การศึกษาการใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผลไม้ที่ถูกกระทำด้วยภาระการกระแทก

Study on Application of Netted Foam Covering Fruits Subjected to Impact Loading

บัณฑิต จริโมภาส[1] วสันต์ แสงนิล[2] ศุภลักษณ์ วรรณพงษ์[2]

Bundit Jarimopas[1] Wasan Saengnil[2] Supaluk Wanapong[2]

ABSTRACT

This research was to study the capability of netted foam when covering fruits and subjected to impact loading. The methodology comprised impact loading by means of ballistic pendulum against apples and guava, covered and not covered with netted foam at various incident angles (ie. 2ฝ , 5, 10, 15, 25 and 35 degree respectively). There was data collection and analysis to determine (i) input, absorbed energy and bruise volume, (ii) physical characteristics of netted foam and the fruits. Results showed that

1. When the incident angle $\theta \geq 5^{\circ}$ and with apples covered and not covered with netted foam the bruise volume V_B was directly proportional to input energy E_i and absorbed energy E_{ab} ($R^2 > 0.80$). At $\theta = 2.5^{\circ}$ V_B was not found.

2. When $\theta \geq 10^{\circ}$ and with guava covered and not covered with netted foam V_B directly varied as E_i and E_{ab} ($R^2 > 0.77$). At $\theta = 5^{\circ}$ V_B was not found.

3. Netted foam could reduce impact bruising of apples and guavas ranging from 40.84 to 39.56 and from 67.64 to 70.53%, respectively.

4. Hard netted foam could save up fruit bruising better than soft netted foam due to better absorbing E_i, resulting less energy impacting the fruits. For apples and guavas which covered with hard form showed less bruise volume than those covered with soft foam at the amount of 8-30 and 21-31% respectively.

Key words: netted foam, fruit

1 รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม
Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom

2 นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม
Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะศึกษาความสามารถของโฟมตาข่ายเมื่อถูกใช้ห่อหุ้มผลไม้ที่ถูกกระทำด้วยภาระกระแทก วิธีการศึกษาประกอบด้วย การกระทำกระแทกด้วย Ballistic Pendulum ต่อผลแอ็ปเปิ้ล และผลฝรั่งที่ห่อหุ้มและไม่ได้ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย ที่มุมตกกระทบตั้งแต่ $2\frac{1}{2}$, 5, 10, 15, 25 และ 35 องศา ตามลำดับ ได้มีการเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์หาพลังงานกระแทก พลังงานดูดกลืน และปริมาตรการช้ำ คุณลักษณะทางกายภาพของโฟมตาข่าย และผลไม้ ผลการทดลองปรากฏว่า

1. ในแอ็ปเปิ้ลที่ห่อหุ้ม และไม่ห่อหุ้มโฟมตาข่าย เมื่อมุมตกกระทบ $\theta \geq 5$ องศาปริมาตรช้ำ V_B เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานกระแทก E_i และพลังงานดูดกลืน E_{ab} ($R^2 > 0.80$) แต่ที่ $\theta = 2.5$ องศาไม่พบรอยช้ำเสียหาย

2. ในฝรั่งที่ห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย เมื่อมุม $\theta \geq 10$ องศา V_B เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ E_i และ E_{ab} ($R^2 > 0.77$) แต่ที่ $\theta = 5$ องศาไม่พบความเสียหาย

3. โฟมตาข่ายสามารถลดความช้ำเสียหายจากการกระแทกในแอ็ปเปิ้ล และฝรั่งเป็นปริมาณ 40.84-39.56 และ 67.64-65.11% ตามลำดับ

4. การใช้โฟมชนิดแข็งลดความช้ำเสียหายจากการกระแทกได้ดีกว่าโฟมชนิดอ่อน เนื่อง จากสามารถดูดกลืนพลังงานจากการกระแทกได้ดีกว่า จึงส่งผลให้มีพลังงานที่ไปกระทำกับผลไม้น้อยลง ในแอ็ปเปิ้ลและฝรั่งเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช้ำสำหรับผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมแข็งมีน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช้ำสำหรับผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมอ่อนประมาณ 8-30 และ 21-31% ตามลำดับ

คำหลัก : โฟมตาข่าย ผลไม้

คำนำ

ผลไม้เป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย สามารถผลิตออกมาจำหน่ายทั้งในและนอกประเทศทำรายได้ให้แก่เกษตรกร และประเทศเป็นจำนวนมาก การส่งออกผลไม้สดของประเทศไทย ได้มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นตลอดมา แม้ว่าปริมาณการส่งออกผลไม้สดมีความผันผวนสูงมากเนื่องจากความไม่แน่นอนของผลผลิตในแต่ละปี อย่างไรก็ตามการส่งออกผลไม้ของไทยได้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องระหว่างปี 2535-2540 มูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 62.3% ต่อปีโดยในปี 2540 มูลค่าการส่งออกสูงถึง 4,773.6 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542)

พื้นที่เพาะปลูกไม้ผลของประเทศไทยในปี 2540 เพิ่มขึ้นร้อยละ 34 จากปี 2535 โดยมีพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 8.4 ล้านไร่ สำหรับปริมาณการผลิตผลไม้ทั้งประเทศในปี 2540 ได้ผลผลิตรวม 10.6 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541) แต่เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีความบอบบาง และสามารถรับแรงที่เกิดขึ้นในระหว่างขบวนการเก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภคได้น้อย ทำให้ผลไม้บางส่วนได้รับความเสียหายซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผลไม้ขายได้ในราคาที่ไม่ดีเท่าที่ควร จากปัญหาดังกล่าวเราคงจะเห็นว่าได้มีการนำโฟมตาข่ายมาห่อหุ้มผลไม้เพื่อป้องกันการช้ำดังจะเห็นได้ตามร้านค้าและซุปเปอร์มาร์เกตต่อไป

โฟมเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำและมีความเค้นภายในตัวน้อยแปรรูปง่าย ภายในเนื้อมีรูฟองอากาศเต็มไปหมด ลักษณะทั่วไปคล้ายกับฟองน้ำธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โฟมช่วยกันการกระทบกระเทือนระหว่างการขนส่ง เนื่องจากมีความยืดหยุ่นที่ได้มาจากรูฟองอากาศภายในของโฟม

โฟมผลิตได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำถ้าผลิตจำนวนมาก โฟมเป็นฉนวนความร้อนได้ดี พลาสติกที่ใช้ทำโฟมมีทั้ง

เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซทติ้ง พลาสติกที่เหมาะที่จะนำมาทำโฟมจะต้องเป็นพลาสติกที่สามารถลดความหนาแน่นได้ เช่น โพลีสไตรีน โพลียูรีเทน ไวนีล อีพอกซี่ โพลีเอทธีลีน ซิลิโคน เซลลูโลซิด เป็นต้น แต่ที่นิยมกันมากก็คือ โพลีสไตรีน และโพลียูรีเทน คุณสมบัติทางกายภาพของโฟมจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเนื้อโฟมที่ได้จากการผลิต ถ้าโฟมมีความหนาแน่นมากแสดงว่ามีรูฟองอากาศน้อย ซึ่งจะมีผลทำให้มีความต้านทานต่อการกดกระแทกได้มากขึ้น แต่ความอ่อนนุ่มก็จะน้อยลง ส่วนโฟมที่มีความหนาแน่นน้อยแสดงว่ามีรูฟองอากาศมาก ซึ่งจะมีผลทำให้มีความต้านทานต่อการกดกระแทกได้น้อย แต่ก็จะได้ความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น

โฟมตาข่ายเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ช่วยป้องกันแรงกระแทกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับผลไม้ซึ่งได้รับการพัฒนาจากของเดิมที่ใช้กระดาษ และฟางในการป้องกันแรงกระแทกต่าง ๆ โฟมตาข่ายจะสามารถป้องกันแรงกระแทกได้ดีกว่า เนื่องจากโฟมตาข่ายจะห่อหุ้มแนบแน่นและครอบคลุมกว่ากระดาษและฟาง กระดาษและฟางที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จะกระจุยกระจาย ซึ่งโฟมตาข่ายไม่มีปัญหานี้ และโฟมตาข่ายยังเป็นตัวช่วยดึงดูดความสนใจจาก ผู้บริโภคได้ดีกว่าด้วยเนื่องจากผู้บริโภคจะมีทัศนะคติที่ว่าผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายต้องเป็นผลไม้ที่ได้รับการคัดเลือกมาอย่างดีแล้วรวมถึงสามารถหยิบได้ทั้งโฟมตาข่ายที่ห่อหุ้มผลไม้ใส่ถุง ซึ่งโฟมตาข่ายก็ยังทำหน้าที่ป้องกันการกระแทกระหว่างจุดซื้อจนถึงเวลาผู้บริโภคจะนำมารับประทาน

การใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มากเมื่อคิดเทียบกับราคาผลไม้ ผลประโยชน์ที่ได้รับและผลทางด้านจิตวิทยา เมื่อเป็นเช่นนี้การใช้โฟมตาข่ายจึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นทุกปี อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึงความสามารถในการป้องกันความเสียหายของโฟมตาข่ายต่อผลไม้ในประเทศไทยในเชิงปริมาณแลย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสามารถของโฟมตาข่ายเมื่อถูกใช้ห่อหุ้มผลไม้ที่ถูกกระทำด้วยภาระกระแทก

การทดลอง

อุปกรณ์และวัสดุ

1. เครื่องทดสอบการกระแทก (Ballistic Pendulum)
2. เวอร์เนียรคาลิเปอร์
3. มีดบาง
4. น้ำมันพืช
5. ลูกเทนนิสใหม่
6. ปากกาถาวร (Permanent pen)
7. ผลไม้ที่ใช้ทดสอบ ได้แก่
   - ผลแอ็ปเปิ้ลพันธุ์สาลี่ 24 ผล
   - ผลแอ็ปเปิ้ลสวมใส่โฟมตาข่าย พันธุ์สาลี่ 24 ผล
   - ผลฝรั่งพันธุ์สาลี 20 ผล
   - ผลฝรั่งสวมใส่โฟมตาข่าย พันธุ์สาลี่ 20 ผล

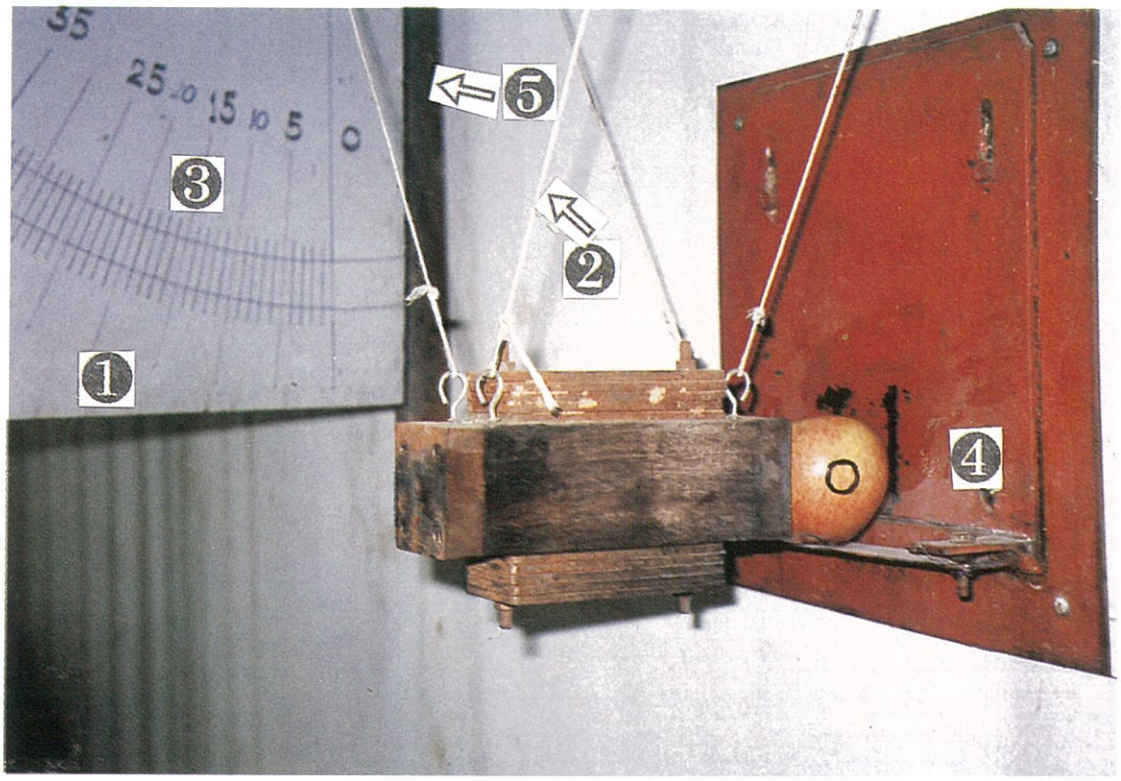


Fig 1. Impact test set-up (Ballistic Pendulum)

Pendulum's components :

1. 380.2 gm. weight
2. 56.5 cm. long string
3. angle measuring scale
4. fruit platform
5. steel structure

วิธีการทดสอบ

1. วางผลแอ็ปเปิ้ลที่เครื่องทดสอบการกระแทกที่ที่ตั้ง sample โดยให้จุดศูนย์กลางของผลไม้อยู่ตรงกึ่งกลางตุ้มน้ำหนัก(ระนาบราบ และระนาบตั้งฉากกับฝาผนัง)

2. เลื่อนแผ่นวัดมุมของชุดทดสอบ ให้มุม 0 องศาของลูกตุ้มน้ำหนักอยู่ตรงแนวสัมผัสระหว่างผลไม้และตุ้มน้ำหนักทั้งนี้เนื่องจากผลไม้ที่ถูกนำมาทดสอบมีขนาดไม่เท่ากันพอดี

3. ทาน้ำมันพืชที่บริเวณผิวหน้าของตุ้มน้ำหนักและแผ่นเหล็กด้านหลังผลไม้เพียงพอที่จะทำให้เกิดคราบน้ำมันพิมพ์บนผิวผลไม้ได้เมื่อเกิดการกระแทก

4. ใช้มือจับลูกตุ้มน้ำหนักให้เคลื่อนที่ไปยังมุม 5 องศา บันทึกมุมตกกระทบแล้วปล่อยให้ตุ้มน้ำหนักไปกระแทกผลไม้ บันทึกมุมที่ตุ้มน้ำหนักสะท้อนกลับมามากที่สุดก่อนการกระแทก ผลไม้อีกครั้งและหยุดลูกตุ้มไว้

5. นำผลไม้มาวางบนโต๊ะ สังเกตและวาดขอบของรอยพิมพ์น้ำมัน เนื่องจากการกระทบบนผิวผลไม้

6. ผ่าผลไม้ให้ผ่านกลางจุดที่ถูกกระแทก สังเกตและวัดความลึกสูงสุด และความกว้างของรอยช้ำตาม Fig. 2 และบันทึกข้อมูลการทดลอง

7. ทำการทดสอบซ้ำตามขั้นตอน 1-6 กับผลแอ็ปเปิ้ลอีก 3 ผล

8. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอน 1-7 กับแอ็ปเปิ้ลที่เหลือ 20 ผล ที่มุมตกกระทบ 2 ½, 5, 10, 15, 25 และ

35 องศา มุมละ 4 ผล

9. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอน 1-8 กับผลแอ็ปเปิ้ลสวมใส่โฟมตาข่าย ในกรณีผลไม้ที่ถูกห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายการพิมพ์รอยน้ำมันบนผิวสัมผัสทำได้ยาก ใช้วิธีเล็งจุดศูนย์กลางของตุ้มน้ำหนักผลไม้และความสมมาตรแล้วใช้ปากกาถาวรทำเครื่องหมายตอนบนของผิวผลไม้ ผ่าผลไม้ดูรอยช้ำหลังการกระแทกได้

10. ทำการทดสอบซ้ำกับขั้นตอน 1-9 กับฝรั่ง (ยกเว้นมุมตกกระทบ 2.5 องศา) เนื่องจากฝรั่งไม่มีรอยช้าตั้งแต่มุมตกกระทบที่ 5 องศา

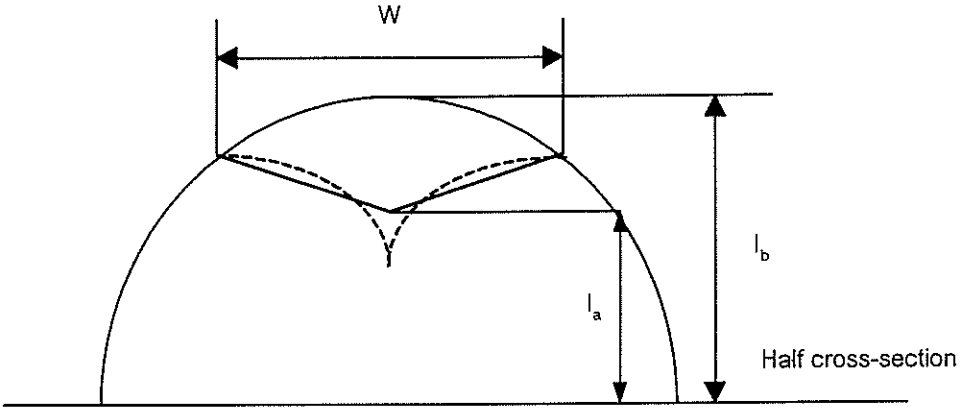


Fig 2. Identification of half cross-sectional fruit after impact

W = Bruise width

$D = (I_b - I_a)$ = Bruise depth

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินตัวแปร

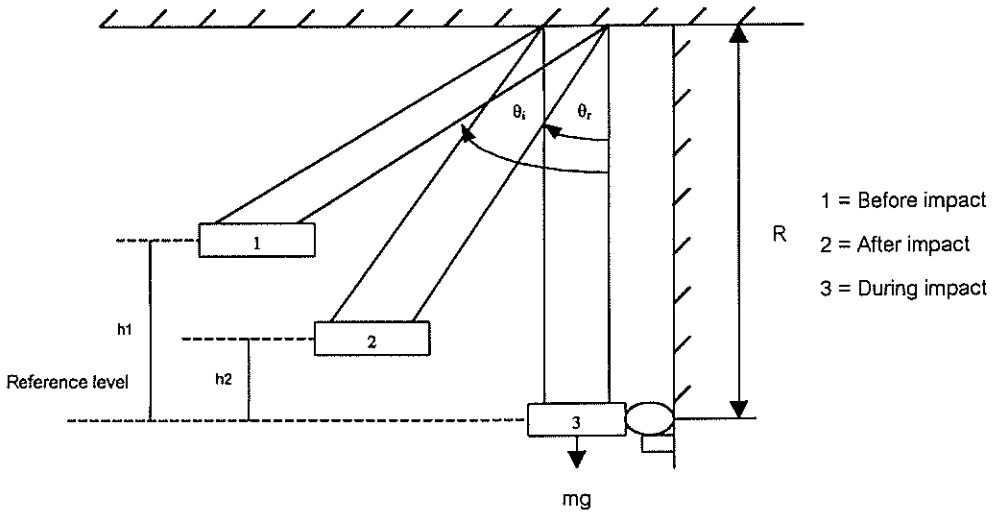


Fig 3. Symbols of impact testing

m = มวลของตุ้มน้ำหนัก

R = ความยาวเชือก

h_1 = ความสูงของตุ้มน้ำหนักก่อนปล่อย

h_2 = ความสูงของตุ้มน้ำหนักเมื่อสะท้านกลับสูงสุด

θ_I = มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งก่อนการปล่อย (มุมตกกระทบ)

θ_r = มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด (มุมสะท้อน)

พลังงานที่ให้ (Input energy) หรือพลังงานกระแทก (Impact energy)

$= mgh_1 = mgR\ (1-Cos\theta_i)$

พลังงานที่คืนกลับ (Recovery energy) $= mgh_2 = mgR\ (1-Cos\theta_r)$

พลังงานดูดกลืน (Absorbed energy) = Input energy-Recovery energy

$= mgh_1 - mgh_2 = mgR(1-Cos\theta_i) - mgR\ (1-Cos\theta_r)$

$= mgR\ (Cos\theta_r - Cos\theta_i)$

ปริมาตรรอยช้ำ (Bruise volume) $= (\pi/6)*W^2D$ (Chen and Sun, 1981)

ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะทางกายภาพของผลไม้ที่ถูกนำมาทดสอบ

การวิเคราะห์ทางสถิติกับข้อมูลดิบลักษณะทางกายภาพของผลไม้ที่ถูกนำมาทดสอบใน Table 1 ทำให้ได้ว่า

- แอ็ปเปิ้ลในกลุ่มที่ไม่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 197.5 กรัม (g)และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation ; CV) ของน้ำหนัก 3.9% เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 74.8 มิลลิเมตร (mm) และ CV ของเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.4% ความสูงเฉลี่ย 72.9 มิลลิเมตร (mm) และ CV ของความสูง 5.9%

- แอ็ปเปิ้ลในกลุ่มที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 202.7 กรัม (g) (CV= 7.4%) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 77.1 มิลลิเมตร (mm) (CV = 7.1%) ความสูงเฉลี่ย 72.8 มิลลิเมตร (mm) (CV = 6.5%)

- ฝรั่งในกลุ่มที่ไม่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 299.8 กรัม (g) (CV = 6.1%) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 80.8 มิลลิเมตร (mm) (CV = 5.8%) ความสูงเฉลี่ย 81.8 มิลลิเตร (mm) (CV = 6.3%)

- ฝรั่งในกลุ่มที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 298.9 กรัม (g) (CV = 4.3%) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 80.5 มิลลิเมตร (mm) (CV = 4.1%) ความสูงเฉลี่ย 84.4 มิลลิเมตร (mm) (CV = 8.4%)

Table 1 Physical characteristics of tested apples and guavas (20 replications)

List	Weight (g.)	Average diameter (mm.)	Average height (mm.)
Apple without foam	197.5 (3.9)	74.6(3.4)	72.9 (5.9)
Apple with foam	202.7 (7.4)	77.1(7.1)	72.8 (6.5)
Guava without foam	299.8 (6.1)	80.8(5.8)	81.8 (6.3)
Guava with foam	298.9 (4.3)	80.5(4.1)	84.3 (8.4)

Remarks: The mumber in the bracket show the Coefficient of variation = mean/standard deviation

2. ลักษณะทางกายภาพของโฟมตาข่าย

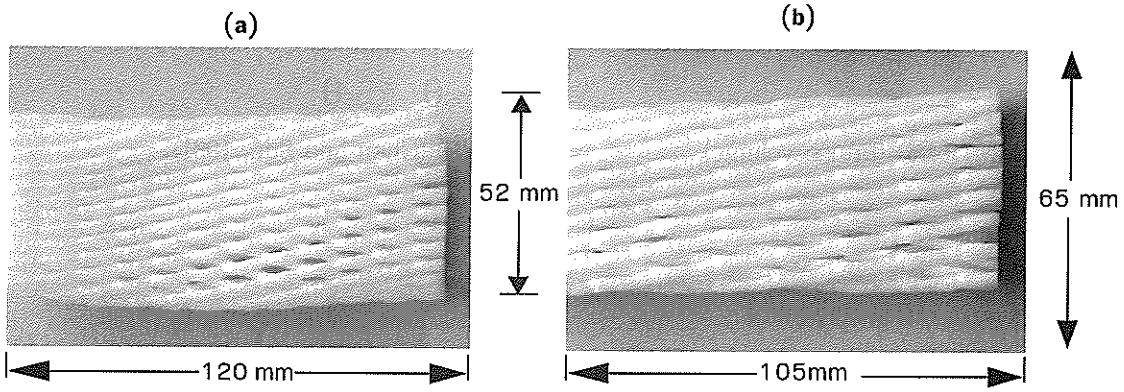


Fig 4. Netted foam appearance
(a = soft foam; b = hard foam)

โฟมตาข่ายที่ใช้ทดสอบมี 2 ชนิด

2.1โฟมตาข่ายชนิดนิ่มจะมีลักษณะเป็นเส้นโฟมความหนาแน่นต่ำเนื่องจากมีรูฟองอากาศมากกว่าถักไขว้กันแบบสลับฟันปลาเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นโฟมโดยเฉลี่ย 4 mm กว้าง 52 mm ยาว 120 mm (Fig.4a)

2.2 โฟมตาข่ายชนิดแข็งจะมีลักษณะเป็นโฟมความหนาแน่นสูง เนื่องจากมีฟองอากาศต่ำกว่าถักไขว้กันแบบสลับฟันปลาเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นโฟมโดยเฉลี่ย 3.5 mm กว้าง 65 mm ยาว 105 mm (Fig.4b)

การสวมใส่โฟมตาข่ายชนิดนิ่ม จะสวมใส่ง่ายกว่าโฟมตาข่ายชนิดแข็ง เนื่องจากมีความคงรูปน้อยกว่าโฟมชนิดแข็ง

วิธีการใส่โฟมห่อหุ้มผลไม้มีอยู่ 2 วิธีหลัก ๆ

- ใช้ปลายนิ้วทั้งหมดสอดเข้าไปข้างในโฟมตาข่ายแล้วกางนิ้วออกนำผลไม้สอดใส่แล้วดึงมือออก
- เอาโฟมมาขยายให้มีรูตรงกลาง จากนั้นก็เอาผลไม้สอดใส่แล้วค่อยดึงโฟมเข้าหาผลไม้จนครอบคลุม

ถ้าโฟมตาข่ายเป็นแบบชนิดที่มีปลายข้างหนึ่งกว้างกว่าก็จะเอาปลายด้านที่กว้างกว่าเป็นช่องทางเริ่มต้นของการสวมใส่ผลไม้

3. รอยช้ำของผลแอ็ปเปิ้ลหลังการทดสอบ

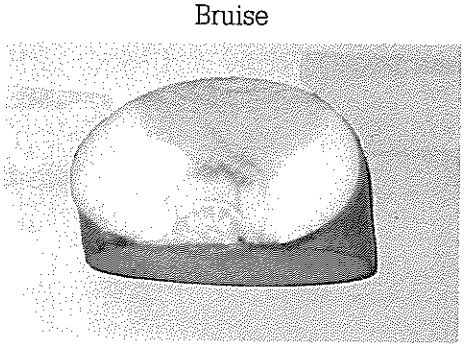


Fig. 5 Apple bruise after impact test

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง V_B กับ E_i และ E_{ab}

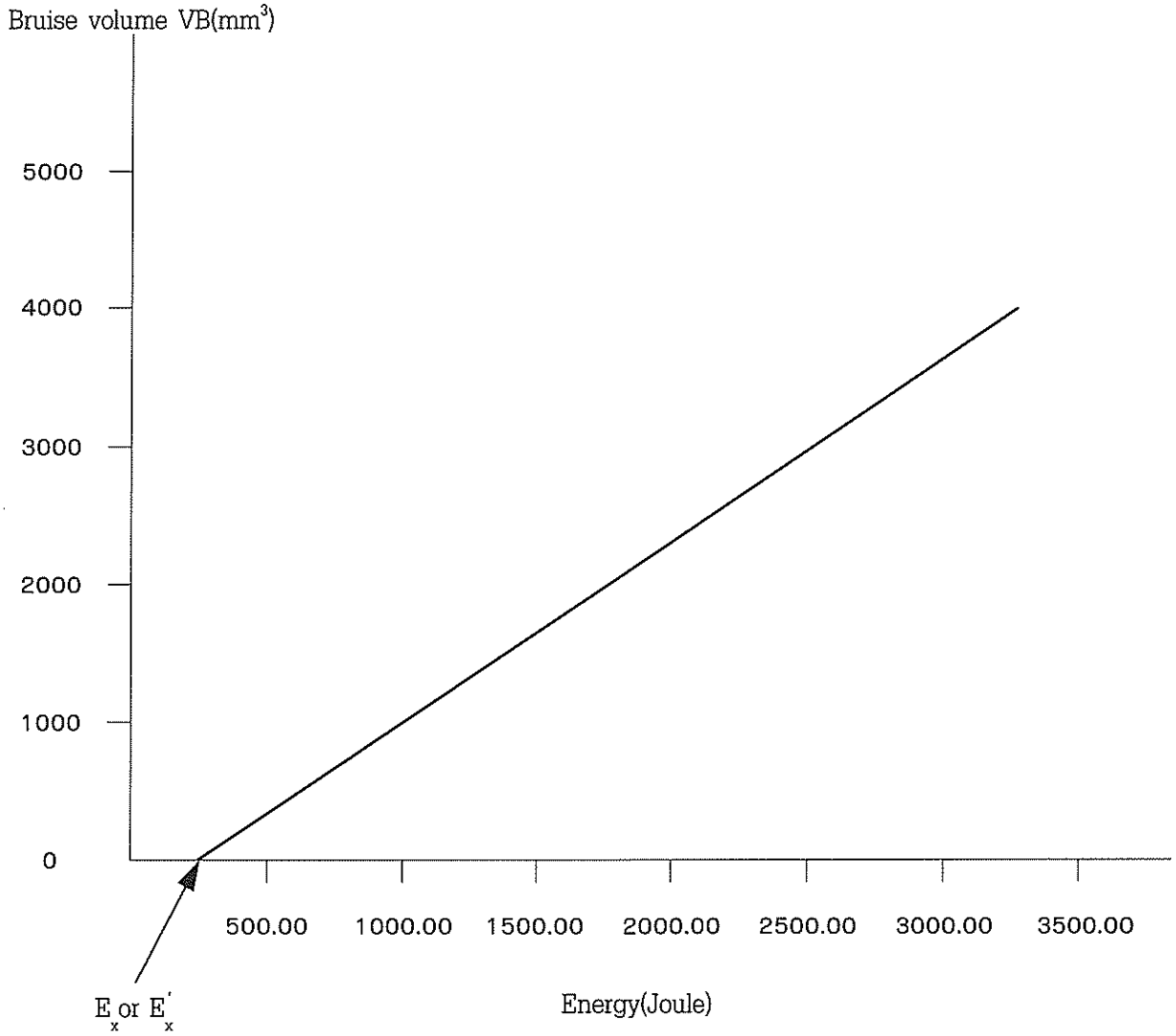
Fig.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรอยช้ำ V_B กับพลังงาน พลังงานกระแทกE_iหรือพลังงานถูกกลืน E_{ab} ของผลไม้ที่ถูกนำมาทดลองทั้งแบบห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย เมื่อพลังงานกระแทกหรือพลังงานทั้งหมดที่ให้กับผลไม้เมื่อเกิดการกระแทก $(E_i) < E_x$ (พลังงานที่เริ่มทำให้เกิดรอยช้ำ) ผลไม้ยังไม่เกิดชีวคลาก (Bioyielding) และเกิดการช้ำ $V_B = 0$ แต่เมื่อการกระแทกรุนแรงขึ้นเมื่อมุม θ โตขึ้น $E_i \geq E_x$ ผลไม้เกิดชีวคลาก และเกิดการช้ำ V_B เกิดและแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ E_i สำหรับ E_{ab} ก็เช่นเดียวกันเมื่อ E_i กระทำผลไม้น้อย E_{ab} ที่ผลไม้ดูดกลืนเอาไว้ก็น้อย ซึ่งเป็น $E_{ab} < E'_x$ (พลังงานที่เริ่มทำให้เกิดรอยช้ำสำหรับ E_{ab}) ผลไม้ยังไม่เกิดชีวคลาก V_B ยังไม่มี เมื่อการกระแทกรุนแรงขึ้น และผลไม้ต้องดูดกลืนพลังงานมากขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปมากขึ้น และช้ำ $(E_{ab} > E'_x)$ V_B แปรผันเป็น สัดส่วนโดยตรงกับ E_{ab} สมการความสัมพันธ์ในผลไม้ทั้งสองสรุปได้ดังนี้

$$VB = mE \pm n$$

โดยค่าคงที่ m, n และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (Coefficient of Determination, R^2) แสดงไว้ใน Table 2

Table 2. Constants of equation V_B against energy (A = apple; G = guava)

Fruit	With foam	Without foam	Equation	Note
A		✔	$V_B = 1.84E_i - 1.60$ ($R^2 = 0.95$)	
A		✔	$V_B = 2.34E_{ab} + 85.47$ ($R^2 = 0.95$)	$\theta = 2.5°$, $V_B = 0$
A	✔		$V_B = 0.92E_i - 319.59$ ($R^2 = 0.81$)	$\theta \geq 5°$
A	✔		$V_B = 1.21E_{ab} - 326.61$ ($R^2 = 0.86$)	
G		✔	$V_B = 0.75E_i - 102.76$ ($R^2 = 0.97$)	
G		✔	$V_B = 0.95E_{ab} - 81.83$ ($R^2 = 0.96$)	$\theta \geq 10°$
G	✔		$V_B = 0.21E_i - 55.49$ ($R^2 = 0.77$)	$\theta = 5, V_B = 0$
G	✔		$V_B = 0.28E_{ab} - 70.21$ ($R^2 = 0.85$)	



E_x or E_x' implied energy threshold causing fruit bruising (E_x of E_i differed from E_x' of E_{ab})

Apple without foam	$*V_B = 1.84E_i - 1.60$ ($R^2 = 0.95$)
	$*V_B = 2.34E_{ab} + 85.47$ ($R^2 = 0.95$)
Apple with foam	$*V_B = 0.92E_i - 319.59$ ($R^2 = 0.81$)
	$*V_B = 1.21E_{ab} - 326.61$ ($R^2 = 0.86$)
Guava without foam	$*V_B = 0.75E_i - 102.76$ ($R^2 = 0.97$)
	$*V_B = 0.95E_{ab} - 81.83$ ($R^2 = 0.96$)
Guava with foam	$*V_B = 0.21E_i - 55.49$ ($R^2 = 0.77$)
	$*V_B = 0.28E_{ab} - 70.21$ ($R^2 = 0.85$)

Fig 6. Graph showing relationship between energy and bruise volume

Table 3 เปรียบเทียบอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรช้ำต่อการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน (ความลาดเอียงของกราฟใน Fig 6) ปรากฏว่าสำหรับผลแอ็ปเปิ้ลที่ใส่โฟมตาข่ายและไม่ใส่โฟมตาข่ายจะเกิดรอยช้ำเป็นปริมาตร 0.92 และ 1.84 mm^3/J. เนื่องจากพลังงานกระแทก ($\Delta V_B / \Delta E_i$) เมื่อพิจารณาพลังงานดูดกลืน ผลแอ็ปเปิ้ลที่ใส่โฟมตาข่ายและไม่ใส่โฟมตาข่ายจะเกิดรอยช้ำเป็นปริมาตร 1.20 และ 2.34 mm^3/J. ($\Delta V_B / \Delta E_{ab}$) ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าโฟมตาข่ายสามารถลดความเสียหายจากการกระแทกเท่า ๆ กันได้ 50% เนื่องจากพลังงานกระแทก และ 48.72% เนื่องจากพลังงานดูดกลืน ตามลำดับ

Table 3. Comparison of differential change of bruise volume to differential change of energy

List	Differential change of bruise volume to differential change of energy (mm^3/J)	
	$\Delta V_B / \Delta E_i$	$\Delta V_B / \Delta E_{ab}$
Apple with foam	0.92	1.20
Apple without foam	1.84	2.34
Guava with foam	0.21	0.28
Guava without foam	0.75	0.95

ซึ่งพอจะอนุมานได้ว่า เมื่อเกิดการกระแทกโฟมจะถูกกระแทกก่อนและจะดูดกลืนพลังงานไว้บางส่วนและปล่อยให้พลังงานส่วนที่เหลือถ่ายทอดไปกระทำต่อผลไม้ที่มันห่อหุ้มอยู่ ซึ่งส่งผลให้ความช้ำเสียหายในผลไม้นั้นลดลง

ปรากฏการณ์ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นกับผลแอ็ปเปิ้ล ได้เกิดกับผลฝรั่งคล้ายกันกล่าวคือ โฟมตาข่ายสามารถลดความเสียหายจากการกระแทกเท่า ๆ กันได้เป็น 72% เนื่องจากพลังงานกระแทก และ 70.53% เนื่องจากพลังงานดูดกลืนตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลฝรั่งที่ไม่ได้ห่อหุ้มโฟมตาข่าย

Table4 แสดงการเปรียบเทียบการป้องกันการช้ำของผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายกับที่ไม่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายที่มุมต่าง ๆ ที่เท่ากัน โดยปรากฏว่าที่มุมตกกระทบเดียวกันพลังงานกระแทกเดียวกันปริมาตรช้ำของผลไม้ที่ถูกกระแทกปรากฏน้อยกว่าในผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมชนิดแข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรช้ำที่พบในผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมชนิดอ่อน ในแอ็ปเปิ้ลและฝรั่งเปอร์เซ็นต์ความช้ำของผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมแข็งมีน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ความช้ำของผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมอ่อนเป็นประมาณ 5-25 และ 12-23% ตามลำดับ อนุมานได้ว่าโฟมชนิดแข็งสามารถดูดกลืนพลังงานกระแทกไว้ได้มากกว่าโฟมชนิดอ่อนทำให้พลังงานที่เหลือที่ถูกถ่ายทอดไปกระทำต่อผลไม้มีน้อยกว่า ผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมชนิดอ่อนจึงเสียหายน้อยกว่า

Table 4. Comparison of bruise volume of tested fruits with foam with that without foam at certain incidence angle

Incidence angle	Bruise volume (mm^3)											
	Apple						Guava					
(θ)	Without foam (V_b)	With soft foam (V_{bs})	With hard foam (V_{bh})	V_{bs}/V_b (%)	V_{bh}/V_b (%)	% difference	Without foam (V_b)	With soft foam (V_{bs})	With hard foam (V_{bh})	V_{bs}/V_b (%)	V_{bh}/V_b (%)	% difference
2.5	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	88.3	5.3	0.7	6.0	0.80	5.2	0	0	0	-	-	-
10	580.5	54.6	11.2	9.4	1.9	7.5	135.4	21.2	3.9	15.6	2.9	12.8
15	1,542.3	211.0	89.8	13.7	5.8	7.9	430.5	82.1	14.3	19.1	3.3	15.8
25	3,451.8	792.2	395.9	23.0	11.5	11.5	1,412.5	532.9	202.0	37.7	14.3	23.4
35	7,054.2	4,587.1	2,803.3	65.0	39.7	25.3	2,875.2	1,050.5	469.4	36.5	16.3	20.2

สรุป

ได้ทดสอบกระแทกผลแอ็ปเปิ้ล และผลฝรั่งที่ห่อหุ้มและไม่ได้ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายด้วย Ballistic Pendulum ที่มุมตกกระทบตั้งแต่ 2.5-35 องศา และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานกระแทก พลังงานดูดกลืน และปริมาณการช้ำ คุณลักษณะทางกายภาพของโฟมตาข่าย และผลไม้ ผลการทดลองปรากฏว่า

1. ในแอ็ปเปิ้ลที่ห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มโฟมตาข่าย เมื่อมุมตกกระทบ $\theta \geq 5$ องศาปริมาตรช้ำ V_B เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานกระแทก E_i และพลังงานดูดกลืน E_{ab} (R^2>0.81) แต่ที่ θ =2.5 องศาไม่พบรอยช้ำเสียหาย

2. ในฝรั่งที่ห่อหุ้ม และไม่ห่อหุ้มโฟมตาข่ายเมื่อมุม $\theta \geq 10$ องศา V_B เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ E_i และ E_{ab} ($R^2 > 0.77$) แต่ที่ $\theta = 5$ องศาไม่พบความเสียหาย

3. โฟมตาข่ายสามารถลดความช้ำเสียหายจากการกระแทกในแอ็ปเปิ้ลเป็นปริมาณ 50% เมื่อคำนวณจากพลังงานกระแทก หรือ 48.72% เมื่อคำนวณจากพลังงานดูดกลืน และในฝรั่งสามารถลดความช้ำเสียหายจากการกระแทกเป็นปริมาณ 72% เมื่อคำนวณจากพลังงานกระแทก หรือ 70.53% เมื่อคำนวณจากพลังงานดูดกลืน

4. การใช้โฟมชนิดแข็งลดความช้ำเสียหายจากการกระแทกได้ดีกว่าโฟมชนิดอ่อน เนื่องจากความสามารถดูดกลืนพลังงานจากการกระแทกได้ดีกว่า จึงส่งผลให้มีพลังงานที่ไปกระทำกับผลไม้น้อยลงในแอ็ปเปิ้ลและฝรั่ง เปอร์เซ็นต์ปริมาตรช้ำสำหรับผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมแข็งมีน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช้ำสำหรับผลไม้ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมอ่อนประมาณ 5-25 และ 12-23% ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2542. สถิติการค้าสินค้าเกษตรกรรมไทยกับต่างประเทศปี 2540. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. เอกสารเลขที่ 4/2542. 275 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2541. สถิติการเกษตรของประเทศปีเพาะปลูก2539/40. ศูนย์สารสนเทศการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เอกสารเลขที่ 18/2541. 309 หน้า.

Chen, P. and Z. Sun. 1981. Impact parameters related to injury in apples. ASAE Paper No. 81-3041 ASAE, St. Joseph, MI 49085. 13 p.