Agricultural Sci. J. 43 : 3 (Suppl.) : 55-58 (2012) ว. วิทย. กษ. 43 : 3 (พิเศษ) : 55-58 (2555)

การประยุกต์ใช้พลังงานขีดแบ่งความเสียหายของมังคุดเมื่อรับภาระกระทำแบบกระแทก
The Application of Damage Threshold Energy in Mangosteen Subjected to Impact Loading

อุดมศักดิ์ กิจทวี[1] **และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์**[2]
Udomsak Kitthawee[1] and Siwalak Pathaveerat[2]

Abstract

The research was conducted to apply the threshold energy of mangoesteen damage subjected to impact loading. The threshold energy of mangoesteen damage which acquired from all dark purple mangoesteen in particular treatment after subjected by impact loading was evaluated. The mangoesteen fruit was damaged by cylindrical steel rod with a 6 mm diameter spherical tip which installed on impact tester. By using valued as threshold energy (15.7 mJ), weight of impactor (13 grams), radius of curvature on impactor tip (3 mm), young modulus of mangoesteen (9,920 pascal), and average weight of mangoesteen (80 gram), the developed equation of impacting of two elastic sphere by Chen and Ruiz-Altisent (1996) was apply to impact of mangoesteen. When the mangoesteen impacted each others, the result showed that the maximum deformation of mangoesteen was 1.8 cm, the impacting velocity was 1.20 meter per second, and the maximum of height limit was 7.3 cm.

Keywords: mangoesteen, threshold energy, spherical impaction

บทคัดย่อ

งานวิจัยเพื่อพัฒนาการประยุกต์การใช้พลังงานขีดแบ่งความเสียหายของมังคุดเมื่อรับภาระกระทำแบบกระแทก ค่าพลังงานขีดแบ่งความเสียหายของผลมังคุดระยะสีม่วงดำซึ่งเกิดความเสียหายทุกผลในทรีตเมนท์ เมื่อได้รับภาระกระทำแบบกระแทกด้วยหัวกระแทกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกับเครื่องกระทำแบบกระแทก ใช้ค่าพลังงานขีดแบ่ง (15.7 มิลลิจูล), น้ำหนักหัวกระแทก (13 กรัม), รัศมีความโค้งหัวกระแทก (3 มม.), ค่าโมดูลัสยังของมังคุด (9,920 ปาสคาล) และน้ำหนักค่าเฉลี่ยของมังคุด (80 กรัม) มาประยุกต์ใช้กับทฤษฎีการชนกันของทรงกลมยืดหยุ่นสองลูก ผลปรากฏว่า มังคุดจะมีค่าระยะยุบตัวสูงสุดคือ 1.8 เซนติเมตร ความเร็วขณะกระแทก 1.20 เมตรต่อวินาที และความสูงมากที่สุดเมื่อมังคุดชนกับมังคุดด้วยกันเองจนเกิดความช้ำทุกผลคือ 7.3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าความสูงที่แนะนำต่อผู้ขายหรือผู้ขนส่ง

คำสำคัญ: มังคุด พลังงานขีดแบ่ง การชนทรงกลม

คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้หนึ่งที่มีรสหวานอมเปรี้ยวและถูกปากคนไทยและต่างชาติ อีกทั้งยังเป็นที่ต้องการของทั้งในและต่างประเทศ คุณภาพของมังคุดที่ผลิตได้เป็นปัญหาที่สำคัญ คุณภาพของมังคุดส่วนใหญ่ดูจาก รูปร่าง ขนาด น้ำหนัก สี ความมันวาว และยังมีเรื่องของยาง เปลือกแข็งและคุณภาพภายในเช่น เนื้อแก้วอีกด้วย ปัญหาคุณภาพส่งผลต่อราคาขายของมังคุดทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะปัญหาเปลือกแข็งของมังคุดซึ่งสามารถเกิดได้ง่ายถึงแม้มังคุดจะมีเปลือกหนาก็ตาม แม้ว่าการแข็งของเปลือกมังคุดจะไม่ส่งผลกระทบถึงเนื้อข้างในของผลมังคุดที่ใช้รับประทาน แต่การแข็งของเปลือกผลมังคุดก็แสดงว่าผลมังคุดนั้นมีคุณภาพไม่ดี และผู้บริโภคไม่นิยมซื้อผลมังคุดที่มีเปลือกแข็ง(สายชล และสมศักดิ์, 2548)

ในปี 2554 มีการส่งออกมังคุด 111,717 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,070 ล้านบาท(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวของผลมังคุดที่พบ ณ จุดรับซื้อในจังหวัดจันทบุรีและชุมพร ประกอบด้วย ผลร้าว เปลือกแข็ง ผิวกลากหรือผิวลาย ซึ่งเป็นความเสียหายที่สามารถสังเกตได้จากภายนอก และความเสียหายภายในเช่น เนื้อแก้ว ยางไหล เนื้อเน่าหรือในบางผลมีการผสมของความเสียหายมากกว่า 1 แบบ ความเสียหายแบบต่างๆ(Pushparikash, 2006)สามารถแบ่งได้ดังนี้คือ ผลร้าว เปลือกแข็ง ผิวกลาก ตำหนิภายใน มังคุดกลุ่มนี้มีทั้งที่คัดทิ้งและคัดแยกไว้ขายในราคาต่ำประมาณ 3-8 บาทต่อกิโลกรัม ลักษณะความเสียหายที่มีปริมาณมากที่สุดคือ มังคุดผิวกลากหรือลาย ซึ่งทำให้มูลค่าของมังคุดลดลงอย่าง

[1] ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต จ.กรุงเทพฯ 10700
[1] Suan Dusit Scientific Equipment Center, Suan Dusit Rajabhat University, Bangkok, 10700
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
[2] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, 73140

มาก พนิดา และบัณฑิต (2549) พบว่าปริมาณมังคุดเปลือกแข็งกระจายในผู้ค้าเร่ ตลาดสด และซุปเปอร์มาร์เก็ต เฉลี่ยสูงถึง 33.4% ดังนั้นอาการเปลือกแข็งในมังคุด สามารถพัฒนาได้ต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างจึงเป็นเหตุผลสำคัญในการพิจารณาถึงในแง่มุมต่างๆจากการทดลองเพื่อหาผลในการนำไปปรับใช้ในทางอุตสาหกรรมต่อไป งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาการประยุกต์ใช้พลังงานขีดแบ่งความเสียหายของมังคุดเมื่อรับภาระกระทำกระแทก

อุปกรณ์และวิธีการ

ผลมังคุดถูกนำมาจำนวน 720 ผลจากสวนที่ อ.หลังสวน จ.ชุมพร โดยทำการเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกันคือน้ำหนักประมาณ 76-100 กรัม แบ่งเป็นสองวัยคือวัยสีชมพู (380 ผล)และวัยสีม่วงดำ (340 ผล)จากระดับสีของมังคุด 7 ระดับ ทำการคัดเลือกผลที่ไม่ได้รับความเสียหายจากโรคหรือแมลงรวมถึงเชิงกลอื่นๆผลมังคุดจะถูกขนส่งจากสวนมาทดสอบที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประเมินการเกิดความแข็งกับผลมังคุดที่ให้ภาระแบบกระทำกระแทกโดยใช้อุปกรณ์วัดสมบัติการกระแทกของบัณฑิต และอุดมศักดิ์ (2547) โดยเปลี่ยนระดับพลังงานคำนวณจาก

$$\text{Impact Energy} = mgh$$

เมื่อ m = มวลของหัวกระแทก, g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และ h = ความสูงของหัวกระแทก โดยการเพิ่มความสูงจาก 1 เซนติเมตร และเพิ่มครั้งละ 1 เซนติเมตรทุกๆ 20 ผล

หลังจากให้ภาระมังคุดด้วยเครื่องมือวัดสมบัติการกระแทกแล้วทำการเก็บรักษาเป็นเวลา24ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการผ่าเพื่อตรวจสอบรอยช้ำที่เกิดขึ้น แล้วทำการวิเคราะห์โดยคำนวณปริมาตรความช้ำจากสูตร $V=(\pi/8)w^2d$ (Chen and Sun, 1981) เมื่อ w=ความกว้างของรอยช้ำ(mm)และ d=ความลึกของรอยช้ำ(mm) คำนวณความน่าจะเป็นจากความน่าจะเป็นของการช้ำ = จำนวนผลที่ช้ำ / จำนวนผลซ้ำในแต่ระดับพลังงาน

นำค่าระดับพลังงานซึ่งมีความน่าจะเป็นของการช้ำเท่ากับหนึ่งเป็นค่าพลังงานขีดแบ่ง(Kitthawee *et al*., 2011) เพื่อนำไปคำนวณหาความสูงมากที่สุดเมื่อมังคุดตกกระทบด้วยกันเองโดยไม่เกิดการช้ำทุกผล Chen *et al*. (1996) ได้นำเสนอทฤษฎีการชนกันของทรงกลมแบบยืดหยุ่น

$$D = \left[\frac{5}{4}\frac{V^2}{nn_1}\right]^{2/5} \qquad (1)$$

$$n_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \quad ; n = \frac{4}{3}\frac{E}{1-\mu^2}\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)^{1/2}$$

ที่ซึ่ง D = การเปลี่ยนรูปมากที่สุดของทรงกลม (mm), V = ความเร็วก่อนชนของทรงกลม (m/s^2), m_1 = มวลของทรงกลมหนึ่ง (kg), m_2 มวลของทรงกลมหนึ่ง(kg), E = โมดูลัสยืดหยุ่นของทรงกลม (Pa), μ= Poisson's ratio ของทรงกลม, R_1= รัศมีความโค้งของทรงกลม (m), R_2 =รัศมีความโค้งของทรงกลม (m)

ผลและวิจารณ์

การกระแทกระหว่างผลไม้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายในการระบบเกี่ยวกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว (Kitthawee *et al*., 2011)ความเร็วสูงสุดที่กระทบกันระหว่างผลไม้เป็นค่าที่สามารถช่วยในการออกแบบการคัดแยก ขนส่งบรรจุเกี่ยวกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะมังคุด

ปริมาตรความช้ำและพลังงานการกระทำกระแทก มีความสัมพันธ์กันเป็นลักษณะเส้นตรงดังภาพที่ 1 (a)มังคุดทั้งสองระดับมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

มังคุดสีม่วงดำ Bruise volume = 8.49 * (พลังงานการกระทำกระแทก) – 4.73

มังคุดสีชมพู Bruise volume = 5.91 * (พลังงานการกระทำกระแทก) – 9.27

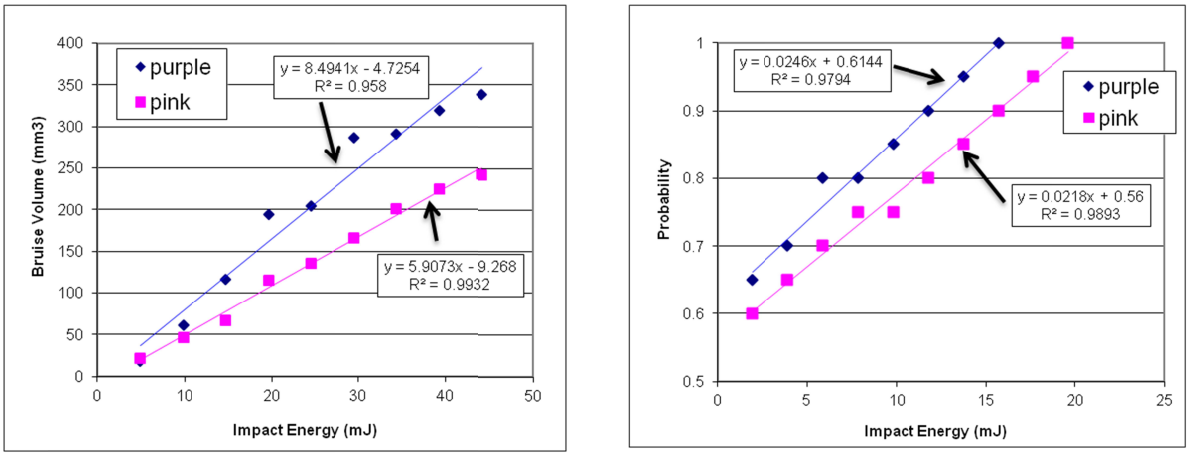
จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรความช้ำและพลังงานการกระทำกระแทก มังคุดสีม่วงดำมีความชันสูงกว่าแสดงว่ามังคุดสีม่วงดำเกิดปริมาตรความช้ำได้ง่ายกว่ามังคุดสีชมพู

Figure 1(b) แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดการช้ำ (P) และพลังงานแบบกระทำกระแทกของมังคุดทั้งสองระดับสี โดยมังคุดทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังสมการ

มังคุดสีม่วงดำ P = 0.025 * (พลังงานการกระทำกระแทก) + 0.609

มังคุดสีชมพู P = 0.022 * (พลังงานการกระทำกระแทก) + 0.560

จากความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการช้ำและพลังงานการกระทำกระแทก มังคุดสีม่วงดำมีความชันสูงกว่ามังคุดสีชมพู แสดงว่ามังคุดสีม่วงดำมีโอกาสเกิดปริมาตรความช้ำได้ง่ายกว่ามังคุดสีชมพู



a b

Figure 1 Hard rind evaluation on impacted mangosteen

a) relationship between bruise volume and impact energy (R_2=0.96)

b) relationship between probability and impact energy (R_2=0.98)

Table 1 Bruise volume and threshold energy of both maturity mangosteen after impact loading

Maturity	Bruise Volume (mm^3)	Threshold Energy (mJ)
Purple	116.3 (56.9)	15.7
Pink	115.0 (54.0)	19.6

จาก Table 1 แสดงปริมาตรความช้ำและพลังงานขีดแบ่ง (threshold energy) ของมังคุดทั้งสองระดับ จากการรับการกระทำกระแทก โดยในมังคุดสีม่วงดำมีปริมาตรความช้ำ 116.3 ลูกบาศก์มิลลิเมตรเมื่อได้รับ พลังงานขีดแบ่งที่ 15.7 มิลลิจูล และในมังคุดสีชมพูให้ค่าปริมาตรที่น้อยกว่าไม่มากนักและมีพลังงานขีดแบ่งที่มากกว่าของมังคุดสีม่วงดำคือ ปริมาตรความช้ำ 115.0 ลูกบาศก์มิลลิเมตรเมื่อได้รับพลังงานขีดแบ่ง 19.6 มิลลิจูล มังคุดสีชมพูต้องใช้พลังงานขีดแบ่งมากกว่ามังคุดสีม่วงดำเพื่อสามารถทำให้เกิดมังคุดช้ำทุกผล

ดังนั้นผลมังคุดที่ถือว่าช้ำได้ง่ายคือผลมังคุดสีม่วงดำซึ่งมีค่าพลังงานขีดแบ่ง 15.7 มิลลิจูล จึงได้ทำการนำพลังงานขีดแบ่งของผลมังคุดสีม่วงดำเมื่อรับภาระกระทำแบบกระแทกซึ่งพบได้ทั่วไป ประยุกต์ใช้กับทฤษฎีการชนของทรงกลมแบบยืดหยุ่น

สมมติผลมังคุดมีคุณลักษณะสมบัติยืดหยุ่น เมื่อหัวกระแทกขนาด 13 กรัมกระแทกกับมังคุดสีม่วงดำ เช่นเดียวกับการกระแทกของทรงกลมยืดหยุ่น 2 ลูกชนกัน จาก Table 1 ระดับพลังงานขีดแบ่งสำหรับมังคุดสีม่วงดำคือ 15.7 มิลลิจูล ซึ่งสัมพันธ์กับความสูงคือ ความสูง = พลังงาน / (มวล × ความเร่ง) ดังนั้น ความสูง = 0.0157 / (0.013 × 9.807) = 0.123 เมตร หรือ 123 มิลลิเมตร ดังนั้นความเร็วสุดท้ายก่อนกระทบจึงมีค่าความเร็ว $= \sqrt{2gh} = \sqrt{2\times 9.807\times 0.123} = 11.55$ เมตร/วินาที

เมื่อทำการพิจารณา ให้เป็นการชนกันระหว่างหัวกระแทกและมังคุด โดยหัวกระแทกหนัก 0.013 กิโลกรัม, รัศมีความโค้งของหัวกระแทก0.003 เมตร, มังคุดหนัก 0.080 กิโลกรัม, รัศมีความโค้งของมังคุด 0.025 เมตร, ค่าโมดูลัสยังของมังคุด 9,920 ปาสคาล, อัตราส่วนปัวซอง 0.25 นำไปแทนค่าในสมการที่ 1 จะได้ดังนี้

$n_1 = (0.013+0.080) / (0.013 \times 0.080) = 89.42$ kg $^{-1}$

$$n_2 = \frac{4}{3}\times\frac{9920}{1-(0.25)^2}\left[\frac{0.003\times 0.025}{0.003+0.025}\right]^1 = 730.18 \text{ kg/(s}^2\text{m}^{1/2})$$

$$D = \left[\frac{5}{4}\frac{(1.55)^2}{(730.18)(89.42)}\right]^{2/5} = 0.0184 \text{ m}$$

ในกรณีที่ผลมังคุดเกิดการชนกันเองระหว่างมังคุดด้วยกัน โดยมีขนาดผลเท่ากัน และการชนกันไม่เกิน bioyield point จึงได้สมการใหม่ดังนี้

$n_1 = 2 / m_2 = 2 / 0.080$; $n = {}_2 \frac{4}{3} \times \frac{9920}{1-(0.25)^2}\left[\frac{R_2}{2}\right]^{1/2} = 1.41\times10^4\left[\frac{0.025}{2}\right]^{1/2}$

$n_2 \cong 25$ kg -1 ; $n_2 = 1577.37$ kg/($s^2 m^{1/2}$)

จากสมการที่ 1 $D = = 0.0184\left[\frac{5}{4}\times\frac{V^2}{25\times1577.37}\right]^{2/5}$

$V \cong 1.20$ m/s

และได้ว่า h,ความสูง $= V^2 / (2 * g) = 1.20^2 / (2 * 9.807)$

$= 0.073$ เมตร หรือ 7.3 เซนติเมตร

ดังนั้นมังคุดจะต้องมีความเร็วไม่เกิน 1.20 เมตรต่อวินาที หรือ ความสูงที่มังคุดกระทบกันเองไม่ควรเกิน 7.3 เซนติเมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดรอยช้ำ หรือหลีกเลี่ยงการเกิดการเปลือกแข็งในมังคุดสีม่วงดำ

สรุปผลการทดลอง

ค่าพลังงานขีดแบ่งความเสียหายของผลมังคุดระยะสีม่วงดำซึ่งเกิดความเสียหายทุกผลในทรีนเมนท์ เมื่อได้รับภาระกระทำแบบกระแทกด้วยหัวกระแทกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งกับเครื่องกระทำแบบกระแทก ใช้ค่าพลังงานขีดแบ่ง (15.7 มิลลิจูล), น้ำหนักหัวกระแทก (13 กรัม), รัศมีความโค้งหัวกระแทก (3 มม.), ค่าโมดูลัสยังของมังคุด (9,920 ปาสคาล) และน้ำหนักค่าเฉลี่ยของมังคุด (80 กรัม) มาประยุกต์ใช้กับทฤษฎีการชนกันของทรงกลมยืดหยุ่นสองลูก ผลปรากฏว่า มังคุดจะมีค่าระยะยุบตัวสูงสุดคือ 1.8 เซนติเมตร ความเร็วขณะกระแทก 1.20 เมตรต่อวินาที และความสูงมากที่สุดเมื่อมังคุดชนกับมังคุดด้วยกันเองจนเกิดความช้ำทุกผลคือ 7.3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าความสูงที่แนะนำต่อผู้ขายหรือผู้ขนส่ง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

เอกสารอ้างอิง

บัณฑิต จริโมภาส และ อุดมศักดิ์ กิจทวี. 2547. การรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทำกระแทก. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 18(52). 19-26.

พนิดา บุษปฤกษ์ และ บัณฑิต จริโมภาส. 2549. ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวและสมบัติเชิงกลบางประการของมังคุด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37(2 พิเศษ) : 242-245.

สายชล เกตุษา และ สมศักดิ์ อตัญธี. 2548. การแข็งของเปลือกผลมังคุดหลังการตกกระทบ. วารสารราชบัณฑิตยสถาน. ปีที่ 30 (3): 632-639.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/main.php?filename=agri_production (13 สิงหาคม 2555).

Chen, P. and Z. Sun. 1981. Impact Parameters Related to Bruise Injury in Apples. American Society of Agricultural Engineer Paper No. 81-3041.

Chen, P., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 1996. Effects of impaction mass on firmness sensing of fruits. Transactions of the ASAE. 39(3): 1019-1023.

Kitthawee, U., S. Pathaveerat, T. Srirungruang and D. C. Slaughter. 2011. Mechanical bruising of young coconut. Biosystems Engineeering. 109: 211-219.

Pushpariksha, P., P. Singh, B. Jarimopas and A. Janhirun. 2006. Post-harvest Losses and Performance Comparison of Wholesale Packing of Mangosteen fruit Under Simulated Vibration. *In*: Proceedings of 15th IAPRI World conference on packing: technical session. October 3-5, Tokyo. (285-289 pp.)