การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยการใช้เสียง
Food Texture Analysis Using Acoustic Emission

ดวงฤทัย ธำรงโชติ[1*] และ พิมพ์ชฎา อิทธิวัฒนพงศ์[2]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ [2]อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพฯ 10120

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารกรุบกรอบ โดยการวัดเสียงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอาหารเมื่อถูกกัดเคี้ยวหรือแตกหัก ปัจจุบันการใช้เทคนิคนี้กำลังได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ทางด้านอาหาร เสียงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอาหารนั้น มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างภายในและความกรอบของอาหาร ขั้นตอนการวัดคลื่นเสียงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอาหาร เมื่ออาหารได้รับแรงกระทำจากการกัดเคี้ยว ประกอบด้วย 1) การให้แรงกดลงไปบนชิ้นอาหาร โดยใช้เครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส 2) การวัดคลื่นเสียงที่อาหารปลดปล่อยออกมา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นเสียง และ 3) การแปลความข้อมูลของแรงที่กดลงบนอาหารและเสียงที่อาหารปลดปล่อยออกมา

Abstract

This article presents texture analysis of crispy snack products by using Acoustic Emission (AE) to measure sound that occurred when the products were chewed or broken. This technique has currently gained great interest from food scientists. A sound emitted from food was found to be related with microstructure and crispness. Measurement of sound emitted from food when it was chewed consists of three main steps: 1) Apply force on piece of food with a texture analyzer; 2) Detect sound signal with an acoustic envelop detector; and 3) Interpret the collected data of mechanical force and acoustic emission.

คำสำคัญ : การปลดปล่อยเสียง ขนมขบเคี้ยว ความกรอบ เสียง การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

Keywords : Acoustic Emission, Snack, Crispness Crunchiness, Sound, Texture Analysis

* *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ duangrutai.t@rmutk.ac.th โทร. 08 1618 0244*

1. บทนำ

ในบ้านเรามีการใช้เสียงเพื่อบ่งชี้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารมาเป็นเวลาช้านาน โดยเฉพาะชาวสวนหรือชาวไร่ ที่ใช้วิธีการดีดขนุน ดีดแตงโม ดีดแคนตาลูป ตบมะพร้าวอ่อน ฯลฯ เพื่อวัดลักษณะเนื้อ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2537) ตัวอย่างการคัดเลือกทุเรียน โดยปกติทั่วไปผู้ซื้อหรือผู้ขายจะใช้วิธีการเคาะผลทุเรียน เพื่อฟังเสียงความอ่อน-แก่ ของเนื้อทุเรียนที่อยู่ด้านใน โดยทุเรียนที่แก่จัดจะมีเนื้อนิ่มและจะมีช่องว่างระหว่างเนื้อกับเปลือกมากขึ้น ทำให้เสียงที่ปลดปล่อย (Acoustic Emission, AE) ออกมา มีเสียงดังปุ๊ก ๆ ซึ่งมีความแตกต่างจากทุเรียนดิบที่มีเสียงดังปัก ๆ เนื่องจากทุเรียนดิบเนื้อในของทุเรียนจะแข็งและแนบติดกับเปลือกทุเรียน ส่วนแตงโมจะใช้นิ้วดีดหรือการเคาะไปที่ผลแตงโม เพื่อฟังเสียงสะท้อนออกมา หากแตงโมที่เนื้อภายในกลวง เสียงที่สะท้อนออกมาจะไม่เป็นเสียงแน่น ๆ ดังนั้น ผู้ที่สามารถจะคัดเลือกผลไม้โดยใช้วิธีการฟังเสียงสะท้อนนี้ จะต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญมาก ถึงจะใช้เสียงที่สะท้อนในการบ่งชี้คุณภาพของผลไม้ได้อย่างถูกต้อง นอกจากใช้เสียงสังเกตความแก่อ่อนของผลไม้ได้แล้ว ยังสามารถใช้เป็นดัชนีชี้ความสดของผักผลไม้ได้ด้วย เช่น แตงกวา หากยังมีความสดใหม่และกรอบ เสียงที่เกิดขึ้นเมื่อกัดหรือหัก จะมีเสียงที่ดังกว่าแตงกวาที่เหี่ยว

นักวิทยาศาสตร์ทางอาหารจำนวนมากได้ให้ความสนใจกับการเกิดขึ้นของเสียงในผลิตภัณฑ์อาหาร กล่าวกันว่า ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรืออาหารสดที่มีลักษณะกรอบ เสียงที่ออกมาจากอาหารมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างภายในและสมบัติอื่น ๆ ของอาหาร มีงานวิจัยหลายฉบับชี้ให้เห็นว่าอาหารประเภทกรุบกรอบ (Crunchy and Crispy Foods) เมื่อถูกบดเคี้ยว หรือเกิดการแตกหัก จะเกิดการปลดปล่อยเสียงออกมา (Lee, et al., 1988. Barrett and Peleg, et al., 1992; Alchakra, et al., 1996; Arimi, et al., 2010; Castro-Prada, et al., 2007; Chauvin, et al., 2008; Chen, et al., 2005; Cheng, et al., 2007; Dacremont, 1995; Duizer, et al., 1998, Marzec, et al., 2007; Piazza, et al., 2007; Primo-Martin, et al., 2008; Roudaut, et al., 1998) เนื่องมาจากโครงสร้างเซลล์ภายในอาหารได้รับแรง ทำให้ชิ้นส่วนอาหารเกิดการแตกหักและมีบางส่วนเกิดการโค้งงอเสียรูปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน เกิดการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียง ส่งผ่านตัวกลาง เช่น อากาศไปยังหู ได้ยินเสียงที่เกิดขึ้น นอกจากนั้น ยังพบว่าคลื่นเสียงที่ถูกปลอดปล่อยมีรูปแบบการเกิดเสียงที่ไม่แน่นอน และเสียงที่ปลดปล่อยออกมานั้นมีความสัมพันธ์กับความกรอบทางด้านประสาทสัมผัสอีกด้วย (Drake, 1963; Luyten et al., 2004)

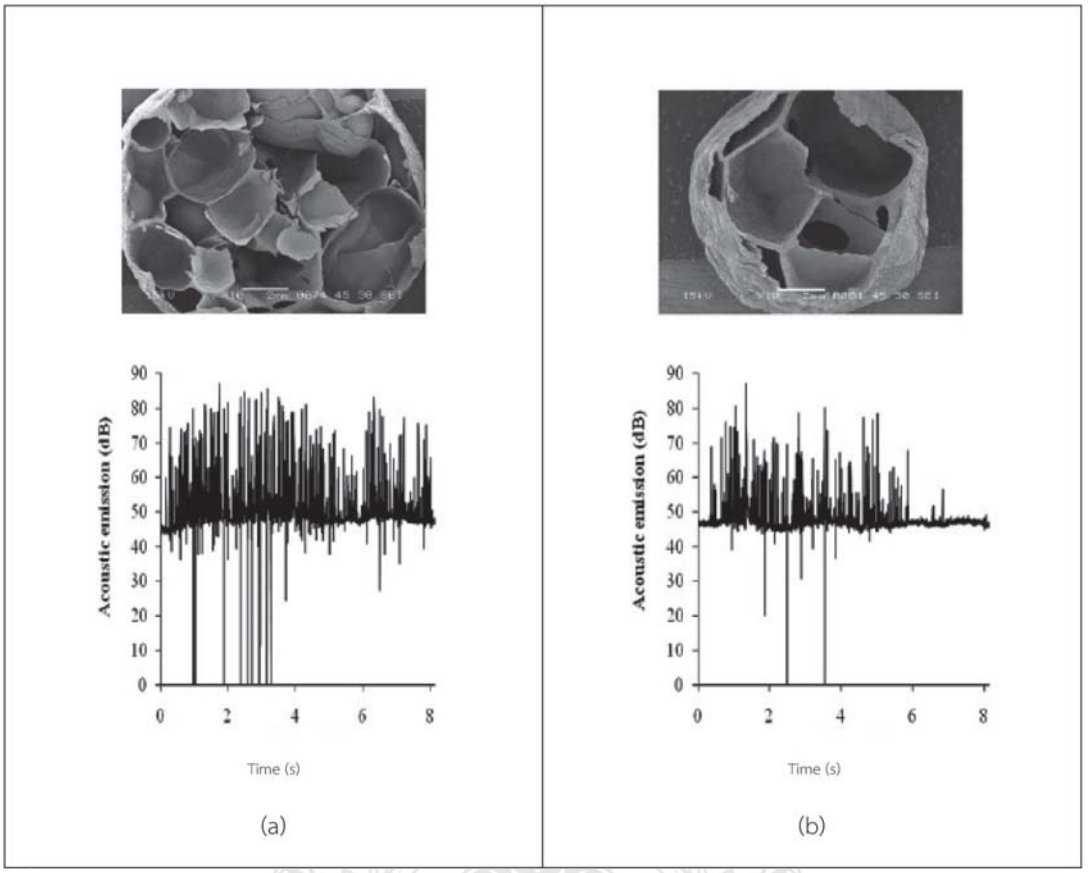
2. การปลดปล่อยเสียงในอาหาร

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของอากาศที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ จากแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของอากาศ แล้วส่งผ่านความสั่นสะเทือนนั้นไปยังเยื่อแก้วหูของมนุษย์ เพื่อแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนไปยังสมอง ทำให้เราได้ยินเสียง การเกิดเสียงสะท้อนในอาหารก็เช่นเดียวกัน เมื่อชิ้นอาหารได้รับแรงจากภายนอกมากระทบ เช่น การกัดเคี้ยวอาหาร หรือการหักชิ้นอาหารให้แตกด้วยมือ แรงที่มากระทบชิ้นอาหารจากพื้นที่ผิวภายนอก จะถูก

ส่งผ่านเข้าไปภายในชิ้นอาหาร ทำให้ชิ้นอาหารเกิดการแตกหัก และมีการสั่นสะเทือน เกิดเป็นคลื่นเสียง เนื่องจากการปลดปล่อยพลังงานภายในโครงสร้างของชิ้นอาหารอย่างรวดเร็ว และคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นนี้ ได้ส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศมายังหู ทำให้เราสามารถได้ยินเสียงที่เกิดขึ้น เสียงที่เกิดขึ้นนี้สามารถวัดค่าได้ การแตกหักและความถี่ในการสั่นของโครงสร้างอาหาร เป็นตัวกำหนดให้เสียงแตกต่างกัน (Wevers, 1997)

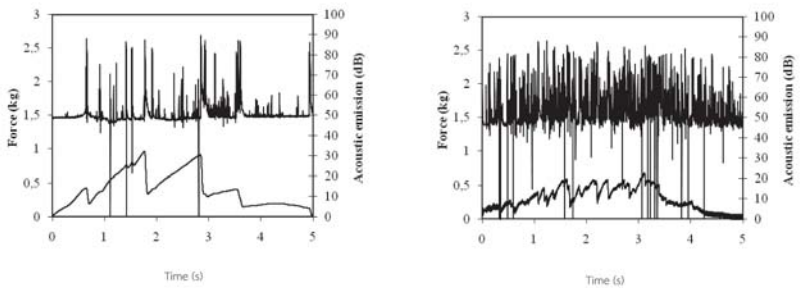
อาหารที่มีความกรอบและสามารถปลดปล่อยคลื่นเสียงสามารถแบ่งออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ๆ คือ 1) ผลิตภัณฑ์กรอบสด (Wet Crisp product) จำพวกผักและผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล แครอท ขึ้นฉ่าย เป็นต้น และ 2) ผลิตภัณฑ์กรอบแห้ง (Dry Crisp Product) ที่มีโครงสร้างเป็นโพรง (Porous) เช่น ขนมอบกรอบ ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอัดพอง (Extrudates) เป็นต้น (Stable Micro Systems, 2008) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นในระหว่างการแตกหักหรือเคี้ยวอาหาร ได้แก่ โครงสร้างภายในเซลล์ของอาหาร ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นอาหาร ความหนาแน่นของอาหาร เป็นต้น (Saeleaw and Schleining, 2011; Saeleaw, et al., 2012)

โครงสร้างของเซลล์ภายในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดเสียง เสียงที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการสั่นสะเทือนของผนังเซลล์ภายในโครงสร้างของอาหารเกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมา เนื่องจากการแตกหักหลังจากที่ได้รับแรงกระทำในระหว่างการบดเคี้ยวอาหาร (Duizer, 2001; Luyten et al., 2004; Aguilera, 2005) พบว่า อาหารกรอบแห้ง เช่น ขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการอัดพอง ดังรูปที่ 1 (a) ที่มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยผนังชั้นบาง ๆ ที่ห่อหุ้มอากาศไว้ภายใน เกิดเป็นโพรงอากาศขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก จะมีจำนวนความถี่ของการปลดปล่อยเสียงมากกว่า อาหารที่มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยโพรงอากาศขนาดใหญ่ (Sealeaw, et al., 2012) ดังแสดงในรูปที่ 1 (b) ส่วนปริมาณความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ภายในอาหาร มีผลต่อรูปแบบของคลื่นเสียงสะท้อนที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน (Sealeaw, et al., 2012) จากรูปที่ 2 (a) เมื่อสังเกตรูปแบบของการแตกหัก (Fracture pattern) ของข้าวเกรียบ (Cassava Cracker) ที่ได้จากกราฟระหว่างแรงและเวลา สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีการให้แรงกระทำลงไปบนข้าวเกรียบจนกระทั่งถึงค่าสูงสุดที่ข้าวเกรียบจะรับได้ ข้าวเกรียบจะเกิดจะแตก ลักษณะของกราฟที่ได้จะมียอดแหลมของการแตกหักเพียงไม่กี่ยอด และรูปแบบของคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมา (Acoustic Emission Pattern) ระหว่างที่ตัวอย่างถูกทำลาย พบว่า มีความสัมพันธ์กับกราฟของแรง โดยมีจำนวนความถี่ของการปลดปล่อยเสียงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบที่มีความชื้นต่ำกว่า (รูปที่ 2 b) นั่นหมายความว่าถ้าปริมาณน้ำในอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้การสั่นสะเทือนหรือการปลดปล่อยเสียงออกมาลดลง ซึ่งรูปแบบการเกิดเสียงในอาหารแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน และแตกต่างกันออกไป



(*ที่มา*: Saeleaw et al., 2012)

รูปที่ 1 โครงสร้างภายใน (รูปบน) และความถี่ของการปลดปล่อยคลื่นเสียง (รูปล่าง) ในระหว่างการแตกหักของขนมจากกระบวนอัดพอง



(*ที่มา*: Saeleaw and Schleining, 2011)

รูปที่ 2 รูปแบบของการแตกหักและคลื่นเสียงของข้าวเกรียบที่ระดับความชื้นต่างกัน

3. การวัดการปลดปล่อยคลื่นเสียง

ณรงค์ นิยมวิทย์ (2537) กล่าวว่า เสียงที่ออกมาจากอาหารมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะในอาหารแห้ง หรืออาหารสดที่กรอบ จากการศึกษาความดังของเสียง ลักษณะของคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมา ความกว้าง และความยาวของคลื่นเสียงโดยวิธีการใช้เครื่องมือเมื่อนำสิ่งเหล่านี้ไปหาความสัมพันธ์กับความกรอบหรือระดับเสียงที่วัดโดยผู้ชิม พบว่า มีความสัมพันธ์กัน การศึกษาเกี่ยวกับเสียงที่เกิดขึ้นในอาหารเริ่มมีการศึกษาอย่างจริงจังตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963 โดยนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อว่า Drake (1963) โดยใช้เทปบันทึกเสียงในระหว่างการเคี้ยวอาหาร เพื่อหาค่าความถี่เสียงที่เกิดขึ้น โดยพบว่า เสียงที่เกิดขึ้นระหว่างการเคี้ยวอาหารแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป Vicker และ Christensen (1980) ได้ศึกษาความกรอบ ความดังของเสียง และความแข็งของอาหาร โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน พบว่า ความกรอบไม่มีความสัมพันธ์กับความแข็งของอาหารแต่เสียงดังกึกก้อง เสียงหัก และเสียงแตกมีความสัมพันธ์กับความกรอบมาก

การศึกษาการเกิดเสียงเริ่มเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ในปีต่อมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งปี ค.ศ. 2008 บริษัท Stable Micro Systems ได้พัฒนาเครื่องมือวัดการปลดปล่อยคลื่นเสียงของอาหาร ที่ชื่อว่า Acoustic Envelope Detector เพื่อใช้วัดคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่างอาหาร ระหว่างการแตกหัก ซึ่งเป็นวิธีการวัดคุณภาพของอาหารวิธีหนึ่ง ที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) (Stable Micro Systems, 2008) ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือนี้จะมีความเที่ยงตรง และแม่นยำมากกว่า การวัดความกรอบ (Crispiness) โดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ใช้คนเป็นเครื่องมือวัด เพราะความกรอบเป็นคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้น เมื่อมีการกัดหรือเคี้ยว เพื่อทำให้ตัวอย่างอาหารแตกออกจากกัน พร้อมกับการเกิดเสียง ดังนั้น หากผู้ทดสอบมีความสามารถในการรับรู้ทางประสาทสัมผัสแตกต่างกัน ค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง

วิธีการวัดการปลดปล่อยคลื่นเสียง-แรงกล (Acoustic-Mechanical Method) อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือ ที่ได้จำลองรูปแบบมาจากการวัดโดยใช้คน เมื่อนำอาหารเข้าปาก โครงสร้างของอาหารจะถูกทำลาย ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เช่น การกัด การเคี้ยว เป็นต้น ดังนั้น ในขั้นตอนของการทำลายตัวอย่าง มีการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยมีการออกแบบหัววัดในลักษณะที่ต่าง ๆ กันไป ให้มีการทำงานคล้ายคลึงกับการเคี้ยวของฟัน ส่วนวิธีการวัดเสียงจากเดิมที่ใช้คน ก็มีการออกแบบให้ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวัดคลื่นเสียง หรือ Acoustic Envelop Detector (AED) เทียบได้กับการได้ใช้หูที่ไว้รับสัญญาณเสียง จากนั้นทั้งสัญญาณเสียงและแรงที่เกิดขึ้นถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม การแปลสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นเทียบได้กับสมอง ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถอธิบายเพิ่มเติม ดังนี้ (Stable Micro Systems, 2008)

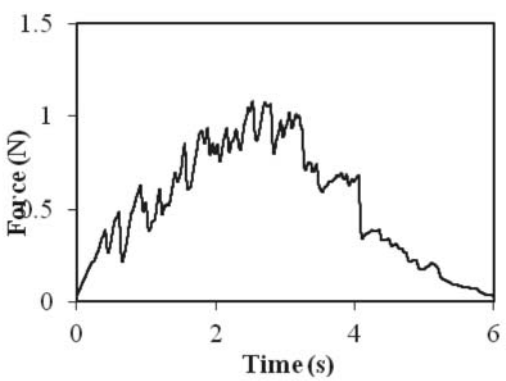
3.1 การให้แรงกดลงบนอาหาร

การให้แรงกดลงบนอาหารโดยใช้แรงกล (Mechanical Force) เมื่อมีแรงกระทำลงบนอาหารที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ จะเกิดปรากฏการณ์ 2 อย่างขึ้นภายในอาหาร คือ แรงที่กดลงบนอาหาร

จะทำให้รูปร่างของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง และการสั่นสะเทือนทำให้เกิดคลื่นเสียงสะท้อนออกมา ซึ่งลักษณะของคลื่นเสียงที่ถูกปลดปล่อยออกมาขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของโครงสร้างภายในเซลล์ หรือปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

การให้แรงกดลงบนอาหาร สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส และหัวทดสอบ (Probe) ที่ใช้สำหรับทำให้อาหารเกิดการแตกหัก หัวทดสอบมีการออกแบบไว้มีหลายลักษณะ เช่น แบบใบมีด ทรงกระบอก ทรงกลม เป็นต้น เพื่อวัดค่าในรูปแบบที่แตกต่างกันไป เช่น วัดค่าแรงกด แรงตัด หรือแรงเฉือน เป็นต้น ผลทดสอบที่ได้จากเครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส สามารถแสดงออกมาเป็นค่าแรง และสามารถสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทาง หรือแรงกับเวลาดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ ได้ เช่น จำนวนของยอดกราฟ (Number of Force Peaks) และค่าของยอดกราฟสูงสุด (Maximum of Force Peak) มาใช้ในการอธิบายเนื้อสัมผัสของตัวอย่างอาหาร

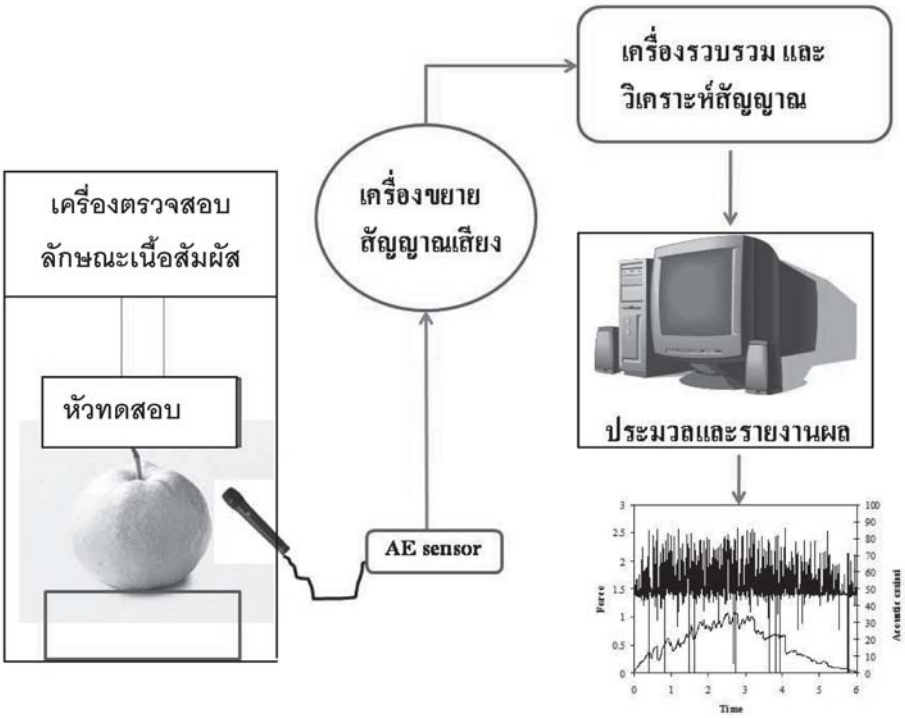
Hecke et al. (1998) ได้ทำการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส กับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหารกรอบแห้ง (Dry Crispy Product) ผลการศึกษาพบว่า อาหารกรอบจะมีจำนวนยอด (Peak) ที่ได้จากกราฟระหว่างแรง-เวลา ที่วัดด้วยเครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส มากเท่ากับจำนวนผนังเซลล์ภายในโครงสร้างของอาหารที่ถูกทำลาย สำหรับอาหารกรอบที่มีความชื้นสูง เมื่อให้แรงกระทำลงไปบนชิ้นอาหาร พบว่า เส้นกราฟระหว่างแรง-เวลา มีลักษณะเป็นเส้นต่อเนื่อง ไม่มียอดแหลม (Peak) และผนังเซลล์ภายในโครงสร้างของอาหารไม่ได้ถูกทำลาย



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง–เวลา ในผลิตภัณฑ์กรุบกรอบ จากการวัดด้วยเครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส

3.2 การวัดเสียง

เมื่อวัตถุได้รับแรงหรือพลังงานมากระทบ ทำให้เกิดการเสียรูป เกิดการแตกร้าว หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาพในวัตถุ ผลของความเครียดของวัตถุจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงาน หากคลื่นพลังงานนี้มีความถี่สูงจะทำให้เกิดเสียงหรือ AE ดังนั้น การปลดปล่อยคลื่นเสียงของวัตถุนั้น สามารถตรวจสอบได้โดยการใช้แรงมากระทำให้วัตถุเสียรูป แล้วใช้ AE Transducer วัดคลื่นเสียงที่เกิดขึ้น เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนมาถึงผิวหน้าของวัตถุ AE Transducer จะเปลี่ยนพลังงานคลื่นเสียงซึ่งเป็นพลังงานกล ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วทำการบันทึกและวิเคราะห์สัญญาณ AE ที่เกิดขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 4) ดังนั้น สิ่งที่สำคัญของการวัดคุณภาพความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหาร ด้วยการใช้เสียงที่หูมนุษย์ได้ยิน (AE) สามารถทำได้โดยการให้แรงกระทำกับอาหารนั้น จนกระทั่งอาหารเกิดการเสียรูปหรือแตกหัก ซึ่งแรงที่กระทำกับอาหารอาจมาจากเครื่องวัดเนื้อสัมผัส หรือการใช้ฟันกัด ทำให้เกิดเสียง ซึ่งเสียงที่เริ่มเกิดจะเบามาก และค่อย ๆ ดังขึ้น จนกระทั่งอาหารแตกหัก ดังนั้น จึงต้องมีการใช้เครื่องขยายเสียง (Amplifier) เพื่อขยายเสียงตั้งแต่เริ่ม แล้วทำการบันทึกสัญญาณเสียงที่ได้นำมาสร้างเป็นกราฟที่เรียกว่า Amplitude-time Plot โดยสร้างกราฟระหว่าง Amplitude ของคลื่นเสียงและเวลา จากนั้นวิเคราะห์ค่าที่ได้จากกราฟ และรายงานผล ดังนั้น แสดงในรูปที่ 4 รูปที่ 5 แสดงรูปเครื่องมือจริง ที่ใช้ศึกษาการเกิดเสียงในระหว่างที่ตัวอย่างเวเฟอร์ (Wafer) ถูกตัดด้วยใบมีด (Knife Blade) ตัวเครื่องประกอบด้วยเครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร และชุดวัดคลื่นเสียง จะเห็นว่ามีการนำไมโครโฟนไปวางใกล้แหล่งกำเนิดเสียง แล้วต่อเข้ากับเครื่องแปลงสัญญาณโดยใช้เครื่อง Acoustic Envelope Detector จากนั้นมีการแปลงคลื่นเสียงที่สะท้อนออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ของแรงกับเวลา



รูปที่ 4 แบบจำลองการวัด Acoustic Emission

(*ที่มา*: Stable Micro Systems. 2008.)

รูปที่ 5 เครื่อง Texture Analyzer with Acoustic Envelope Detector

3.3 การแปลความข้อมูลทางเสียง

ในการแปลความข้อมูลทางเสียง เป็นการตีความที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการแตกหักของอาหาร (Fracture Behavior) และการเกิดเสียงปลดปล่อย ดังนั้นการแปลความข้อมูลทางเสียงจึงเกี่ยวข้องกับสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณของแรง (Force Signal) ที่กระทำลงบนอาหารที่ระยะเวลาต่าง ๆ และสัญญาณของเสียงที่เกิดขึ้น (Sound Emission Signal) เมื่อชิ้นอาหารเริ่มได้รับแรงกระทำที่เวลาต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1 สัญญาณของแรง

การแตกหักทางเชิงกล (Fracture Mechanic) ของวัตถุ เป็นคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัตถุ เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัตถุ ซึ่งได้แก่ ความแข็ง ความยืดหยุ่น หรือความเหนียว เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติทางกลของอาหารเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการแปลความข้อมูลการวัดเนื้อสัมผัสของอาหารด้วยเสียง เมื่ออาหารได้รับแรงกระทำจากภายนอกมากระทำลงบนผิวของอาหาร จะเกิดแรงต้านภายในเซลล์โครงสร้างเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างแรงกระทำจากภายนอกกับแรงต้านทานภายใน ทำให้อาหารเกิดความเครียด (Strain) และทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของเซลภายในโครงสร้างของอาหาร ซึ่งความเค้น (Stress) ที่กระทำกับอาหารมี 4 ชนิด คือ ความเค้นดึง (Tensile Stress) ที่เกิดจากการใช้ฟันฉีกอาหาร ความเค้นอัด (Compress Stress) ที่เกิดจาการบดเคี้ยวอาหารในปาก และความเค้นเฉือน (Shear Stress) ที่เกิดจากการบดเคี้ยวอาหาร เมื่ออาหารได้รับความเค้นจะเกิดความเครียดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่นเดียวกับวัตถุที่เป็นของแข็ง โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ คือ

1) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอาหารแห้งหรืออาหารกรอบ เช่น ข้าวเกรียบทุเรียนแผ่นทอด หรือข้าวพอง มันฝรั่งทอด เป็นต้น เมื่อเอาแรงกระทำออกไป เซลล์โครงสร้างภายในอาหารไม่สามารถกลับคืนรูปเดิมได้ ในรูปที่ 1 จะเห็นว่าอาหารที่มีความพองกรอบ (Crispy Product) เมื่อมีแรงกระทำลงบนอาหาร จะทำให้เซลล์โครงสร้างภายในเกิดการแตกหัก และเกิดเป็นยอดแหลมจำนวนหลายยอด (Force Peak) และพบความสัมพันธ์กับการแตกร้าวของผนังเซลล์ ที่อยู่ภายในโครงสร้างของอาหารพองกรอบ อาหารพองกรองประกอบด้วยเซลเล็ก ๆ ภายในเป็นจำนวนมาก และเมื่อมีแรงมากระทำให้เซลล์ภายในแต่ละเซลล์แตก จึงได้เส้นกราฟที่เป็นรูปรอยหยัก (Jagged Force Deformation Plot)

2) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เมื่อเอาแรงกระทำออกไป เซลโครงสร้างภายในอาหารจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้คงรูปร่างเดิมไว้ได้

3.3.2 สัญญาณของเสียงที่เกิดขึ้น

เมื่อเกิดแรงกระทำลงบนพื้นผิวของอาหาร คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจะถูกตรวจจับด้วย AE acoustic Probe ลักษณะของสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น จะถูกวาด (Plot) ลงบนกราฟระหว่างความดังของเสียง (dB) และเวลา (Second) ซึ่งลักษณะของกราฟ

สัญญาณเสียงขึ้นกับโครงสร้างของอาหาร โดยคลื่นเสียงเกิดมาจากแรงกระทำบนผิวหน้าของอาหาร โครงสร้างเซลล์ที่อยู่ที่บริเวณผิวหน้าอาหารจะเกิดความเครียด ผนังเซลล์เกิดการแตก ทำให้โครงสร้างเซลล์เริ่มมีการสั่นสะเทือน และการสั่นสะเทือนนั้นจะถูกส่งผ่านอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างของเซลล์อาหาร ซึ่งการสั่นสะเทือนที่ถูกส่งผ่านเข้าไปในอากาศนี้ จะทำให้เกิดคลื่นเสียง (Piazza et al., 2007) ความดัง (Amplitude) และระดับของเสียง (Pitch) จะถูกปลดปล่อยออกมา ตั้งแต่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ภายในของอาหาร จนกระทั่งชิ้นอาหารเกิดการแตกหัก ดังนั้นสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับกระบวนการแตกหักของอาหารได้ ดังนี้

ก) จุดเริ่มต้นก่อนที่โครงสร้างภายในของอาหารจะถูกทำลาย

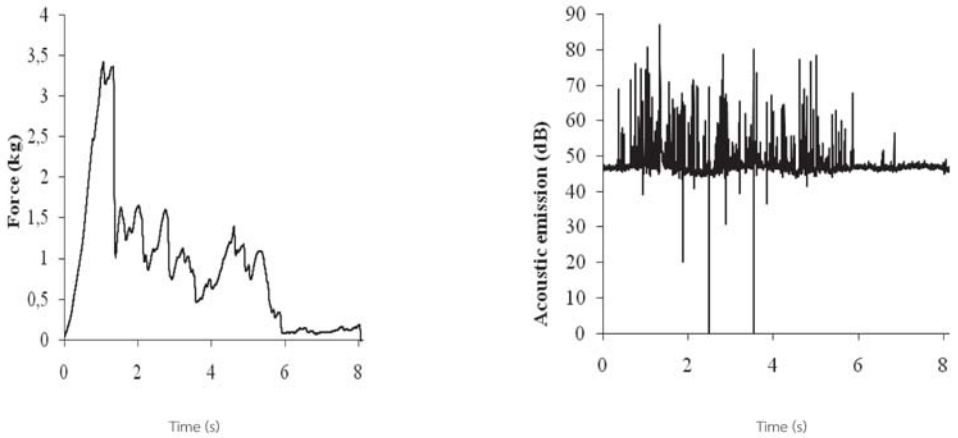
ข) จำนวนความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับการแตกหัก และสมบัติของอาหาร

ค) ขนาดของชิ้นที่แตก ซึ่งพบว่า มีความสัมพันธ์กับระดับเสียงที่เกิดขึ้น

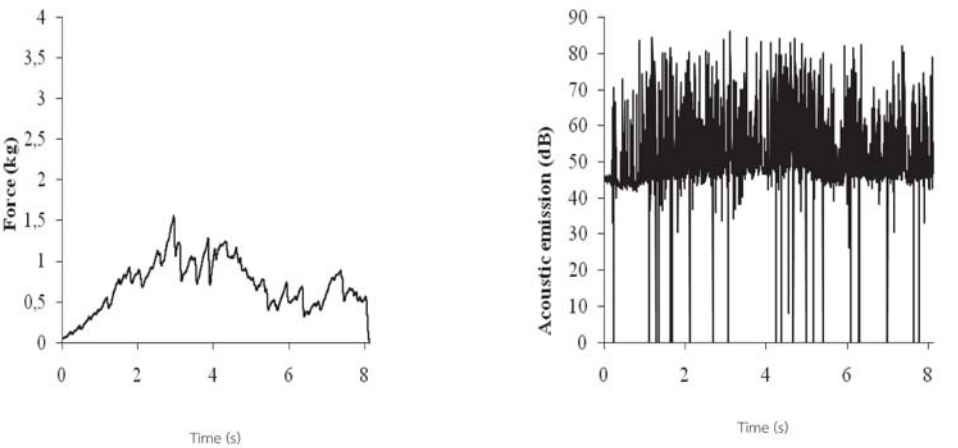
Saeleaw, et al. (2012) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวไรน์ (Rye Expanded Snack) ด้วยกระบวนการอัดพอง (Extrusion) วัดความกรอบของขนมที่ผลิตโดยสภาวะที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่อง Mechanical-acoustic พบว่า ขนมที่ผลิตโดยใช้สภาวะที่แตกต่างกัน ได้แก่ อุณหภูมิของกระบอกอัด (Barel Temperature) และความชื้น (Moisture Content) ส่งผลให้ขนมมีความกรอบที่แตกต่างกัน สังเกตได้จากกราฟแรงที่ทำให้ขนมเกิดการแตกหัก (รูปที่ 6) พบว่า กราฟแรงของขนมที่ผลิตที่อุณหภูมิ 190 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 12% (รูป 6 b) กราฟที่ได้มีจำนวนรอยหยักที่มากเนื่องจากภายในเซลล์ของขนมประกอบด้วยเซลล์อากาศจำนวนหลาเซลล์ และมีผนังเซลล์ภายในเป็นชั้นบาง ๆ แรงที่ใช้ในการทำให้แตกหักเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนมที่ผลิตที่อุณหภูมิ 150 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 16% (รูป 6 a) แสดงว่า ที่สภาวะการผลิตที่อุณหภูมิ 190 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 12% จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากกว่าที่สภาวะการผลิตที่อุณหภูมิ 150 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 16% และจากกราฟสัญญาณเสียง พบว่ากราฟสัญญาณเสียงของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับกราฟค่าแรง โดยจะสังเกตเห็นว่าขนมอบกรอบที่ผลิตที่อุณหภูมิ 190 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 12% มีระดับความดังเฉลี่ย (Mean of Sound Peak, dB) และจำนวนความถี่ของการเกิดเสียง (Number of Sound Peak) มากกว่ากราฟสัญญาณเสียงของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 150 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 16% ซึ่งสัญญาณเสียงของความกรอบของอาหารที่แตกต่างกัน เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงกระบวนการแตกหักของอาหารที่อยู่ในปากได้

นอกจากนี้ Drake (1963) พบว่า แอมพิจูดของเสียงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการอบปิ้งย่างเพิ่มขึ้น แสดงว่าความกรอบเพิ่มขึ้นด้วย และ จำนวนของยอดสูงสุด (Peak) ระหว่างการเคี้ยวมันฝรั่งสามารถที่จะใช้ทำนายความกรอบได้ (R^2 = 0.92)

ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ อาจจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบและการแปลผล ส่วนข้อดี คือ ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือและให้รายละเอียดที่เพิ่มขึ้น เป็นประโยชน์ต่อการอธิบายลักษณะการเกิดเสียงในอาหาร เนื่องจากรูปแบบเสียงที่เกิดขึ้นมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน



(a) อุณหภูมิกระบอกอัด 150 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 16%



(b) อุณหภูมิกระบอกอัด 190 °ซ ความชื้นเริ่มต้น 12%

(*ที่มา*: Saeleaw, et al., 2012)

รูปที่ 6 กราฟจากการวัดค่าแรง (ซ้าย) และการปลดปล่อยเสียง (ขวา) ในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอัดพองจากแป้งข้าวไรน์ในสภาวะการผลิตที่ต่างกัน

4. สรุป

เมื่ออาหารที่มีความกรอบเกิดการเสียรูปหรือแตกหัก จะทำให้เกิดการปลดปล่อยคลื่นเสียงปลดออกมา และคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นนี้ จะมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและคุณสมบัติของอาหาร จากงานวิจัยทำให้ทราบว่า รูปแบบของเสียงที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะต่าง ๆ กันนั้น ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนาของผนังเซลล์ จำนวน และขนาดของโพรงอากาศภายในผลิตภัณฑ์ ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ปริมาณความชื้น และความ

หนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาลักษณะของเสียงที่เกิดขึ้นจากอาหารชนิดต่าง ๆ เพราะอาหารเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ ที่มีความซับซ้อนและอาจทำให้เราเข้าใจลักษณะของความกรอบของอาหาร ได้ดีกว่าการวัดคุณภาพด้วยเครื่องตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสเพียงอย่างเดียว

5. เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2537. ลักษณะคุณภาพของอาหาร ใน **การชิมอาหาร: ทฤษฎีและวิธีการปฏิบัติ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วี.เค บุ๊คเซ็นเตอร์. หน้า 99.

Alchakra, W., Allaf, K. and Jemai, A.B. 1996. **Characterization of brittle food products: application of the acoustical emission method**. Journal of Texture Studies 27, 327-348.

Arimi, J.M., Duggan, E., O'Sullivan, M., Lyng, J.G. and O'Riordan, E.D. 2010. **Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): mechanical and acoustic evaluation**. Food Research International 43(6), 1650-1655.

Barrett, A.M., Normand, M.D. and Peleg, M. 1992. **Characterization of the jagged stress–strain relationships of puffed extrudates using the fast Fourier transform and fractal analysis**. Journal of Food Science 57(1), 227-232, 235.

Chauvin, M.A., Younce, F., Ross, C. and Swanson, B. 2008. **Standard scales for crispness, crackliness and crunchiness in dry and wet foods: relationship with acoustical determinations**. Journal of Texture Studies 39(4), 345-368.

Castro-Prada, E.M., Luyten, H., Lichtendonk, W., Hamer, R.J. and Vliet, T. 2007. **An improved instrumental characterization of mechanical and acoustic properties of crispy cellular solid food**. Journal of Texture Studies 38(6), 698-724.

Chen, J., Karlsson, C. and Povey, M. 2005. **Acoustic Envelope Detector for crispness assessment of biscuits**. Journal of Texture Studies 36(1), 139-156.

Cheng, E.M., Alavi, S., Pearson, T., Agbisit, R. 2007. **Mechanical–acoustic and Sensory evaluations of cornstarch–whey protein isolate extrudates**. Journal of Texture Studies 38(4), 473-498.

Dacremont, C. 1995. **Spectral composition of eating sounds generated by crispy, crunchy and crackly foods**. Journal of Texture Studies 26(1), 27-43.

Drake B.K. Food crushing sounds. 1963. **An introductory study**. Journal of Food Science 28(2), 233-241.

Duizer, L., Campanella, O. and Barnes, G. 1998. **Sensory, instrumental and acoustic characteristics of extruded snack food products**. Journal of Texture Studies 29(4), 397-411.

Hecke, E.V., Allaf, K. and Bouvier, J.M. 1998. **Texture and structure of crispy puffed food products, Part II Mechanical properties in puncture**. Journal of Texture Studies 29(6), 617-632.

Lee, W.E., Deibel, A.E., Glembin, C.T. and Munday, E.G. 1988. **Analysis of food crushing sounds during mastication: frequency–time studies**. Journal of Texture Studies 19, 27-38.

Luyten, H., Plijter, J.J. and Vliet, T.V. 2004. **Crisp/ Crunchy crusts of cellular foods: a literature review with discussion**. Journal of Texture Studies 35(5), 445-492.

Marzec, A., Lewicki, P.P. and Ranachowski, Z. 2007. **Influence of water activity on acoustic emission of flat extruded bread.** Journal of Food Engineering 79(2), 410-422.

Piazza, L., Gigli, J. and Ballabio, D. 2007. **On the application of chemometrics for the study of acoustic–mechanical properties of crispy bakery products**. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 86(1), 52-59.

Primo-Martin, C., Castro-Prada, E.M., Meinders, M.B.J., Vereijken, P.F.G. and van Vliet, T. 2008. **Effect of structure in the sensory characterization of the crispness of toasted rusk roll**. Food Research Inter national 41(5), 480-486.

Roudaut, G., Dacremont, C.and Meste, M.L. 1998. **Influence of water on the crispness of cereal- based foods: acoustic, mechanical, and sensory studies**. Journal of Texture Studies 29(2), 199-213.

Saeleaw, M., Diirrschmid, K. and Schleining, G. 2012. **The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack**. Journal of Food Engineering, 110(4), 532-540.

Saeleaw, M. and Schleining, G. 2011. **Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. Journal of Food Engineering,** 103(3), 229-236.

Stable Micro Systems. 2008. **Stable Micro systems Acoustic Evelope Detector (A/RAED) for Use With the TA.XT plus/ TA.HD Plus Texture Analyser**. Acoustic Evelope Detector Manual Revision 3, 9.

Vicker, Z. M. and Christensen, C.M. 1980. **Relationship between sensory**

crispness and other sensory and instrumental parameters. Journal of Texture Studies 11(3), 291-308.

Wevers, M. 1997. **Listening to the sound of materials: acoustic emission for the analysis of material behavior.** NDT&E International 30(2), 99-106.