Agricultural Sci. J. 37 : 5 (Suppl.) : 296-299 (2006) ว. วิทย. กษ. 37 : 5 (พิเศษ) : 296-299 (2549)

อุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลไม้

Coefficient Friction Device of Fruits

บัณฑิต จริโมภาส[1] และ วีรกุล มีกลางแสน[1]

Bundit Jarimopas[1] and Weeragul Meegrangsan[1]

Asbtract

This research was to design construct and test a friction coefficient measuring device of fruits. The device comprised steel frame of, 355 mm wide by 400 mm long by 720 mm high, fruits holders and contact surface sheet hung over the fruits and connected to spring balance at each end. The spring balance were hooked to the feet of the frame. The device testing included two control factors,i.e. four fruit type (immature young coconut, mature young coconut, overmature young coconut, pomelo) and five contacting surfaces (stainless steel, zinc, polyester, rice mill rubber, bicycle rubber) Result showed that fruit type and contact surface significantly affected friction coefficient of fruit μ_s at the significance level of 5%. μ_s of the stainless steel was maximum regardless of fruit type. μ_s of the overmature young cococut was averagely 0.20 independent of contacting surface.

Key word : Friction, Fruits, Measuring device

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะ ออกแบบ สร้าง ทดสอบอุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) ของผลไม้ อุปกรณ์ประกอบด้วย โครงเหล็กขนาดกว้าง 355 มม. ยาว 400 มม. สูง 720 มม. ด้านบนเป็นชุดจับยึดผลไม้ มีแผ่นวัสดุสัมผัสคล้องไว้ด้านบนของผลไม้ ปลายทั้ง 2 ข้างร้อยติดกับเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง การทดสอบทำได้โดยติดตั้งผลไม้เข้ากับชุดจับยึด และการหมุนแกนที่ต่อมาจากชุดจับยึดจนกระทั่งแรงความพยายามหมุนผลไม้เอาชนะแรงความเสียดทานระหว่างวัสดุสัมผัสกับ ผิวผลไม้ (แรงที่จำเป็นที่จะเริ่มการเคลื่อนที่) การทดลองใช้ ก) ผลไม้ 2 ชนิดได้แก่ มะพร้าวอ่อนปลอกเปลือก (3 ระยะการเจริญเติบโตคือ อ่อนอ่อน กำลังดี แก่) และส้มโอ ข)วัสดุสัมผัส 5 ประเภทได้แก่ Stainless steel,สังกะสี,ผ้า,สายพานโรงสี,ยางในรถจักรยาน ผลการทดสอบพบว่า ชนิดของผลไม้ ระยะการเจริญเติบโต (มะพร้าวอ่อนอ่อน) และวัสดุสัมผัส มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% ต่อ μ_s ผิวของ Stainless steel ให้ μ_s สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวสัมผัสแบบอื่น (สำหรับมะพร้าวอ่อนอ่อน กำลังดี และส้มโอ) วัสดุสัมผัสของมะพร้าวแก่ไม่มีอิทธิพลต่อ μ_s ค่า μ_s = 0.20

คำสำคัญ : ความเสียดทาน, ผลไม้, อุปกรณ์วัด

คำนำ

ความเสียดทานเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของผลิตผลเกษตรที่ถูกนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรอุปกรณ์ในกระบวนการต่างๆ หลังการเก็บเกี่ยว มาทำงานแทนคน เช่น การแปรรูป แปรสภาพ ขนถ่าย และการคัดแยก เป็นต้น เราจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ให้ผลิตผลเคลื่อนที่กับผิวสัมผัสประเภทต่างๆ โดยเฉพาะผลไม้ไทยจำเป็นต้องหาไว้ให้มีขึ้นมากเพื่อเป็นข้อมูลบริการแก่นักวิชาการ วิศวกร (บัณฑิต,2546) ในทางทฤษฎีเมื่อวัตถุอันหนึ่งถูกกดเข้ากับวัตถุอีกอันหนึ่งด้วยแรงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนัก W ของมัน วัตถุแรกจะไม่เคลื่อนที่ในทิศทางขวางกับแนวแรงกด จนกระทั่งแรงความเสียดทานระหว่างวัตถุทั้งสองถูกเอาชนะ เรียกว่า ความเสียดทานสถิต (Static Friction) (แรงที่จำเป็นที่จะเริ่มการเคลื่อนที่) เมื่อการเคลื่อนที่เริ่มขึ้นแรงเสียดทานสถิตจะลดลงจนกว่าแรงที่น้อยกว่าถูกใช้ทำให้การเคลื่อนที่ต่อเนื่องไป แรงเสียดทานที่มีอยู่ระหว่างผิวที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน เรียกว่า แรงความเสียดทานจลนวัต (Kinetic friction) (Mohsenin,1980) สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μs) หาได้จากหลักการหาความเสียดทานของสายพาน (Flexible Belts) การพิจารณาการลื่นไถลของเคเบิลอ่อนตัวหรือเชือกที่คล้องรอบล้อในลูกรอกหรือหัวกว้าน และการลื่นไถลของสายพานที่คล้องรอบพูเล่ย์ มีความสำคัญมากในการออกแบบทางเครื่องกล พิจารณาสายพานที่คล้องรอบพูเล่ย์ (Fig 1) แรง $\overline{T_1}$ และ $\overline{T_2}$ เป็นแรงในสายพาน และโมเมนต์ $\overline{M}$ เป็นโมเมนต์ต้านจากเพลาของพูเล่ย์ ถ้าทิศทางของโมเมนต์ $\overline{M}$ เป็นตามเข็มนาฬิกาแรงดึง $\overline{T_2}$ จะมากกว่า $\overline{T_1}$

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม

[1] Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kampaengsaen, Nakhon pathom

พิจารณา FBD ของส่วนของสายพานที่มีความยาว $rd\theta$ แกน t และ n เป็นแกนในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับแนวของสายพาน ขนาดแรงดึงในสายพานเท่ากับ T เพิ่มเป็น T + dT แรงเสียดทานระหว่างสายพานและพูเล่ย์ เท่ากับ μdN เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และ dN คือแรงในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัสสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

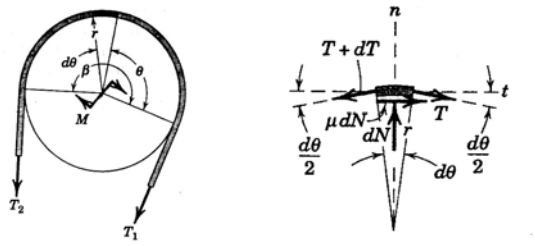


Fig 1 Free body diagram of belts

การสมดุลในแนวสัมผัส t คือ $T\cos\frac{d\theta}{2} + \mu dN = (T+dT)\cos\frac{d\theta}{2} \longrightarrow \mu dN = dT$

การสมดุลในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส n คือ $dN = (T+dT)\sin\frac{d\theta}{2} + T\sin\frac{d\theta}{2} \longrightarrow dN = Td\theta$

$= dTd\theta \approx 0$; $d\theta$

สำหรับมุมเล็กๆ $\sin\frac{d\theta}{2} \cong \frac{d\theta}{2}$; จะได้ $\frac{dT}{T} = \mu d\theta$

เมื่ออินทิเกรต หรือ $\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} = \int_0^{\beta}\mu d\theta \longrightarrow \ln\frac{T_2}{T_1} = \mu\beta$ หรือ $T_2 = T_1 e^{\mu\beta}$; $T_2 > T_1 \longrightarrow \mu = \frac{\ln\frac{T_2}{T_1}}{\beta}$

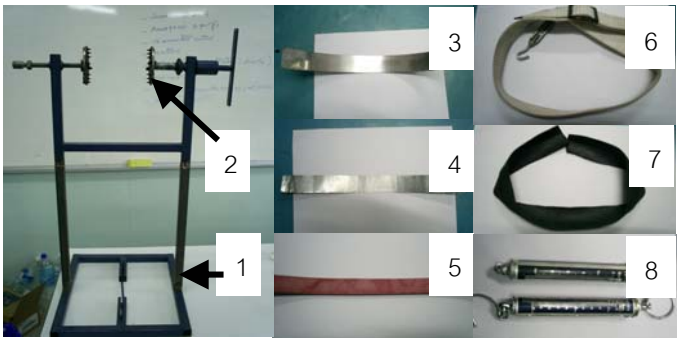
เมื่อ β คือมุมสัมผัสระหว่างสายพานและพูเลย์ทั้งหมด (Merian and Kraige,2004)

ASTM (1999) ได้รวบรวมวิธีการหาความเสียดทานสถิตและจลน์ไว้หลายแบบขึ้นอยู่กับวัสดุวิศวกรรมที่ทดสอบ แต่ยังไม่พบวิธีการทดสอบแรงเสียดทานวัสดุเกษตรที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีนักวิจัยหลายคนได้ศึกษาสมบัติความเสียดทานของวัสดุเกษตร และสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อทดสอบพืชชนิดหนึ่งๆ บนพื้นฐานของนิยามแรงเสียดทาน (Chen และ Squire,1971;บัณฑิต และคณะ,2546;บัณฑิต และคณะ,2547) Chen และ Squire (1971) ได้ศึกษาถึงสาเหตุและความสำคัญของความเสียดทานเนื่องจากการขูดขีดบนผิวส้ม พบว่าระดับความเสียหายขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวอุปกรณ์ ความดันปกติ ความชื้นของวัสดุเกษตร ความเร็วของวัสดุที่เลื่อนไป และความชื้นสัมพัทธ์ มิอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Mohsenin,1980) บัณฑิต และคณะ (2546)ได้สร้างเครื่องหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความต้านทานการกลิ้งของผลไม้ และใช้ทดสอบกับผลไม้ 7 ชนิดได้แก่ แอ็ปเปิ้ล 2 พันธุ์ ส้ม 3 พันธ์ ฝรั่ง มะนาว และวัสดุสัมผัส 3 ชนิดได้แก่ ไม้อัด สังกะสี และพลาสติก พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลไม้ทุกชนิดบนผิวไม้อัดน้อยกว่าบนผิวของสังกะสี และพลาสติกมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่า บัณฑิต และคณะ (2547) ได้พัฒนาอุปกรณ์แบบกึ่งอัตโนมัติหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมกลิ้งของผักและผลไม้ และใช้ทดลองหา μ_s กับผักผลไม้ 4 ชนิดได้แก่ แอ็ปเปิ้ล ส้มเขียวหวาน มะนาว ฝรั่ง และพื้นผิวสัมผัส 3 ประเภทได้แก่ไม้อัด สังกะสี และพลาสติก พบว่าชนิดของผักผลไม้ พื้นผิวสัมผัส มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน พื้นผิวพลาสติกจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวแบบอื่น เครื่องหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่กล่าวข้างต้น อาจมีปัญหาในการทดสอบตัวอย่างที่เป็นผลไม้ลูกใหญ่จึงจำเป็นต้องหาอุปกรณ์ตัวใหม่ที่จะสามารถวัดหา μ_s ได้สะดวกขึ้นและแม่นยำ จึงเป็นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

อุปกรณ์และวิธีการ

เกณฑ์ในการออกแบบคือ สามารถปรับระยะการจับยึดผลไม้ได้ โดยอุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) ของผลไม้ ประกอบด้วย โครงเหล็กขนาดกว้าง 355 มม. ยาว 400 มม. สูง 720 มม. ชุดจับยึดแบ่งออกเป็น 2 ข้าง ข้างนึงอยู่กับที่ มีแกนหมุนผลไม้ต่อออกด้านนอก อีกข้างหนึ่งปรับระยะการจับยึดได้ เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริงขนาด 5 และ10 กิโลกรัม วัสดุสัมผัสมี 5 ประเภทได้แก่ stainless steel, zinc, polyester, rice mill rubber, bicycle rubber ผลไม้ในการทดสอบคือ มะพร้าวอ่อนปลอกเปลือกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงได้แก่อ่อน กำลังดี แก่ (เนื้อ 1,1.5 - 2 และ > 2 ชั้น) และส้มโอ จำนวนตัวอย่าง 20 ผล/ชนิด/วัสดุสัมผัส วิธีการทดสอบเริ่มโดยนำผลไม้ (ส้มโอและมะพร้าวอ่อนปลอกเปลือก) มาเขียนหมายเลข แล้วนำผลไม่เข้าเครื่องวัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจับยึดให้แน่น ติดตั้งวัสดุสัมผัสและเครื่องชั่งแบบสปริงเข้ากับอุปกรณ์ โดยให้วัสดุ

สัมผัสคล้องอยู่ด้านบนผลไม้ ปลายทั้งสองข้างยึดติดกับเครื่องชั่ง และเครื่องชั่งยึดติดกับตัวโครงเหล็ก อ่านค่าที่เครื่องชั่งและจดบันทึก แล้วหมุนแกนหมุนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงความพยายามหมุนผลไม้เอาชนะแรงความเสียดทานระหว่างวัสดุสัมผัส และผิวผลไม้ (ผลไม้เริ่มเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับผิวสัมผัส) อ่านค่าที่เครื่องชั่งทั้งสองและบันทึก ทำซ้ำ 40 ซ้ำ/วัสดุสัมผัส/ชนิดผลไม้ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยกำหนดให้ ระยะการเจริญเติบโต ชนิดผลไม้ วัสดุสัมผัสเป็นปัจจัยควบคุม และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เป็นตัวแปรที่ถูกสังเกต ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความสำคัญ 5%



1. Steel frame
2. Roush surface
3. Stainless steel
4. Zinc
5. Polyester
6. Rice mill rubber
7. Bicycle rubber
8. Spring balance

Fig 2 Coefficient friction measuring device of fruits

ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเสียดทานต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัยได้แก่ ก)ชนิดของผลไม้ ข)ระยะการเจริญเติบโต (มะพร้าวอ่อน) ค)วัสดุสัมผัส พบว่าระยะการเจริญเติบโต วัสดุสัมผัส และ Interaction ระหว่างผลทั้งสองมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 1% ($P<0.01$) ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) Table1และ2 แสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ (μ_s) สำหรับแต่ละ combination ของปัจจัย μ_sของมะพร้าวอ่อนอ่อน (1 ชั้น) จะมากที่สุดกับผิวสัมผัส stainless steel ส่วน สังกะสี,ผ้า,สายพานโรงสี และ ยางในรถจักรยาน มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน มะพร้าวกำลังดี (1.5 – 2 ชั้น) มีค่า μ_s มากสุดกับ stainless steel แต่น้อยกว่าของมะพร้าวอ่อนอ่อนส่วน สังกะสี,ผ้า, สายพานโรงสี และ ยางในรถจักรยาน มีค่า μ_s เฉลี่ยไม่แตกต่างกันกัน มะพร้าวแก่ (>2 ชั้น) มีค่า μ_s ไม่แตกต่างกัน ค่า μ_s ของส้มโอกับ stainless steel มากที่สุด รองลงมาเป็น ผ้า, สังกะสี และ สายพานโรงสี,ยางในรถจักรยาน ซึ่งมีค่า μ_s น้อยไม่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงชนิดของผลไม้ วัสดุสัมผัส และ Interaction ระหว่างปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 1% วัสดุสัมผัสแต่ละประเภทมีลักษณะของผิวสัมผัสแตกต่างกัน Fig 3 แสดงผิวของ stainless steel จะเรียบกว่าผิววัสดุสัมผัสประเภทอื่น μ_s ในผลมะพร้าวอ่อนอ่อนกับผิว Stainless สูงกว่าอีก 4 ผิวสัมผัส เพราะว่าพื้นผิวสัมผัสของ Stainless ละเอียดมากกว่าทำให้จับพื้น ผิวของมะพร้าวอ่อนอ่อนได้มาก และแน่น การจะทำให้มะพร้าวเคลื่อนที่ไปบนผิว Stainless ยากกว่ากับมะพร้าว

Stainless steel Zinc Polyester Rice mill rubber Bicycle rubber

Fig 3 Contacting surface

กำลังรับประทานก็เหมือนกัน ค่า μ_s ของมะพร้าวอ่อนอ่อนของผิว Stainless สูงกว่าของมะพร้าวกำลังรับประทาน น่าจะมีผลจากความชื้นของมะพร้าวอ่อนอ่อน มากกว่ามะพร้าวกำลังรับประทาน ปราโมทย์ (2548) ได้ศึกษาหาระยะการเจริญเติบโตและความชื้นเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่ามะพร้าวอ่อนเนื้อหนึ่งชั้น หนึ่งชั้นครึ่ง และสองชั้นมีความชื้น คือ 88.9,87.4, และ 82.6% ความชื้นจะลดลงเมื่ออายุการเจริญเติบโตมากขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างที่พื้นผิวของมะพร้าวกำลังประทานมากกว่า พื้นผิวสัมผัสจับยึดกันได้น้อยกว่า สำหรับค่า μ_s ของมะพร้าวแก่ประมาณ 0.2 ไม่แตกต่างกันระหว่างทุกผิวสัมผัสน่าจะเป็นผลมาจากความชื้นที่ลดลงอย่างมากทำให้เกิดช่องว่างที่พื้นผิวมะพร้าวแก่มากขึ้นการจับยึดกับผิววัสดุสัมผัสก็น้อยลงอาจทำให้ μ_s

ลดน้อยลง กับส้มโอเนื้อผิวสัมผัสของวัสดุสัมผัสมีบทบาทอย่างมากจะเห็นได้จาก μ_s ของ stainless steel สูงสุด แต่กับวัสดุอื่นลดลง และไม่แตกต่างกัน

Table 1 Statistic of static fiction (μ_s) for each combination of fruit and contacting surfaces of coconut.

Surfaces	Friction		
	Immature	Mature	Overmature
Stainless steel	0.63[a] ± 0.19	0.25[a] ±0.07	0.19[a] ±0.06
Zinc	0,18[b] ±0.05	0.20[b] ±0.09	0.21[a] ±0.06
Polyester	0,19[b] ±0.10	0.22[b] ±0.10	0.21[a] ±0.05
Rice mill rubber	0,20[b] ±0.05	0.21[b] ±0.06	0.21[a] ±0.03
Bicycle rubber	0,21[b] ±0.03	0.21[b] ±0.05	0.19[a] ±0.03

*Number in the same colume follow by the different character implies significant different of the mean volume the significant level of 5%

Table 2 Statistic of static fiction (μ_s) for each combination of fruit and contacting surfaces of pomelo

Surfaces	Friction
Stainless steel	0.66[a] ±0.27
Zinc	0.18[b] ±0.08
Polyester	0.20[b] ±0.05
Rice mill rubber	0.17[b] ±0.06
Bicycle rubber	0.18[b] ±0.06

*Number in the same colume follow by the different character implies significant different of the mean volume the significant level of 5%

สรุป

จากการทดสอบอุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลไม้ พบว่า ชนิดของผลไม้ ระยะการเจริญเติบโต วัสดุสัมผัส มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 1% ($P<0.01$) คือวัสดุผิวเรียบจะสัมผัสได้ดีกว่าวัสดุผิวไม่เรียบ และผลไม้อายุน้อยผิวจะเรียบกว่าผลไม้ที่อายุมาก อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังต้องมีการพัฒนาในด้านต่างๆ ดังนี้คือ 1) เครื่องชั่งน้ำหนักควรเป็นแบบดิจิตอลเพื่อความรวดเร็วในการอ่านค่า และค่าที่ได้จะละเอียดมากขึ้น 2) เพื่อความสะดวกควรมี Programในการบันทึกค่า และประมวลผล รวมทั้งการแสดงผลด้วย 3) ในการหมุนผลไม้ควรใช้มอเตอร์มาช่วยในการหมุนแกนหมุน

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

บัณฑิต จริโมภาส.2546.สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร.ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิยาเขตกำแพงแสน,นครปฐม.160 หน้า

บัณฑิต จริโมภาส ธีรวัฒน์ หนูนาค และกฤษณ์ สรรพอาสา.2546.เครื่องหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความต้านทานการกลิ้งของผลไม้บางชนิด.วารสารวิชาการเกษตร 21(1): 3 - 11.

บัณฑิต จริโมภาส อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประกิต ทิมขำ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล.2547.อุปกรณ์แบบกึ่งอัตโนมัติหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมกลิ้งของผักและผลไม้.วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ 11(1): 57 - 63

ปราโมทย์ กุศล.2548.การออกแบบและพัฒนาเครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อน วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิยาเขตกำแพงแสน,นครปฐม

Chen,P.and Squire,E.F.1971.An evaluation of the coefficient and abrasion damage of oranges on various surfeces.Transaction of ASAE. 14(6):1092 - 1094

Mohsenin,N.N.1980.Physical Properties of plant and Animal Materials.Gordon and Breach Science Publicher Inc.New Yok.742 p.

American Society for Testing and Materials.1999. Standard Guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients.ASTM G115. Volume 03.02.481 - 491 p.

J.L. Meriam and L.G. Kraige.2004. Engineering Mechanics : Statics fifth edition SI vertion, John Wiley & Sons,Inc.386 – 387 p.