

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่องเครื่องวัดความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว



นายกิตติชัย บรรจง
หัวหน้าโครงการ



เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 34430
วัน, เดือน, ปี..... 4 พ.ย. 2542

โครงการวิจัยปีงบประมาณ ๒๕๔๐

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ความกรอบ (crispness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอาหารขบเคี้ยว โดยมีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่า Water Activity ของอาหาร รายงานการวิจัยนี้ได้ศึกษาการวัดความกรอบของตัวอย่างอาหารมันฝรั่งทอดกรอบชนิดแผ่นเรียบ ที่ค่าระดับ Water Activity แตกต่างกัน ๕ ระดับ คือ ๐.๒๖๗ ๐.๓๔๖ ๐.๔๕๕ ๐.๕๐๐ และ ๐.๕๕๓ โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร (Texture Analyzer) โดยวัดเป็นค่าแรงกดเฉลี่ยสูงสุด ได้ค่าเท่ากับ ๓๓๐.๗ ๓๔๘.๒ ๓๒๘.๖ ๒๕๑.๐ และ ๒๕๗.๗ กรัมตามลำดับ และวัดเป็นระยะทางการกดจนถึงจุดแรงกดสูงสุด ได้ค่าเท่ากับ ๐.๘๗๑ ๐.๘๘๖ ๐.๙๕๕ ๑.๓๖๓ และ ๑.๙๕๒ มิลลิเมตรตามลำดับ เปรียบเทียบกับการวัดความกรอบของอาหารโดยใช้คุณสมบัติทางเสียง โดยวัดเป็นค่าระดับความดังของเสียงเฉลี่ย (peak-to-peak) ได้ค่าเท่ากับ ๑๐๔๖.๔ ๘๗๗.๖ ๙๖๙.๘ ๑๐๔๑.๘ และ ๘๗๗.๓ ตามลำดับ และวัดเป็นความถี่ของเสียงด้วยฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ได้ค่าเท่ากับ ๕๕.๙๑ ๖๕.๐๓ ๔๙.๗๘ ๗๐.๗๐ และ ๕๕.๙๐ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าวิธีการวัดความกรอบของอาหารด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหารทั้งสองแบบคือวัดค่าแรงกดสูงสุดและวัดค่าระยะทางจนถึงแรงกดสูงสุด แสดงความแตกต่างของตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕ เปอร์เซ็นต์ ส่วนการวัดความดังของเสียงและความถี่เสียง ไม่แสดงให้เห็นความแตกต่างของตัวอย่าง

กิตติกรรมประกาศ

หัวหน้าโครงการวิจัย ขอขอบคุณภาคีวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้เห็นความสำคัญของการวิจัยนี้ และขอขอบคุณสำนักงบประมาณที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากเงินงบประมาณปี ๒๕๕๐ จำนวน ๕๘,๘๐๐ บาท ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยในโครงการวิจัยนี้ ได้แก่ นายพิพัฒน์ พรหมทอง นายสุจิน สุคตสอาด และนายอมรินทร์ คั้งจิรโชติ ที่ช่วยให้การทดลองสำเร็จลงด้วยดี

นายกิตติชัย บรรจง

หัวหน้าโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญภาคผนวก	ฉ
สารบัญภาพภาคผนวก	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตอาหารขบเคี้ยว	5
2.2 กรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยว	5
2.3 แนวทางการพัฒนาอาหารขบเคี้ยว	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	11
3.1 วัตถุประสงค์	11
3.2 สารเคมีในการทดลอง	11
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	11
3.4 วิธีการทดลอง	13
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
วิเคราะห์ผลการทดลอง	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
ข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 กลุ่มของอาหารขบเคี้ยวและตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในแต่ละกลุ่ม	4
4.1 แสดงค่า Water Activity ของชิ้นอาหารมาตรฐาน	21
4.2 แสดงค่าแรง (Force) และค่าระยะทาง (Distance)	21
4.3 แสดงค่าความดัง (Loundness) และค่าความถี่เสียง (FFTsdata)	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ค่าแอมพลิจูด – เวลาของเสียงที่เกิดขึ้นจากการหักเหอาหารชนิดต่าง ๆ	8
2.2 ค่าแอมพลิจูด – เวลาของเสียงที่เกิดขึ้นจากการหักเหอาหารชนิดเดียวกัน	9
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดังของเสียงกับความกรอบหลังจากการกัดและ เคี้ยวอาหารที่มีลักษณะแห้ง	10
3.1 แสดงกราฟมาตรฐานความกรอบจากเครื่อง Texture Analyzer	15
3.2 แสดงผลการวัดความกรอบจากเครื่อง Texture Analyzer	15
3.3 แสดงโปรแกรม DSP	16
3.4 แสดงผลการเรียกข้อมูลจากโปรแกรม DSP	17
3.5 แสดงการเลือกข้อมูลที่ต้องการในโปรแกรม Microsoft Excel	18
3.6 แสดงการแปลงข้อมูลจาก 2 สดมภ์เป็น 1 สดมภ์	18
3.7 แสดงผลการวิเคราะห์ FFT ด้วยโปรแกรม DSP	19
3.8 แสดงการวิเคราะห์ FFT เก็บข้อมูลเป็นความถี่ Hertz	19
4.1 แสดงความสัมพันธ์แรงที่จุดสูงสุดกับค่า A_w	25
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระยะทางกับค่า A_w	26
4.3 แสดงความสัมพันธ์ความดังของเสียงกับค่า A_w	27
4.4 แสดงความสัมพันธ์ความถี่เสียงกับค่า A_w	28

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก. วิธีการใช้เครื่องมือ	32
1. เครื่องวัดค่า Water Activity (Aw) รุ่น Thermoconstanter	32
2. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)	34
3. เครื่องวัดความกรอบโดยใช้เสียง	35
ภาคผนวก ข. แสดงสัญญาณจากเครื่องคิจิตอล สตอเรจ ออสซิลโลสโคป	36
ภาคผนวก ค. แสดงภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพที่		หน้า
1	แสดงผลสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคป	36
2	แสดงถึงควบคุมความชื้น	37
3	แสดงการเก็บชิ้นอาหารตัวอย่างในช่องป้องกันความชื้น	38
4	แสดงชุดทำให้ชิ้นอาหารแตก	39
5	แสดงการทำงานของชุดทำให้อาหารแตก	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการบริโภคอาหารขบเคี้ยว หรือที่เรียกกันว่า Snack food กำลังเพิ่มขึ้นในประเทศไทย ซึ่งพบว่าประชากรโดยทั่วไปทั้งเด็กและผู้ใหญ่จะนิยมบริโภคอาหารขบเคี้ยวอย่างน้อยวันละ 1 มื้อและเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยมีมูลค่าทางตลาดค่อนข้างสูง มีวางจำหน่ายกันอย่างแพร่หลายในร้านค้าและท้องตลาดทั่วไป ส่วนใหญ่อาหารขบเคี้ยวจะมีลักษณะฟองฟู กรอบ และมีน้ำหนักเบา นิยมบรรจุใส่ในถุง (pouch) ปิดผนึกมิดชิด ซึ่งสะดวกต่อการบริโภค และอาหารขบเคี้ยวจะสร้างความเพลิดเพลินในขณะบริโภค มีราคาไม่แพงมากนักมีความปลอดภัยกว่าอาหารอื่นหลายประเภท ในปัจจุบันอาหารขบเคี้ยวมีมากมายหลายชนิด ดังนั้นโรงงานที่ผลิตอาหารจำพวกขบเคี้ยวจำเป็นต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคและสามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้คงตลอดเวลา ซึ่งนอกจากรูปแบบและรสชาติที่ถูกปากแล้ว ความกรอบยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อของผู้บริโภค

ดังนั้นจึงมีการรักษามาตรฐานของความกรอบให้คงอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้เกิดความพอใจทุกครั้งที่บริโภคอาหารขบเคี้ยวชนิดนั้น แต่อย่างไรก็ตามการวัดความกรอบของอาหารขบเคี้ยวในปัจจุบันเป็น MANUAL SYSTEM ที่มีข้อจำกัดคือใช้คนเป็น SENSOR CALCULATOR และ DECISION MAKER ซึ่งผลการวิเคราะห์อาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากความอ่อนล้าหรือปัจจัยทางด้านอารมณ์ของผู้ทำการวิเคราะห์ ประกอบกับการวิเคราะห์ที่ใช้เวลานาน ดังนั้นคนที่ทำการวิเคราะห์ต้องมีความชำนาญและเชี่ยวชาญสูง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความกรอบดังกล่าวได้บอกให้รู้ว่ามี Physical Relationship ระหว่างความกรอบของอาหารขบเคี้ยวกับเสียง ดังนั้นจึงมีความพยายามในการคิดค้นเครื่องมือที่สามารถวัดความกรอบของอาหารขบเคี้ยวเพื่อทำการวิเคราะห์ผลให้มีความถูกต้องและแม่นยำสูงขึ้น

อีกทั้งยังเป็นสร้างความคิดสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ กับการใช้เครื่องมือทางการวิเคราะห์ทางด้านความกรอบของอาหารขบเคี้ยวให้มีความก้าวหน้ายิ่งขึ้นเรื่อย ๆ เพราะในปัจจุบันจะต้องมีสิ่งใหม่ ๆ มาทดแทนเครื่องมือที่อยู่ในปัจจุบันให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด การใช้เครื่องมือเข้ามาวิเคราะห์เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อวงการอาหารขบเคี้ยว เมื่อมีการเพิ่มการผลิตในปริมาณที่สูง ทางผู้ผลิตจำเป็นต้องหาเครื่องมือวิเคราะห์ที่เหมาะสม ซึ่งการทดสอบความกรอบทางเสียงเป็นแนวทางที่ตัวอย่างหนึ่งสำหรับผู้ผลิตอาหารขบเคี้ยว เพื่อจะได้เลือกการวิเคราะห์ให้ถูกต้องเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

จากแรงจูงใจเหล่านี้จึงเป็นผลให้มีการสร้างเครื่องมือวัดความกรอบให้มีความเหมาะสมสามารถใช้ทดแทนคนและเครื่องมือที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งลดการนำเข้าเครื่องมือที่สั่งซื้อจากต่างประเทศในราคาที่สูง ดังนั้น ในการทำปัญหาพิเศษจึงได้มีการศึกษาถึงการสร้างเครื่องมือใหม่ ๆ มาทดแทนเครื่องมือในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อออกแบบเครื่องมือที่สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบความกรอบของอาหารขบเคี้ยว
2. เพื่อใช้เปรียบเทียบความกรอบของอาหารขบเคี้ยวระหว่างเครื่องมือที่ออกแบบกับเครื่อง Texture Analyzer
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเรื่องความกรอบของอาหารขบเคี้ยวในครั้งต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

ประวัติความเป็นมาและความหมายของอาหารขบเคี้ยว

John Montagon (1977) ชุมนางชาวอังกฤษได้เป็นผู้คิดค้นอาหารว่างขึ้น โดยใช้ขนมปัง 2 แผ่นมาประกบกับชิ้นเนื้อที่อยู่ระหว่างกลางเพื่อนำมาบริโภค ซึ่งต่อมาภายหลังเรียกว่า แซนวิช (sandwich) ทำให้กลายเป็นต้นกำเนิดของสแนค (snack) หรืออาหารขบเคี้ยวจนถึงทุกวันนี้ เนื่องจากรูปแบบของอาหารขบเคี้ยวไม่สามารถกำหนดขอบเขตได้ เพราะนิสัยของผู้บริโภคที่ต้องการเปลี่ยนรูปแบบไม่ให้ซ้ำซากจำเจในการบริโภค ดังนั้นแซนวิชจึงพัฒนารูปแบบเปลี่ยนไป ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นมากมายหลายรูปแบบ อาทิเช่น ปอปคอร์น (popcorn) ผลิตภัณฑ์พวก expansion extruded มันฝรั่งทอดหรืออบ (potato chips) ฯลฯ ปัจจุบันอาหารขบเคี้ยวได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของอาหารในชีวิตประจำวัน เพราะอาหารขบเคี้ยวหลายชนิดที่ผลิตขึ้นได้ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารมื้อหลัก เพื่อบริโภคขณะทำงานหรือหยุดพักผ่อน เพื่อใช้เป็นอาหารว่างที่สร้างความเพลิดเพลินขณะบริโภค อาหารขบเคี้ยวจึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนามาจากอาหารว่าง

Blenford (1982) ได้ให้คำจำกัดความของอาหารขบเคี้ยวไว้ว่า อาหารที่ผ่านการแปรรูป พร้อมบริโภคทันที หรือต้องการเตรียมเพียงเล็กน้อย เช่นการเติมน้ำเค็มเป็นต้น ใช้เป็นอาหารที่บริโภคได้ระหว่างมื้อหรือผสมในอาหารและสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 6 สัปดาห์โดยไม่ต้องให้ความเย็น

Tettwiler (1991) ได้อธิบายว่า การบริโภคอาหารขบเคี้ยวเป็นการบริโภคที่ง่ายต่อการจัดการ มีลักษณะรูปร่างเล็ก ผลิตภัณฑ์อาจมีลักษณะร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลว ซึ่งอาศัยการเตรียมเพียงเล็กน้อย หรืออาจอาจบริโภคได้โดยตรงและให้เกิดความพอใจในขณะบริโภค

นักวิจัยตลาดและนักพฤติกรรมศาสตร์ที่เชี่ยวชาญเรื่องนิสัยในการบริโภคได้พยายามจับกลุ่มและแบ่งชนิดของอาหารขบเคี้ยวดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มของอาหารขบเคี้ยวและตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	ผลิตภัณฑ์
อาหารขบเคี้ยวประเภทร้อน (Hot snack)	Minipizzaa, Pizza Baguettes ,etc. Toasts au gratin Cup noodles Spring rolls Filled croissants
อาหารขบเคี้ยวประเภทเย็น (cold snack)	
นมและผลิตภัณฑ์	Yoghurts, plain and/or with fillings
ผลิตภัณฑ์ขนมอบ	Mini cheese-cubes Cake bars Minitarts Cookies Biscuits
ขนมที่เป็นแท่ง	Granula / muesli bars Chocolate bars Minibreak bars Energy bar
ผลิตภัณฑ์ของคาว	Chips (crips), sticks Extruded products Crackers Pretzel , salt sticks
อื่นๆ	Nuts, nut mixtures Popcorn Rice snacks Fruit Sticks/rolls Dip sticks

ที่มา : Tettweiler อังใน ธงชัย สุวรรณชนน (2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารขบเคี้ยว

อาหารขบเคี้ยวส่วนใหญ่จะทำจากวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบเป็นแป้งร้อยละ 60-70 และผ่านกรรมวิธีใช้ความดันไอสูงๆ ในการนึ่ง(cooking) และการเอ็กทรูด(extruding) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆกัน คุณภาพของผลิตภัณฑ์มักจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ เทคนิคในการผสม และวิธีการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องจักร (Sandermde, 1969)

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำอาหารขบเคี้ยว แบ่งออกเป็น 10 ชนิด คือ พืชหัว ได้แก่ มันฝรั่ง ธัญพืช ได้แก่ ข้าว, ข้าวสาลี, ถั่วเปลือกแข็ง(nuts) ได้แก่ อัลมอนต์, ถั่ว(legumes) ได้แก่ ถั่วเหลือง, ผลไม้ ได้แก่ มะละกอ, พืชน้ำมัน ได้แก่ งา, เนื้อสัตว์, ปลาและอาหารทะเล, ผลิตภัณฑ์นม และแป้ง(starch) (Blenford, 1982)

สำหรับอุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยวในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้พืชหัว, ธัญพืชและถั่วเมล็ดแห้ง ซึ่งทั้ง 3 ชนิดจะใช้ในรูปแป้งเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารขบเคี้ยวแป้งที่ใช้ในการผลิตจะมีลักษณะเป็นแป้งดิบ คือไม่ได้ผ่านการแปรสภาพด้วยกรรมวิธีทางกายภาพ ทางเคมี จุลินทรีย์ ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว โดยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต แต่ถ้าเป็นวัตถุดิบที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณโปรตีน ที่ใช้ในการทำอาหารขบเคี้ยวจะนิยมใช้ธัญพืชกับถั่วเมล็ด

กรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยว

กรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวสามารถแบ่งได้เป็น 7 วิธี คือ การทอด (frying) การย่าง (roasting) การขยายตัว(expanding) อินสแตนท์ (instanting) เอ็กซ์ทรูชั่น(extrusion) การอบ (baking) และการหมัก (fermentation) (Blenford, 1982)

สำหรับกรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวแบบทอด จะมีลักษณะแตกต่างจากขบวนการใช้ความร้อนชนิดอื่นๆ (Block, 1964) ดังนี้ คือ

1). การปรุงให้สุกสามารถทำให้สำเร็จได้ในช่วงระยะเวลาสั้นโดยทั่วไปแล้วจะภายใน 5 วินาที ขึ้นกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน(น้ำมัน) กับอาหาร ขนาดของอาหารแต่ละชิ้นที่จะทำให้สุก

2). น้ำมันที่ใช้ทอดจะกลายเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (end-product) โดยคิดเป็นน้ำหนักต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย ตั้งแต่ร้อยละ 10 ในผลิตภัณฑ์แท่งปลาขุบ ขนบปังจนกระทั่งถึงร้อยละ 40 หรือมากกว่าในมันฝรั่งแผ่นทอด (potato chip)

3). ผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้วที่บริเวณผิวรอบนอกจะมีความกรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนอย่างอื่น

4). น้ำมันอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบของอาหารขบเคี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการพัฒนาอาหารขบเคี้ยว

เนื่องจากการบริโภคอาหารขบเคี้ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตอาหารขบเคี้ยวจำเป็นต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสามารถสรุปแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว มี 4 ประการ (ไม่มี, 2537) คือ การพัฒนารูปแบบของอาหารขบเคี้ยว การพัฒนาคุณค่าทางอาหาร การเพิ่มมูลค่าของอาหารขบเคี้ยว และการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมการผลิตอาหารขบเคี้ยว

1). การพัฒนารูปแบบของอาหารขบเคี้ยว

เทคโนโลยีของเครื่องเอ็กซ์ทรูดสามารถปรับเปลี่ยนหัว ณ จุดที่อาหารขบเคี้ยวจะถูกดันออกมาให้อยู่ในรูปแบบต่างๆได้ ซึ่งมีการคิดค้นอยู่ตลอดเวลาทำให้รูปแบบของอาหารขบเคี้ยวเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเช่นกัน รูปร่างของอาหารขบเคี้ยวสำหรับเด็กและวัยรุ่นก็ต้องเป็นรูปร่างแปลกๆจึงจะเป็นที่ดึงดูด เช่น เป็นรูปมิติต่างๆ รูปสัตว์ รูปผลไม้ รูปการ์ตูนต่างๆ เป็นต้น หรือมีการสอดไส้ที่มีลักษณะ نیمตรงกลางและด้านนอกกรอบซึ่งเกิดจากการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อมุ่งเน้นด้านการตลาดเป็นสำคัญ

2). การพัฒนาคุณค่าทางอาหารในอาหารขบเคี้ยว

เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความต้องการและเลือกหาอาหารขบเคี้ยวที่มีการเพิ่มคุณค่าทางอาหารมากกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไป สำหรับอาหารขบเคี้ยวจะใช้วัตถุดิบพวกแป้ง ข้าว ข้าวโพด หรือส่วนผสมจากวัตถุดิบดังกล่าว วัตถุดิบแต่ละชนิดจะให้กลิ่นสี และเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน บางครั้งก็ไม่สามารถให้กลิ่น สี และเนื้อสัมผัสที่เราต้องการได้ จึงต้องมีการเติมส่วนผสมสารปรุงแต่งบางอย่าง เช่น emulsifiers หรือ กัมต่างๆ และเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้ของขบเคี้ยวสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเพิ่มกากใย หรือการลดปริมาณน้ำมัน การเติมกลิ่นรสในอาหารขบเคี้ยว เป็นต้น

3). การเพิ่มมูลค่าของอาหารขบเคี้ยว

โดยปกติของอาหารขบเคี้ยวมักจะบรรจุในถุงหรือซองอลูมิเนียม ทั้งนี้เพื่อการจำหน่ายในราคาต่ำได้นั่นเอง แต่ถ้าหากเรามีการนำภาชนะบรรจุที่มีความคงทน ความสวยงาม และบรรจุได้ในปริมาณเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าของอาหารขบเคี้ยวได้ เช่น ขวดพลาสติกใสพร้อมฝาปิดแบบมีเกลียว ซึ่งสามารถทำให้ผู้บริโภคสามารถเก็บไว้ได้นาน ผู้ผลิตขายได้มากขึ้น ต้นทุนต่ำกว่าการใช้ซองอลูมิเนียม

4). การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมการผลิตอาหารขบเคี้ยว

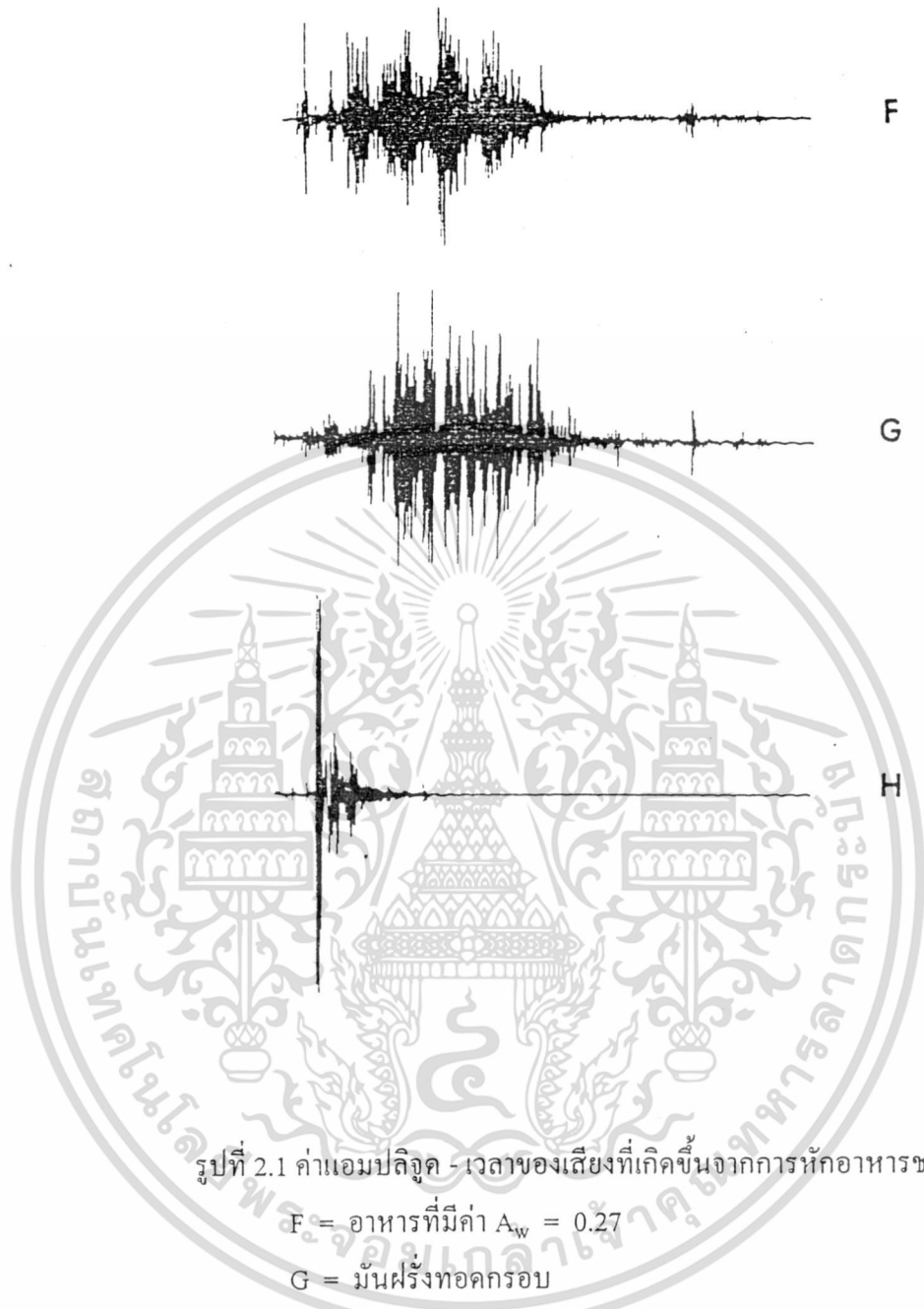
การพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องมือเพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวให้ได้ลักษณะตรงตามต้องการและเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการทดสอบคุณภาพในอดีตเป็นการทดสอบคุณภาพโดยใช้ประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Sensory evaluation) โดยมี “มนุษย์” เป็นเครื่องมือในการวัด อย่างไรก็ตามมนุษย์แต่ละคนมีความรู้ สึกนึกคิดแตกต่างกันออกไป อาจเนื่องมาจากมนุษย์แต่ละคนมีประสบการณ์ และสภาพร่างกายและ จิตใจที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการใช้มนุษย์เป็นเครื่องมือในการวัด อาจให้ผลที่มีความแปรปรวนสูง จึงได้มีการคิดค้นเพื่อพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมการผลิตเพื่อให้สามารถ วัดผลที่ออกมาจะมีความถูกต้องตามลักษณะที่แท้จริงของอาหารขบเคี้ยว โดยการพิจารณาถึงโครงสร้างและตามคุณสมบัติเชิงกายภาพได้แก่การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร (Sherman , 1979) และ (Szczeniak , 1973) โดยการใช้แรงกดเจาะลงไปยังตัวอย่างอาหารจนทะลุ ซึ่งค่าที่ได้จะบ่งบอกถึง ความแข็ง ความแน่นเนื้อ ความเหนียว ของอาหารขบเคี้ยว รวมถึงความกรอบเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถนำมาวัดเพื่ออธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารได้เช่นกัน

ความกรอบของอาหาร เป็นคุณลักษณะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการบ่งบอกถึงลักษณะ เนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่ง Szczeniak and Kahn(1974) กล่าวไว้ว่า “ความกรอบเป็นสิ่งที่แสดงถึง ความสดของอาหาร เช่น อาหารจำพวกผัก ผลไม้ รวมถึงอาหารขบเคี้ยว (Snacks) ซึ่งอาหารเหล่านี้จะมีคุณภาพดีและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เมื่อยังคงมีลักษณะเนื้อแน่นและกรอบ ความกรอบ เป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะจะนำไปสู่ความพอใจเมื่อได้บริโภคอาหาร และจะส่งผลให้เกิดการ บริโภคในครั้งต่อไป” การได้ยินเสียงจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของเสียงใน 2 ลักษณะ คือ

1. เสียงที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่ง จะเดินทางอากาศไปสู่หู และเสียงจะประกอบไปด้วยความถี่ สูงและต่ำ
2. เสียงจะเดินทางโดยใช้กระดูกขากรรไกรเป็นตัวนำส่งสัญญาณไปยังหู เสียงที่เกิดจาก การกัดและเคี้ยวของอาหารแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นลักษณะเฉพาะของ อาหารชนิดนั้น ๆ โดยจะเห็นได้ชัดเมื่อนำสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นมาต่อเข้ากับเครื่องดิจิตอลออสซิล โทสโคป (Digital Storage Oscilloscope) ซึ่งจะสามารถแสดงลักษณะของเสียงออกเป็นรูปคลื่น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ค่าแอมพลิจูด - เวลาของเสียงที่เกิดขึ้นจากการหักอาหารชนิดต่าง ๆ

F = อาหารที่มีค่า $A_w = 0.27$

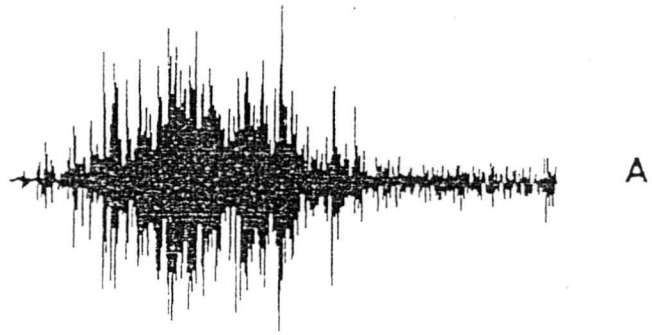
G = มินฝรั่งทอดกรอบ

H = ถั่วอัลมอนด์

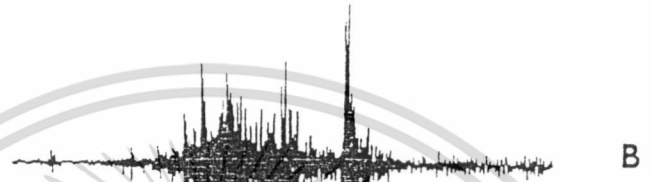
ที่มา : Food Texture and Rheology (1995)

สำหรับการวิเคราะห์อาหารชนิดเดียวกันแต่ถ้ามีความกรอบไม่เท่ากัน จะได้ลักษณะ
ของรูปคลื่นและค่าแอมพลิจูด - เวลาที่ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A



B



C

รูปที่ 2.2 ค่าแอมพลิจูด - เวลาของเสียงที่เกิดขึ้นจากการหักอาหารชนิดเดียวกัน

A = พริกชี้ฟ้าที่ชุ่มน้ำ

B = พริกชี้ฟ้าที่สด

C = พริกชี้ฟ้าที่ผ่านการลวกน้ำร้อน

ที่มา : Food Texture and Rheology (1995)

เมื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดังของเสียงที่เกิดขึ้นกับความกรอบ จะได้กราฟลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากข้อมูลดังกล่าว ทำให้สรุปเป็นแนวทางในการพิจารณาความกรอบของอาหารได้ว่า สามารถศึกษาความดังของเสียงที่เกิดขึ้นจากการหัก หรือกัดชิ้นอาหาร โดยความดังของเสียงจะดูได้จากค่าแอมพลิจูด - เวลา ถ้ามีค่ามากแสดงว่ามีความกรอบมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความกรอบน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัตถุประสงค์

มันฝรั่งทอดกรอบยี่ห้อเลขชนิดรอยยัก ของสีเหลืองที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

2. สารเคมีในการทดลอง

สารละลายเกลืออิมิตัวชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าเปอร์เซ็นต์ ERH (ค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล) ของเกลือดังต่อไปนี้

1). โปแตสเซียม อะซิเตท (Potassium Acetate)	21.61 ± 0.53
2). แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium Chloride)	32.44 ± 0.14
3). โปแตสเซียม คาร์บอเนต (Potassium Carbonate)	43.17 ± 0.50
4). แมกนีเซียม ไนเตรท (Magnesium Nitrate)	51.40 ± 0.28
5). โคบอลต์คลอไรด์ (Cobalt Chloride)	61.83 ± 2.80

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1). ชุดทำให้ขึ้นอาหารแตก
- 2). เครื่องวัดค่า Water Activity (Aw) รุ่น Thermoconstanter
- 3). เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) พร้อมโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 4). เครื่องดิจิทัล สตอเรจ ออสซิลโลสโคป (Digital Storage Oscilloscope)
- 5). ถังควบคุมความชื้น
- 6). เทอร์โมมิเตอร์
- 7). เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Microsoft Office และโปรแกรม DSP SE 4.0
- 8). แผ่นดิสก์
- 9). ซองกันความชื้นมากกว่า 95 %
- 10). เครื่องปิดผนึกซองกันความชื้น
- 11). ขวดใส่สารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ
- 12). ตะแกรงใส่ขึ้นอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) ชุดทำให้ทำให้ขึ้นอาหารแตก

ชุดทำให้ขึ้นอาหารแตก จะมีรูปร่างลักษณะเหมือนกล่องที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นมอเตอร์ส่งแรง และส่วนที่จับสัญญาณเสียง โดยจะทำงานร่วมกันซึ่งในแต่ละส่วนจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1.1 ส่วนที่เป็นมอเตอร์ส่งแรง ในห้องนี้จะประกอบไปด้วยมอเตอร์ความเร็ว 36 รอบต่อ นาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบต่ำ และเฟืองส่งแรงไปยังก้านเหล็ก เพื่อส่งแรงไปยังหัว กระแทกขึ้นอาหาร ที่อยู่ในส่วนที่จับสัญญาณเสียงที่ใช้ในการทดสอบต่อไป

1.2 ส่วนที่จับสัญญาณเสียง ในห้องนี้จะประกอบไปด้วยไมโครโฟนที่เป็นชุดสำเร็จของ ปริ๊ม์มัฟพร้อมไมค์ หัวกระแทกขึ้นอาหาร และชุดจับขึ้นอาหาร ซึ่งมีลักษณะเป็น กล่องขนาดเล็กที่มีตัวจับขึ้นอาหารอยู่ภายใน โดยใช้หลักการของการยืดหดของสปริง ในการจับขึ้นอาหารนั้น

ในส่วนของชุดทำให้ขึ้นอาหารแตกนั้น จะต้องมีการบุด้วยวัสดุดูดซับเสียง เพื่อต้องการ ป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก และเสียงที่เกิดจากการทดลอง เพื่อจะได้เสียงจากการแตกของ ขึ้นอาหาร ได้อย่างสมบูรณ์ แต่มีเสียงรบกวนจากส่วนอื่นน้อยที่สุด

2.) เครื่อง Water Activity (Aw)

การใช้เครื่อง Water Activity (Aw) นั้นเพื่อต้องการหาความชื้นในขึ้นอาหารที่ได้ทำการ คัดแปลงให้ได้ตามที่ต้องการตามที่ได้กำหนดกับค่าเกลือชนิดต่าง ๆ ที่แสดงไว้ข้างต้น จะประกอบ ไปด้วยตลับเกลือมาตรฐานในระดับต่าง ๆ และตลับใส่ขึ้นอาหารที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะแสดงวิธี การใช้ในภาคผนวก ก.

3.) เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) นั้นเพื่อต้องการวัดแรงที่จุดสูงสุด และวัดระยะที่ แรงอยู่ที่จุดสูงสุดซึ่งถือว่าเป็นจุดที่ทำให้ขึ้นอาหารแตก ซึ่งจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์อื่นดังนี้

3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมกับโปรแกรมวิเคราะห์แสดงผลค่าแรงและระยะทาง

3.2 หัววัดเนื้อสัมผัสขนาด P/0.25s ที่ใช้วัดความกรอบ (crisp) และฐานที่ใช้สำหรับวาง ขึ้นอาหารที่สามารถกดทะลุได้

4.) เครื่องดิจิทัล สตอเรจ ออสซิลโลสโคป (Digital Storage Oscilloscope)

เครื่องดิจิทัล สตอเรจ ออสซิลโลสโคป ใช้สำหรับจับสัญญาณเสียงที่ได้จากการทดลอง เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยจะมีหน้าจอเพื่อแสดงผลของสัญญาณที่เข้ามา ในรูปเวฟฟอร์ม (Wave Form) ซึ่งได้จากสายรับสัญญาณจากไมโครโฟน (Probe) และเก็บข้อมูลลงในแผ่นดิสก์

4. วิธีการทดลอง

การเริ่มต้นการทดลองจำเป็นต้องมีการวางแผนการทดลอง โดยเริ่มต้นออกแบบเครื่องมือ และสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้ชิ้นอาหารแตกและเกิดเสียงที่เกิดจากการแตกหักของชิ้นอาหาร โดยใช้การควบคุมจากสวิทช์เพื่อให้เครื่องทำงาน และนำสัญญาณเสียงที่ได้ไปวิเคราะห์ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

1.) ชุดทำให้ชิ้นอาหารแตก เริ่มต้นด้วยการศึกษากการแตกหักของชิ้นอาหารในลักษณะการแตกหัก โดยเริ่มต้นจากการหักชิ้นอาหารด้วยมือ และใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม ซึ่งจะต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้เหมือนกัน จึงได้มีการใช้แรงกระแทกจากมอเตอร์ ความเร็วรอบต่ำ เนื่องจากมีการส่งแรงไปกระแทกที่เหมือนกัน เพราะมาจากวิธีการเดียวกัน โดยใช้แรงส่งผ่านทางเฟืองต่อไปยังก้านเหล็กและหัวกระแทก ไปกระแทกให้ชิ้นอาหารแตกหักและเกิดเสียงขึ้น ซึ่งลักษณะหัวกระแทกมีลักษณะเป็นรูปตัวที เพราะสามารถทำให้ชิ้นอาหารแตกได้ดี และมีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในภาคผนวก ก.

2.) ชุดรับสัญญาณ ใช้ไมโครโฟนที่มีความเร็วสูงในการจับสัญญาณเสียง ซึ่งเรียกว่า คอนเดนซิ่ง ไมโครโฟน ซึ่งจะต้องมีชุดวงจรที่ช่วยไมโครโฟนทำงานได้อย่างสมบูรณ์ เรียกว่า ชุดปรีแอมป์ โดยจะมีตามร้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เรียกว่าชุดปรีแอมป์หรือมิกซ์ เพื่อให้เกิดสัญญาณส่งผ่านไปยังสายไฟฟ้า และนำสัญญาณที่ได้เข้าเครื่องดิจิทัล สตอเรจ ออสซิลโลสโคป

3.) ภาชนะบรรจุชุดเครื่องมือและฉนวน เมื่อได้ชุดทำให้อาหารแตกและชุดรับสัญญาณแล้ว ก็จำเป็นต้องมีภาชนะที่ใช้บรรจุและฉนวนป้องกันเสียงรบกวน ดังนั้น จึงได้ออกแบบกล่องให้มีลักษณะเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เก็บมอเตอร์และส่วนที่ทำให้เกิดการแตกของชิ้นอาหาร เพื่อลดปัจจัยจากเสียงรบกวนจากมอเตอร์ และทำการบุด้วยฉนวนป้องกันเสียงอื่น ๆ เช่น เสียงสะท้อน โดยใช้ใยแก้วมาบุรอบกล่องทั้งหมดเพื่อลดปัจจัยทางเสียงให้มากที่สุด

4.2 การเตรียมชิ้นอาหารในสภาพความชื้นต่าง ๆ

หลังจากที่ได้สร้างเครื่องมือให้พร้อมที่จะสามารถทำงานได้แล้ว ก็จะทำเตรียมชิ้นอาหารในสภาพความชื้นต่าง ๆ โดยทำได้ดังนี้

1.) การเตรียมสารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ โดยนำเกลือ โปแตสเซียม อะซิเตท , แมกนีเซียมคลอไรด์ , โปแตสเซียม คาร์บอเนต , แมกนีเซียม ไนเตรทและโคบอลต์คลอไรด์ มาละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตรของตัวอย่างเกลือแต่ละชนิด ซึ่งจะละลายจนเกลือแต่ละชนิดไม่สามารถละลายได้ แล้วจึงนำไปเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นและละลายต่อไปอีกเล็กน้อย จนเกิดสารละลายเกลืออิ่มตัวคือเกลือชนิดนั้น ๆ ไม่สามารถละลายต่อไปได้ และเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะเห็นการตกตะกอนของเกลือชนิดนั้น ๆ นำสารละลายเกลือใส่ในขวดโหลแก้วเพราะจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายเกลือ นำไปเก็บในถังควบคุมความชื้นเพื่อเก็บไว้ใส่ชิ้นอาหารต่อไป

2.) นำชิ้นอาหารที่ได้คัดเลือกไว้ใส่ในตะแกรง พร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์ลงไป และนำไปวางบนขวดโหลแก้วที่เปิดฝาในถังควบคุมความชื้น ทำการปิดฝาดังควบคุมความชื้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ค่อนข้างที่เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ดังแสดงในภาคผนวก ค.

4.3 การบรรจุของกันความชื้น

หลังที่เตรียมชิ้นอาหารแล้ว เพื่อเป็นการสะดวกในการเคลื่อนย้ายในการวิเคราะห์ด้านต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องหาภาชนะใส่ให้เหมาะสม ซึ่งจะต้องสามารถกันความชื้นได้ดีมาก จึงได้ใช้ซองชนิดลามิเนทที่กันความชื้นได้อย่างดี และทำการปิดผนึกด้วยความร้อน โดยจะใส่แต่ละซองในปริมาณที่พอเหมาะ เพื่อนำไปแยกทำการทดสอบในด้านต่าง ๆ ต่อไป ดังแสดงในภาคผนวก ค.

4.4 การทดสอบ

1.) การทดสอบค่า Water Activity (Aw) ซึ่งใช้เครื่อง Water Activity ในการทดสอบเพื่อค่าความชื้นที่มีอยู่ในอาหารที่ได้เก็บในสภาพความชื้นของเกลือที่แตกต่างกัน โดยจะทำการบดชิ้นอาหารให้ละเอียด แล้วนำใส่ตลับสำหรับเครื่องวัด Aw และทำการวัดค่า Aw จากเครื่องที่ผ่านการ Calibration แล้ว ก็จะแสดงผลเป็นค่า Aw เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไป

2.) การวัดความกรอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยนำตัวอย่างชิ้นอาหารที่สภาพความชื้นต่าง ๆ กันมาทำการวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส แสดงผลในลักษณะแรง , ระยะทางและเวลาในการทำทำให้ชิ้นอาหารแตกหัก โดยนำชิ้นอาหารวางไว้ที่ฐานของเครื่องวัด และใช้หัวกดแบบลูกค้อนขนาด P/0.25s ไปกระแทกให้ชิ้นอาหารแตกหัก แสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมวัดเนื้อสัมผัสที่ได้เตรียมพร้อมกับการวัดความกรอบของชิ้นอาหารไว้แล้วดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2

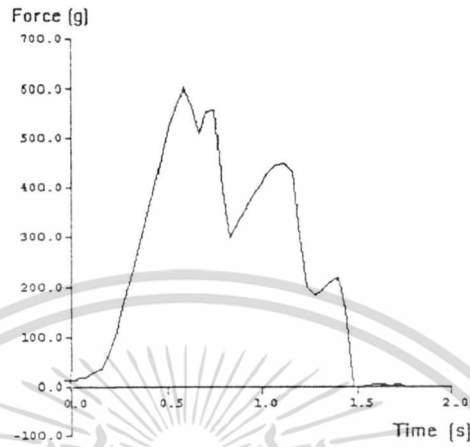
Contents Search Back Print <>

REF: DORI/CFS

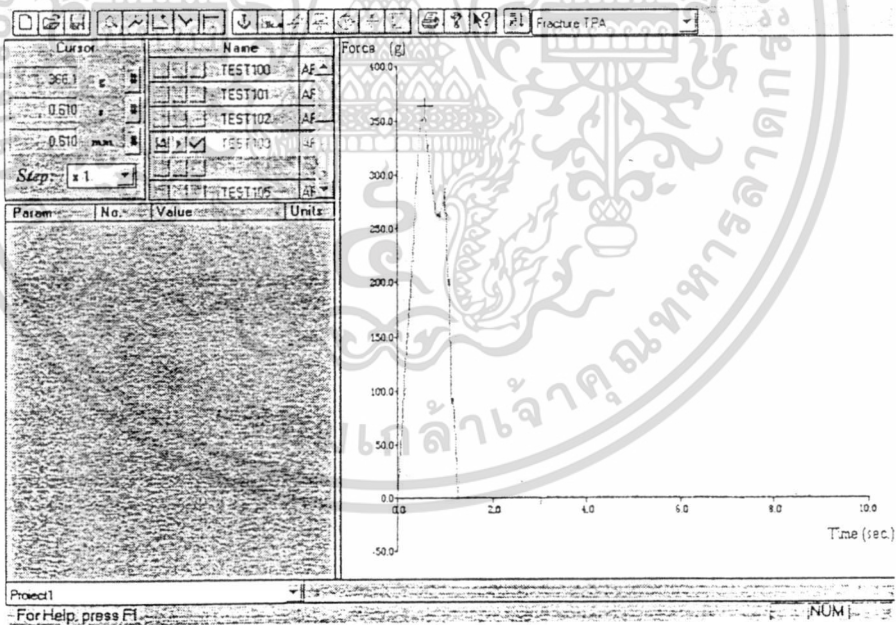
TA-XT2 APPLICATION STUDY

Fracturability of Tortilla Chips

Typical Texture Expert™ plot:



ภาพที่ 3.1 แสดงกราฟมาตรฐานความกรอบจากเครื่อง Texture Analyzer



ภาพที่ 3.2 แสดงผลการวัดความกรอบจากเครื่อง Texture Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

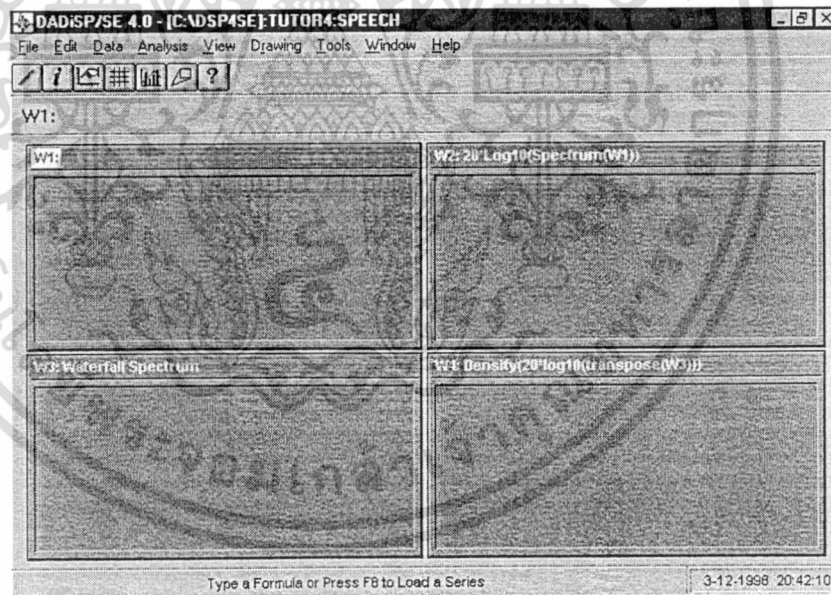
3.) การวัดความรอบด้วยการทดสอบทางเสียง

(1) การติดตั้งเครื่องมือ โดยเริ่มจากนำเครื่องทำให้ขึ้นอาหารแตกมาต่อกับหัว Probe ของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ที่ผ่านการ Calibration แล้ว เพื่อให้เตรียมพร้อมสำหรับการวัด

(2) การเก็บข้อมูล นำขึ้นอาหารวางใส่ในกล่องที่มีที่จับขึ้นอาหาร โดยจัดตำแหน่งของหัวกระแทกให้อยู่ในระยะเริ่มต้น ทำการปิดฝากล่องของเครื่องทำให้ขึ้นอาหารแตก ทำการเปิดสวิทช์ ซึ่งมีขึ้นอาหารแตกจะแสดงผลทางหน้าจอของเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีค่าแอมพลิจูดสูงขึ้น ก็ให้ทำการกดปุ่ม hold ไว้ เพื่อหยุดกราฟให้แสดงผลทางหน้าจอ ทำการบันทึกลงแผ่นดิสก์ในนามสกุล .crv และทำการพิมพ์ทางเครื่องพิมพ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความดังของเสียงต่อไป ดังแสดงในภาคผนวก ข. และ ภาคผนวก ค.

(3) การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม DSP SE4.0 เมื่อเก็บข้อมูลลงแผ่นดิสก์แล้วก็สามารถนำค่าที่ได้มาแสดงผลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม DSP ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

- เริ่มต้นเปิดโปรแกรมจากโปรแกรมวินโดวส์ 95 ไปที่โปรแกรม DSP แล้วเปิดโปรแกรมนั้น ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงโปรแกรม DSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

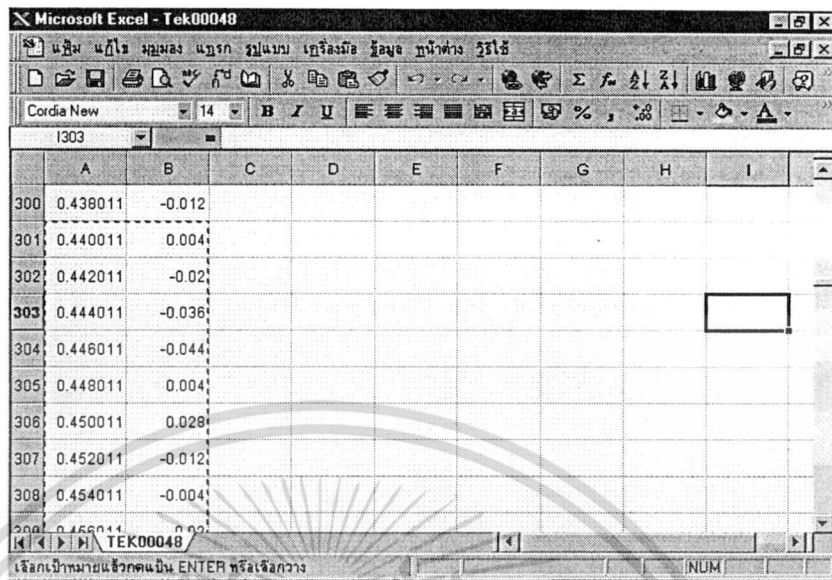
- นำข้อมูลจากแผ่นดิสก์เข้ามายังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเลือกปุ่มเมนู Data แล้วคลิกเลือก Read ASCII แล้วเลือก Table เพื่อแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของตาราง ซึ่งแสดงเป็นข้อมูล 2 สดมภ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.4

1:No Units	2:Unspecified
1: -0.15999000	0.05200000
2: -0.15799000	-0.02000000
3: -0.15599000	-0.01200000
4: -0.15399000	-0.02800000
5: -0.15199000	-0.01200000
6: -0.14999000	-0.00400000
7: -0.14799000	-0.00400000
8: -0.14599000	-0.04400000
9: -0.14399000	-0.02000000
10: -0.14199000	-0.02000000
11: -0.13999000	0.03600000
12: -0.13799000	-0.03600000
13: -0.13599000	0.04400000
14: -0.13399000	-0.10800000
15: -0.13199000	0.10800000
16: -0.12999000	-0.06800000
17: -0.12799000	0.03600000

ภาพที่ 3.4 แสดงผลการเรียกข้อมูลจากโปรแกรม DSP

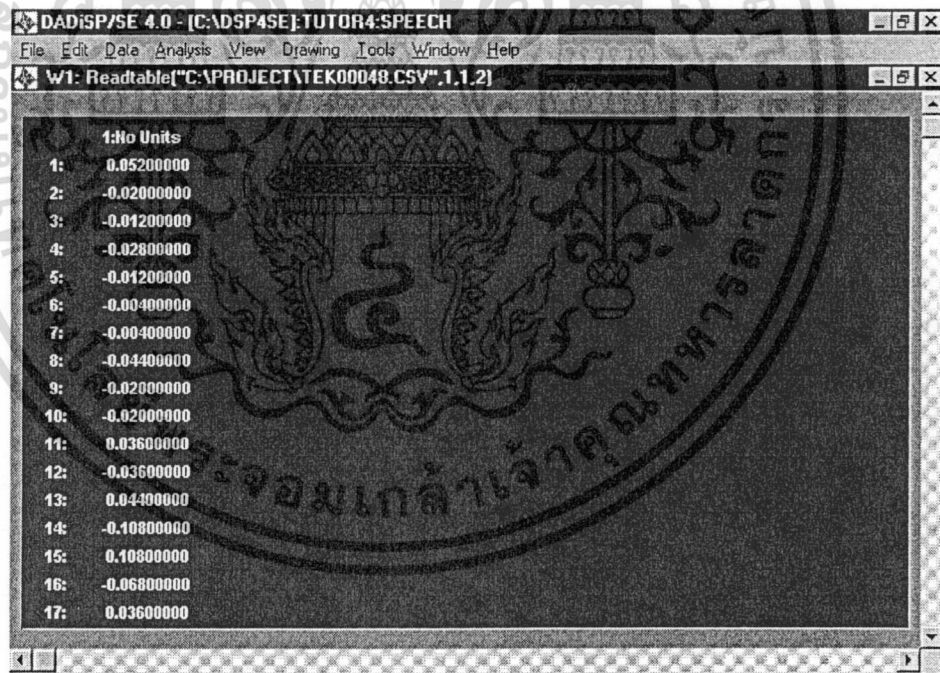
- ไปปุ่มเมนู View แล้วคลิกเลือก Styles เลือก Lines เพื่อแสดงผลในลักษณะรูปคลื่น ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับรูปหน้าจอของเครื่องออสซิลโลสโคป ที่แสดงในภาคผนวก ทำการเลือกช่วงข้อมูลที่มีเป็นพีคที่แสดงในรูปแบบ Lines ในจำนวนข้อมูล 1,000 ค่า
- เปิดโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการจากโปรแกรม DSP และเลือกข้อมูลนั้นมาวางในสดมภ์ที่ 3 และ 4 ทำการลบข้อมูลในสดมภ์ที่ 1 และ 2 ทิ้งไป ก็จะเหลือข้อมูลที่ต้องการ ทำการบันทึกในนามสกุล (.txt) ดังแสดงในภาพที่ 3.5
- เปิดโปรแกรม DSP อีกครั้ง เลือกเมนู Data เช่นเดิม ซึ่งจะแสดงข้อมูล 2 สดมภ์ แต่ที่ต้องการคือค่าในแนวแกน X เท่านั้น จึงแสดงข้อมูลเพียงแถวเดียว โดยใช้โปรแกรมแปลงข้อมูล ซึ่งให้พิมพ์ข้อความ ,1,1,2 หลังจากเครื่องหมาย “” แต่อยู่ภายในวงเล็บ (...) แล้วกด Enter ที่คีย์บอร์ด ก็จะแสดงข้อมูลเป็นแถวเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.6
- ไปที่ปุ่มเมนู View เลือก Data Settings ก็จะเกิดหน้าต่างเล็กๆ ขึ้นมา ให้เปลี่ยนข้อมูลที่ช่อง X Delta ตามจำนวนข้อมูลที่ได้เลือกมาจากโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อกำหนดสเกลในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
300	0.438011	-0.012							
301	0.440011	0.004							
302	0.442011	-0.02							
303	0.444011	-0.036							
304	0.446011	-0.044							
305	0.448011	0.004							
306	0.450011	0.028							
307	0.452011	-0.012							
308	0.454011	-0.004							

ภาพที่ 3.5 แสดงการเลือกข้อมูลที่ต้องการในโปรแกรม Microsoft Excel

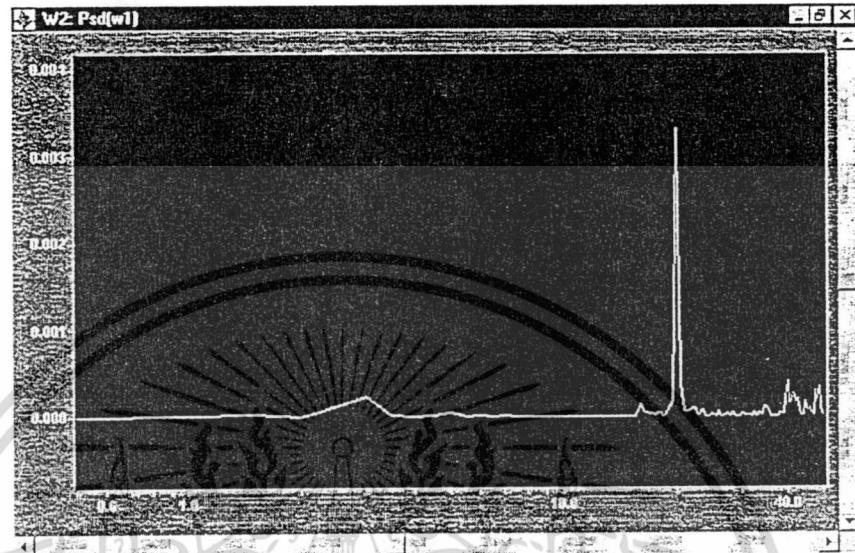


Label	Value
1:	0.05200000
2:	-0.02000000
3:	-0.01200000
4:	-0.02800000
5:	-0.01200000
6:	-0.00400000
7:	-0.00400000
8:	-0.04400000
9:	-0.02000000
10:	-0.02000000
11:	0.03600000
12:	-0.03600000
13:	0.04400000
14:	-0.10800000
15:	0.10800000
16:	-0.06800000
17:	0.03600000

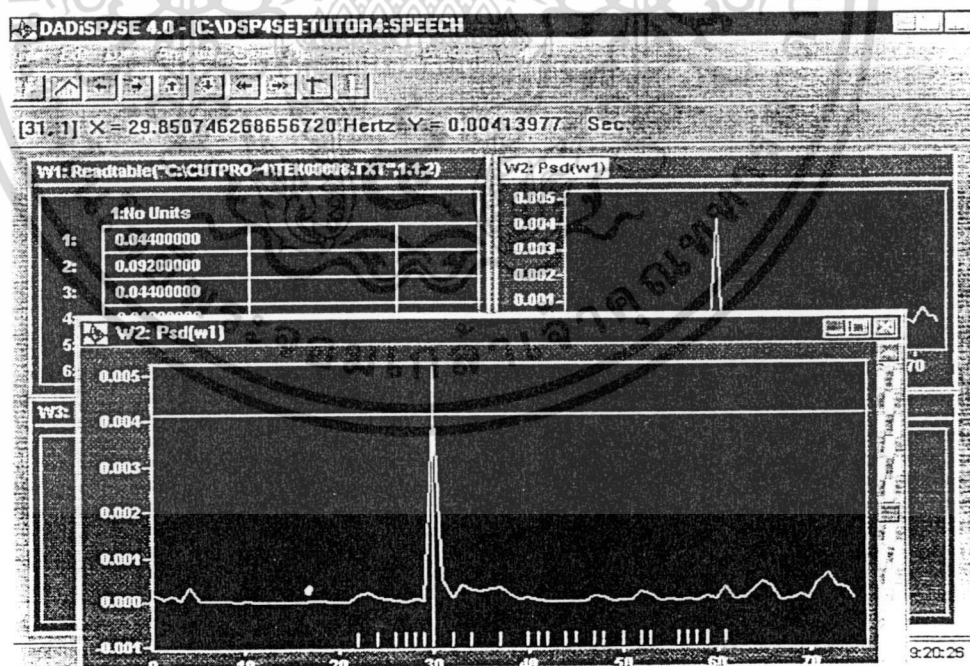
ภาพที่ 3.6 แสดงการแปลงข้อมูลจาก 2 สดมภ์เป็น 1 สดมภ์

- เลือกเมนู Analysis ไปที่ FFT/Spectral แล้วเลือก Power Spectral ก็จะ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงหน้าต่างเล็กขึ้นมา ให้ใส่ข้อมูล 2 ช่อง ช่องแรกคือให้แสดงข้อมูลในหน้าต่าง และช่องที่ 2 ต้องแสดงผลการวิเคราะห์ FFT ในช่องใด ซึ่งในช่องที่ 2 สามารถเลือกได้ทั้ง 4 หน้าต่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงผลการวิเคราะห์ FFT ด้วยโปรแกรม DSP



ภาพที่ 3.8 แสดงการวิเคราะห์ FFT เก็บข้อมูลเป็นความถี่ Hertz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการคลิก 2 ครั้ง หรือไปที่ปุ่มเมนูขยายหน้าจอที่ได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ก็จะเกิดปุ่มเมนูเพิ่มขึ้นก็ไปเลือกปุ่มที่เลือกเครื่องหมายบวก ก็จะเกิดลักษณะเป็นเส้น 2 เส้น กากบาทกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.8
- ทำการลากเมาส์ไปยังจุดสูงสุดของกราฟที่แสดงผลการวิเคราะห์ FFT ก็จะแสดงค่าความถี่นั้น หลังจากนั้นก็นำข้อมูลความถี่ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การหาค่า Water Activity (A_w) ของชั้นอาหารตัวอย่าง (มันฝรั่งทอดกรอบตราเลย์) โดยใช้เครื่องวัดค่า Water Activity จะได้ผลดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Water Activity ของชั้นอาหารมาตรฐาน

ชนิดของเกลือ	CH_3COOK	MgCl_2	KCO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	CoCl_2
ค่า A_w	0.2665	0.3460	0.4535	0.5000	0.5930

2. การหาค่าแรง (Force) ที่ทำให้ชั้นอาหารตัวอย่างแตกหักและค่าระยะทาง (Distance) ตั้งแต่หัววัด (Probe) และสัมผัสกับชั้นอาหารจนกระทั่งชั้นอาหารแตกหักโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer TX:TA-2)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรง (Force) และค่าระยะทาง (Distance)

ค่า A_w ของชั้นอาหาร	Force (g.)	Distance (mm.)
0.2665	364.7	0.5950
0.2665	235.1	0.5700
0.2665	198.6	0.6650
0.2665	303.6	0.6550
0.2665	344.3	1.0100
0.2665	254.9	1.4300
0.2665	458.0	0.6600
0.2665	466.6	1.1450
0.2665	401.8	1.1100
0.2665	279.1	-
0.3460	366.1	0.6100
0.3460	195.0	1.7600
0.3460	252.0	0.7750
0.3460	338.8	0.9800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Aw ของชิ้นอาหาร	Force (g.)	Distance (mm.)
0.5930	262.7	3.0050
0.5930	279.8	2.4000
0.5930	208.3	2.1900
0.5930	245.7	1.4400
0.5930	164.0	0.9200
0.5930	-	-

เมื่อนำผลการทดลองค่า Force และ Distance มาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างของค่า Aw ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติได้ในภาคผนวก

3. การหาค่าความดังของเสียง (Loudness) และค่าความถี่เสียง (FFTsdata) ของชิ้นอาหารตัวอย่าง โดยใช้ชุดทดลองทำให้อาหารแตกที่ได้ออกแบบขึ้นมา

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความดัง (Loudness) และค่าความถี่เสียง (FFTsdata)

ค่า Aw ของชิ้นอาหาร	Loudness (mV.)	FFTsdata (Hz.)
0.2665	1304.00	78.00
0.2665	872.00	48.00
0.2665	1344.00	62.69
0.2665	1168.00	64.68
0.2665	928.00	65.67
0.2665	552.00	63.68
0.2665	1376.00	44.00
0.2665	824.00	42.00
0.2665	1056.00	67.66
0.2665	1040.00	62.69
0.3460	744.00	60.70
0.3460	1064.00	63.00
0.3460	1512.00	46.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Aw ของชั้นอาหาร	Loudness (mV.)	FFTsdata (Hz.)
0.3460	656.00	48.00
0.3460	816.00	93.00
0.3460	1064.00	68.66
0.3460	744.00	63.68
0.3460	624.00	70.63
0.3460	760.00	68.00
0.3460	792.00	68.66
0.4535	1344.00	40.00
0.4535	1344.00	70.65
0.4535	896.00	73.63
0.4535	1288.00	41.00
0.4535	-	46.00
0.4535	976.00	59.70
0.4535	1360.00	50.00
0.4535	504.00	46.00
0.4535	504.00	21.00
0.4535	512.00	-
0.5000	504.00	88.00
0.5000	1344.00	40.00
0.5000	1528.00	68.66
0.5000	1240.00	97.00
0.5000	1288.00	95.00
0.5000	840.00	69.65
0.5000	536.00	40.00
0.5000	1352.00	20.00
0.5000	744.00	118.00
0.5000	-	-
0.5930	640.00	40.00
0.5930	768.00	29.85

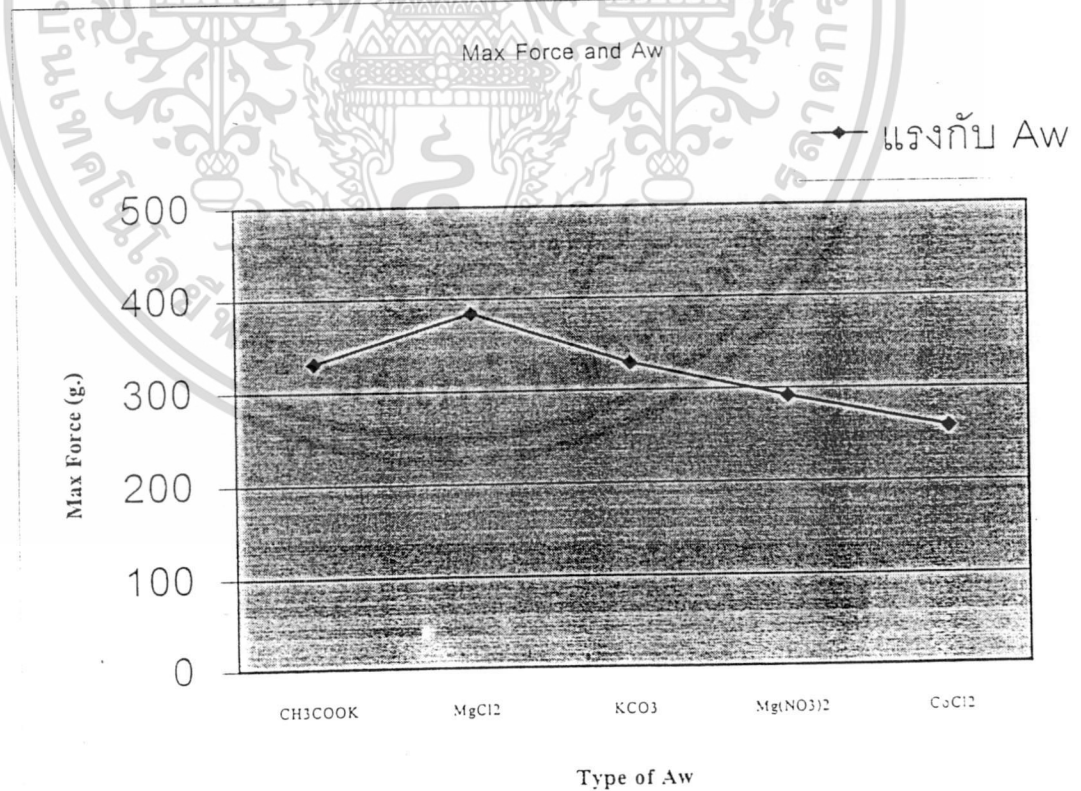
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Aw ของชิ้นอาหาร	Loudness (mV.)	FFTsdata (Hz.)
0.5930	800.00	46.00
0.5930	816.00	97.00
0.5930	752.00	97.00
0.5930	1520.00	49.50
0.5930	672.00	43.00
0.5930	1096.00	68.66
0.5930	832.00	42.00
0.5930	-	46.00

เมื่อนำผลการทดลองค่า Loudness และ FFTsdata มาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่า Aw ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คูรายละเอียดการวิเคราะห์ได้ในภาคผนวก

4. นำค่า Force เปรียบเทียบกับค่า Water Activity มาแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

CH ₃ COOK	MgCl ₂	KCO ₃	Mg(NO ₃) ₂	CoCl ₂
330.6700	384.1600	328.5778	290.9889	257.7222

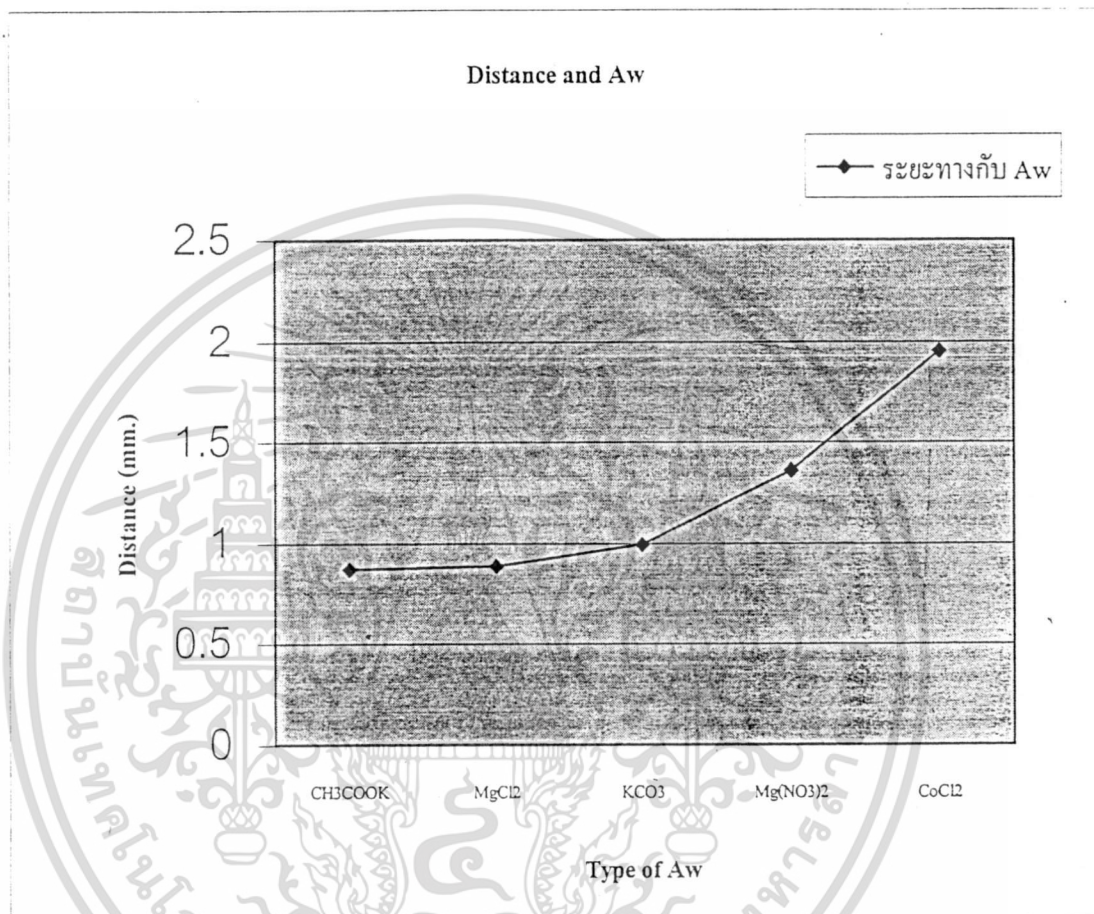


ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์แรงที่จุดสูงสุดกับค่า Aw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำค่า ระยะทางเฉลี่ยกับค่า Water Activity มาแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

CH_3COOK	MgCl_2	KCO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	CoCl_2
0.8711	0.886	0.995	1.3633	1.9522

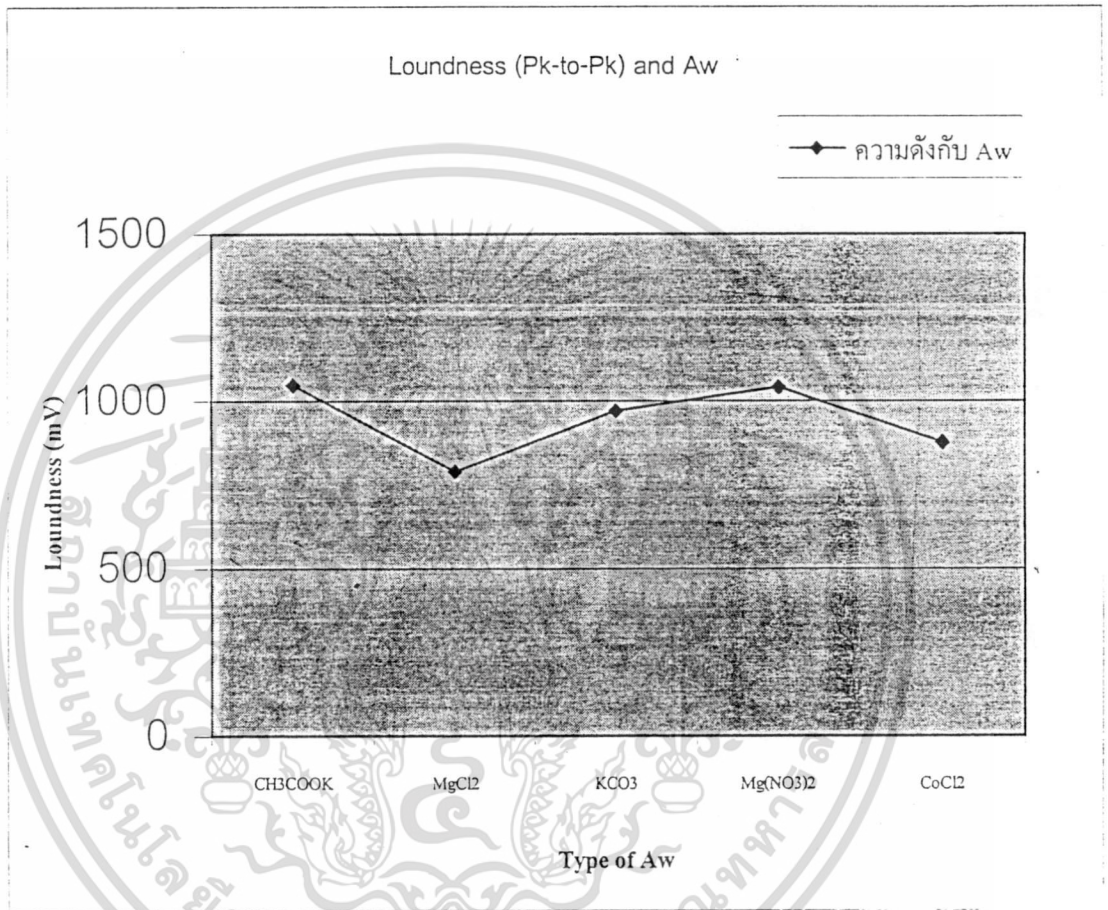


ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระยะทางกับค่า Aw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำค่า ความดังเฉลี่ย (Pk - to - Pk เฉลี่ย) กับค่า Water Activity มาแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

CH ₃ COOK	MgCl ₂	KCO ₃	Mg(NO ₃) ₂	CoCl ₂
1046.4	788.6	969.7778	1041.778	877.3333

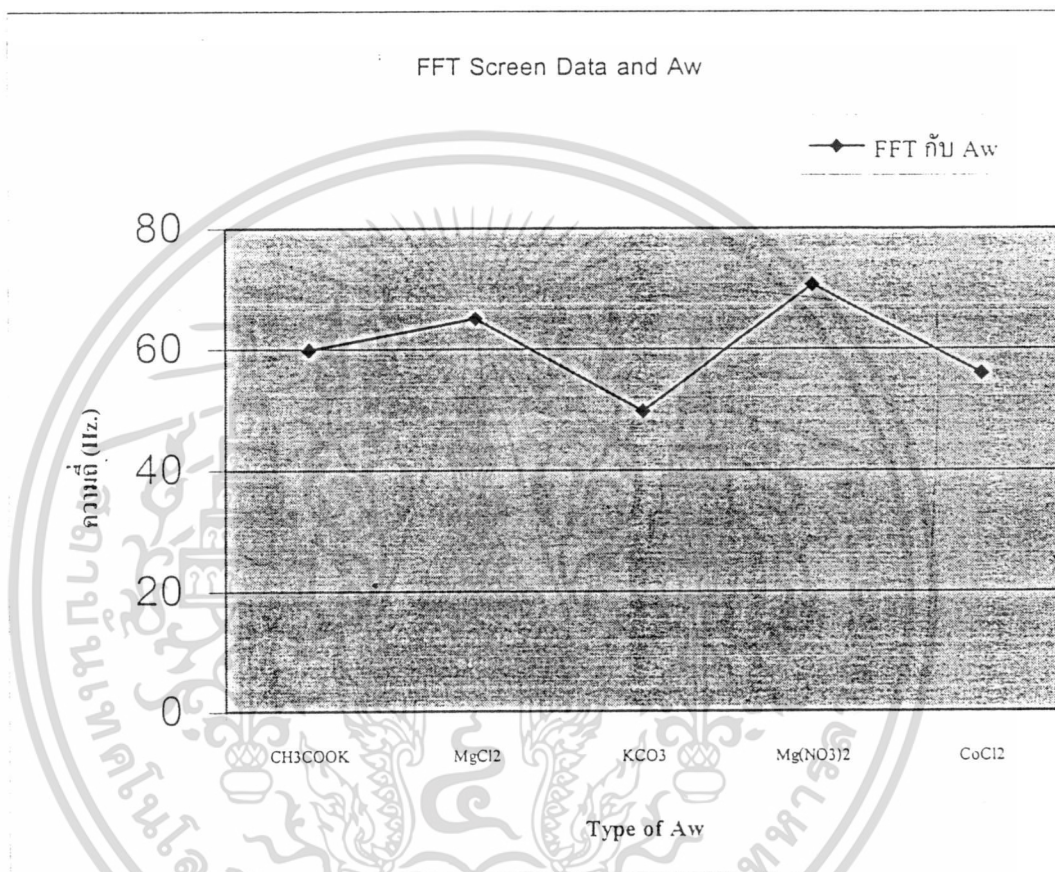


ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ความดังของเสียงกับค่า Aw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำค่า FFT Screen Data เปรียบเทียบกับค่า Water Activity มาแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

CH ₃ COOK	MgCl ₂	KCO ₃	Mg(NO ₃) ₂	CoCl ₂
59.907	65.033	49.7756	70.7011	55.901



ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ความถี่เสียงกับค่า Aw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การศึกษาความกรอบของอาหารขบเคี้ยวโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น (TA:XT-2) โดยใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาจากค่าแรงกระทำ (Force) และค่าระยะทาง (Distance) พบว่าเครื่อง Texture Analyzer สามารถแยกความกรอบของอาหารที่มีค่า Water Activity (A_w) ต่าง ๆ กันได้ และความแตกต่างค่า A_w ที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกความกรอบได้คือระหว่างชิ้นอาหารที่มีค่า $A_w = 0.5000$ และ $A_w = 0.5930$ ดังนั้นความแตกต่างของค่า A_w ที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกความกรอบได้คือ $0.5930 - 0.5000 = 0.0930$ โดยคู่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในภาคผนวก ดังนั้นสามารถใช้เครื่อง Texture Analyzer เป็นตัวอ้างอิงในการทดสอบความกรอบของอาหารขบเคี้ยวได้

2. การศึกษาความกรอบของอาหารขบเคี้ยวโดยใช้ชุดทดลองทำให้อาหารแตกที่ได้ออกแบบขึ้นและใช้วิธีการทดลองที่ได้ออกแบบขึ้นเองโดยใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาจากค่า Loudness และ ความถี่ของเสียง (FFTsddata) ชิ้นอาหารแตกหัก ผลการทดลองปรากฏว่าไม่สามารถใช้แยกความกรอบของอาหารขบเคี้ยวที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่ถ้าจะพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 75 % จะสามารถใช้ความถี่ของเสียง (FFTsddata) เป็นเกณฑ์ในการแยกความกรอบได้ โดยจะสามารถแยกความกรอบได้ในความแตกต่างระหว่างค่า A_w ในช่วง 0.4535 และ 0.5000 ดังนั้นความแตกต่างของค่า A_w ที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกความกรอบได้คือ $0.5000 - 0.4535 = 0.0465$ โดยคู่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติในภาคผนวก ง.

3. จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 จะพบว่าถ้าต้องการทดสอบความกรอบของอาหารขบเคี้ยวโดยต้องการที่ระดับความเชื่อมั่น 75 % สามารถใช้วิธีการทดสอบและเครื่องมือที่ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบไว้วัดความกรอบของอาหารขบเคี้ยวได้โดยใช้เงินลงทุนที่ไม่สูงมาก คือจะถูกกว่าราคาเครื่อง Texture Analyzer หลายเท่าตัว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการตั้งสมมุติฐานเรื่องการทดสอบใช้คุณสมบัติทางเสียงของอาหารขบเคี้ยวมาเป็นสิ่งพิจารณาในการแยกความกรอบของอาหารขบเคี้ยว สรุปได้ว่าถ้าต้องการความเชื่อมั่นที่ระดับ 75 % สามารถใช้สมมุติฐานนี้ในการทดสอบความกรอบได้ แต่ถ้าต้องการความเชื่อมั่นที่สูงกว่านี้จะไม่สามารถใช้สมมุติฐานนี้ได้ซึ่งเกิดจากมีข้อบกพร่องในการทดลองที่พอจะสรุปได้ดังนี้

ข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะ

ข้อบกพร่อง	แนวทางการแก้ไข
1. ชิ้นอาหารตัวอย่างมีขนาดและรูปร่างไม่เท่ากันทุกชิ้น	1. จะต้องมีการสร้างชิ้นอาหารตัวอย่างขึ้นมาเองเนื่องจากชิ้นอาหารที่มีรูปร่างต่างกันจะมีผลต่อแรงกระทำที่ใช้กดให้ชิ้นอาหารแตก โดยถ้ามีลักษณะ โคงขึ้นจะสามารถรับแรงกดได้มากกว่าปกติ แต่ถ้ามีลักษณะเว้าลงจะสามารถรับแรงกดได้น้อยกว่าปกติ ซึ่งจะมีผลต่อเสียงที่เกิดจากการแตกหัก
2. เกิดจากชุดทดลองทำให้อาหารขบเคี้ยวแตก	
2.1 วัสดุที่ใช้ป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกมีประสิทธิภาพต่ำ	2.1 ควรใช้แผ่นยางที่ป้องกันเสียงรบกวนที่ติดบริเวณขอบประตูรถยนต์มาใช้ติดบริเวณโดยรอบของฝาปิด-เปิดชุดทดลอง
2.2 วัสดุที่ใช้ดูดซับเสียงสะท้อนภายในชุดทดลองมีประสิทธิภาพต่ำ	2.2 ควรใช้แผ่นใยแก้วดูดซับเสียงที่สามารถดูดซับได้ดีกว่านี้ โดยเป็นแผ่นใยแก้วเนื้อละเอียด
2.3 มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนหัวกระแทกมีเสียงอัมเบา ๆ ขณะเปิดสวิตซ์ทำการทดลอง	2.3 ควรใช้มอเตอร์ที่มีเสียงอัมเบาที่สุดเท่าที่จะหาได้และต้องมีการเก็บเสียงภายในห้องที่ติดตั้งมอเตอร์ไม่ให้มีเสียงเล็ดลอดออกมา โดยใช้แผ่นยาง Seal โดยรอบตามขอบต่างๆ
2.4 ขณะทำการทดลองเกิดการสั่นสะเทือนเล็กน้อยเนื่องจากการทำงานของมอเตอร์	2.4 ควรนำแผ่นยางมารองระหว่างพื้นไม้กับตัวมอเตอร์ ซึ่งจะช่วยลดแรงสั่นสะเทือนได้
2.5 สายนำสัญญาณจากไมโครโฟนมีประสิทธิภาพต่ำ	2.5 ควรใช้สายเงินเป็นสายนำสัญญาณเพราะจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าสายทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ธงชัย สุวรรณสิขณณ์ . 1992 . การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดพรีเจลาติไนซ์ . ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 211 หน้า.
- บัณฑิต จริโมภาส และคณะ . 1995 . การวิจัยและพัฒนาเครื่องตรวจสอบความแก่อ่อนผลไม้ไทย . ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม . หน้า 1 – 5 .
- ไม่มี . 1994 . สะแนค สะแนค สะแนค . วารสารจารย์พา . 6 : 9 – 19 P.
- Bourne , M.C. 1982 . **Food Texture and Viscosity : Concept and Measurement** . Academic Press . New York . 325 P.
- Theodore P. Labuza . 1984 . **Moisture Sorption : Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use** . Department of Food Science and Nutrition . University of Minnesota . 150 P.
- Zata Vickers . 1979 . **Food Texture and Rheology : Crispness and Crunchiness of Foods** . Department of Food Science and Nutrition . University of Minnesota . 34 – 42 P.
- Z. M. Vickers . 1987 . **Food Texture : Crispness and Crunchiness Textural Attributes with Auditory Components** . Department of Food Science and Nutrition . University of Minnesota . 145 – 166 P.

ภาคผนวก ก.
วิธีการใช้เครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่า Water Activity (Aw) รุ่น Thermoconstanter

1.1 วิธีการ Set-up Calibration

ให้ทำการปรับ Calibration เครื่องโดยให้สังเกตดังนี้

- ให้ปรับ 1 ครั้ง ในตอนเช้าหรือตอนเริ่มต้น แล้วใช้ได้ทั้งวัน
- ถ้าเครื่องทิ้งไว้นานโดยไม่ได้ใช้ ให้ปรับทุกครั้งก่อนที่จะนำเครื่องมาใช้

1.2 วิธีปฏิบัติ

- 1.) ล้างความชื้นมาตรฐาน (Salt Standard) มาใส่ใน Measuring Chamber ให้เริ่มต้นด้วย Salt Standard SAL-90 (90.1% ERH)
- 2.) ปิดฝาครอบให้เรียบร้อย
- 3.) ให้หมุนปุ่มสี่เหลี่ยมตรงด้านหน้าซ้ายมือของเครื่องไปยังหมายเลข 2
- 4.) รอประมาณ 1 ถึง 2 นาที แล้วค่อยกดปุ่มสี่เหลี่ยม Enter ด้านขวามือ กดจนกระทั่งบนจอแสดงว่า
NO
(LCD) กระพริบ ถ้าข้อความบนจออ่านว่า CAL ก็ให้รอนจนกว่า
CAL
90
บนหน้าจอจะแสดงข้อความว่า CAL พร้อม ๆ กับกระพริบด้วย
- 5.) ให้กดปุ่มสี่เหลี่ยม Enter อีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบ
- 6.) เครื่องจะทำการ Calibration จนเสร็จสิ้นกระบวนการ
- 7.) หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibration แล้ว เครื่องจะคืนสู่สภาพปรกติคือพร้อมที่จะวัดและแสดงค่า อุณหภูมิ และ % ERH ($Aw = ERH/100$) ของตัวอย่าง
- 8.) สำหรับค่าอื่น ๆ ให้ทำการ Calibration ในทำนองเดียวกันกับค่า 90 ดังกล่าวข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1.) ต้องใช้ตลับ Salt Standard ให้ตรงกับค่าที่ต้องการ Calibration เท่านั้น มิฉะนั้นแล้ว จะเกิดความคลาดเคลื่อนในความแม่นยำของการวัดค่า % ERH

2.) ห้ามกดปุ่มสีฟ้า Enter จนกว่าจะแน่ใจว่าข้อความที่กำลังกระพริบอยู่บนจอ LCD

90

75

เป็นค่าที่ต้องการ Calibration เช่น

หรือ

เป็นต้น

CAL

CAL

3.) ให้ทำการ Calibration หลาย ๆ ค่าในคราวเดียวกันเป็นลำดับ เริ่มต้นด้วยจากค่ามาก ถึงค่าน้อยอย่างน้อยสองค่าซึ่งสามารถกลุ่มถึงค่าของ A_w ที่คาดคิดว่าจะเป็น เช่น ถ้า คาดคิดว่าค่า A_w ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการวัดอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.7 ให้ทำการ Calibration เริ่มต้นจากค่า 90 , 75 และ 53 เป็นต้น แต่ถ้าต้องการความแน่นอน และแม่นยำก็ให้ทำการ Calibration โดยเริ่มต้นจากค่า 90 , 75 , 53 และ 33 ซึ่งเท่านี้ก็ พอเพียงพอที่จะครอบคลุมได้เกือบทั้งหมด

4.) ให้สังเกตสีของ Salt Standard ที่ค่าต่าง ๆ กัน ในกรณีที่เกิดการผิดพลาดอันเนื่องมา จากการสลับกันของฝาตลับหรือทำฝาตลับหายก็ให้สังเกตง่าย ๆ ดังนี้

SAL - 98

สีส้ม

SAL - 90

สีขาว

SAL - 75

สีม่วง

SAL - 53

สีเขียว

SAL - 33

สีน้ำเงิน

SAL - 11

สีขาว

1.3 วิธีการใช้เครื่องเพื่อทำการวัดสารตัวอย่าง

- 1.) หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง Thermoconstanter ในตำแหน่งที่ (1)
- 2.) นำตลับพลาสติก (Sample Cup) มาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาตรประมาณ 80 - 90 %
- 3.) นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamber
- 4.) ปิดฝาให้เรียบร้อย
- 5.) Set อุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ 25°C ก็ให้ตั้งปุ่มสีดำตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น
- 6.) จากนั้นรอนจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humideity ของ อากาศที่วัดได้อยู่ในสภาวะที่สมดุลย์ (Equilibrium) กับสารตัวอย่าง สภาวะนี้เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า Equilibrium Relative Humidity (ERH) เมื่อหารด้วย 100 ก็จะได้ค่า Water Activity (A_w) ตามที่ต้องการ

2. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

2.1 การ Calibration เครื่อง

- 1.) ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
- 2.) เปิดโปรแกรม Texture in English เลือกเมนู Calibration แล้วเลือก Calibration Force นำน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมาวางบนแท่นแล้วกด Enter รอจนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แสดงว่า Calibration สมบูรณ์ก็กดปุ่ม OK แล้วนำน้ำหนัก 5 กิโลกรัมออก ซึ่งถือว่า Calibration Force เสร็จสมบูรณ์
- 3.) ต่อหัววัดเนื้อสัมผัส P/0.25s และวางฐานที่ใช้สำหรับการกดทะลุได้

2.2 การ Set โปรแกรมวัดความกรอบของตัวอย่าง

- 1.) หลังจาก Calibration Force แล้ว ให้เลือก TA Seting ที่ปุ่มเมนูเพื่อทำการเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของการวัดให้เป็นการวัดของการวัดความกรอบของอาหารซึ่งมีค่าดังนี้

Option	Measure Force in Compression
Pre – Test Speed	1.0 mm/s
Test Speed	1.0 mm/s
Post – Test Speed	10.0 mm/s
Distance	3 mm
Trigger type	Auto – 5 g
Data Acquisition rate	200 pps

แล้วทำการกดปุ่ม Update เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงในโปรแกรมเพื่อทำพร้อมที่จะทำการวัดความกรอบ

3. เครื่องวัดความกรอบโดยใช้เสียง

3.1 การ Calibration เครื่องดิจิตอล สดอแรง ออสซิลโลสโคป

- 1.) ทำการต่อหัว Probe เข้ากับตัวเครื่องออสซิลโลสโคป
- 2.) เปิดเครื่องที่ปุ่ม ON
- 3.) นำหัว Probe เข้าไปที่กราวด์ ไปที่ปุ่ม Vertical Menu ทำการเลือก Set GWD เลือกสัญญาณเป็น Ac เมื่อ Set เสร็จแล้วก็เปลี่ยนเป็น Dc เพราะใช้สำหรับการวัดไฟ กระแสตรงจากเครื่องทำให้ขึ้นอาหารแตก
- 4.) กดปุ่ม Measure แล้วทำการเลือกช่องสัญญาณที่ตรงกับที่ต่อหัว Probe เช่น ต่อหัว Probe ไว้ในช่องสัญญาณที่ 1 ให้เลือก CH 1 หลังจากนั้นให้เลือก Frequency , Pk -Pk และ Amplitude ที่อยู่ด้านซ้ายของหน้าจอแล้วกดปุ่ม OK เมื่อเลือกแต่ละชนิด เสร็จแล้วให้กดปุ่ม Clear Menu เพื่อแสดงหน้าจอที่ให้ในการวัด
- 5.) ปรับค่าที่แสดง Wave Form ทางหน้าจอให้แสดงเห็นได้ง่าย โดยปรับ VOL/DIV เป็น 200 mV และ SEC/DIV 200 ms.
- 6.) เมื่อต้องการพิมพ์ทางเครื่องพิมพ์ ให้ Set ที่ปุ่ม UTILITY เพื่อเลือกในเมนู System Config เพื่อเปลี่ยนชนิดและรุ่นของเครื่องพิมพ์ให้ตรงกัน

ภาคผนวก ข

แสดงสัญญาณจากเครื่องดิจิทัล สตอเรจ ออสซิลโลสโคป

Tek 500 S/s

1 Acqs



C1 Freq
∞ Hz
No period
found

C1 Pk-Pk
792mV

C1 Ampl
632mV
Unstable
histogram

200mV

M 200ms Ch1 5

0V

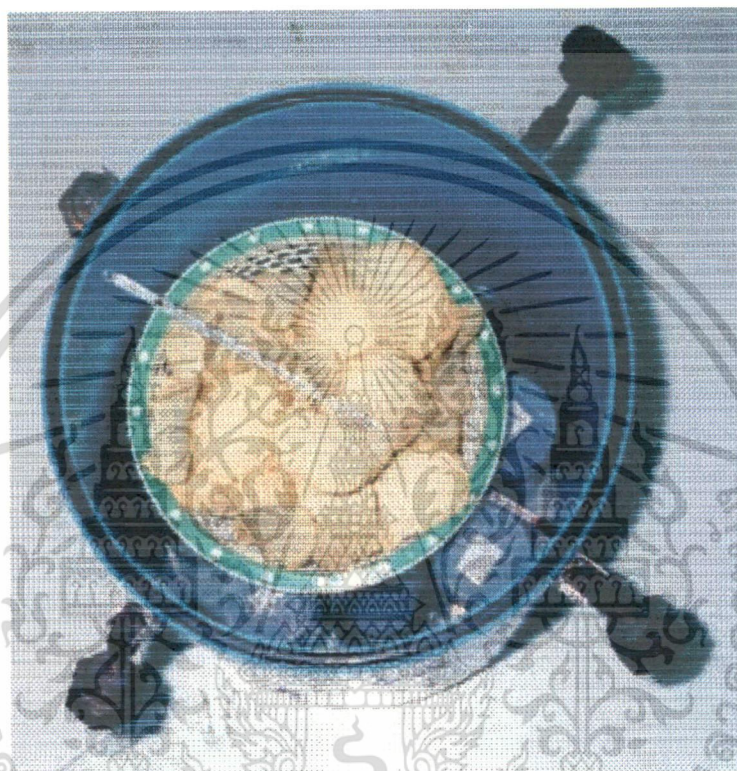
18 Feb 1998

16:45:42

ภาพที่ 1 แสดงผลสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคป

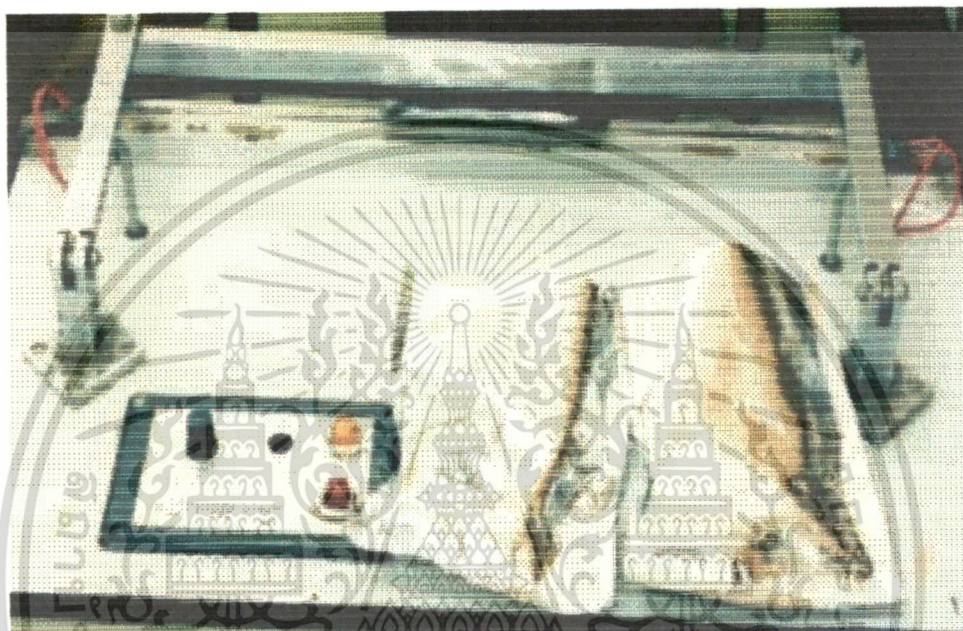
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
แสดงภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



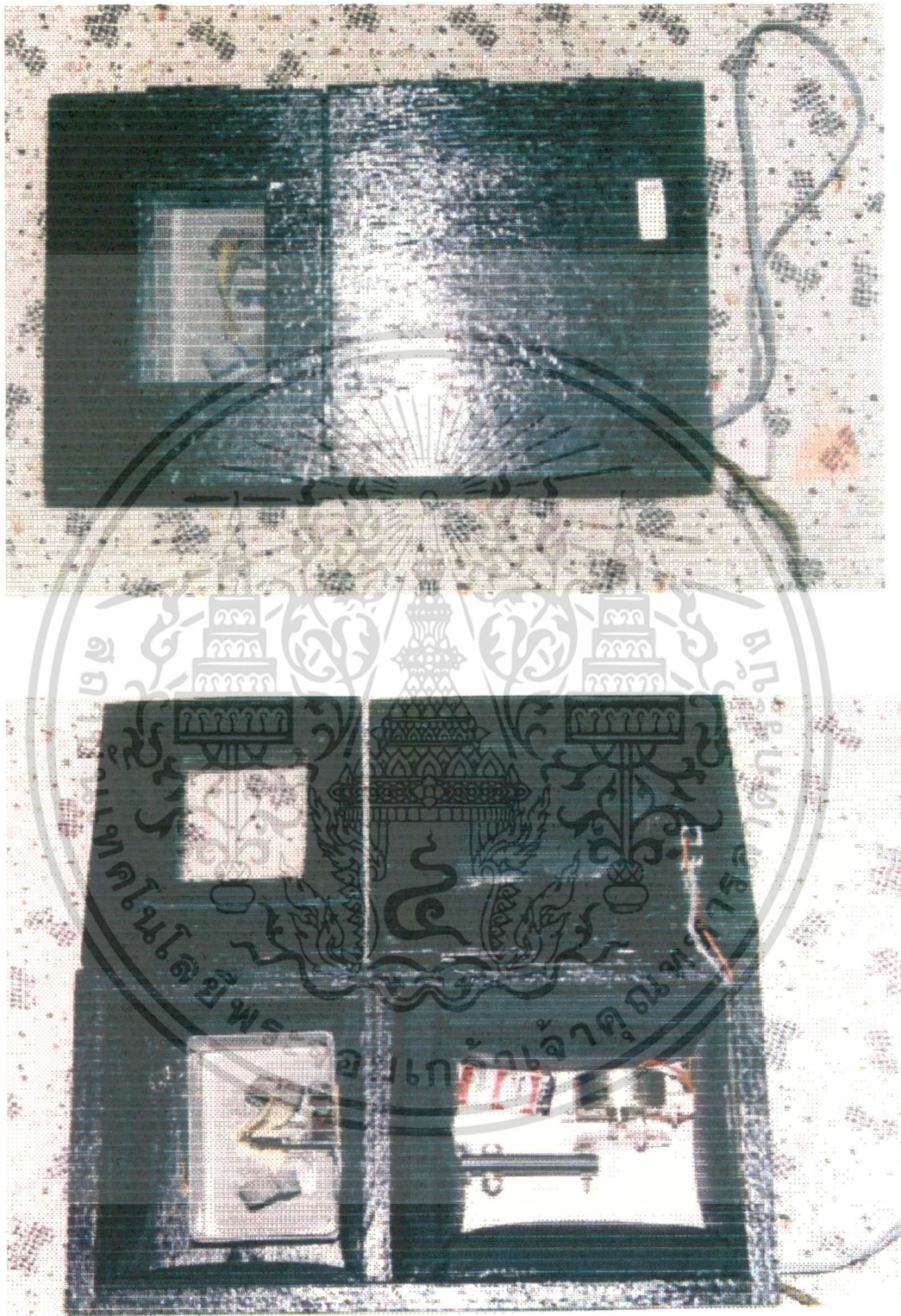
ภาพที่ 2 แสดงถึงบ่มความชื้นใช้ปรับระดับ Water Activity ของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แสดงการเก็บตัวอย่างอาหารในช่องป้องกันความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 แสดงภายนอกและภายในเครื่องวัดความกรอบของอาหารด้วยเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้