัมผัสเป็นเรื่องละเอียดและผู้ทดสอบแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกัน การวัดเนื้อสัมผัสให้ได้ถูกต้องแม่นยำจึงต้องอาศัยการฝึกฝนจนชำนาญ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลามาก (4) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องมือซึ่งค่าที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้มีค่าเป็นตัวเลขในหน่วยซึ่งเป็นมาตราฐาน และสามารถนำไปอธิบายและพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับเนื้อสัมผัส หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาหาความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ได้ (5) นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน (6)

การทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบ จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงแต่จะต้องใช้ผู้ทดสอบที่มีความชำนาญมากซึ่งยากต่อการฝึกฝนให้ผู้ทดสอบมีความชำนาญ ถ้าผลการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสแล้วให้ผลไปในทางเดียวกับการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบย่อม เป็นสิ่งที่ดีที่จะเลือกใช้การวัดด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ซึ่งจะให้ค่าที่ถูกต้อง รวดเร็วและไม่ต้องใช้ผู้ชำนาญในการวัดมากนัก (4)

2.4 เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่มีใช้ในระยะแรก ๆ วัดแรงด้วยกลไกของสปริง ถึงแม้เครื่องมือแบบนี้จะมีราคาถูกแต่ค่าที่ได้จากการวัดยังมีถูกต้องแม่นยำน้อย และประสิทธิภาพในการใช้งานต่ำ ต่อมา ได้มีการพัฒนาเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส โดยนำระบบอิเลกทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องและแม่นยำกว่า แต่เครื่องมือแบบนี้จะมีราคาสูง (2)

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสโดยทั่วไปจะทดสอบวัดสิ่งต่อไปนี้

ก) วัดแรงกระทำต่ออาหารที่สามารถแสดงลักษณะเนื้อสัมผัส โดยอาจใช้การทดสอบวัดต่อไปนี้

1) Puncture test เป็นการทดสอบวัดแรงกดทะลุ

2) Compression test เป็นการทดสอบวัดแรงกดโดยไม่ถึงกับทะลุ

3) Shear testเป็นการทดสอบวัดแรงที่ใช้ในการตัดผลิตภัณฑ์

4) Compression-extrusion test เป็นการทดสอบวัดแรงที่ใช้กดจนอาหารไหลทะลักออกมา

5) Tensile test เป็นการวัดความเหนียวของผลิตภัณฑ์ว่ามีการยึดเกาะตัวได้ดีเพียงใด

6) Bending test เป็นการวัดความโค้งงอของผลิตภัณฑ์

ข) วัดระยะทาง ใช้วัดของเหลวที่ไหลได้ โดยกดอาหารแล้วดูว่าอาหารมีการเคลื่อนที่ไปได้เพียงใด หรือวัดความสูงของไข่เพื่อดูความสดใหม่ของไข่ เป็นต้น

ค) วัดเวลา โดยการวัดความหนืด ดูเวลาในการเคลื่อนที่ของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Instron Universal Testing Machine

ในจำนวนเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสที่ผลิตขึ้นนั้น มีเครื่อง Instron Universal Testing Machine ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ผลิตโดยบริษัท Instron Ltd. ทำงานโดยใช้สกรูและมอเตอร์ในการขับเคลื่อน ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัววัดปรับโดยใช้ชุดเกียร์มีสวิทช์ ควบคุมการขึ้นลงของหัววัดกำหนดและการหยุดโดยใช้สวิทช์อัตโนมัติ สามารถปรับให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วได้ตั้งแต่ 0.05 ถึง 100 mm/min ขนาด 5 50 500 และ 5000 กิโลกรัม ค่าแรงแสดงผลทางกระดาษกราฟ ค่าความเร็วการเลื่อนของกระดาษกราฟ ปรับได้ตั้งแต่ 0.5-100 mm/min ได้กราฟออกมาในรูปของ แรงและเวลา Instron Universal Testing Machine เป็นเครื่องมือที่วัดแรงกระทำได้หลายแบบโดยการออกแบบหัววัดให้เหมาะสมกับแรงกระทำนั้น ก็จะสามารถใช้วัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารได้ ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือนี้จะมีการออกแบบหัววัด ที่มีขนาดมาตราฐานให้เลือกใช้กับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท (7)

2.6 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

การนำเครื่องมือมาใช้วัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตยังมีการศึกษาอยู่น้อยมาก ทั้ง ๆ ที่ความแข็งของโยเกิร์ตและความหนืดภายหลังการกวนแล้วเป็นสิ่งสำคัญ (8) Galtsloot (9) ทดลองวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วยเครื่อง Penetrometer โดยปล่อยให้หัววัดกดทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อโยเกิร์ต แล้วหาระยะเวลาที่หัววัดเคลื่อนที่ไปจากความลึกที่กำหนดจนถึงจุดที่ต้องใช้แรงกดเท่ากับ 120 กรัม แล้วคำนวณค่าเป็นความอ่อนแข็งของโยเกิร์ต พบว่าวิธีการนี้สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างโยเกิร์ตที่ทำจากนมโฮโมจีไนส์และนมที่ไม่ผ่านการโฮโมจีไนส์ได้ Kynast (10) วัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตโดยกวนให้เนื้อโยเกิร์ตแตกออก แล้วปล่อยให้ไหลไปตามท่อ จากนั้นวัดอัตราการไหลของโยเกิร์ตด้วย conventional coaxial cylinder แล้วคำนวณค่าออกมาเป็นความหนืดได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้เครื่องมือประเภท dynamic วัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตได้อีกด้วย (11) Martens (12) พบว่าสิ่งที่มีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตคือปริมาณไขมัน อุณหภูมิในการบ่ม ความเป็นกรดด่างในระหว่างการทำให้เย็นและอัตราการทำให้เย็น โดยที่เมื่อลดอุณหภูมิในการบ่มจาก 43 ^{o}C เป็น 32 ^{o}C จะทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อวัดลักษณะเนื้อสัมผัสที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนนิ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าในกระบวนการผลิตโยเกิร์ต ถ้าพาสเจอร์ไรซ์ด้วยอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีลักษณะเป็นเม็ด ๆ เพราะว่าเคซีนในน้ำนมขาดความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

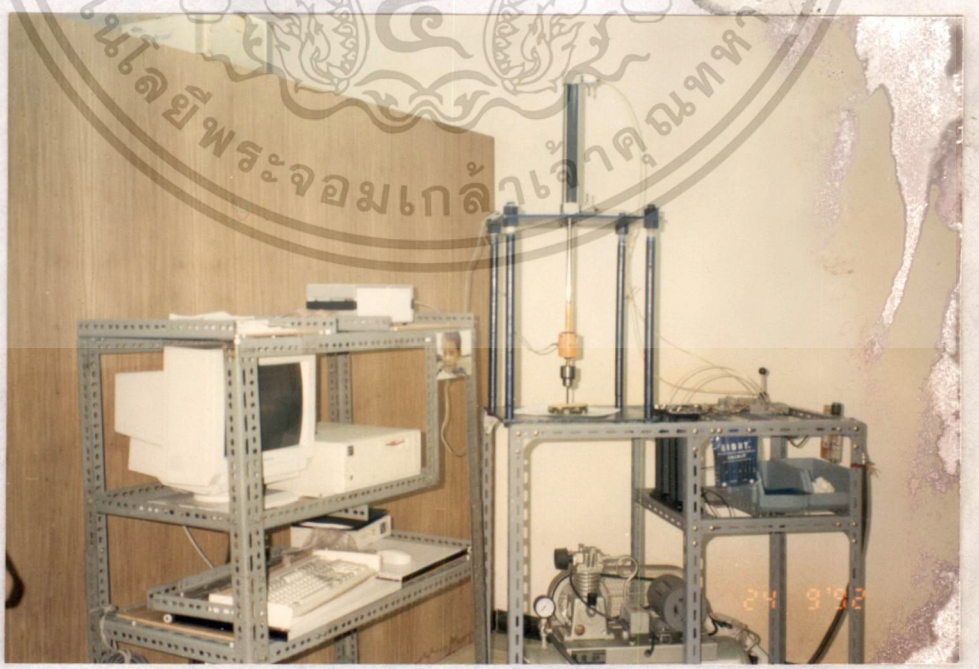
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร สจ.ล.

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหารที่ได้รับการพัฒนาขึ้นที่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนี้ มีส่วนประกอบสำคัญดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดโครงสร้างและการทำงานดังนี้

3.1.1 ระบบส่งแรงกระทำต่ออาหาร

โครงของเครื่องเป็นแผ่นเหล็กกล้าสี่เหลี่ยมหนา 0.9 cm 2 แผ่น กว้าง 35 cm ยาว 45 cm ยึดกันตรงมุมทั้งสี่ด้วยเพลาเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 cm อันประกบแน่นด้วยน็อตซึ่งสามารถปรับระยะระหว่างแผ่นเหล็กข้างบนและข้างล่างได้ ระยะห่างระหว่างแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นประมาณ 50 cm แผ่นเหล็กข้างล่างเป็นฐานรองรับตัวอย่างอันอาหารที่ต้องการวัดหรือใช้วางภาชนะใส่ตัวอย่างอาหาร ส่วนแผ่นเหล็กข้างบนเป็นแท่นยึดกระบอกไฮโดรลิกซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบ 40 mm ช่วงชักของก้านลูกสูบ 300 mm กระบอกไฮโดรลิกต่อกับถังพักน้ำมันไฮโดรลิกด้วยท่อไฮโดรลิกอ่อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 mm และมีวาล์วควบคุมอัตรา



ภาพที่ 3.1 เครื่องมือวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของน้ำมันไฮโดรลิกเข้าและออกจากกระบอก ซึ่งปรับไว้ให้ก้านลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 10 mm/min (มิลลิเมตรต่อนาที) น้ำมันในถังพักจะถูกดันด้วยความดันอากาศจากปั๊มลม โดยมีหน่วยปรับสภาพลมช่วยกรองอากาศและปรับความดันลมให้คงที่เท่ากับ 6×10^5 N/m^2 (นิวตันต่อตารางเมตร) ส่วนทิศทางการเคลื่อนที่ของก้านลูกสูบ ขึ้นหรือลง ควบคุมด้วยการเปลี่ยนทิศทางแรงดันของลมเข้าถังพักน้ำมัน ซ้ายหรือขวา ซึ่งจะไปดันน้ำมันในกระบอกไฮโดรลิกอีกทีหนึ่ง ทิศทางของแรงดันลมนี้ควบคุมด้วยวาล์วคันโยก 2 ทาง บังคับการทำงานด้วยมือ ทำให้ก้านลูกสูบเคลื่อนที่ลง หยุด และเคลื่อนที่ขึ้นได้ตามต้องการ อุปกรณ์ทั้งหมดนี้วางอยู่บนโครงเหล็กฉากมีล้อเคลื่อนไปมาได้ โดยแผ่นเหล็กกล้าที่เป็นฐานวางตัวอย่างอาหารจะอยู่สูงจากพื้นประมาณ 1 m เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน

3.1.2 ระบบวัดแรง

3.1.2.1 โหลดเซล

โหลดเซลที่ใช้วัดแรงเป็นโหลดเซลขนาด 50 kg รุ่น Canister CR50 (Transtronic scale Co.,Ltd.) ซึ่งเป็นโหลดเซลที่มีขนาดกระทัดรัด สามารถวัดได้ทั้งแรงกดและแรงดึง ทนแรงได้ถึง 75 kg โดยไม่เสียหาย แต่แนะนำให้ใช้วัดแรงในช่วง 0 ถึง 25 kg โหลดเซลนี้สามารถขันติดเข้ากับปลายก้านลูกสูบของกระบอกไฮโดรลิกได้ และเมื่อนำหัวยึดจับขนาด 3/4 นิ้ว มาต่อเข้ากับโหลดเซลนี้ จะทำให้สามารถยึดจับหัววัดเนื้อสัมผัสของอาหารแบบต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกรวดเร็วนอกจากนี้ยังอาจเลือกใช้โหลดเซลขนาดอื่นได้อีก ตามลักษณะการใช้งานในช่วงการวัดแรง ต่าง ๆ คือ โหลดเซลขนาด 5 kg สำหรับการวัดแรงในช่วงน้อย ๆ ที่ต้องการความแม่นยำสูง โหลดเซลขนาด 20 kg และ 50 kg สำหรับการวัดแรงในช่วงปานกลาง และโหลดเซลขนาด 100 kg สำหรับการวัดแรงในช่วงสูงมาก ๆ

3.1.2.2 Data acquisition system

โหลดเซลจะต่อเชื่อมและรับส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านแผงวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier with V/I source รุ่น PC-Labcards PCLD-7702, Advantech Co.,Ltd.) โดยตั้งอัตราการขยายสัญญาณไว้ที่ 1,000 เท่า แผงวงจรขยายสัญญาณนี้จะประกอบและใช้งานร่วมกับแผงวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal conditioning board รุ่น PC-Labcards PCLD-770, Advantech Co.,Ltd.) ซึ่งจะต่อเชื่อมกับ High performance data acquisition card (รุ่น PC-Labcards PCL-818, Advantech Co.,Ltd.) ซึ่งอยู่ในไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.3 การปรับเทียบค่า

การแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าจากโหลดเซลจากมิลลิโวลต์เป็นกิโลกรัมของแรงอาศัยข้อมูลจากรายละเอียดเฉพาะของโหลดเซลที่ปรับเทียบโดย Transtronic scale Co.,Ltd (ภาคผนวก ก) ซึ่งแสดงว่าโหลดเซลมี rated output เท่ากับ 1.9786 mV/V of full scale โดยที่ full scale เท่ากับ 50 kg และ exiting voltage เท่ากับ 6.930 V ดังนั้น

โวลต์สัญญาณต่อกิโลกรัม = (1.9786 mV/V x 6.930 V) / 50 kg

= 0.2742 mV/kg

หรือ 1 มิลลิโวลต์มีค่าเท่ากับ 3.647 กิโลกรัม

เมื่อทดสอบค่าที่คำนวนได้กับค่าที่ปรับเทียบด้วยเครื่องชั่งแบบแขนเดียวที่ 500 กรัมและที่ 1 กิโลกรัม ได้ค่าใกล้เคียงกันมาก จึงยึดค่าที่ได้จากการคำนวนเป็นหลักในการปรับเทียบตลอดการทดลองนี้ โดยมีการปรับเทียบกับเครื่องชั่งแขนเดียวทุกครั้งก่อนใช้เครื่องเพื่อให้แน่ใจว่าค่าคงที่ที่ใช้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากนี้ พร้อมทั้งตรวจสอบค่า exciting voltage อย่างสม่ำเสมอและปรับให้มีค่าคงที่เท่ากับ 6.930 V ดังนั้นจึงอาจปรับเทียบค่าในการวัดได้ดังนี้คือ

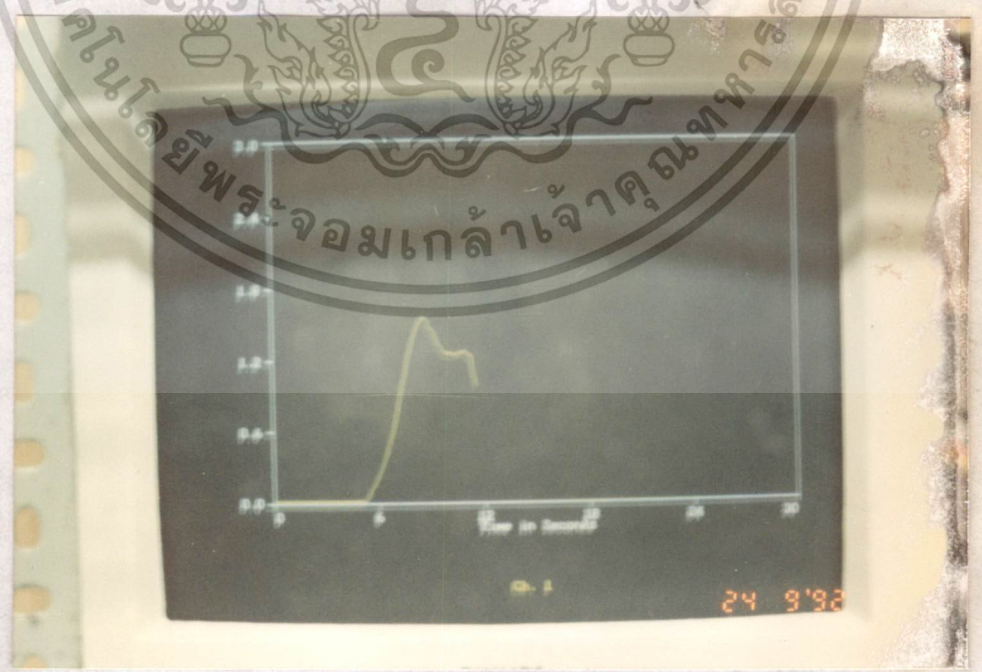
แรง = 3.647 x (โวลต์สัญญาณ + ค่าคงที่)

เมื่อแรงมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ค่าปรับเทียบ 3.647 หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อมิลลิโวลต์ ส่วนโวลต์สัญญาณจากโหลดเซลและค่าคงที่ มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ ค่าคงที่ในสมการนี้เป็นค่าที่ชดเชยสำหรับน้ำหนักของหัววัดที่นำมาต่อกับโหลดเซล ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปสำหรับหัววัดแต่ละแบบ และต้องปรับชดเชยทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนหัววัดใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องมือแสดงค่าแรงเริ่มต้นก่อนการวัดเป็นศูนย์เสมอ ทั้งค่าปรับเทียบและค่าคงที่นี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการแก้ไขในเมนูของโปรแกรมควบคุมการรับส่งสัญญาณดังรายละเอียดในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ระบบบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล

สัญญาณจากโหลดเซลเมื่อผ่านเข้า Data acquisition system จะถูกแปลงค่าเป็นแรงที่กระทำต่ออาหาร แล้วแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแกนตั้งกับระยะเวลาในแกนนอนทางจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.2 จากนั้นข้อมูลจะถูกบันทึกลงบนจานแม่เหล็กอ่อนในรูปของค่าแรงกระทำต่ออาหาร ตลอดช่วงเวลาที่วัด โดยจะเลือกบันทึกได้ด้วยความถี่สูงสุด 50 ค่าต่อวินาที ในการทดลองนี้จะเลือกบันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 10 และ 20 ค่าต่อวินาที เพราะถ้าใช้ความถี่สูงกว่านี้จะทำให้ได้ข้อมูลเป็นจำนวนตัวเลขมากเกินความจำเป็น เปลืองเนื้อที่จัดเก็บ และทำให้การวิเคราะห์ต่อไปไม่สะดวก โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ปรับเทียบค่า แสดงผลการวัด และบันทึกข้อมูลในการทดลองนี้คือ Labtech acquire (PCLS-702, Advantec Co.,Ltd.) โดยค่าที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Data acquisition system ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข ส่วนการวิเคราะห์และแปลผลการวัดอาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสเปรดชีต เช่น Lotus 123



ภาพที่ 3.2 ผลการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารที่แสดงทางจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

3.2.1 หัววัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

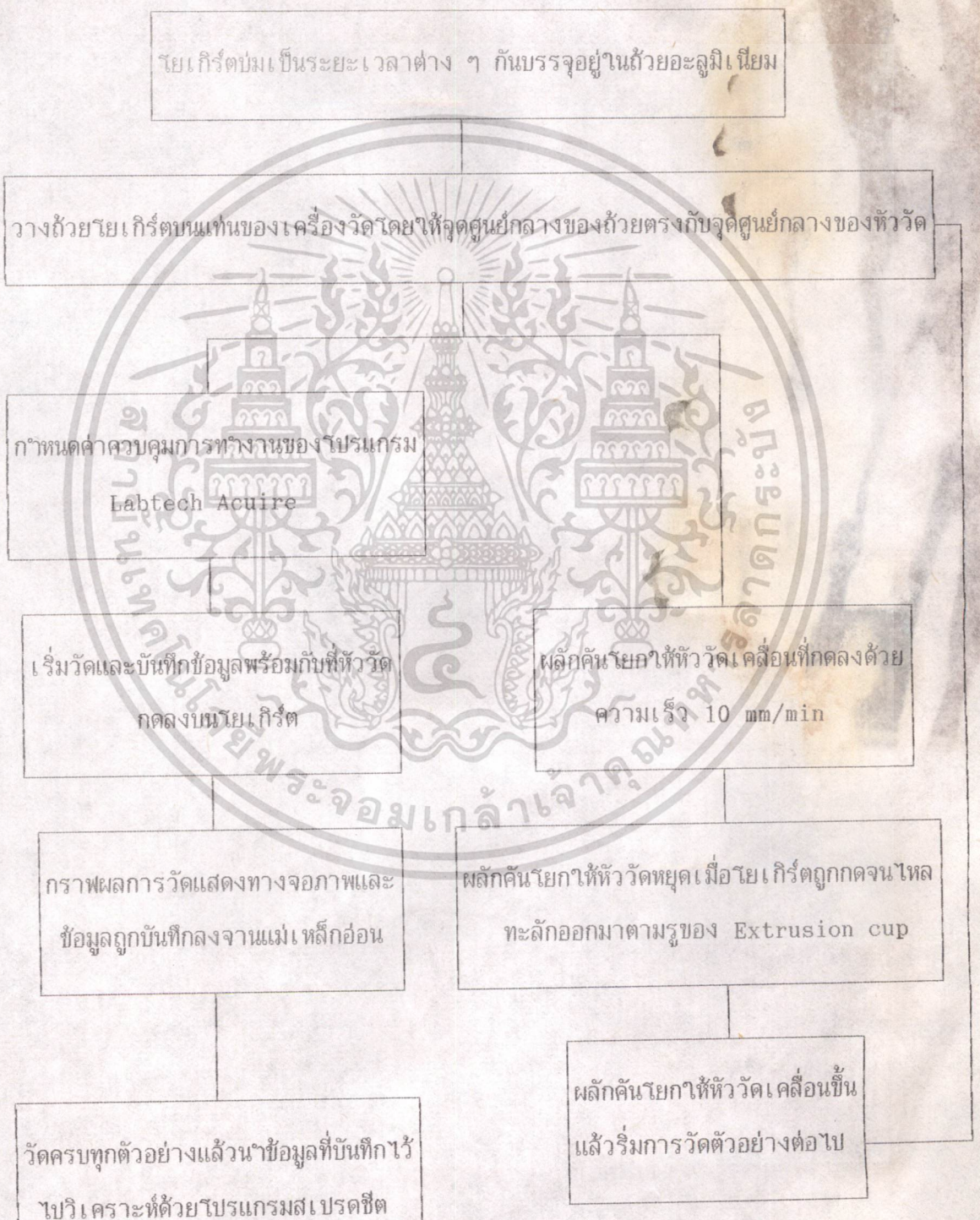
หัววัดที่ใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารมีหลายแบบแล้วแต่ชนิดอาหารที่จะวัด เช่น อาหารประเภทที่แข็งกรอบอาจใช้หัววัดแบบทดสอบแรงกดทะลุ (Puncture test) อาหารประเภทที่เหนียวนุ่มอาจใช้หัววัดแบบทดสอบแรงเฉือน (Shear test) และอาหารประเภทกึ่งแข็งกึ่งเหลวอาจใช้หัววัดแบบทดสอบแรงไหลทะลัก (Extrusion test) เป็นต้น สำหรับในการทดลองนี้ได้ออกแบบและสร้างหัววัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตขึ้นโดยใช้หัววัดแบบทดสอบแรงไหลทะลัก ซึ่งประกอบด้วย Extrusion cup เป็นถ้วยอะลูมิเนียมสูง 37 mm โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปากถ้วยและก้นถ้วยเท่ากับ 105 และ 92 mmตามลำดับ ที่ก้นถ้วยเจาะรูขนาด 3.5 mm จำนวน 16 รู มีพื้นที่รวมของรูเท่ากับ 615.8 mm^2 เพื่อให้เนื้อโยเกิร์ตทะลักออกมา (ภาพที่3.3) หัววัดนี้ใช้กดลงบนตัวอย่างโยเกิร์ตที่เตรียมอยู่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาดเดียวกัน ด้วยความเร็วการเคลื่อนที่ 10 mm/min

ภาพที่ 3.3 หัววัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตและถ้วยอะลูมิเนียมบรรจุโยเกิร์ต

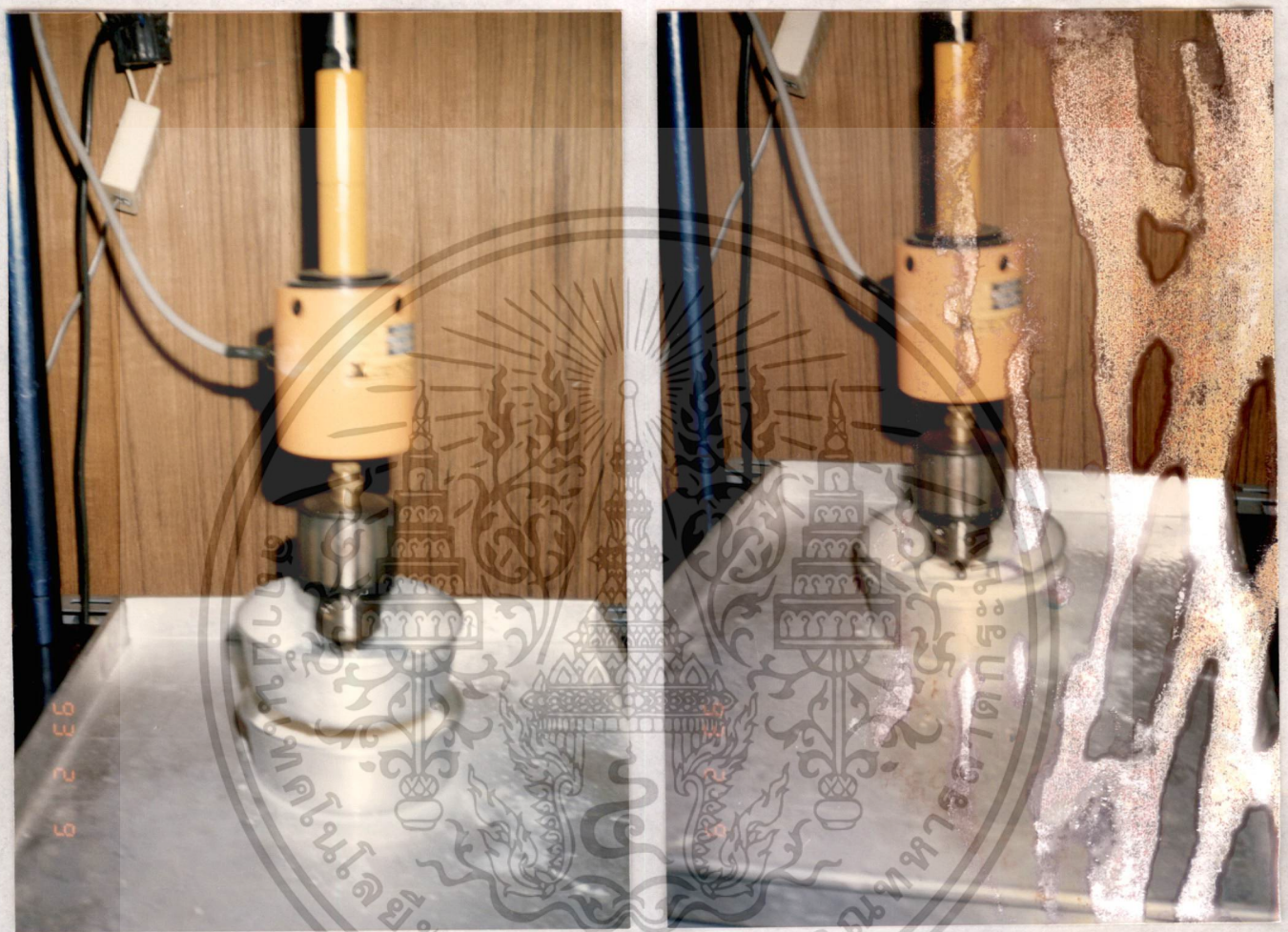
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วิธีการวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต ด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร สจล. (ภาพที่ 3.4 ก และ ข) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



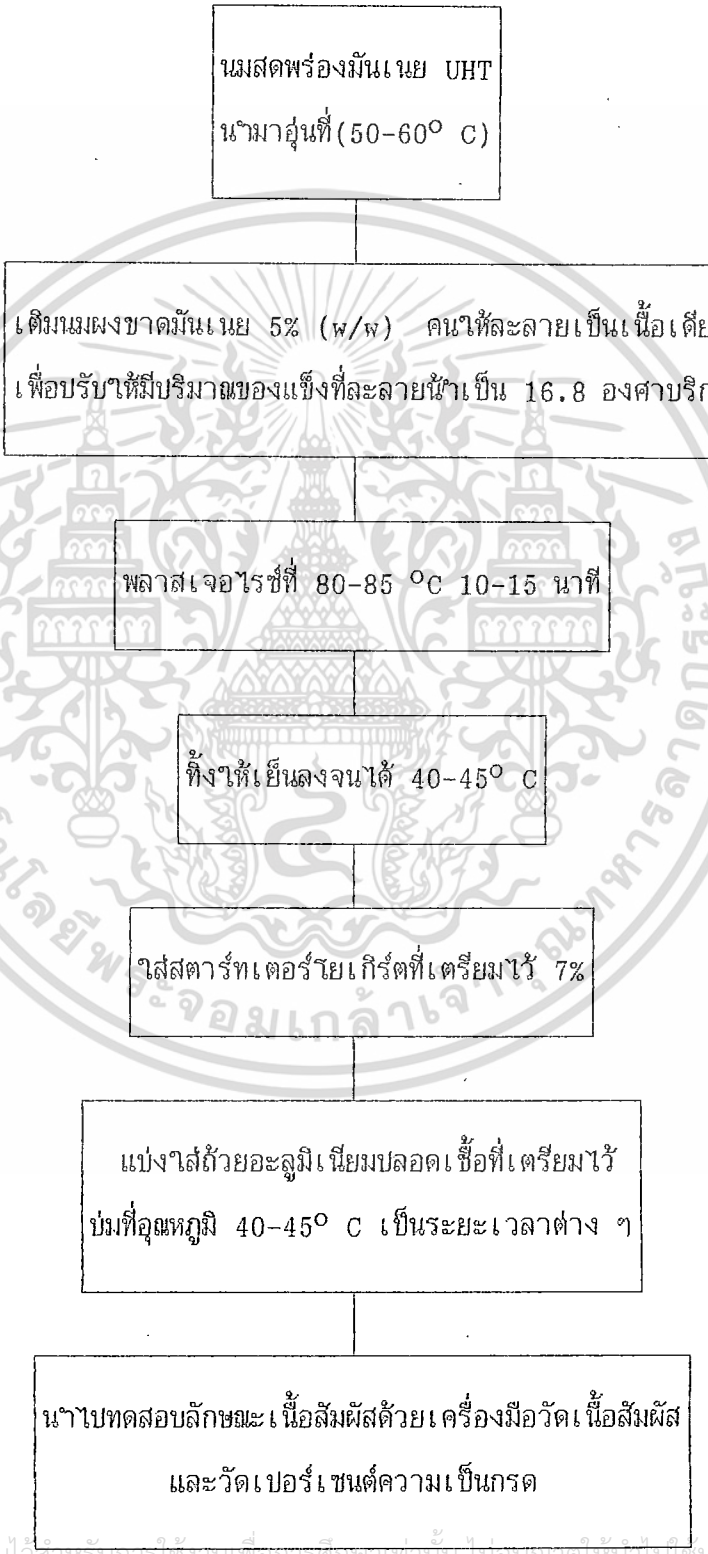
(ก)วางถ้วยรีเกิร์ตตรงศูนย์กลาง (ข)หัววัดกดจนรีเกิร์ตไหลทะลักตามรู

ภาพที่ 3.4 การวัดเนื้อสัมผัสของรีเกิร์ตด้วยเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่างโยเกิร์ต

ขั้นตอนและวิธีการเตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตมีดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดกับลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

เมื่อเตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตตามวิธีการในข้อ 3.3 โดยให้เวลาในการบ่มตั้งแต่ 0 ถึง 13 ชั่วโมงแล้ว นำตัวอย่างโยเกิร์ตไปวัดความเป็นกรดตามวิธีการของ AOAC (13) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค พร้อมทั้งวัดลักษณะเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.2 นำผลการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์เพื่อดูอิทธิพลของความเป็นกรดที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

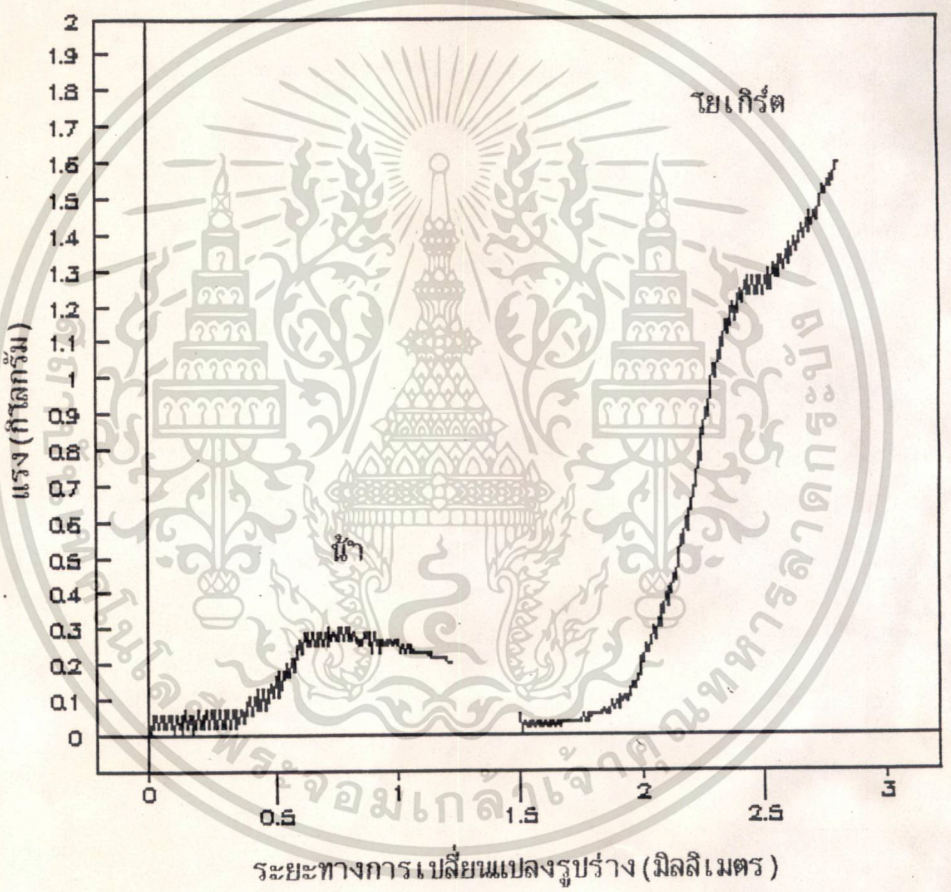
4.1 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วยเครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร

4.1.1 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตเปรียบเทียบกับน้ำ

เมื่อใช้ Extrusion cup ซึ่งยังไม่ได้เจาะรูที่ก้นถ้วย กดลงบนโยเกิร์ตบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เปรียบเทียบกับการวัดน้ำประปาซึ่งเป็นของเหลว พบว่าการวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตโดยใช้ Extrusion cup สามารถวัดแรงกดทะลักได้อยู่ในช่วงประมาณ 0.20 ถึง 0.30 kg สำหรับน้ำและประมาณ 1.20 ถึง 1.40 kg สำหรับโยเกิร์ตบ่ม 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าการใช้ Extrusion cup สามารถจำแนกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตได้ ทั้งนี้เนื่องจากแรงที่ใช้กดต้องไปทำลายโครงสร้างของโยเกิร์ตเสียก่อน จึงจะทำให้โยเกิร์ตไหลทะลักผ่านรู้ไปได้ คล้ายกับการบดเคี้ยวอาหารภายในปาก ทำให้ต้องใช้แรงกระทำต่อโยเกิร์ตมากกว่ากระทำต่อน้ำ นอกจากนี้ยังต้องใช้แรงส่วนหนึ่งทำให้อาหารไหลทะลักผ่านช่องว่างแคบ ๆ ค่าแรงที่วัดจึงมีค่าสูงพอที่จะอ่านค่าอย่างถูกต้องแม่นยำได้ อย่างไรก็ตามลักษณะของเส้นกราฟที่ได้ยังมีความชันเพิ่มขึ้นเป็นช่วงกว้าง (ภาพที่ 4.1) ชี้ให้เห็นว่ากลไกที่เกิดขึ้นมีกลไกของการกด (Compression mechanism) อยู่ด้วยมากจึงหาจุดหรือค่าแรงที่โยเกิร์ตเริ่มไหลทะลักบนเส้นกราฟได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นการศึกษาในขั้นตอนไปคือหาวิธีการเพิ่มกลไกการทะลักให้มากขึ้นและลดกลไกการกดลงบางส่วน ซึ่งทำได้โดยเพิ่มรูที่ก้นของ Extrusion cup เป็นช่องทางให้อาหารไหลทะลักออกมาได้ง่ายขึ้น ผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือภายหลังการทะลักแล้วเส้นกราฟไม่มีความชันเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้ค่าแรงกดทะลักเท่าหรือใกล้เคียงกับค่าแรงสูงสุดในกระบวนการกดทะลัก

19246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของน้ำและไยเกิร์ตบ่ม 24 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup ที่ยังไม่ได้เจาะรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วย Extrusion cup เจาะรูขนาด 2.5 mm

เมื่อใช้ Extrusion cup ที่เจาะรูขนาด 2.5 mm จำนวน 4 6 8 10 และ 12 รู วัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต จะได้ลักษณะเส้นกราฟแรงกับระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างดังในภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจาก 4 เป็น 6 รู ค่าแรงหลังการไหลทะลักมีความชันลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มเป็น 8 10 และ 12 รู ค่าแรงดังกล่าวมีแนวโน้มขนานกับแกน X หรือมีความชันเฉลี่ยใกล้เคียง 0ผลการทดลองแสดงว่าการใช้ Extrusion cup ที่มีรูที่ก้นถ้วยทำให้สามารถอ่านค่าแรงไหลทะลักได้ชัดเจนขึ้น และเมื่อใช้ Extrusion cup ที่มี 12 รู วัดตัวอย่างโยเกิร์ตอีกชุดหนึ่งซึ่งบ่ม 6 และ 10 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.3) จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของค่าแรงไหลทะลักอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่า Extrusion cup ที่มี 12 รู สามารถจำแนกความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตได้ อย่างไรก็ตามลักษณะเส้นกราฟยังอ่านค่าได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อโยเกิร์ตมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งมากขึ้น ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยเพิ่มจำนวนรูของ Extrusion cup ให้มีมากขึ้น หรือเพิ่มขนาดของรู หรือเพิ่มทั้ง 2 อย่างพร้อม ๆ กัน

4.1.3 การวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วย Extrusion cup เจาะรูขนาด 3.0 mm และ 3.5 mm

เมื่อวัดแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตบ่ม 8 ชั่วโมง ด้วย Extrusion cup ที่เจาะรู 3 แบบคือ

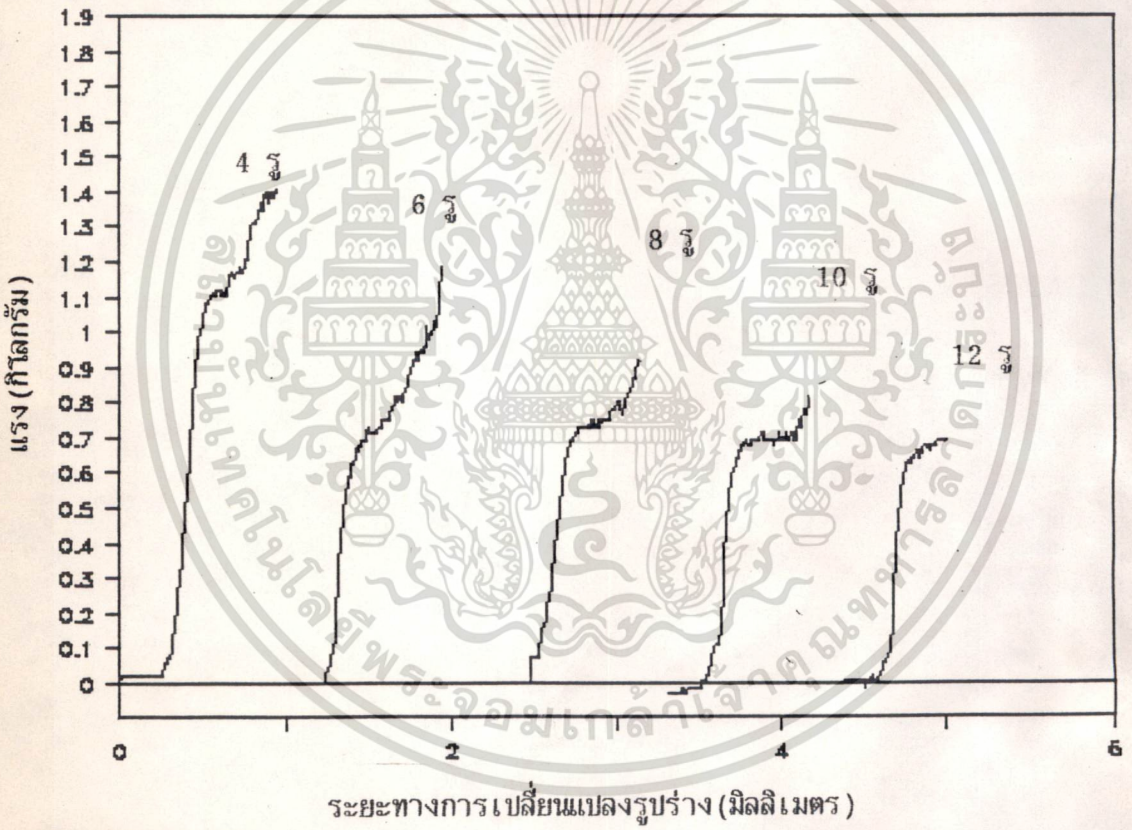
แบบที่ 1 Extrusion cup ที่เจาะรูขนาด 3 mm จำนวน 12 รู

แบบที่ 2 Extrusion cup ที่เจาะรูขนาด 3 mm จำนวน 16 รู

แบบที่ 3 Extrusion cup ที่เจาะรูขนาด 3.5 mm จำนวน 16รู

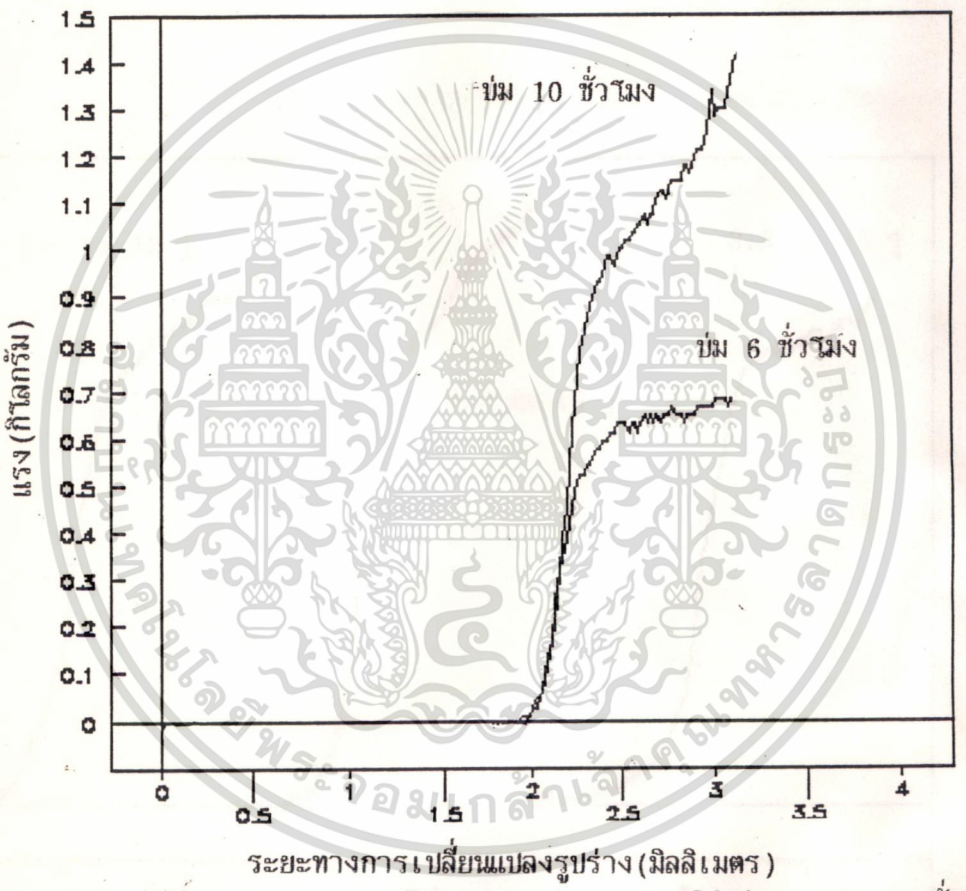
ได้ผลการวัดดังในภาพที่ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตด้วย Extrusion cup แบบที่3 เส้นกราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะสามารถอ่านค่าแรงไหลทะลักได้ชัดเจนที่สุด แม้ว่า Extrusion cup ทั้ง 3 แบบนี้มีค่าแรงกดทะลักใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 1.50 ถึง 2.05 kg ดังนั้นสำหรับโยเกิร์ตที่มีความแข็ง อยู่ภายในช่วงของการทดลองนี้วิธีการวัดด้วย Extrusion cup แบบ 3.5 mm 16 รู มีความเหมาะสมกว่า Extusion cup อีกสองแบบที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโยเกิร์ตบ่ม 24 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup เจาะรู 2.5 mm 4 6 8 10 และ 12 รู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแรงและระยะทางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโยเกิร์ตบ่ม 6 และ 10 ชั่วโมง วัดด้วย Extrusion cup เจาะรู 2.5 mm 12 รู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดและลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อสัมผัสกับความเป็นกรดของโยเกิร์ตบ่มที่เวลา 0 3 5 7 9 11 และ 13 ชั่วโมง โดยใช้ Extrusion cup มีรูขนาด 3.5 mm 16 รู ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 ความเป็นกรดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 0.32 % เมื่อเริ่มการทดลองเป็น 1.09 % เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในทำนองเดียวกันค่าแรงไหลทะลักเพิ่มขึ้นจาก 0.027 เป็น 1.478 kg โดยค่าเฉลี่ยความเป็นกรดของโยเกิร์ตบ่มเป็นระยะเวลาต่าง ๆ แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในขณะที่ค่าเฉลี่ยแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตที่บ่ม 0 และ 3 ชั่วโมงเท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นดังกล่าว แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวิธีการวัดเนื้อสัมผัสด้วยแรงไหลทะลักในการทดลองนี้ สามารถจำแนกความแตกต่างของโยเกิร์ตที่บ่มเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กันได้ดี ยกเว้นในช่วง 3 ชั่วโมงแรกของการบ่มหรือเมื่อมีความเป็นกรดประมาณ 0.6 % ซึ่งโยเกิร์ตยังมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่มาก ทำให้ค่าแรงไหลทะลักที่วัดได้มีค่าน้อยคือประมาณไม่ถึง 0.1 kg เท่านั้น เมื่อนำค่าความเป็นกรดและค่าแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับระยะเวลาบ่ม (ภาพที่ 4.5) จะเห็นว่าค่าแรงไหลทะลักและค่าความเป็นกรดของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยในช่วง 3 ชั่วโมงแรก แรงไหลทะลักมีค่า เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ความเป็นกรดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของทั้งแรงไหลทะลักและความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อนจะมีลดลงในตอนท้าย ๆ ของการทดลอง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดและแรงไหลทะลักของโยเกิร์ต (ภาพที่ 4.6) จะเห็นว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์แปรตามกันแต่ไม่เป็นเส้นตรง โดยมีลักษณะความสัมพันธ์ในกราฟคล้ายรูปอักษร S กล่าวคือเนื้อสัมผัสจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรดประมาณ 0.3-0.6 % หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรดประมาณ 0.9 % ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งจะช้าลงและลักษณะเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเป็นกรดสูงกว่า 1.0 %ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า ถ้ามีข้อมูลในลักษณะเดียวกันมากขึ้นอาจกำหนดแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตกับเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรดได้ ในรูปของสมการความสัมพันธ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ที่เด่นชัดประการหนึ่งของการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยเครื่องมือนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความเป็นกรดและแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตบ่มเป็นระยะเวลา 0 ถึง 13 ชั่วโมง

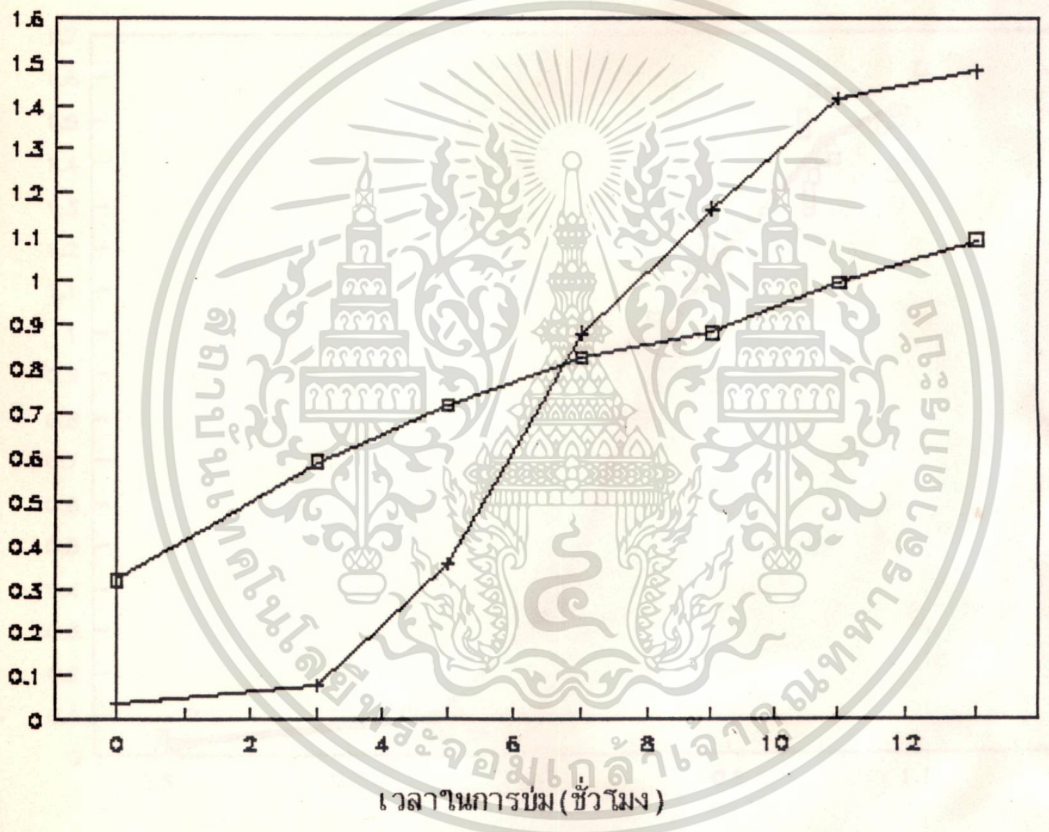
ระยะเวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ความเป็นกรด (%)			แรงไหลทะลัก (kg)		
	ค่าเฉลี่ย*	SD	CV(%)	ค่าเฉลี่ย*	SD	CV(%)
0	0.32[a]	0.013	4.14	0.04[a]	0.027	68.97
3	0.59[b]	0.039	6.69	0.08[a]	0.025	31.67
5	0.71[c]	0.015	2.04	0.36[b]	0.038	10.54
7	0.83[d]	0.027	3.31	0.88[c]	0.084	9.61
9	0.88[e]	0.020	2.23	1.16[d]	0.055	4.72
11	1.00[f]	0.011	1.13	1.41[e]	0.100	7.10
13	1.09[g]	0.020	1.85	1.48[f]	0.073	4.94

*ตัวอักษรที่เหมือนกันตามแนวตั้งจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT

SD = Standard deviations

CV = Coefficients of variation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ความเป็นกรดและแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตที่เวลาในการบ่ม 0 ถึง 13 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 ข้อสรุป

จากการศึกษาการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้ข้อสรุปจากการวิจัยดังนี้

1) เครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสของอาหารที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้วัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตได้เป็นอย่างดี โดยใช้วิธีการวัดแรงไหลทะลักเป็นตัวแทนค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต ที่เหมาะสมสำหรับการวัดนี้เป็น Extrusion cup ทำด้วยอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ก้นถ้วยและปากถ้วยเท่ากับ 92 mm และ 105 mm ตามลำดับ ที่ก้นถ้วยเจาะรูขนาด 3.5 mm จำนวน 16 รู เคลื่อนที่กดลงบนตัวอย่างโยเกิร์ตเตรียมในถ้วยอลูมิเนียมขนาดเดียวกัน ด้วยความเร็วการเคลื่อนที่ของหัววัด 10 mm/min

2) เมื่อใช้หัววัดในข้อ 5.1.1 วัดโยเกิร์ตที่บ่มเป็นระยะเวลา 0 ถึง 13 ชั่วโมง จะได้ค่าแรงไหลทะลักอยู่ในช่วง 0.04 ถึง 1.48 kg และความเป็นกรดของโยเกิร์ตอยู่ในช่วง 0.32 ถึง 1.09 % โดยทั้งความเป็นกรดและแรงไหลทะลักของโยเกิร์ตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น

3) จากการทดลองสังเกตพบว่าความเป็นกรดและความแข็งของโยเกิร์ตมีความสัมพันธ์แปรตามกัน โดยกราฟความสัมพันธ์มีลักษณะคล้าย Sigmoid curve ซึ่งทำให้อาจกำหนดแบบจำลองของความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ โดยแรงไหลทะลักเป็นฟังก์ชั่นของความเป็นกรด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) หัววัดที่ออกแบบมาในการศึกษาครั้งนี้ ยังเป็นหัววัดที่ไม่แข็งแรง ควรออกแบบหัววัดที่แข็งแรง โดยใช้หลักการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปประกอบการออกแบบหัววัดใหม่ ซึ่งจะทำให้ผลการวัดถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นได้

2) จากการศึกษาการวัดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตโดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ยังไม่สามารถจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดและค่าแรงไหลทะลักได้ ถ้าได้มีการศึกษายืนยันข้อสังเกตนี้ อาจทำให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้นมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 16.8 องศาบริกซ์ ในการเตรียมโยเกิร์ตเท่านั้น จึงควรมีการศึกษาถึงผลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่มีต่อเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต ซึ่งเมื่อร่วมกับการศึกษาในข้อ 5.2.2 มีความเป็นไปได้ที่จะจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตกับความเป็นกรดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1.Earle,M.D. 1979. The Charecteristics of Food Texture. Food Technology in New Zealand 14(3):11-15.

2.Bourne,C.M. 1982. Food Texture and Viscosity. Academic Press, INC. Ltd. London.

3.Deman,J.M., P.W. Voisey, V.F. Rasper and D.W. Stanley. 1979. Rheology and Texture in Food Quality. The AVI Publishing Company,INC.U.S.A.

4.Towler,C. and W.R. Cooper.1979. Texture Measurement of Daily Products. Food Technology in New Zealand 14(4):3-11.

5.Szczesniak,A.S. 1963. Objective Measurements of Food Texture. Journal of Food Science 28:410.

6.Cormick,M.R. 1988. Analytical Developments Target Food Structure and Texture. Prepared Foods 157(4):235-236.

7.Kramer,A. and S.A. Szczesniak. 1973. Texture Measurement of Foods. D. Redel Publishing Company. Holland.

8.Webb,B.H. and E.O. Whittier. 1970. By-products from Milk,2nd Editting. The AVI Publishing Company,INC. U.S.A.

9.Galeslot,T.E.1958.Investigations Concerning the Consistency of Yoghurt Netherland Milk Dairy Journal 12:130-165.

10.Kynast,S. 1972. Problems of The Measurment of Yoghurt Consistency. Deutsche Molkerci Ztg. 93 NO.41 :1820.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.Robert,C. 1970. A New System of Rheological Testing at Low Strains. Rheology Acta. 10:135-137.

12.Martens,R. 1972. Influence of Some Factors on the Consistency and the Taste of Stirred Yoghurt. Rev.Arg. 25:461-480.

13.AOAC. 1980. Official Methods of Analysis 12th edition. Washingtion D.C. U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สรุปรายละเอียดของโหลดเซล CR50

Model:	CR-50, Transtronic Scale Co.,Ltd.
Capacity:	50 kg
Rated output:	1.9786 mV/V of full scale
Creep at rated output (in 20 min):	0.02 % of rated output
Nonlinearity, Hysteresis, Repeatability:	0.02 % of rated output
Temperature effect on output:	0.02 % of applied load per 10 ^{o}C
Temperature efect on zero:	0.02 % of rated output per 10 ^{o}C
Temperature compensated:	-5 to 50 ^{o}C
Safe temperature range:	-5 to 80 ^{o}C
Input impedance:	402 Ohm
Output impedance:	352 Ohm
Insulation resistance:	5000 Megaohm
Safe overload w/o effect on zero balance:	150 % of rated capacity
Overload w/o damage:	200 % of rated capacity
Maximum exciting voltage:	20 V DC or AC
Recommended exciting voltage:	10 V DC or AC
Connect for tension:	[+EXC] = Red [-EXC] = Black
	[+SIG] = Green [-SIG] = White
Inspected on 04-11-1992 by:	S.F.Chen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายละเอียดการตั้งค่าควบคุมการทำงานของ Labtech Acquire

LABTECH ACQUIRE SETUP MENU	
Nuber of analog channels [1..4]	1
Number of digital channels	0
Time stamp data?	No
Sampling rate (Hz)	10
Run duration	300
Starting method	Immediate
Analog trigger channel [1..4]	1
Analog trigger threshold	0
Trigger polarity	High
File name	A:\data.prn
Number of windows [1..4]	1
Width of windows in seconds	30

Channel Number	1
Channel name	Force,kg
Display in window number [1..4]	1
Scale factor	3.647
Offset constant	2.83E-02
Minimum display value	0.000
Maximum display value	5.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารเคมีและการหาความเป็นกรด

ก) การเตรียมสารเคมี

1) เตรียมน้ำปลอดคาร์บอนไดออกไซด์โดยนำน้ำกลั่นมาต้มเดือดนาน 20 นาที

2) เตรียมสารละลายมาตราฐาน 0.1 N NaOH เตรียมจาก NaOH 4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาที่กันคาร์บอนไดออกไซด์และกันด่าง นำมาหาความเข้มข้นมาตราฐานดังนี้ชั่งกรด Potassium phthalate ($K_2HC_8H_4O_4$) ที่ผ่านการอบที่ 120 °C ประมาณ 0.3 กรัม ใส่ลงใน Erlenmayer flask ขนาด 250 ml เติมน้ำปลอดคาร์บอนไดออกไซด์ 90-100 ml คนให้ละลายแล้วเติมสารละลาย Phenolphthalein 3 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลาย 0.1 N NaOH ที่เตรียมไว้ คำนวนความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลาย NaOH ได้จาก

$$\text{ความเข้มข้นมาตราฐาน} = \frac{\text{กรัม } K_2HC_8H_4O_4 \times 1000}{\text{ml NaOH} \times 204.229}$$

3) สารละลาย Phenolphthalein เตรียมได้จากชั่ง Phenolphthalein 1 กรัม ละลายใน Ethanol ให้ได้ปริมาตรเป็น 100 ml

ข) การหาความเป็นกรด

ปิเปตตัวอย่างโยเกิร์ตมา 5 ml เติมน้ำกลั่นปลอดคาร์บอนไดออกไซด์ 100 ml แล้วหยด 1% Phenolphthalein 3-5 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตราฐาน NaOH 0.1 N ที่จุดยุติสารละลายจะมีสีชมพูอ่อน

การคำนวณหาปริมาณกรดโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\%\text{acidity (g/100ml)} = \frac{(V) \times (N) \times (MW) \times 100}{1000 \times (U)}$$

เมื่อ V = ปริมาตร (ml) ของ 0.1 N NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท

N = Normality ของสารละลายมาตราฐาน NaOH

MW = น้ำหนักโมเลกุลของกรดที่ต้องการหา (MW lactic acid = 90)

U = ปริมาตร (ml) ของตัวอย่างที่นำมาไตเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารดำเนินการสำเร็จประโยชน์ โดยได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2535 และความร่วมมือในด้านเครื่องมือและสถานที่เป็นอย่างดีจากหัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร นอกจากนี้ยังมีนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรที่ทำงานด้านการสร้างเครื่องมือคือ นายชนินทร์ อายุเจริญกุลกับนายประสาน ไกรรณภูมิ โดยได้รับคำแนะนำจาก อาจารย์จำลอง ปราบแก้ว ส่วนในด้านการทดลองใช้เครื่องมือได้แก่ น.ส.วรนาถ อรุณดิลก และน.ส.แสงเดือน โชคเจริญทรัพย์ โดยได้รับคำแนะนำจากผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณา ตั้งเจริญชัย

19346

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้