

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความต้านทานการกลิ้งของผลไม้บางชนิด

Coefficient of Friction and Rolling Resistance of Selected Fruits

บัณฑิต จริโมภาส^{1/}

ธีระวัฒน์ หนูนาค^{2/}

กฤษณ์ สรรพอาษา^{2/}

Bundit Jarimopas

Teerawat Nunak

Krit Suppaasa

ABSTRACT

This study was to determine coefficient of friction (f) and rolling resistance (R) of selected fruits. Methodology comprised f and R determining device which was rectangular box 360 mm wide by 500 mm long by 55 mm high. Top side was inclined and variable as different slope angles. Its surface was changeable for 3 various surfaces, ie. plywood, zinc and plastic. Seven varieties of fruits (Red Delicious and Granny Smith apples; Sali guava; Tangerine, Chaeng and Freemont mandarin; Pan lime), 5 fruits each, were used as samples of experiment. Results showed f of all fruits on plywood was lower than that on zinc and plastics. Static coefficient of friction was higher than dynamic coefficient of friction of the same fruit, f of apples complies with that of previous researches. Basic information of f and R of those fruits was summarized in this paper.

Key words: friction, rolling resistance, fruit

บทคัดย่อ

งานการศึกษานี้เพื่อหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน f และความต้านทานการกลิ้ง R ของผลไม้ วิธีการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์หา f และ R ซึ่งเป็นกล่องโลหะสี่เหลี่ยมขนาดกว้างxยาวxสูง 360x500x55 มม. ด้านบนเป็นพื้นเอียงปรับความลาดเอียงและปรับเปลี่ยนพื้นผิวสัมผัสได้ ผลไม้ 7 ชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ลพันธุ์ Red Delicious และ Granny Smith ฝรั่งพันธุ์สาลี สัมพันธุ์เขียวหวาน เช้ง ฟ्रीมอนด์ มะนาวพันธุ์แป้น ชนิดละ 5 ขั้ว พื้นผิวสัมผัส 3 ประเภท คือ ไม้อัด สังกะสี และพลาสติก ผลการทดลองปรากฏว่า ค่า f ของผลไม้ทุกชนิดกับผิวไม้อัด มีค่าต่ำกว่าค่า f บนผิวสังกะสี และพลาสติก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมากกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานพลวัต ค่า f ของ

1/ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Assoc. Prof., Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom province 73140

2/ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom province 73140

ผลแอปเปิ้ลที่ได้สอดคล้องกับรายงานก่อนของนักวิจัยต่างประเทศ ข้อมูลพื้นฐานโดยละเอียดของ f และ R สรุปอยู่ในบทความนี้

คำหลัก: ความเสียดทาน ความต้านทานการกลิ้ง ผลไม้

คำนำ

ความเสียดทานเป็นตัวแปรเชิงกลที่สำคัญตัวหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการใช้งานเครื่องจักรกลขนถ่ายผักและผลไม้ ความเสียดทานที่เกิดขึ้นอาจอยู่ในลักษณะของแรงที่กระทำต่อวัสดุที่เคลื่อนที่ เราสามารถนำค่าของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายเพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ (ปานมนัสและคณะ, 2538) ถ้าวัสดุวางอยู่บนพื้นโดยมีแรงกดลงบนพื้นที่เท่ากับน้ำหนักของตัววัสดุเอง W และมีแรงจุด P ในทิศทางที่

ตั้งฉากกับน้ำหนักของวัสดุ (Figure 1(a)) จะเกิดแรงเสียดทาน F ที่ผิวทั้งสองของวัสดุกับพื้นเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่แรงต้านที่เกิดขึ้น ขณะวัสดุเริ่มเคลื่อนที่นี้เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต เมื่อวัสดุเคลื่อนที่ แรงเสียดทานจะมีค่าลดลง ทำให้แรงจุดวัตถุมีค่าลดลงด้วยแรงต้านที่เกิดขึ้น ขณะวัสดุเคลื่อนที่เรียกว่า แรงเสียดทานเคลื่อนที่ (ปานมนัสและคณะ, 2538) หรือแรงเสียดทานพลวัต ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสามารถหาได้โดยวางวัตถุบนพื้นเอียงและปรับมุมของพื้นเอียงจนวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ (Figure 1(b)) f_s จะมีค่ามากกว่า f_k ซึ่ง f มีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ปัจจัยที่มีผลต่อ f คือ ความเร็วในการเลื่อนไหล น้ำหนักของผลไม้ ความชื้น สภาพแวดล้อม และสภาพพื้นผิวของอุปกรณ์ที่สัมผัสกับผลไม้ (Mohsenin, 1980)

ความต้านทานการกลิ้ง (rolling resistance) ของผลไม้เกี่ยวข้องกับการคัดแยก

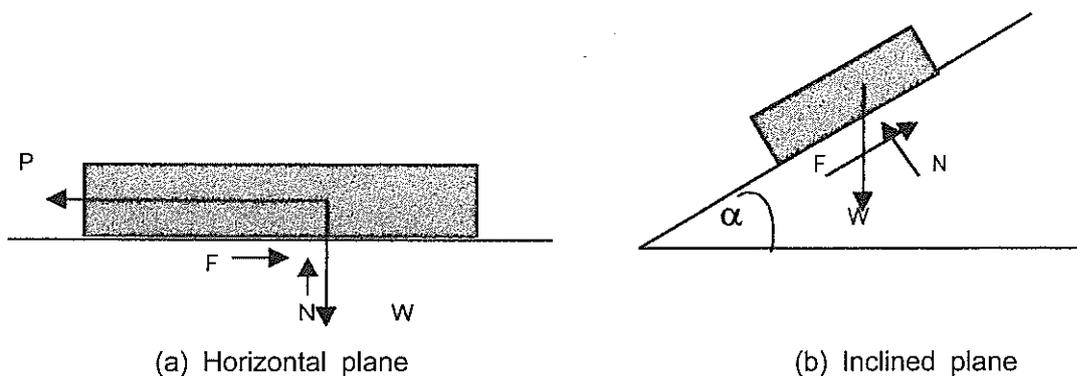


Figure 1 Normal force N and friction force F acting against an object on different planes

Inclined plane condition

$$N = \frac{F}{f} = W \cos\alpha \quad \text{when } f = \text{Coefficient of friction}$$

N = Normal force
 F = Friction force

$$f = \frac{F}{W \cos\alpha} = \frac{W \sin\alpha}{W \cos\alpha} \quad (\text{when } F = W \sin\alpha)$$

$$= \tan\alpha$$

และขนถ่ายโดยวิธีแรงโน้มถ่วง เช่น การขนถ่าย ผักและผลไม้ โดยเฉพาะวัสดุที่เป็นทรงกลม เช่น การขนถ่ายผักและผลไม้ให้ไหลไปตามราง มุมเอียงที่จะทำให้วัสดุกลิ้งไปได้จะต้องมากพอที่จะเอาชนะแรงต้านการกลิ้ง การกลิ้งของผลไม้ อาจมีความยุ่งยากบ้างเนื่องจากรูปร่างวัสดุ อาจเบี้ยวไม่เป็นทรงกลม (ปานมนัสและคณะ, 2538) มุมเอียงของการกลิ้งสถิต (static rolling angles) เป็นมุมเอียงเริ่มต้นของการกลิ้งและลดลงเมื่อการกลิ้งดำเนินไปด้วยความเร็วคงที่ ซึ่ง

มุมนี้เรียกว่า มุมเอียงการกลิ้งพลวัต (dynamic rolling angles) การหามุมเอียงของการกลิ้งทำได้ โดยการนำวัสดุมาวางบนพื้นเอียงและค่อยปรับพื้นเอียง และค่อยปรับพื้นเอียง จนกระทั่งวัตถุเริ่มกลิ้งลงมาใน Table 1 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความต้านทานการกลิ้งของผลแอปเปิ้ล (Cooper, 1962)

Chen และ Squire (1971) ได้ศึกษาถึงสาเหตุและความสำคัญของความเสียหายเนื่องจากการชูดขีดบนผลส้ม พบว่า ระดับความ

Table 1. Coefficient of friction and rolling resistance (maximum stability angle in rolling for fruits and vegetables)

Surface	Coefficient of friction		Rolling resistance (degree)	
	Static(f_s)	Dynamic(f_k)	Static	Dynamic
Plywood	0.32-0.44	0.24-0.33	12-18	2.5-4.5
Galvanized steel	0.38-0.46	0.28-0.36	13-18	2.4-4.0
Rigid foam	0.34-0.44	0.28-0.38	13-18	2.5-4.0
Soft foam	0.72-0.93	0.55-0.75	11-16	4.0-5.0
Canvas	0.36-0.44	0.25-0.36	12-16	4.0-5.0

เสียหายเนื่องจากการชูดขีดบนผลส้มขึ้นกับความขรุขระของพื้นผิวของอุปกรณ์ น้ำหนักของผลส้มที่ตกลงบนพื้นผิวของแผ่นอุปกรณ์ ในแนวตั้งฉาก ระยะทางที่ผลส้มลื่นไถล และปริมาณของน้ำมันและไขที่สะสมบนพื้นผิวของแผ่นอุปกรณ์ Vairis(1997) ได้ทดลองหาพฤติกรรมการเสียดทานของวัสดุต่างๆ ภายใต้สภาพการลื่นไถลในภาวะที่กำหนด พบว่า อุณหภูมิและความเค้นจากแรงปกติ มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนเหล็ก แต่ไม่มี

ผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนไททาเนียมอัลลอย (titanium alloy) ความเร็วของวัสดุที่กลิ้ง มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนเหล็ก Shinnors และคณะ (1991) ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอัลฟิลฟา โดยพิจารณาชนิดของพื้นผิวของอุปกรณ์ ความเร็ว แรงดันปกติ ความชื้นและอัตราการหล่อลื่นด้วยน้ำ พบว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับเหล็กเงา เหล็กเคลือบด้วยแก้ว โพลีเอททิลีน เหล็กเคลือบสนิม

เทฟลอน เท่ากับ 0.529, 0.490, 0.416, 0.402 และ 0.375 ตามลำดับ ปัจจัยเนื่องจากแรงดันปกติในช่วง 37-207 kPa และความเร็วในช่วง 16.7-38.1 m/s ไม่มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญกับสัมประสิทธิ์ความเสียหายของอัลฟิลฟา

สัมประสิทธิ์ความเสียหาย และแรงต้านการกลิ้ง เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุเกษตร สมบัติเหล่านี้ของผักและผลไม้ไทย ยังไม่เคยมีการศึกษาและเผยแพร่กันเลย งานวิจัยนี้จึงมุ่งไปสู่ การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายและความต้านทานการกลิ้งของผลไม้ในประเทศไทยบางชนิด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 0-300 กรัม (ยี่ห้อ Precisa รุ่น 6200 sces) เวอร์เนีย คาลิเปอร์ เครื่องมือวัดหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายและความต้านทานการกลิ้งของผลไม้ (Figure 2) เครื่องมือวัดมีลักษณะเป็นกล่องมีมิติ กว้างxยาวxสูง 360x 500 x55 มม. มีพื้นเอียงปรับความสูงต่ำได้อย่างต่อเนื่องและสามารถอ่านมุมเอียงเป็นองศาจากสเกลได้ สามารถปรับเปลี่ยนพื้นเอียงได้หลายแบบ (ไม้อัด,พลาสติก, สังกะสี) มีลูกน้ำ 2 อัน ควบคุมระดับของโครงพื้นเอียงผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แอปเปิ้ล พันธุ์ Red Delicious และ Granny Smith ฝรั่ง พันธุ์สาลี สัมพันธุ์เขียวหวาน แซง และพริ้มองต์ มะนาวพันธุ์แป้น

2. วิธีการทดลอง

วิธีการยกพื้นเอียงถูกนำมาใช้เป็นวิธี

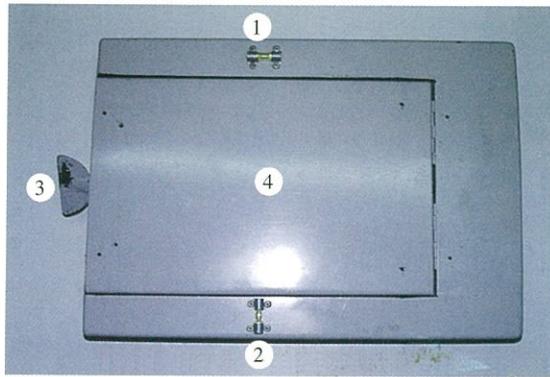
หนึ่งในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย และความต้านทานการกลิ้งของผลไม้ (Cooper, 1962)

2.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต

ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุดของผลส้มเขียวหวานที่นำมาทดลอง บันทึกข้อมูล ติดตั้งผิวสัมผัสเป็นไม้อัดบนพื้นเอียงของเครื่องมือวัด นำไม้ไฟเหลาเป็นเส้นยาวเสียบที่แก้มผลส้มเขียวหวานเล็กน้อยประมาณ นำผลไม้ไปวางบนพื้นเอียงให้แนวแกนผล (ขั้ว) ขนานกับด้านกว้างของพื้นเอียง (Figure 3) ให้ปลายไม้ไฟอีกด้านสอดเข้าไปในห่วงลวดที่ท้าย พื้นเอียงยกพื้นเอียงให้มุมเอียงมากขึ้นทีละน้อยและคอยสังเกต มุมที่ผลส้มเริ่มไถลบันทึกค่า ทำการทดลองซ้ำโดยย้ายเส้นไม้ไฟมาเสียบที่มุม 120° และ 240° จากจุดที่ผิวสัมผัสพื้นเอียงเดิม ทำการทดลองซ้ำกับผลส้มเขียวหวานอีก 4 ผล ผลแอปเปิ้ล ฝรั่ง สัมอีก 2 พันธุ์ และมะนาววิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต ทำซ้ำการทดลองตั้งแต่ต้นกับพื้นผิวสัมผัสเป็นสังกะสี และพลาสติก

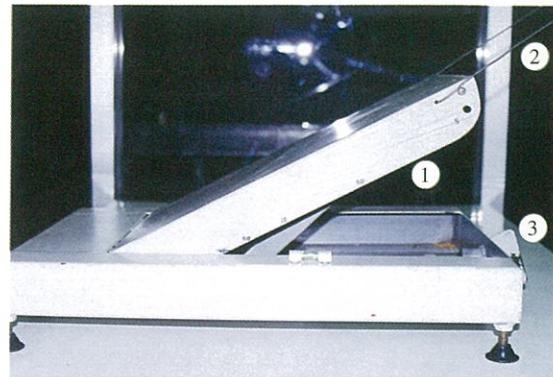
2.2 การหาความต้านทานการกลิ้ง (Figure 4)

ใช้ตัวอย่างผลไม้ชุดเดียวกันกับวิธีการทดลองข้อ 2.1 วางผลส้มเขียวหวานลงบนผิวสัมผัส ไม้อัดบนพื้นเอียงโดยให้แนวแกนผล ขนานกับด้านกว้างของพื้นเอียง ยกพื้นเอียงให้มุมเอียงมากขึ้นทีละน้อยและคอยสังเกต มุมที่ผลส้มเริ่มกลิ้งลงมา บันทึกค่า ทำการทดลองซ้ำโดยหมุนผลส้มไป 120° และ 240° จาก ครั้งแรก แล้วจึงวางส้มลงบนพื้นเอียง ทำการทดลองซ้ำกับผลส้มเขียวหวานอีก 4 ผล ผลแอปเปิ้ล ฝรั่ง สัมอีก 2 พันธุ์ และมะนาว วิเคราะห์หาความต้านทานการกลิ้ง ทำซ้ำการทดลองตั้งแต่ต้นกับ



a) Top view

1. Water level checker in length
2. Water level checker in width
3. Inclined plane adjustment
4. Inclined plane



b) Side view

1. Angular scale
2. Wire
3. Inclined plane adjustment

Figure 2. The equipment for measuring the coefficient of friction and the rolling resistance of fruit

พื้นผิวสัมผัสเป็นสังกะสี และพลาสติก (Figure 4)

2.3 การหาสัมประสิทธิ์ความต้านทานพลวัต (Figure 5)

ใช้ตัวอย่างผลไม้ชุดเดียวกันกับวิธีการทดลองข้อ 2.2 ติดตั้งผิวสัมผัสเป็นไม้อัดบนพื้นเอียงของเครื่องมือวัด นำไม้ไผ่เหลาเป็นเส้นยาวๆ เสียบที่ก้นผลส้มเขียวหวานลึกพอประมาณ แล้วนำผลไม้ขึ้นไปวางบนพื้นเอียงให้แนวแกนผล ขนานกับด้านกว้างของพื้นเอียงให้ปลายไม้ไผ่อีกด้านสอดเข้าไปในห่วงลวดที่ทำยพื้นเอียง ยกพื้นเอียงให้มุมเอียงมากขึ้นทีละน้อยพร้อมกระตุ้น การเคลื่อนที่ของผลไม้โดยใช้นิ้วดันปลาย ไม้ไผ่และคอยสังเกต มุมที่ผลส้มเริ่มไถล บันทึกค่า ทำการทดลองซ้ำโดยย้ายเส้นไม้ไผ่มาเสียบที่มุม 120° และ 240° ของผล ทำการทดลองซ้ำกับผลส้มเขียวหวานอีก 4 ผล

ผลแอปเปิ้ล ฝรั่ง ส้มอีก 2 พันธุ์ และมะนาว วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานพลวัต ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้นกับพื้นผิวสัมผัสเป็นสังกะสี และพลาสติก (Figure 5)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพของผลไม้ที่ถูกนำมาทดลอง กล่าวคือ ผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Red delicious มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 72.2 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 183.1 ก. แอปเปิ้ลพันธุ์ Granny Smith มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 73.4 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 159.5 ก. ฝรั่งพันธุ์กลมสาเลี มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 89 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 318.7 ก. มะนาวพันธุ์แป้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 45.8 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 45.8 ก. ส้มพร้อมองต์มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 63.4 มม.

Static coefficient of friction (f_s) = Tangent of anugar in the heading 2.1
 Dynamic coefficient of friction (f_k) = Tangent of angular in heading 2.3
 Rolling resistance (R) = Inclined angles for starting rolling

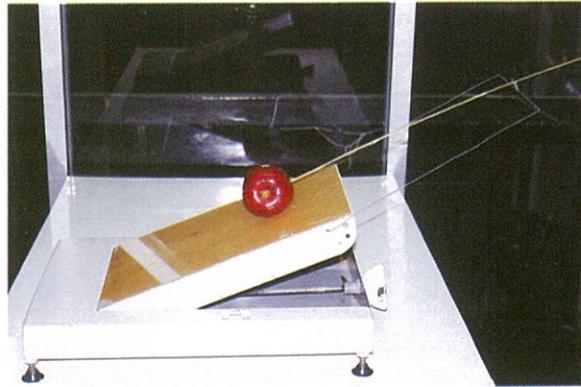


Figure 3. Determination of static coefficient of friction of Red Delicious apple (plastic surface)

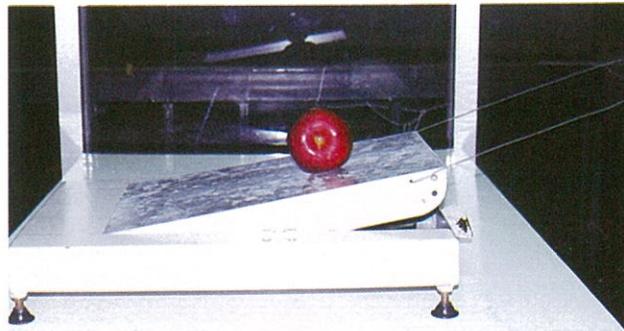


Figure 4. Determination of rolling resistance of Red Delicious apple (zinc surface)

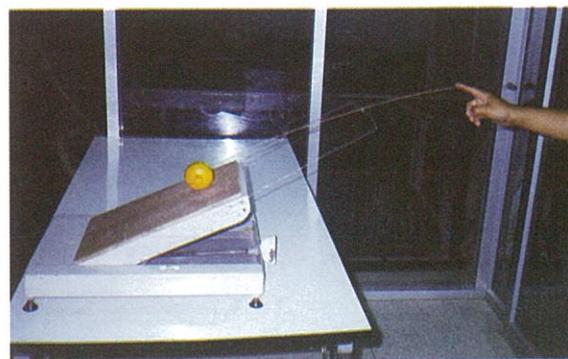


Figure 5. Determination of kinetic friction coefficient (plywood surface)

Table 2. Physical data of fruit of mean and standard deviation of diameter, height and height of selected fruits (five replication)

Type of fruit	Diameter (mm)	Height (mm)	Weight (g)
Red Delicious apple	72.18 ± 1.28	78.04 ± 1.87	183.08 ± 2.83
Granny Smith apple	73.40 ± 1.67	66.00 ± 2.55	159.54 ± 6.69
Sali guava	89.00 ± 1.58	81.80 ± 4.15	318.68 ± 25.9
Pan lemon	45.8 ± 2.28	42.10 ± 1.29	45.78 ± 5.25
Freemont mandarin	63.40 ± 1.08	53.40 ± 2.10	104.40 ± 5.91
Chaeng mandarin	76.80 ± 2.51	74.20 ± 2.66	218.24 ± 19.71
Tangerine	65.30 ± 2.64	57.60 ± 1.98	126.46 ± 12.70

น้ำหนักเฉลี่ย 104.4 ก. ส้มเซ็งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 76.8 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 218.2 ก. และ ส้มเขียวหวานมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 65.3 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 126.5 กรัม (Table 2) และสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต f_s และพลวัต f_k และความต้านทานการกลึงของผลไม้ที่พื้นผิวต่างๆ f_s และ f_k ของผลแอปเปิ้ลทั้งสองพันธุ์มีช่วงค่าใกล้เคียงกับค่า f_s และ f_k ของแอปเปิ้ล โดย Cooper (1962) สำหรับพื้นผิวสัมผัสเป็นไม้อัด กล่าวคือ ค่า f_s ของแอปเปิ้ลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.26-0.41 และ f_k ของแอปเปิ้ลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.34 สำหรับแต่ละพื้นผิวสัมผัสค่า f_k ของผลไม้ทุกชนิด ทุกพันธุ์มีค่าน้อยกว่า f_s (Table 3) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี (Mohsenin, 1980) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับพื้นผิวไม้อัดของผลไม้ทุกชนิด มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายกับพื้นผิวสังกะสีและพลาสติกนี้อาจเป็นสาเหตุมาจากความพรุน

ของพื้นผิวสังกะสีและพลาสติกมีน้อยกว่าไม้อัดเนื้อวัสดุของสังกะสีและพลาสติกเกาะติดกันหนาแน่นมากทำให้เกิดการเสียดสีเสียหายระหว่างผิวผลไม้มากกว่าผิวผลไม้กับไม้อัด การใช้เส้นไม้ไผ่เล็กที่ยาวมาประกอบผลไม้บนพื้นเอียง จะส่งผลกระทบต่อแรงเสียหายน้อยมากเพราะแกนโมเมนต์ของแรงระหว่างไม้ไผ่กับลวดตรงห้วงลวดยาวกว่ารัศมี ผลไม้มาก ซึ่งจะมีผลกระทบน้อยมากต่อค่า f ที่ได้

สรุปผลการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย และความต้านทานการกลึง เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบอุปกรณ์ใน Packing line ควรศึกษาหาข้อมูลเหล่านี้ให้ครอบคลุมผักผลไม้ไทยให้มาก เพื่อตอบสนองความต้องการพัฒนาอุปกรณ์ในเรือนบรรจุผักผลไม้ในอนาคต

Table 3. Coefficient of friction (static and dynamic) and rolling resistance of fruit on various type of inclined contact surfaces

Type of fruit	Inclined contact Surface	Coefficient of friction		Rolling resistance
		Static(f_s)	Dynamic (f_k)	R (degree)
Red Delicious apple	Plywood	0.26-0.34	0.22-0.28	6.94-11.58
	Zinc	0.51-0.54	0.41-0.48	7.52-11.76
	Plastic	0.41-0.65	0.32-0.57	6.33-11.28
Granny Smith apple	Plywood	0.37-0.41	0.32-0.34	4.44-5.88
	Zinc	0.59-0.75	0.54-0.69	3.85-4.75
	Plastic	0.60-0.69	0.54-0.65	3.07-4.69
Sali guava	Plywood	0.53-0.63	0.48-0.58	7.40-10.04
	Zinc	0.74-0.79	0.70-0.73	7.88-9.96
	Plastic	0.76-0.78	0.73-0.74	9.98-10.74
Pan lime	Plywood	0.31-0.38	0.27-0.34	4.56-7.76
	Zinc	0.44-0.50	0.39-0.46	4.66-6.86
	Plastic	0.43-0.54	0.39-0.51	3.89-5.99
Freemont mandarin	Plywood	0.35-0.38	0.31-0.34	5.85-7.23
	Zinc	0.46-0.50	0.42-0.45	6.05-7.71
	Plastic	0.44-0.48	0.41-0.44	5.01-7.55
Chaeng mandarin	Plywood	0.37-0.40	0.34-0.35	8.10-10.42
	Zinc	0.53-0.58	0.48-0.53	8.58-10.7
	Plastic	0.60-0.70	0.57-0.63	7.57-10.03
Tangerine	Plywood	0.43-0.46	0.40-0.42	8.10-10.42
	Zinc	0.42-0.52	0.38-0.49	8.58-10.70
	Plastic	0.47-0.57	0.43-0.53	7.57-10.03

เอกสารอ้างอิง

- ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และสาทิป รัตนภาสกร. 2538. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีวะวัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 200. หน้า
- Chen, P. and Squire, E.F. 1971. An evaluation of the coefficient of friction and abrasion damage of oranges on various surfaces. *Transactions of The ASAE*. 14(6) : 1092-1094.
- Cooper, H.E. 1962. Influence of maturation on the physical and mechanical properties of the apple fruit. M.S. Thesis, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania. 108 p.
- Mohsenin, N.N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publisher Inc., New York: 742 p.
- Shinners, K.J., R.G. Koegel and L.L. Lehman. 1991. Friction coefficient of alfalfa. *Transactions of The ASAE*. 34(1) : 33-37.
- Vairis, A. 1997. Investigation of friction behavior of various material under sliding conditions. *European Journal of Mechanics*. 16(6) : 929-945.