



การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์วัดความกรอบมะละกออัตโนมัติ

The study and design of a device for automatic measurement of papaya crispiness

อาทิตย์ พวงสมบัติ^{1*}, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล¹, จิรพงษ์ กสิกุลปพฤกษ์¹, แพรพลอย จันอินทร์¹

Arthit Phuangsombut^{1*}, Anupun Terdwongworakul¹, Jirapong Kasikanlapapriuk¹, Pareploy Chan-in¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-8-1928-3684, Fax: +66-34-351-896, E-mail: fengatp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อุปกรณ์วัดความกรอบมะละกออัตโนมัติถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบความกรอบของเนื้อมะละกอพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปทำส้มตำ อุปกรณ์ประกอบด้วย กลไกหักแท่งมะละกอมีลักษณะเป็นก้านสองอันปลายยึดติดกันเป็นจุดหมุน สเต็ปมอเตอร์ทำหน้าที่หมุนกลไกหักแท่งมะละกอ ระบบตรวจสอบการหักของแท่งมะละกอใช้หลอดกำเนิดแสงและเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงที่เป็นตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามความเข้มแสง (Light dependent resistor, LDR) และไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมกลไกหักแท่งมะละกอและคำนวณมุมของก้านกลไกหักแท่งมะละกอ ทำการทดสอบกับแท่งมะละกอที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยนำแท่งมะละกอวางบนก้านของกลไกหักแท่งมะละกอ แล้วอุปกรณ์จะหมุนก้านหนึ่งของกลไกหักแท่งมะละกอจนแท่งมะละกอหักแล้วจึงหมุนกลับมาอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น เมื่อแท่งมะละกอหักจะเกิดช่องว่างทำให้แสงสามารถส่องผ่านไปยังเซ็นเซอร์ทำให้ความต้านทานต่ำลง โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ตรวจวัดความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดจากการหักของแท่งมะละกอโปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนและคำนวณมุมการหมุนเป็นดัชนีความกรอบของมะละกอ โดยมุมในการหักสูงจะหมายถึงมะละกอมีความกรอบต่ำ จากผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์สามารถแสดงความกรอบมะละกอได้ตรงกับการตรวจวัดด้วยมือและสัมพันธ์กับค่างานที่ใช้กดจนถึงระยะยุบตัวที่กำหนด (Correlation coefficient เท่ากับ 0.56 โดยใช้มะละกอ 5 สายพันธุ์)

คำสำคัญ: การวัดแบบอัตโนมัติ, มะละกอ, ความกรอบ

Abstract

The device for automatically measuring papaya crispiness was developed for use in selection of the variety of papaya suitable for making papaya salad. The device consisted of a bending mechanism having two links hinged together, a stepping motor for rotating the bending mechanism, a monitoring system for breaking of the papaya rod involving a light source and a light intensity measuring sensor, light dependent resistor and a microcontroller for controlling the rotation of bending mechanism and calculating the angle of the mechanism links. The operation started by preparing papaya into a rod with diameter of 6 mm and inserting the rod on the link of the bending mechanism. After pressing the starting switch, the stepping motor would rotate the link of the bending mechanism and bending two ends of the papaya rod towards each other until the papaya rod was broken. Once the papaya rod was broken, the light passed through the gap and reached the sensor leading to higher resistance of the sensor. The controlling program monitored the breaking of the papaya rod through the potential dropped across the sensor. When there was a change in such the potential the program stopped the motor. The angle of the link was calculated to represent the crispiness of the papaya rod. The higher the angle of the link, the lower the crispiness of the papaya rod. Test results showed that the device could display the crispiness of the papaya rod in agreement with manual bending and the obtained angle was related to work to limit with a correlation coefficient of 0.56 by using 5 species of green papaya.

Received: June 12, 2018

Revised: June 27, 2018

Accepted: June 29, 2018

Available online: August 6, 2018

1 บทนำ

มะละกอ (papaya) เป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งปัจจุบันความต้องการบริโภคมะละกอภายในประเทศมีปริมาณเพิ่มสูงมากทั้งในรูปของการบริโภคผลดิบ บริโภคผลสุกและส่งโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อแปรรูป (Janthasri et al, 2017) สำหรับการบริโภคมะละกอดิบนั้นผู้บริโภคจะนำมะละกอมาประกอบเป็นอาหาร เช่น ส้มตำ ซึ่งจัดเป็นอาหารที่มีรสชาติดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ซึ่งพันธุ์ของมะละกอที่ใช้ในการค้าส้มตำก็มีหลากหลายพันธุ์ตามแต่ท้องถิ่นนั้นๆ เช่น พันธุ์แขกดำ พันธุ์แขกนวล พันธุ์ออนแลนด์ พันธุ์ครึ่ง เป็นต้น ซึ่งแต่ละพันธุ์ก็จะมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน

ความกรอบ (Crispness) เป็นลักษณะทางกายภาพของอาหารทางด้านเนื้อสัมผัสและเป็นคุณภาพที่สำคัญของมะละกอที่ใช้ในการค้าส้มตำนอกเหนือจากรสชาติที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในกระบวนการพัฒนาพันธุ์มะละกอที่มีความกรอบสำหรับทำส้มตำ จะต้องมีการประเมินความกรอบของผลมะละกอรหว่างพันธุ์ต่างๆ ที่พัฒนาเพื่อใช้ในการคัดเลือกจำนวนผลมะละกอสำหรับเป็นตัวแทนพันธุ์ที่พัฒนาเพื่อเปรียบเทียบการประเมินคุณภาพความกรอบสามารถใช้วิธีการ การทดสอบเนื้อสัมผัสทางวัตถุวิสัย (Objective method) หรือ การประเมินด้วยประสาทสัมผัส (Sensory evaluation, subjective test) (Julyusan, 2016) ซึ่งการประเมินด้วยประสาทสัมผัสถือเป็นการประเมินทางจิตวิสัย ซึ่งค่าที่ประเมินได้ขึ้นอยู่กับตัวบุคคลและไม่สามารถแสดงออกมาเป็นตัวเลขที่ชัดเจนได้ โดยการวัดด้วยประสาทสัมผัสมีการให้คะแนนการยอมรับเป็น 5 ระดับ ระดับความกรอบอยู่ที่ 1-5 คะแนนเรียงจากค่าน้อยไปมาก

การวัดความกรอบสำหรับมะละกอยังมีงานวิจัยเผยแพร่ค่อนข้างน้อย งานวิจัยที่พบจะใช้การทดสอบทางกลในการบอกความแน่นเนื้อ (Firmness) เป็นส่วนใหญ่ Alam et al. (2013) ใช้ค่าแรงสูงสุดโดยการกดด้วยหัวกดแบบแบนบอกถึงค่าความแน่นเนื้อของมะละกอ ซึ่งพบว่าความแน่นเนื้อของมะละกอจะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา การลดลงของความแน่นเนื้อนี้เป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของกระบวนการเผาผลาญ ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ในช่วงการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น Chareekhot et al. (2014) ทำการทดลองมะละกอดิบสไลด์เป็นเส้นสำหรับทำส้มตำพบว่ามะละกอพันธุ์ครึ่งสูญเสียน้ำหนักมากกว่าพันธุ์แขกนวลและแขกดำ แต่ให้ผลค่าแรงตัดเฉือนโดยใช้ Kramershear cell น้อยกว่า นอกจากนี้ ลักษณะของเซลล์เนื้อเยื่อของพันธุ์ครึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทั้งสองพันธุ์ที่กล่าวมา และเหี่ยวลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 6 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่คุณภาพเส้นลดลง ทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับน้อยลง

Naprasert et al. (2015) และ Terdwongworakul et al. (2016) นำมะละกอดิบซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ ระยะเวลาเนื้อขาว ที่สีเปลือกภายนอกเป็นสีเขียว สีเนื้อภายในเป็นสีขาว และ

ระยะกึ่งสุกที่สีเปลือกภายนอกยังคงมีสีเขียว แต่เนื้อภายในเป็นสีออกส้ม สายพันธุ์แขกดำ 2 มาทำการทดสอบทางกลโดยการกดทั้งหมด 4 แบบ ด้วยเครื่อง The material testing machine (LR5 K, Lloyd Instruments, Fareham, Hants, England) ความเร็วหัวกด 1 mm s^{-1} ใช้การทดสอบแบบ Rectangular shear blade compression ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าแรงกดสูงสุด (F_{max}) ค่างานที่ใช้กดถึงจุดสูงสุดของแรง (W_{max}) และค่า Stiffness ซึ่งเปรียบเสมือนค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น ซึ่งสามารถนำมาใช้ประเมินความกรอบของมะละกอได้

การประเมินความกรอบของมะละกอดิบสามารถพัฒนาจากวิธีการทดสอบทางกล โดยการกดในแนวตั้งฉากหรือแนวตัดเฉือนเนื่องจากความกรอบเป็นความรู้สึกที่รับรู้ได้จากการกัดเคี้ยววัสดุ ค่าพารามิเตอร์ที่พิจารณาในการประเมินจึงควรเกี่ยวข้องกับการแตกหักของโครงสร้างมหภาคของมะละกอ ซึ่งพบว่า ค่าแรงสูงสุด ค่างานที่ใช้ในการกด ค่า Stiffness ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น และค่าคำนวณจากเนื้อสัมผัส (ในกรณีทดสอบแบบ Test Analysis Program (TAP): Hardness, Cohesiveness, Chewiness, Stiffness) เป็นค่าที่เหมาะสมในการประเมินความกรอบของมะละกอดิบ

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ในการประเมินความกรอบของมะละกอแบบอัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้การทดสอบทางกลในการงอวัสดุทำให้เกิดความเค้นที่วัสดุและใช้การวัดมุมที่แท่งมะละกอเกิดการหักเมื่องอตัว ซึ่งความสามารถในการงอตัวและความแข็งแรงของวัสดุมีความสัมพันธ์กับความกรอบ ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการอธิบายเนื้อสัมผัสของมะละกอในเชิงกายภาพ และเป็นเครื่องมือช่วยวัดความกรอบให้ได้มาตรฐานและความแม่นยำในการวิจัยปรับปรุงพันธุ์มะละกอ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

นำมะละกอดิบที่เก็บเกี่ยวในช่วง 91 วันหลังดอกบานจากแปลงทดลองภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนจำนวน 5 สายพันธุ์ คือ แขกดำ (KD) แขกดำศรีสะเกษ (KDSK) แขกดำดำเนิน (DN) ปลักไม้ลาย (PL) และ แขกนวล (KN) พันธุ์ละ 3 ผล โดยแต่ละผลเตรียมตัวอย่างออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) เป็นแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 mm ยาวประมาณ 10 cm จำนวนผลละ 6 แท่ง โดยใช้อุปกรณ์เป็นทอสแตนเลสปลายขอบแหลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 mm เจาะเข้าไปในเนื้อมะละกอแล้วนำออกมาตัดให้เหลือความยาว 10 cm ซึ่งมีขนาดเท่ากันคงที่ทุกแท่งที่ทดสอบ เพื่อใช้กับอุปกรณ์วัดความกรอบมะละกออัตโนมัติและ อุปกรณ์วัดมุมในการหักด้วยมือแสดงใน Figure 1 เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย 2) เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม กว้าง 1.2 cm ยาว 6 cmหนา 1.5 mm โดยใช้เครื่องสไลด์ (SAVIOLI MANUAL SLICER SAVIOLI รุ่น 300S,

food equipment co., ltd, Thailand) เป็นแผ่นบางความหนา เป็น 1.5 mm แล้วทำการตัดแต่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 1.2 cm ยาว 6 cm เพื่อใช้กับเครื่องมือ The material testing machine (LR5 K, Lloyd Instruments, Fareham, Hants, England) ใช้หัวกดแบบใบมีด Warner-Bratzler Shear blade with a rectangular notch (คันสนีย์และคณะ, 2558 และ Terdwongworakul et al., 2016) โดยเตรียมผลละ 2 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับวิเคราะห์ต่อไป

2.2 อุปกรณ์วัดความกรอบมะละกออัตโนมัติ

มีหลักการพื้นฐานออกแบบมาจากการวัดความกรอบด้วยมือ (Figure 1) ที่มีวิธีวัดโดยนำแท่งมะละกอมาบีบปลายเข้าหากัน โดยมุมที่แท่งมะละกอเริ่มหักจะใช้เป็นพารามิเตอร์ที่ระบุความกรอบ จึงได้ออกแบบอุปกรณ์วัดแบบอัตโนมัติที่ใช้ Stepping motor เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนการหมุนแกนก้านหมุนหักแท่งมะละกอเข้าหากัน โคนก้านหนึ่งยึดอยู่กับที่พร้อมกับตัวมอเตอร์ ด้วยความเร็วรอบ 15 rpm และใช้เซนเซอร์ Light dependent resistor (LDR) ร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงวัดช่องว่างที่เกิดในขณะที่ปลายแท่งมะละกอเข้าหากันและหัก ซึ่งจะนำมาใช้เป็นค่าที่ใช้ในการนับ Step การหมุนของ Stepping motor เพื่อนำมาแปลงเป็นค่าความกรอบโดยการแปลงจากค่ามุมที่หักมะละกอแล้วเทียบเป็นค่าความกรอบที่ 0 -100 โดยมีส่วนประกอบดังนี้ 1) ก้านหมุนหักแท่งมะละกอ โดยมีช่องสำหรับใส่แท่งมะละกอความกว้างเท่ากับ 6 mm และผนังด้านข้างทำหน้าที่เป็นตัวจับยึดแท่งมะละกอให้อยู่กับที่ การวางแท่งมะละกอจะให้จุดกึ่งกลางของแท่งมะละกออยู่ตรงแกนกลางการหมุนของก้านหัก (ระยะจากจุดหมุนถึงปลายชิ้นมะละกอเท่ากับ 50 mm) พร้อมติดตั้ง LDR ฝังอยู่ในแกนกลาง 2) หลอดไฟ LED ทำหน้าที่ให้แสงสว่างกับ LDR เพื่อใช้ในการตรวจสอบการหักและเป็นค่าอ้างอิงในการวัดมุมที่ทำให้เกิดการหัก 3) Stepping motor ทำหน้าที่หมุนเพื่อหักแท่งมะละกอที่นำมาวัดความกรอบ โดยรับคำสั่งจาก Arduino 4) กล้องควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่บรรจุแผงวงจรและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ซึ่งภายในประกอบด้วยแผง Arduino ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงาน มีแผงวงจรต่างๆ มี Power supply มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 V และมีสายไฟของวงจรควบคุม แสดงดัง Figure 2 และ Figure 3



Figure 1 A device for manually measured angle of papaya.

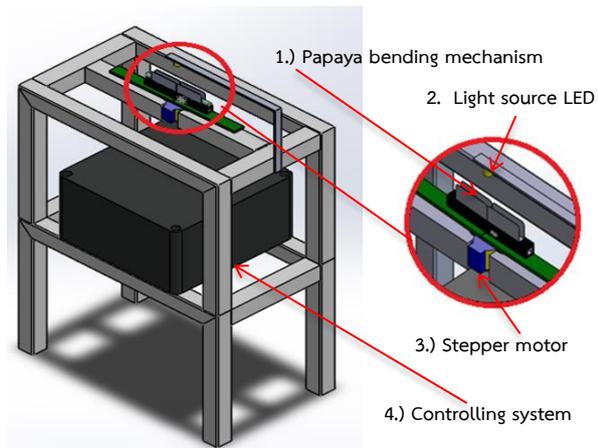


Figure 2 The schematic diagram of a device for automatic measurement of papaya crispness.

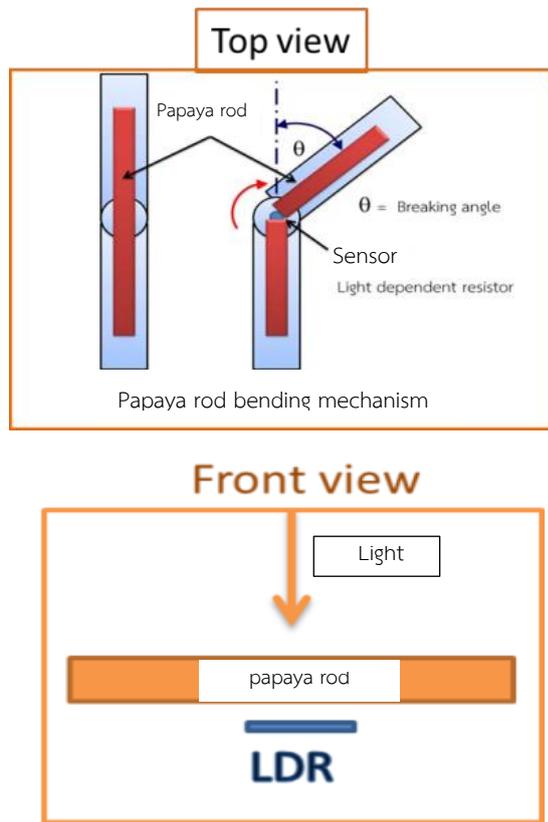


Figure 3 The operation of the mechanism of a device for automatic measurement of papaya crispness.

2.3 การทดสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

จากงานวิจัยของ Terdwongworakul et al. (2016) ได้เสนอเทคนิคการวัดความกรอบมะละกอด้วย เครื่องมือ The material testing machine (LR5K, Lloyd Instruments, Fareham, Hants, England) ใช้หัวกดแบบใบมีด Warner-Bratzler shear blade with a rectangular notch โดยเตรียมตัวอย่างมะละกอกเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม กว้าง 1.2 cm ยาว 6 cmหนา 1.5 mm ด้วยความเร็ว 1 mm s^{-1} จนตัวอย่างมะละกอขาด โดยค่าสมบัติเชิงกลที่ใช้แสดงความกรอบมะละกอกคือ แรงกดสูงสุด (F_{max}) ค่างานที่ใช้กดถึงจุดสูงสุดของแรง (W_{max}) ค่างานที่ใช้กดจนถึงระยะยุบตัวที่กำหนด (Work to limits, WL) และค่า Stiffness ซึ่งเปรียบเสมือนค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น มาพิจารณาใช้ประเมินความกรอบของวัสดุ โดยค่าที่มีความสัมพันธ์กับการทดสอบความกรอบมะละกอด้วยเทคนิคประสาทสัมผัสมากที่สุดคือ ค่า WL มีค่า Correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.82 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่า WL เป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบ

ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะทดสอบโดยวัดความกรอบเป็นค่ามุมแล้วนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าความกรอบที่เป็น WL จากเครื่องมือมาตรฐานซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบ

2.4 การวิเคราะห์สถิติ

ในการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์จะนำแท่งมะละกอจากมะละกอพันธุ์เดียวกันมาทดสอบวัดความกรอบ แล้วนำค่ามุมมาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งเป็นตัวแทนของความเที่ยงตรง

นำค่ามุมที่ได้จากอุปกรณ์และค่า WL จากเครื่องมือมาตรฐานมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Regression analysis โดยตัวแปรตามคือ ค่า WL จากเครื่องมือมาตรฐานและตัวแปรอิสระคือ ค่ามุมจากอุปกรณ์ โดยความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ที่พัฒนาจะประเมินจากค่า Correlation coefficient (r) ซึ่งถ้าค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าค่ามุมจากอุปกรณ์มีความสัมพันธ์กับค่า WL จากเครื่องมือมาตรฐาน เพื่อนำค่ามุมที่ได้จากอุปกรณ์มาใช้แทนค่าที่ได้จากการวัดด้วยประสาทสัมผัสเพื่อให้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้นในการวัดในแปลง

3 ผลและวิจารณ์

ค่า WL ในการหักมะละกอ ทั้ง 5 พันธุ์แสดงใน Table 1 ซึ่งพบว่ามะละกอพันธุ์ KN มีค่าต่ำสุดคือ 0.0430 J ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความกรอบมากที่สุด ส่วนพันธุ์ KDSK มีค่างานสูงสุดเท่ากับ 0.0807 J ซึ่งเป็นพันธุ์มะละกอที่มีความกรอบน้อยที่สุด ผลการทดลองแสดงว่า งานที่ใช้ในการฉีกแผ่นมะละกอจนถึงระยะ 0.5 mm แปรผกผันกับความกรอบของมะละกอ นั้นหมายถึงมะละกอที่มีความกรอบจะดูดกลืนพลังงานน้อยก่อนการแตกหัก

Table 1 Average value of work to limit (5 mm) and breaking angle of papaya from different varieties.

Variety	Parameter		
	Work to limit (J)	Automatically measured crispiness	Manually measured angle (°)
DN1	0.0590	75.5	155.0
DN2	0.0700	72.5	165.0
DN3	0.0560	77.0	175.0
KD1	0.0527	68.5	142.5
KD2	0.0527	74.0	165.0
KD3	0.0557	72.5	160.0
KDSK1	0.0640	70.5	165.0
KDSK2	0.0807	78.0	160.0
KDSK3	0.0672	72.5	165.0
KN1	0.0532	81.0	175.0
KN2	0.0430	68.5	145.0
KN3	0.0493	67.5	162.5
PL1	0.0685	73.5	167.5
PL2	0.0640	81.0	175.0
PL3	0.0608	79.0	172.5

Note: Kake Dum (KD), Kake Dum- Sisaket (KDSK), Kake Dum-Dumnern (DN), Plugmailai (PL) and Kake nuan (KN), DN_i means papaya number i of variety Kake Dum.

งานวิจัยของ Terdwongworakul et al. (2016) รายงานความกรอบของมะละกอพันธุ์ DN มีความกรอบมากกว่าพันธุ์ PL จากการวัดด้วยประสาทสัมผัส ซึ่งผลที่ได้ในการศึกษาพบว่าค่า WL ของพันธุ์ PL มากกว่าพันธุ์ DN ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยดังกล่าว มุมที่ใช้หักแท่งมะละกอทุกพันธุ์ด้วยมือสอดคล้องกับมุมที่หักโดยอุปกรณ์ (ค่า Correlation coefficient, $r = 0.779$ ใน Figure 4) แสดงว่าการวัดมุมทั้งสองวิธีสามารถใช้ทดแทนกันได้

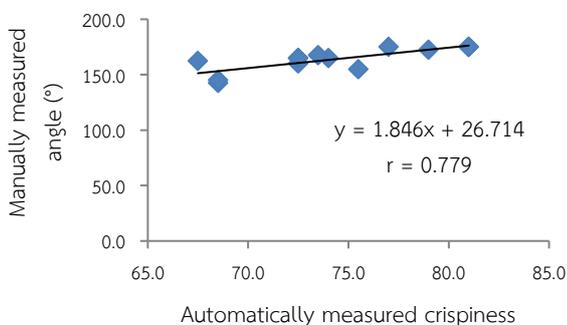


Figure 4 Relationship between manually measured angle and automatically measured crispiness.

สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดความกรอบของอุปกรณ์ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิง WL กับมุมการหักแท่งมะละกอที่วัดด้วยอุปกรณ์และด้วยมือ (เหตุผลที่ใช้ค่า WL เป็นค่าอ้างอิงแทนค่ามุมจากการวัดด้วยมือเนื่องจากเป็นค่า WL สามารถวัดได้แน่นอนกว่าค่ามุมที่วัดด้วยมือที่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการงอหักแท่งมะละกอ) ที่ได้แสดงใน Figure 5 ซึ่งค่า WL เป็นค่ามาตรฐานที่สามารถใช้ระบุความกรอบของมะละกอได้ ดังนั้นผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดความกรอบจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่ามุมที่วัดจากอุปกรณ์ที่พัฒนาและจากการวัดด้วยมือกับค่า WL โดยเปรียบเทียบด้วยค่า Correlation coefficient (r)

ผลที่ได้จาก Figure 5 แสดงค่า r ระหว่าง WL กับมุมที่วัดจากอุปกรณ์โดยของมะละกอทั้ง 5 พันธุ์มีค่าเท่ากับ 0.562 นั่นคือ ค่ามุมที่ใช้ในการหักแท่งมะละกอสามารถใช้ระบุค่าความกรอบมะละกอได้ สำหรับค่า r ระหว่าง WL กับมุมที่วัดด้วยมือมีค่าเท่ากับ 0.536 ซึ่งน้อยกว่าค่า r ของการวัดด้วยอุปกรณ์เพียงเล็กน้อย จากผลการเปรียบเทียบค่า r อาจกล่าวได้ว่าค่ามุมจากการวัดด้วยอุปกรณ์มีความแม่นยำกว่าการวัดด้วยมือเล็กน้อย เนื่องจากการวัดมุมของอุปกรณ์เป็นไปโดยอัตโนมัติดังนั้นความคลาดเคลื่อนในการวัดมุมของอุปกรณ์จึงน้อยกว่าการใช้มือนอกจากนั้นความเร็วในการหมุนก้านหมุนของกลไกหักแท่งมะละกอมีความคงที่ ทำให้ผลการวัดมุมมีความเที่ยงตรง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้มือในการหักซึ่งใช้สายตาในการอ่านค่ามุม อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบของอุปกรณ์คือ สามารถวัดได้โดยอัตโนมัติ

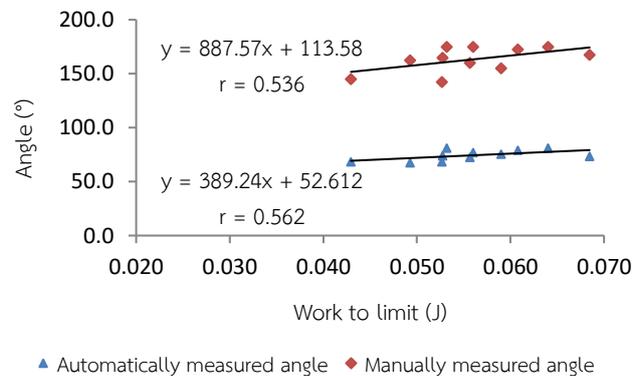


Figure 5 Relationship between average value of angle and work to limit by comparing the angle measured automatically and manually.

4 สรุป

อุปกรณ์วัดความกรอบมะละกอทำงานโดยการวัดมุมในการทำให้แท่งมะละกอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm หัก มุมที่ได้สัมพันธ์กับความกรอบของมะละกอที่สอดคล้องกับพันธุ์มะละกอ อุปกรณ์สามารถวัดโดยอัตโนมัติมีความแม่นยำเทียบกับการใช้มือในการหัก เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วในการหักได้ทำให้

ค่าที่ได้มีความแน่นอนเมื่อเทียบกับการใช้มือ อุปกรณ์มีขนาดเล็กพกพาได้ จึงสามารถนำไปวัดความกรอบมะกอกได้ที่แปลงปลูก ซึ่งเป็นประโยชน์เนื่องจากมะกอกจะมีความกรอบเปลี่ยนแปลงโดยรวดเร็วเมื่อสูญเสียความชื้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- Alam, Md.S., Kaur, B., Gupta, K., Kumar, S. 2013. Studies on refrigerated storage of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 15, 275-280.
- Chareekhot, K., Techavuthiporn, C., Wongs-Aree, C., Boonyarit-Thongchai, P., Kanlayanarat, S. 2014. Assessment of three green papaya (*Carica papaya* Linn.) cultivars ('Krang', 'Kaek Noul', and 'Kaek Dum') for use as shredded fruit. *Journal of Horticultural science and Biotechnology* 89, 321-328.
- Janthasri, R., Choksawatthanakit, S., Chaiboon, W. 2017. Selection of green papaya production and its tolerance to Papaya Ringspot Virus of "RMU" variety in Mahasarakham Province. *King Mongkut's Agricultural Journal* 35 (1), 146 -156. (in Thai).
- Julyusan, T. 2016. Texture analysis. Available at: [http://eng.sut.ac.th/ae/ae2016/src/file/SubjectDocument/file/Lab%203%20Texture%20Analyzer%20\(2559%20theory\)_1474471403.pdf](http://eng.sut.ac.th/ae/ae2016/src/file/SubjectDocument/file/Lab%203%20Texture%20Analyzer%20(2559%20theory)_1474471403.pdf). Accessed on 15 August 2017. (in Thai).
- Naprasert, S., Thaipong, K., Burns, P., Terdwongworakul, A., Wichchukit, S. 2015. Approaches of Crispness Evaluation for Raw Papaya Using Mechanical Testing. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal* 21 (2), 42-49. (in Thai).
- Terdwongworakul, A., Burns, P., Wichchukit, S., Thaipong, K., Nacharoen, S. 2016. Classification of papaya crispness based on mechanical properties. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18 (1), 294-300.