



การออกแบบและสร้างเครื่องตัดแบบเพนดูลัม

Design and Construction of Pendulum Cutting Machine

จันทนา สันต์พร้อม^{1*}, กิตติพงษ์ ตั้งเจริญกิจ¹, จิรายุ มีมกระโทก¹, ยงยุทธ์ เสียงดั่ง², เพลงพิณ เพ็ชรภูมิวงศ์¹,
วีรกุล มีกลางแสน¹

Jantana Suntudprom^{1*}, Kittipong Tangcharoenkit¹, Jirayu Mimkrathok², Yongyout Seingdung¹, Plengpin
Pienpoompong¹, Weerakul Meaklangsan¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, นครราชสีมา, 30000

²Department of Post-Harvest and Processing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000, Thailand

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, นครราชสีมา, 30000

²Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-9-3554-5881, E-mail: xanta_na@yahoo.com

บทคัดย่อ

พลังงานตัดวัสดุเกษตรแบบเพนดูลัมเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่ใช้เพื่อการออกแบบเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปอาหาร ปัจจุบันข้อมูลในส่วนนี้ยังมีอยู่อย่างจำกัด คณะผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญนี้ และได้ออกแบบสร้างเครื่องตัดแบบเพนดูลัม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือศึกษาการตัดแบบเพนดูลัมและพลังงานที่ใช้ เครื่องประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ส่วนฐาน ซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมากเพื่อรองรับแรงสั่นสะเทือนขณะตัด และส่วนที่ 2 คือ ส่วนแขนตัด ส่วนแขนตัดนี้ด้านปลายจะต่อกับใบมีดตัด โดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับจานอ่านองศา เครื่องได้รับการทดสอบการตัดวัสดุทดสอบ 2 ชนิด คือ แครอทและหัวไชเท้า วัสดุทดสอบถูกตัดด้วยใบมีดที่มีมุม 10 degree ก่อนตัดใช้มุม $\theta = 120$ degree จากการทดลองพบว่าเครื่องที่ออกแบบและสร้างสามารถตัดวัสดุเกษตรได้อย่างสมบูรณ์ และพบว่าพลังงานเฉลี่ยและพลังงานตัดจำเพาะเฉลี่ยที่ใช้ตัดส่วนหัวของแครอทและหัวไชเท้า คือ 1,168.41 1,123.05 J และ 0.76 0.57 J mm⁻² ตามลำดับ สำหรับพลังงานตัดเฉลี่ยและพลังงานตัดจำเพาะเฉลี่ยที่ใช้ตัดส่วนท้ายของแครอทและหัวไชเท้า มีค่า 690.25 1,031.92 J และ 0.71 0.55 J mm⁻² ตามลำดับ แขนเพนดูลัมมีโมเมนต์ความเฉื่อย 0.024 kg m² และใบมีดมีความเร็วในการเคลื่อนที่ 4.38 m s⁻¹ สามารถสรุปได้ว่าพลังงานที่ใช้ตัดแบบเพนดูลัมในแครอทมีค่าสูงกว่าในหัวไชเท้า และการตัดส่วนหัวจะใช้พลังงานตัดสูงกว่าการตัดส่วนท้าย

คำสำคัญ: ตัดแบบเพนดูลัม, โมเมนต์ความเฉื่อย, ใบมีด

Abstract

Pandulum cutting energy is the basic information for design the equipment for food processing. Presently, there is limit number of related information for pendulum cutting energy. Therefore, this research was established in order to design and construct the pendulum cutting machine and to study the pendulum cutting energy. The constructed machine has two major parts. The first part was the base and the other part was cutting set. The cutting set has a round-rod which was constructed and equipped with a knife at the end of the rod. This knife was manufactured with 10 degrees of cutting angle. For cutting process, the beginning cutting degree (θ) was 120 degrees. The degrees at the end of cutting process were collected and taken for further calculations. The results showed that the average cutting energy and average specific cutting energy for cutting the head parts of carrots and white radishes were 1,168.41, 1,123.05 J and 0.76, 0.57 J mm⁻², respectively. Additionally, the average cutting energy and average specific cutting energy for cutting the end parts of carrot and white radish were 690.25, 1,031.92 J and 0.71, 0.55 J mm⁻², respectively. Also, this study showed that padulum cutting process has inertia moment of

0.024 kg m² with the knife speed at 4.38 m s⁻¹. Summarily, carrot needs more cutting energy than white radish. Also, head parts of these two heads need higher cutting energy than the bottom part.

Keywords: Padulum cutting, inertia moment, knife

1 บทนำ

การแปรรูปอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอดหรืออบกรอบ ต้องมีการผ่านการตัดที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะแกว่งเป็นส่วนใหญ่ (Datta, 2003) ซึ่งการตัดแบบเพนดูลัมนี้สามารถใช้ทดสอบแรงในขณะที่มีการเคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย (สตรีรัตน์, 2560) การหาพลังงานในการตัดเป็นสิ่งสำคัญเพื่อการอ้างอิงในงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับเครื่องตัดวัสดุ ซึ่งควรต้องมีค่าพลังงานในการตัดมาอ้างอิง ปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้ในการตัดแบบเพนดูลัมมีจำนวนจำกัด ทางคณะผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดแบบเพนดูลัมเพื่อใช้หาค่าพลังงานในการตัดวัสดุเกษตร เช่น ผักและผลไม้ ซึ่งสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องมือเครื่องจักรสำหรับแปรรูปอาหาร

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบและตรวจสอบเครื่อง

ขั้นตอนในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการตัดแบบเพนดูลัมได้มีการพัฒนาจากเครื่องต้นแบบให้มีขนาดเล็กเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย จาก figure 1a เครื่องที่ออกแบบและสร้างมีขนาด ก x ย x ส คือ 330 x 430 x 510 mm เครื่องประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 ส่วนฐาน ซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมากเพื่อรองรับแรงสั่นสะเทือนขณะตัด และส่วนที่ 2 คือ ส่วนแขนตัด แขนเพนดูลัมมีความยาว 240 mm โดยที่ปลายด้านบนต่อเข้ากับแกนงานอ่านองศา (Figure 1b) ส่วนปลายด้านล่างจะต่อกับใบมีดตัด (Figure 1c) เครื่องนี้ได้รับการตรวจสอบระดับอ้างอิง โดยการวัดระดับน้ำ 2 จุด คือ ฐานและแขนตัดเพนดูลัม เพื่อให้ได้ฐานเครื่องที่ไม่มีความลาดเอียง และแขนตัดตั้งฉากได้ระดับ (Figure 1c, 1d) ใบมีดตัดเพนดูลัมได้ถูกสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีมิติขนาด ก x ย x ทนาคือ 50 x 150 x 3 mm มุมมีด 10 degree

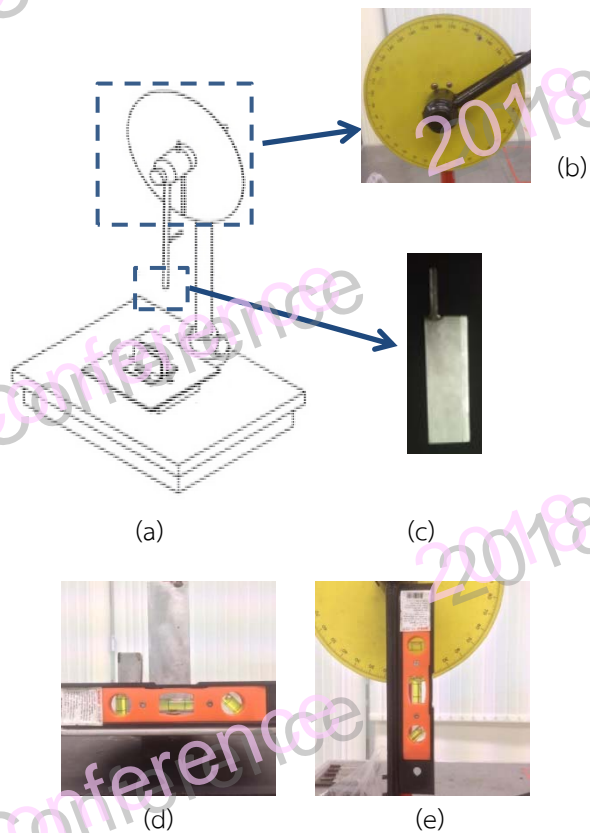


Figure 1 (a) machine with all components, (b) angular reading disk and (c)-(d) calibration of base and cutting arm rod.

2.2 ทดสอบตัดวัสดุเกษตรและการคำนวณค่าพลังงาน

เครื่องนี้ได้นำไปทดสอบการตัดแบบเพนดูลัม และคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ตัด ในการทดสอบใช้แครอทและหัวไชเท้า ชนิดละ 30 ตัวอย่าง โดยมีการคัดเลือกหัวที่สมบูรณ์ ปราศจากตำหนิและรอยขีด และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ขณะทดสอบวัสดุทดสอบจะถูกวางในตำแหน่งที่กำหนด ใบมีดถูกประกอบเข้ากับปลายด้านล่างของแขนเพนดูลัม และถูกยกขึ้นที่ $\theta = 120$ degree (Figure 1b) เนื่องจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าการตัดที่ $\theta = 120$ degree นี้ การตัดสมบูรณ์ทั้งรอยตัดและการตัดขาดจากกัน ใบมีดถูกปล่อยลงอย่างอิสระ เพื่อตัดวัสดุทดสอบจนขาด และแขนยังเคลื่อนที่ต่อไปเป็นมุม θ_c พลังงานและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการตัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ความเร็วของใบมีดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และโมเมนต์ความเฉื่อยของแขนเพนดูลัม คำนวณจากสมการที่ 4 โดยพิจารณาจาก figure 2

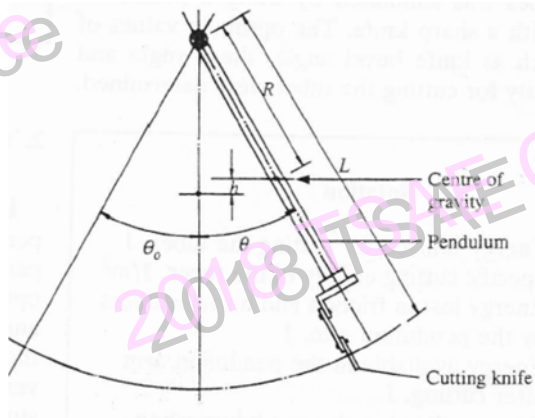


Figure 2 pandulum mechanics (Visvanathan et al., 1996)

$$E_C = mgR(\cos\theta_c - \cos\theta) \quad (1)$$

$$\text{พลังงานจำเพาะ} = \frac{E_C}{\pi r^2} \quad (2)$$

- เมื่อ E_C = พลังงานที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน (J)
 r = รัศมีของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุทดสอบ (mm)
 m = มวลของแขนเพนดูลัมและใบมีดตัด (kg)
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ($m\ s^{-2}$)
 R = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของการหมุนและศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงของแขนเพนดูลัม (ณ ตำแหน่ง $\theta = 120$ degree) (m)
 θ = มุมยกเริ่มต้น (Degree)
 θ_c = มุมยกของแขนเพนดูลัมหลังตัดชิ้นงาน (Degree)

$$I = \frac{1}{12} mL^2 + mx^2 \quad (3)$$

- เมื่อ I = โมเมนต์ความเฉื่อย ($kg\ m^2$)
 L = ความยาวทั้งหมดของแขนเพนดูลัมและใบมีด (m)
 x = ระยะที่เคลื่อนที่จากจุดกึ่งกลางแนวตั้ง (m)

$$V_C = \Omega L = \sqrt{\frac{2mgR(1-\cos\theta)}{I}} L \quad (4)$$

- เมื่อ V_C = ความเร็วของใบมีดตัดโดยเคลื่อนที่จากตำแหน่ง $\theta = 120$ degree ($m\ s^{-1}$)

3 ผลและวิจารณ์

การทดสอบตัดด้วยเครื่องตัดเพนดูลัมที่สร้างขึ้น โดยมีการตัดแครอทและหัวไชเท้า ชนิดละ 30 หัว แครอทและหัวไชเท้ามีความยาวเฉลี่ย 25 mm หัวแครอทมีรูปร่างคล้ายทรงกรวยกลวงคือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนหัวและส่วนท้ายของแครอท คือ 45 และ 35 mm ตามลำดับ สำหรับหัวไชเท้าจะมีลักษณะคล้ายทรงกระบอก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหัวและส่วนท้าย คือ 48.5 และ 49.5 mm ตามลำดับ ความแน่นเนื้อของ

แครอทและหัวไชเท้า คือ 94.4 และ 80.9 N ตามลำดับ การตัดได้กระทำ 2 ครั้งต่อหัว คือ จุดที่ 1 ประมาณ 50 mm จากหัว และจุดที่ 2 ประมาณ 50 mm จากท้าย

ผลการทดสอบตัดพบว่า เครื่องที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถตัดวัสดุเกษตร ได้แก่ แครอทและหัวไชเท้า ได้เป็นอย่างดีไม่พบการสั่นสะเทือนขณะตัด จากการทดสอบตัดตัวอย่างจำนวน 120 ครั้ง ได้ค่ามุม θ_c และนำไปคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานและพลังงานจำเพาะในการตัดเพนดูลัม โมเมนต์ความเฉื่อยของแขนเพนดูลัม และความเร็วใบมีดที่มุมยก $\theta = 120$ degree โดยใช้สมการที่ 1-4

ผลจากการคำนวณพบว่า ค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดแครอทบริเวณส่วนหัว มีค่าสูงกว่าพลังงานในการตัดส่วนหัวของหัวไชเท้า แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) อย่างไรก็ตามค่าพลังงานในการตัดบริเวณส่วนท้ายของหัวไชเท้า มีค่าสูงกว่าค่าพลังงานในการตัดบริเวณส่วนท้ายของแครอทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับพลังงานตัดจำเพาะนั้น จากการศึกษพบว่าค่าพลังงานตัดจำเพาะของแครอทมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานตัดจำเพาะของหัวไชเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และยังพบว่าค่าพลังงานตัดจำเพาะในทั้งสองจุดของหัวแครอทและหัวไชเท้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

Table 1 Cutting energy and specific cutting energy of carrot and white radish.

Sample	Sample parts	Cutting energy ^a (J)	Specific cutting energy ^a ($J\ mm^{-2}$)
Carrot	Head	1186.41±38.87	0.76±0.03
	Tail	690.25±32.02	0.71±0.03
White radish	Head	1123.05±56.23	0.57±0.02
	Tail	1031.92±52.03	0.55±0.02

a Numbers in columns were means ± standard errors.

เมื่อพิจารณาถึงสรีระวิทยาของแครอทเปรียบเทียบกับหัวไชเท้า พบว่า ความแน่นเนื้อของแครอทสูงกว่าความแน่นเนื้อของหัวไชเท้า อาจเป็นเพราะการจัดเรียงเนื้อเยื่อ เมื่อพิจารณา figure 3 และ figure 4 พบว่า cambium ของหัวแครอท ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อซึ่งสามารถเจริญเติบโตไปเป็นท่อน้ำ (Xylem) และท่ออาหาร (Phloem) ได้นั้น จัดเรียงเป็นบริเวณแคบชั้นด้านในของแครอทและภายในวงของ cambium จะมีการจัดเรียงกันของท่อน้ำ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบพื้นที่ในการจัดเรียงของ cambium และท่อน้ำของพืชทั้งสองนี้ พบว่าหัวไชเท้ามีการจัดเรียงของ cambium ที่เป็นวงกว้างกว่าและมีพื้นที่ในการจัดเรียงของท่อน้ำมากกว่าด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุอาจเป็นไปได้ว่าจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นในหัวไชเท้าอาจมีมากกว่าความชื้นในแครอท จึงส่งผลให้หัวไชเท้ามีความแน่นเนื้อน้อยกว่าความแน่นเนื้อของแครอท อีกทั้งจะเห็นว่าแครอทมีการจัดเรียงของเนื้อเยื่อ parenchyma ที่

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

ค่อนข้างแน่น และมีจำนวนมากกว่าหัวไชเท้า (Gupta, 2017) ด้วยหลักการเหล่านี้ อาจสามารถสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่า พลังงานตัดในแครอทสูงกว่าพลังงานตัดในหัวไชเท้า ถึงแม้ว่าขนาดของแครอทจะเล็กกว่าขนาดของหัวไชเท้าก็ตาม



Figure 3 carrot and white radish after being cut by manufactured machine.

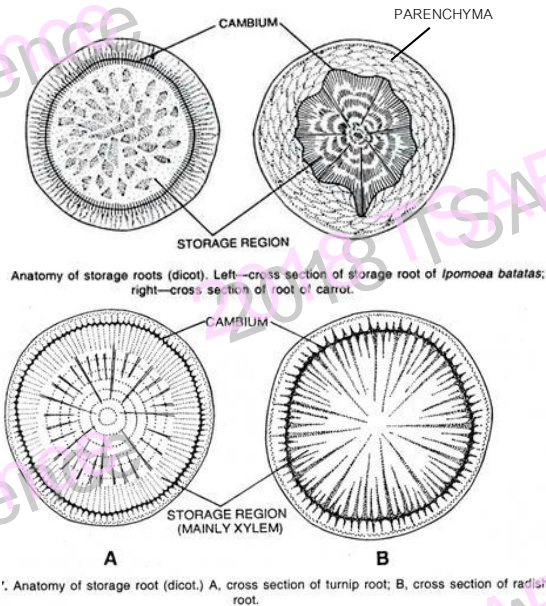


Figure 3 carrot and white radish anatomies (Modified from Gupta, 2017).

สำหรับการตัดด้วยเครื่องนี้จากการศึกษาายังพบว่า โมเมนต์เฉื่อยของแขนเพนดูลัม คือ 0.024 kg m^2 และความเร็วของใบมีด คือ 4.38 m s^{-1}

4 สรุป

จากการที่ได้จัดทำการออกแบบและสร้างเครื่องตัดแบบเพนดูลัมสามารถแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จตามเป้าหมาย กล่าวคือ ได้เครื่องตัดเพนดูลัมที่มีขนาดกะทัดรัดและเคลื่อนย้ายได้สะดวก และสามารถนำไปทดสอบหาค่าพลังงานในการตัดวัสดุเกษตรประเภทผักและผลไม้ได้ ขนาดของพลังงานตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเกษตรซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับสรีระวิทยาของพืชนั้นๆ ซึ่งนับว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเพื่อการออกแบบสร้างเครื่องมือในการแปรรูปต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง จ. นครราชสีมา ให้ความอนุเคราะห์การศึกษาวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- สตรีรัตน์ โยต์ค. 2560. การแกว่ง (Oscillation). ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แหล่งที่มา: <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~hsatreer/data/doc/FirstYearPhysics/oscillation.doc>. เข้าถึงเมื่อ 28 มกราคม 2560.
- Datta, A.C. (2003). Harvesting and Threshing. In: Chakraverty, A., Mujumdar, A.S., Vijaya Raghavan, G.S. and Ramaswamy, H.S. (Eds.), Handbook of Postharvest Technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea and Spices (pp. 57-68). Marcel Dekker, Inc. NY.
- Gupta, H. (2017). Epiphytic Roots and Storage Roots. Available at <http://www.biologydiscussion.com/root/epiphytic-roots-and-storage-roots-with-diagram-botany/20664>. Accessed on 21 February 2018.
- Visvanathan, R., Sreenarayanan, V.V. and Swaminathan, K.R. 1996. Effect of Knife Angle and Velocity on the Energy Required to Cut Cassava Tubers. (pp. 99-102). Journal of Agricultural Engineering 12 Dec 1996. Seattle Washington.