Research Article
Journal of Advanced Development in Engineering and Science
Vol.15 ● No.44 • September – December 2025

พลังงานจำเพาะในการตัดส่วนต่างๆของมันสำปะหลังด้วยหลักการแพนดูลัมร่วมกับตัววัดแรงตัดสองแนวแกน

Specific Cutting Energies for Various Parts of Cassava Plants Obtained from the Pendulum Principle Adapted with Bi-Axial Cutting Force Measuring Device

ยงยุทธ์ เสียงดัง[1], จันทนา สันทัดพร้อม[1], พยุงศักดิ์ จุลยุเสน[2]
และ ทยาวีร์ หนูบุญ[1*]
Yongyuth Siangdang[1], Jantana Suntudprom[1]
Payungsak Junyusen[2] and Thayawee Nuboon[1*]

Received: 27 February 2025
Revised: 28 August 2025
Accepted: 2 September 2025

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชเอนกประสงค์เนื่องจากส่วนต่างๆของพืชชนิดนี้ตั้งแต่หัวจรดรากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างโดยเฉพาะหัวมันสำปะหลัง กระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ เช่น การตัดต้นและยอด การตัดหัวมันสำปะหลัง การรวบรวมและการลดขนาดหัวมันสำปะหลังเพื่อแปรรูป โดยทั่วไปการตัดใช้ในหลายขั้นตอนของกระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวัดทางไดนามิกส์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องจักรในการผลิตมันสำปะหลังที่เหมาะสม เครื่องวัดการตัดด้วยหลักการแพนดูลัมร่วมกับตัววัดแรงตัดสองแนวแกนประกอบด้วยส่วนหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้าง ส่วนวัดแรงตัด ส่วนวัดพลังงานตัด และส่วนโปรแกรมประมวลผล ในการทดสอบได้ดำเนินการทดสอบที่มุมใบมีด 3 ระดับคือ 15 30 และ 45 องศา จากการทดสอบการตัดพบว่ามุมใบมีด 30 องศาเหมาะสำหรับการตัดยอด การตัดขั้วและการตัดหัวมันสำปะหลัง เพราะใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อย 3.72 5.46 และ 0.35 จูลต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แต่ที่มุมใบมีด 45 องศาเหมาะสำหรับการตัดโคนมันสำปะหลัง

[1]สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ประเทศไทย 30000
[1]Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา ประเทศไทย 30000
[2]Department of Agricultural Engineering,Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000
*ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: thayawee@rmuti.ac.th

เพราะใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อย 7.54 จูลต่อตารางเซนติเมตร ส่วนการตัดตลอดลำต้นมันสำปะหลังพบว่าที่บริเวณโคนจะมีความแข็งแรงมากที่สุด ทำให้ใช้พลังงานตัดจำเพาะและแรงตัดสูงสุดจำเพาะสูงที่สุด ส่วนบริเวณยอดจะมีความแข็งแรงน้อยที่สุด ทำให้ใช้พลังงานตัดจำเพาะและแรงตัดสูงสุดจำเพาะน้อยที่สุด จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าเครื่องนี้สามารถใช้วัดพลังงานและแรงตัดสำหรับกระบวนการตัดเพื่อแปรรูปมันสำปะหลังได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ทดสอบการตัดวัสดุเกษตรอื่นๆได้

คำสำคัญ: แรงตัดมันสำปะหลัง แพนดูลัม พลังงานในการตัดมันสำปะหลัง อุปกรณ์วัดแรงตัดสองแนวแกน

ABSTRACT

Cassava is a versatile plant due to all parts of this plant from top to root could be used for a number of purposes, particularly, cassava root. Cassava harvesting processes are involved some steps such as top and stem cutting, cassava tuber cutting, specimen collecting and size reduction of tuber for processing. Generally, cutting is used in several stages of the cassava harvesting process. This research was aimed to evaluate the dynamic force for further development of the suitable equipment for cassava farm. The pendulum 2-Axis cutting force principle for cassava cutting process was constructed and consisted of 4 parts: frame, cutting force measurement, cutting energy measurement, and data processing system. The cutting process was done at 3 different cutting angles of 15, 30 and 45 degrees. The results revealed that, when considering the lowest specific cutting energy, the suitable cutting angle for the top part of cassava stem, cassava tuber peduncle, and cassava tuber was 30 degree, specific cutting energies of 3.72, 5.46, and 0.35 joulespersquarecentimeter, respectively, were used. Whereas, cutting the cassava peduncle could be done at cutting angle of 45 degree, uses a specific cutting energy of 7.54 joules per squarecentimeter. It was clearly observed that cutting the end of cassava stem base which is the hardest part was taken the maximum specific cutting energy and specific maximum cutting force. On the other hand, the top end of cassava stem is consisted of soft tissue therefore the cutting was applied at the lowest specific cutting energy and specific maximum cutting force. To conclude, the pendulum principle cutting could measure the cutting energy and cutting force for cassava cutting process, including for assessment of the other agricultural product cutting force and cutting energy.

Keywords: Cassava Cutting Force; Pendulum; Cassava Cutting Energy; Extended Circular Ring

บทนำ

พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทยประมาณ 8.94 ล้านไร่ ผลผลิตรวม 27.941 ล้านตัน ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [1] มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถนำทุกส่วนมาใช้ประโยชน์ได้ การแปร

รูปมันสำปะหลังด้วยการตัดเป็นวิธีที่นิยม การตัดส่วนต่างๆของต้นมันสำปะหลังถูกใช้งานและทำการวิจัยในหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการตัดยอดและต้นในการเก็บเกี่ยว ขั้นตอนการสับเหง้าเพื่อแยกหัวมันออกจากเหง้า จะมีงานวิจัยของเกียรติสุดา สุวรรณปาและเสรี วงส์พิเชษฐ์ [2, 3] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ และคณะ [4] พยุงศักดิ์ จุลยุเสน และคณะ [5] ศักดิ์ชัย อาษาวัง และคณะ [6] และเสรี วงส์พิเชษฐ [7] ขั้นตอนการตัดท่อนพันธุ์เพื่อปลูกจะมีงานวิจัยของจตุรงค์ ลังกาพินธุ์ และคณะ [8] นราธิป ภาวะรี และสรวินท์ ปูคะภาค [9] รังสรรค์ กุฎสำโรง และวินัย กล้าจริง [10] และสุกรี สุขประเสริฐ และคณะ[11] และขั้นตอนการสับหัวมันเพื่อแปรรูป จะมีงานวิจัยของจรูญศักดิ์ สมพงศ์ และคณะ[12] วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง [13] สุเนตร สืบค้า และคณะ [14] และชัยณรงค์ หล่มช่างคำ และคณะ [15] นักวิจัยดังกล่าวทำการศึกษาเกี่ยวกับการตัดต้นมันสำปะหลัง เกียรติสุดา สุวรรณปา และเสรี วงส์พิเชษฐ์ [2] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ใบมีดรูปทรงสี่เหลี่ยมสับแยกหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้าด้วยหลักการทำงานของเครื่องเจาะกระแทก ออกแบบให้ดาย (Die) มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทำหน้าที่จับยึดมันสำปะหลังก่อนถูกจับให้อยู่ในตำแหน่งหงายขึ้น ออกแบบพันช์ (Punch) ให้มีลักษณะเป็นแท่งรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่ขนาดเล็กกว่าทำหน้าที่กดเพื่อสับแยกหัวมันสำปะหลังออกจากเหง้า รังสรรค์ กุฎสำโรง และวินัย กล้าจริง [10] ศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลัง ผลการทดสอบพบว่าค่าแรงตัดเฉือนของใบมีดที่ทำมุม 30 องศา ในทุกอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดจะใช้แรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุดและพลังงานตัดจำเพาะน้อยกว่าใบมีดทำมุม 45 และ 60 องศา สุกรี สุขประเสริฐ และคณะ [11] ได้ทดสอบมุมใบมีดสำหรับตัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยเครื่องทดสอบทางกล (Universal Testing Machine, UTM) ผลการศึกษาพบว่ามุมคมใบมีดตัดท่อนพันธุ์ที่เหมาะสมที่สุด 20 องศา ใช้แรงในการตัด 1,248.40 นิวตัน จรูญศักดิ์ สมพงศ์ และคณะ [12] ได้พัฒนาเครื่องสับมันสำปะหลังสำหรับเกษตรกรรายย่อย จากการทดสอบการตัดหัวมันด้วยหลักการของแพนดูลัม พบว่ามุมใบมีดที่เหมาะสมคือ 30 องศา มุมการตัดที่เหมาะสมคือ 75 องศา และความเร็วของใบมีดที่เหมาะสมคือ 4.34 เมตรต่อวินาที วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง [13] ศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยกสำหรับผลิตชิ้นมันเส้น พบว่ามุมใบมีดที่เหมาะสมคือ 30 องศา มุมการตัดหัวมันสำปะหลัง 70 องศา ที่ความหนาใบมีด 1.5 มิลลิเมตร และสุเนตร สืบค้า และคณะ [14] ได้ศึกษาพลังงานจำเพาะที่ใช้ตัดหัวมันสำปะหลังโดยวิธีแพนดูลัมกับวิธีสเตรนเกจ พบว่าพลังงานจำเพาะในการตัดด้วยวิธีสเตรนเกจมีค่าสูงกว่าวิธีแพนดูลัม ความเร็วใบมีดที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 6.79 - 7.10 เมตรต่อวินาที มุมใบมีดที่เหมาะสมคือ 30 องศา และมุมเฉือน 75 องศา จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นว่าเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM) จะแสดงค่าแรงหนึ่งแกนและพฤติกรรมการตัดเฉพาะในช่วงสเตติกส์ ส่วนหลักการแพนดูลัมจะแสดงเฉพาะค่าพลังงานตัดและ/หรือพลังงานการตัดจำเพาะ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแรงตัดในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยการวัดแรงตัดทั้งสองแนวแกนและพลังงานการตัด ตลอดจนสามารถแสดงพฤติกรรมการตัดในช่วงไดนามิกส์ของส่วนต่างๆ ของต้นมันสำปะหลัง เพื่อนำข้อมูลมุมใบมีดไปเลือกใช้ใบมีดที่เหมาะสม นำข้อมูลแรงตัดในแต่ละแกนไปออกแบบชิ้นส่วนให้เหมาะสมที่จะรับแรงแต่ละแกน นำข้อมูลพลังงานการตัดไปเลือกใช้ต้นกำลังและยังสามารถดูพฤติกรรมการตัดในแต่ละช่วงได้ ทำให้ได้เครื่องจักรในการผลิตมันสำปะหลังที่แข็งแรง ขนาดกะทัดรัด มีต้นกำลังที่เหมาะสม ช่วยลดต้นทุนในการผลิตและการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ทดสอบการตัดวัสดุเกษตรอื่นๆได้

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยจะดำเนินการ 3 ขั้นตอน คือ 1.การออกแบบและสร้าง 2.การสอบเทียบและ 3.การทดสอบและประเมินผลการทำงาน

1. การออกแบบและสร้าง

เครื่องวัดการตัดส่วนต่างๆของต้นมันสำปะหลังด้วยหลักการแพนดูลัมร่วมกับตัววัดแรงตัดสองแนวแกนประกอบด้วยส่วนหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้าง ส่วนวัดแรงตัด ส่วนวัดพลังงานตัด และส่วนโปรแกรมประมวลผล

1.1 ส่วนโครงสร้างจะเป็นแบบตั้งพื้น ฐานล่างสุดทำจากเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส วงกลม 3 วงทำจากเหล็กแบน ม้วนเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร ซี่วงกลมทำจากเหล็กแป็บดำ

1.2 ส่วนวัดแรงตัด ออกแบบและสร้างตัววัดแรงตัดสองแนวแกนแบบ Extended Circular Ring (ECR) ติดสเตรนเกจวงจรวีทสโตนบริดจ์แบบฟูลบริดจ์ 2 ชุดเพื่อให้สามารถวัดแรงได้ 2 แนวแกน คือ แนวแกนเทนเจน (tangent) และแนวแกนนอมอล (normal)

Figure 1 Two-axis cutting force measurement device: Extended Circular Ring (ECR) type.

1.3 ส่วนวัดพลังงานตัด ออกแบบเพลาให้หมุนบนดุมของส่วนโครงสร้างด้วยลูกปืนกลม 3 ตลับ ด้านหน้ารองรับแรงน้อยใช้ลูกปืนกลม 1 ตลับ แรงส่วนใหญ่กระทำที่ด้านหลังจึงจำเป็นต้องใช้ลูกปืนกลม 2 ตลับคู่กัน ส่งผลทำให้ดุมด้านหลังยาวกว่าดุมด้านหน้า ออกแบบให้ด้านหลังสุดของเพลามีขนาดเล็กสำหรับยึดกับแกนของโรตารีเอ็นโค๊ดเดอร์ที่มีความละเอียด 1024 พัลส์ต่อรอบ (Pulse Per Round, PPR) ทำหน้าที่ในการอ่านค่ามุมที่ยกขึ้นไปก่อนและหลังการตัด

1.4 ส่วนโปรแกรมประมวลผลแบ่งเป็น 2 ส่วนย่อย 1) ส่วนแสดงแรงตัดทั้งสองแนวแกนที่ได้จากเครื่องวัดแรงตัดทั้งสองแนวแกนในกราฟของแรงกับเวลา และ 2) ส่วนแสดงมุมการตัดจากโรตารีเอ็นโค๊ดเดอร์ที่อ่านค่ามุมที่ยกแขนเพนดูลัมขึ้นไปก่อนและหลังการตัดด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง Data Acquisition (DAQ) และตัวขยายสัญญาณ (Signal Amplifier)

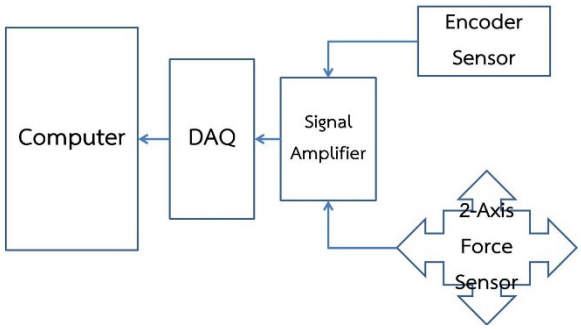

Figure 2 Schematic diagram of the processing program.

2. การสอบเทียบ

การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงจะสอบเทียบ 2 รูปแบบ ได้แก่ การสอบเทียบครั้งละ 1 แกนกับการสอบเทียบพร้อมกัน 2 แกน โดยใส่ก้อนน้ำหนักครั้งละ 1 ก้อน (น้ำหนัก 2.3 กิโลกรัมหรือ 22.563 นิวตัน เป็นก้อนน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบทางปฐพีวิทยาสำหรับวิศวกรรมโยธา) อ่านค่าแรงดันไฟฟ้า บันทึกผล แล้วเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 ก้อน อ่านค่าแรงดันไฟฟ้า บันทึกผลจนครบ 20 ก้อน (น้ำหนัก 46 กิโลกรัมหรือ 451.26 นิวตัน)

3. การทดสอบและประเมินผลการทำงาน

จะทำการทดสอบการตัดที่มุมใบมีดตัดต่างกัน 3 มุม และส่วนต่างๆของมันสำปะหลังอีก 5 ส่วน

3.1 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ เครื่องวัดการตัดส่วนต่างๆของต้นมันสำปะหลังด้วยหลักการแพนดูลัมร่วมกับตัววัดแรงตัดสองแนวแกน ใบมีดตัด 3 อันที่มุมใบมีด 15 30 และ 45 องศา ตามลำดับ Data acquisition ตัวขยายสัญญาณ เครื่องคอมพิวเตอร์ และ Planimeter

3.2 ตัวแปรที่ทำการทดสอบ

ตัวแปรที่ทำการทดสอบมี 2 ตัวแปร ตัวแปรแรกจะเป็นมุมใบมีดมี 3 ระดับ ได้แก่ มุม15 30 และ 45 องศา ตัวแปรที่สองจะเป็นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมี 5 ระดับ ได้แก่ ยอดมันสำปะหลัง โคนมันสำปะหลัง ขั้วหัวมันสำปะหลัง หัวมันสำปะหลัง และการตัดตลอดลำต้นมันสำปะหลัง

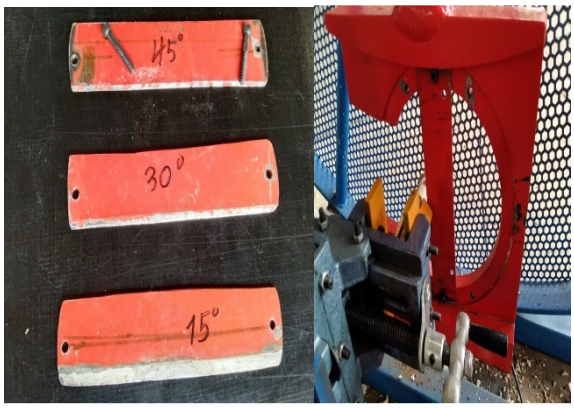

Figure 3 Blade and blade installation.

3.3 ค่าชี้ผล

1) พลังงานตัดจำเพาะ จะพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการตัดต่อพื้นที่ที่ถูกตัด มีหน่วยเป็นจูลต่อตารางเซนติเมตร

พลังงานตัดจำเพาะ=พลังงานที่ใช้ในการตัด (จูล) / พื้นที่ที่ถูกตัด (ตารางเซนติเมตร)

2) แรงตัดสูงสุดจำเพาะ จะพิจารณาเฉพาะแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดต่อพื้นที่ที่ถูกตัด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเซนติเมตร

แรงตัดสูงสุดจำเพาะ=แรงสูงสุดที่ใช้ในการตัด (นิวตัน) / พื้นที่ที่ถูกตัด (ตารางเซนติเมตร)

Figure 4 Structural part for cutting test

ผลการวิจัย

1. ผลการสอบเทียบ

1.1 การสอบเทียบครั้งละ 1 แกน

จากการการสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงเฉพาะในแนวแกนเทนเจน พบว่าค่าแรงที่กระทำต่ออุปกรณ์วัดแรงในแนวแกนเทนเจนจะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามสมการ Y =339.09X – 5.5379 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9977 และพบว่าค่าแรงที่กระทำต่ออุปกรณ์วัดแรงในแนวแกนนอมอลจะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามสมการ Y= 2522.7X – 0.9982 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9975

1.2 การสอบเทียบพร้อมกัน 2 แกน

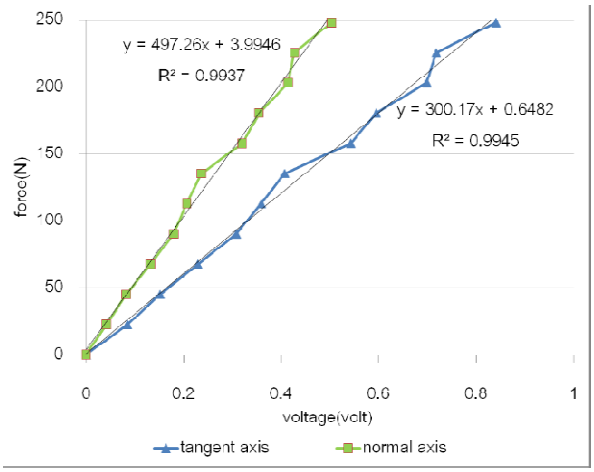

Figure 5 Calibration of a simultaneous force measurement device on 2 axes.

การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงพร้อมกัน 2 แกนจะให้ผลแตกต่างจากการสอบเทียบครั้งละแกน เนื่องจากแรงที่กระทำให้เครื่องมือวัดแรงเกิดความเครียดในแนวแกนที่ถูกกระทำแล้วยังมีผลให้แนวแกนอื่นเกิดความเครียดด้วยเช่นกันแต่มีผลไม่มาก ในการทดสอบการตัดจริงจะเกิดแรงตัดพร้อมกันทั้ง 2 แกน จึงใช้ผลการสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงพร้อมกัน 2 แกนเป็นค่าอ้างอิง

2. ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงาน

ในการทดสอบการตัดด้วยหลักการแพนดูลัมจำเป็นต้องหาพลังงานสูญเสียซึ่งเป็นค่าคงที่ของแต่ละเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นมา การทดสอบพลังงานสูญเสียกระทำได้ด้วยการยกแขนแพนดูลัมไปวางค้างไว้ที่มุม 90 องศา แล้วปล่อยให้แขนแพนดูลัมตกลงมาอย่างอิสระ นำค่าตัวแปรต่างๆไปคำนวณหาค่าพลังงานสูญเสีย พบว่าในการทดสอบ 10 ครั้ง จะมีจำนวน 7 ครั้ง ที่มุมยกของแขนแพนดูลัมหลังถูกปล่อยอย่างอิสระมีค่าเท่ากันเท่ากับ 89.3321 องศา เมื่อคำนวณเป็นมุมที่สูญเสียไปจะมีค่าเท่ากับ 0.8265 องศา เพราะโดยทฤษฎีแล้วเมื่อยกแขนแพนดูลัมขึ้นไปเป็นมุมเท่าใด ปล่อยลงมาอย่างอิสระแล้วจะต้องมีมุมยกขึ้นไปอีกด้านหนึ่งเท่านั้น นำค่ามุมที่สูญเสียมาคำนวณเป็นพลังงานสูญเสียตามสมการจะเท่ากับ 1.4869 จูล ซึ่งมีค่าน้อยมาก นำค่านี้ไปลบออกจากค่าที่ทดสอบได้ก็จะได้ค่าที่แท้จริง

2.1 พลังงานตัดจำเพาะยอดมันสำปะหลัง

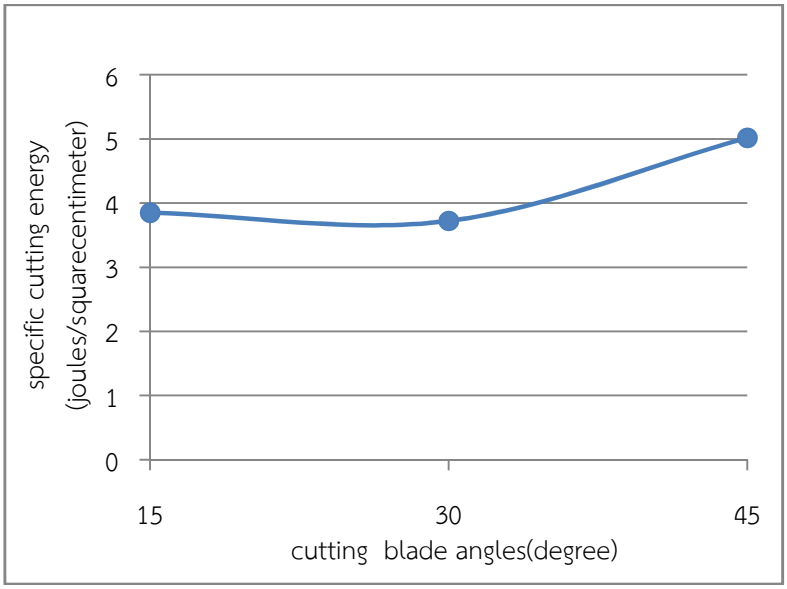

Figure 6 Specific cutting energy top part of cassava stem

พลังงานตัดจำเพาะในการตัดยอดมันสำปะหลังที่มุมใบมีด 15 30 และ 45 องศา ไม่แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะที่มุมใบมีด 15 กับ 30 องศา มีค่าใกล้เคียงกัน ที่มุมใบมีด 30 องศา ใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อยที่สุด 3.72 จูลต่อตารางเซนติเมตร เนื่องจากบริเวณยอดมันสำปะหลังเป็นลักษณะไม้เนื้ออ่อน มีความเหนียวผสมกับความเปาะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชัยณรงค์ หล่มช่างคำ [15] ที่รายงานว่ามุมในการตัดที่ 30 องศา ให้ค่าแรงเฉือนในการตัดและความเค้นเฉือนในการตัดน้อยที่สุด

2.2 พลังงานตัดจำเพาะโคนมันสำปะหลัง

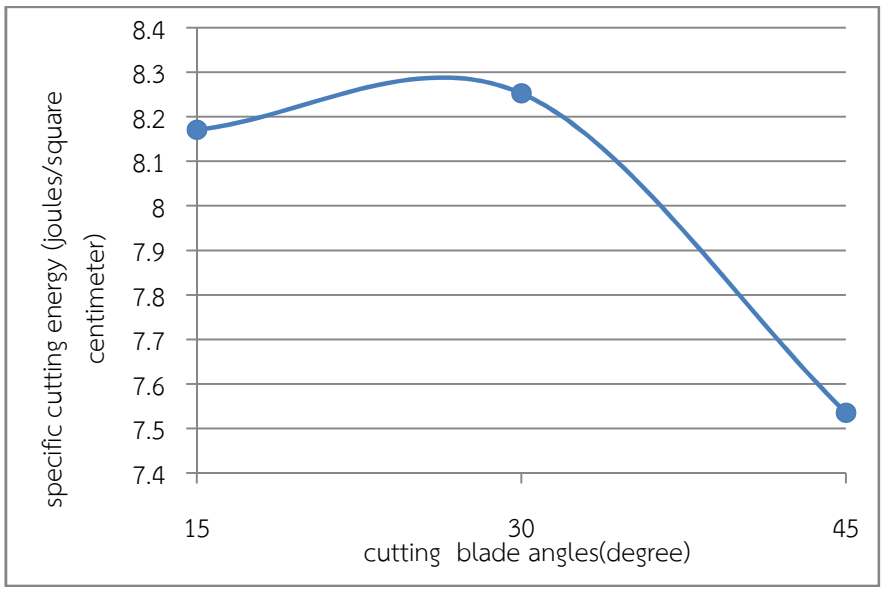

Figure 7 Specific cutting energy ofcassava peduncle

ผิวรอบนอกของโคนมันสำปะหลังจะมีลักษณะที่แข็งแต่เปราะ บริเวณไส้กลางมีลักษณะเหมือนฟองน้ำสีขาว ที่มุมใบมีด 45 องศาใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อยที่สุด เนื่องจากมุมใบมีดที่กว้างทำให้เกิดการแตกร้าวได้มากว่ามุมใบมีดที่แคบ ในการตัดโคนมันสำปะหลังจะใช้พลังงานตัดจำเพาะสูงที่สุดในการตัดส่วนต่างๆของต้นมันสำปะหลัง ใช้พลังงานตัดจำเพาะ 7.54 จูลต่อตารางเซนติเมตร

2.3 พลังงานตัดจำเพาะขั้วหัวมันสำปะหลัง

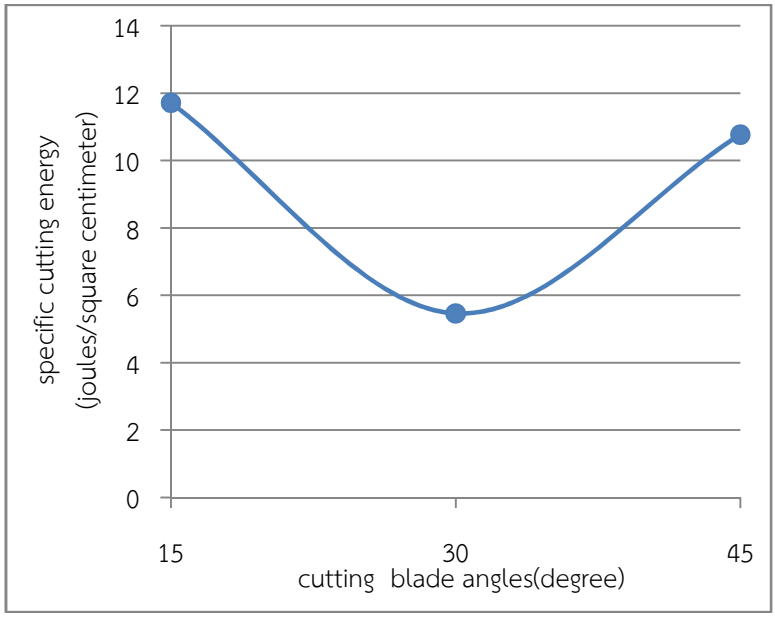

Figure 8 Specific cutting energy ofcassava tuber peduncle

จากการทดสอบการตัดพบว่าพลังงานตัดจำเพาะในการตัดขั้วหัวมันสำปะหลังที่มุมใบมีด 30 องศา ใช้พลังงานตัดจำเพาะต่ำสุด 5.46 จูลต่อตารางเซนติเมตร ใช้พลังงานตัดจำเพาะต่ำกว่าที่มุมใบมีด 15 และ 45 องศา เนื่องจากขั้วหัวมันสำปะหลังเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างหัวมันสำปะหลังกับท่อนเหง้ามันสำปะหลัง มีขนาดเล็กแต่แข็งแรงเนื่องจากประกอบด้วยเส้นใยเหนียว

2.4 พลังงานตัดจำเพาะหัวมันสำปะหลัง

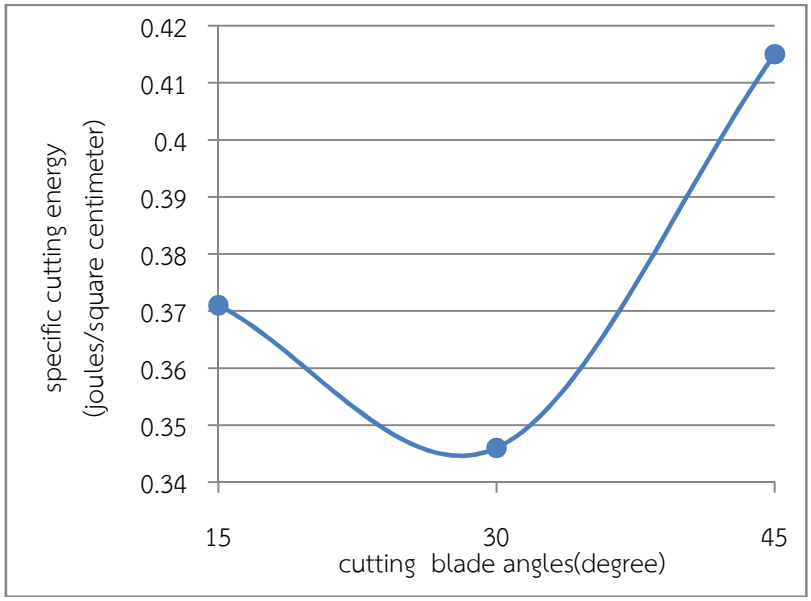

Figure 9 Specific cutting energy ofcassava tuber

จากการทดสอบพลังงานตัดจำเพาะในการตัดหัวมันสำปะหลังพบว่าที่มุมใบมีด 30 องศา ใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อย 0.35 จูลต่อตารางเซนติเมตร น้อยกว่าที่มุมมีดอื่นๆ เนื่องจากหัวมันสำปะหลังประกอบไปด้วยแป้ง จึงมีความเปาะ ส่งผลทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย สอดคล้องกับผลการวิจัยของจรูญศักดิ์ สมพงศ์ และคณะ [12] วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง [13] และสุเนตร สืบค้า และคณะ [14]

2.5 การตัดตลอดลำต้นมันสำปะหลัง

1) พลังงานตัดจำเพาะตลอดลำต้นมันสำปะหลัง

จากผลการทดสอบที่ผ่านมาจะเห็นว่ามุมใบมีดที่ 30 องศา เป็นมุมที่ใช้พลังงานตัดจำเพาะในการตัดส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังน้อยเกือบทุกส่วนของต้นมันสำปะหลัง จึงใช้มุมใบมีดที่ 30 องศาในการตัดตลอดลำต้นมันสำปะหลัง จากการทดสอบจะเห็นว่าใช้พลังงานตัดจำเพาะในการตัดลำต้นมันสำปะหลังจะมีค่าต่ำในการตัดที่ยอดต้นมันสำปะหลัง เนื่องจากบริเวณยอดต้นมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อนเหนียวผสมเปราะ พลังงานตัดจำเพาะในการตัดลำต้นมันสำปะหลังจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับเมื่อตัดไปจนถึงโคนต้นมันสำปะหลัง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ รังสรรค์ กุฎสำโรง และคณะ [10] นอกจากนี้ Jyoti [16] ยังพบว่าการใช้ใบมีด 20 และ 30 องศา ทำให้ได้พลังงานตัดจำเพาะต่ำสุดพร้อมคุณภาพลำต้นมันสำปะหลังที่ดีที่สุดซึ่งมีผลคล้ายกับผลการศึกษานี้

Figure 10 Cutting the end of cassava stem base.

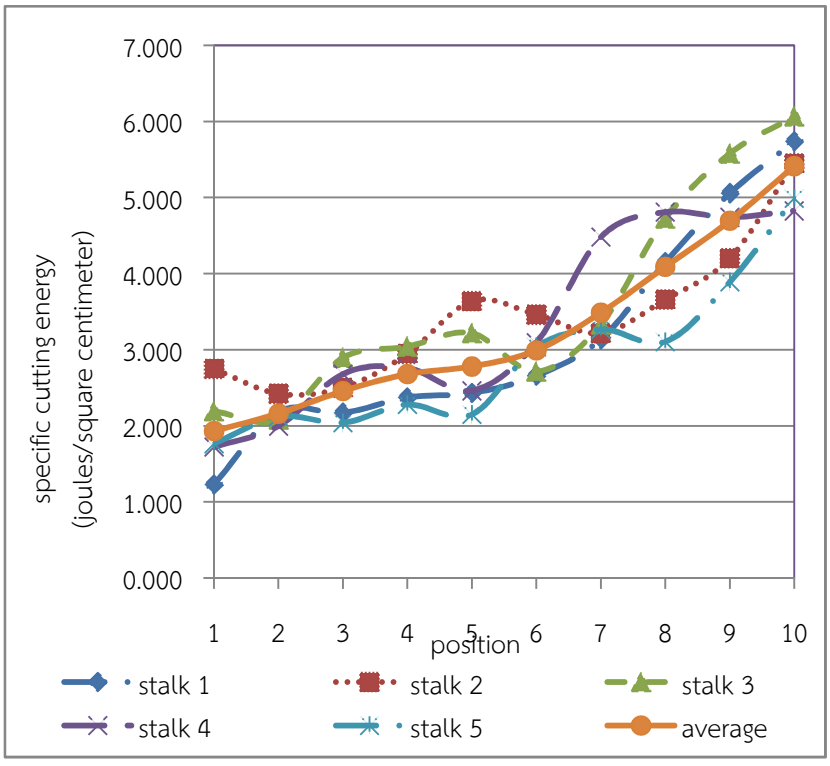

Figure 11 Specific cutting energy throughout the cassava stem.

2) แรงตัดสูงสุดจำเพาะตลอดลำต้นมันสำปะหลัง

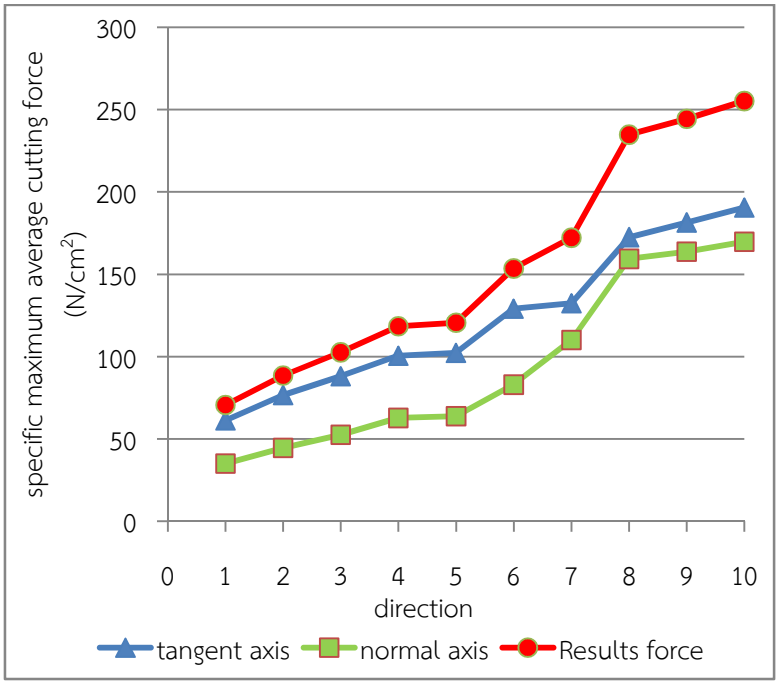

Figure 12 Maximum average specific cutting force throughout the cassava stem.

ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังที่มีลักษณะเหมือนเนื้อไม้ที่บริเวณโคน จะมีความแข็งแรงมากที่สุดทำให้ค่าแรงตัดสูงสุดเฉลี่ยจำเพาะที่บริเวณโคนทั้งในแนวแกนเทนเจนและแกนนอมอลมีค่าสูงสุด บริเวณยอดจะมีความแข็งแรงน้อยที่สุดทำให้ค่าแรงตัดสูงสุดเฉลี่ยจำเพาะที่บริเวณยอดทั้งในแนวแกนเทนเจนกับแกนนอมอลมีค่าน้อยสุด กราฟแรงตัดลัพธ์สูงสุดเฉลี่ยจำเพาะตลอดลำต้น สอดคล้องกับกราฟพลังงานตัดจำเพาะตลอดลำต้นมันสำปะหลัง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการตัดด้วยหลักการแพนดูลัม โดยใช้ใบมีดที่มีมุมมีดต่างกัน 3 รูปแบบ ในการตัดที่เกี่ยวกับมันสำปะหลัง ได้แก่ การตัดยอด การตัดโคน การตัดขั้วหัวมันสำปะหลัง การตัดหัวมันสำปะหลัง และการตัดตลอดลำต้นมันสำปะหลัง พบว่ามุมใบมีด 30 องศา เหมาะสำหรับการตัดยอด การตัดขั้ว และการตัดหัวมันสำปะหลัง เพราะใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อย 3.72 5.46 และ 0.35 จูลต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ แต่ที่มุมใบมีด 45 องศา เหมาะสำหรับการตัดโคนมันสำปะหลัง เพราะใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อย 7.54 จูลต่อตารางเซนติเมตร ส่วนการตัดตลอดลำต้นมันสำปะหลังพบว่าที่บริเวณโคนจะมีความแข็งแรงมากที่สุด ทำให้ใช้พลังงานตัดจำเพาะและแรงตัดสูงสุดจำเพาะทั้งในแนวแกนเทนเจนกับแกนนอมอลสูงที่สุด ส่วนบริเวณยอดจะมีความแข็งแรงน้อยที่สุดทำให้ใช้พลังงานตัดจำเพาะและแรงตัดสูงสุดจำเพาะทั้งในแนวแกนเทนเจนกับแกนนอมอลน้อยที่สุดตามลำดับ

References

[1] Office of Agricultural Economics. (2024). *Weekly Report of Thai Production and Market for Agricultures*. Available From https://www.oae.go.th./assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/cacava%2065.pdf. Accessed date: 27 March 2024. (in Thai)

[2] Suwannapa, K. & Wongpichet, S. (2015). Study of the Engineering Technical Feasibility of Using a Square-Shaped Blade for Chopping and Separating Cassava Roots from Rhizomes. In *16th National Agricultural Engineering Association of Thailand Academic Conference 2015 and 8th International Conference* (p. 335-342), 17-19 March 2015, Bangkok, Thailand. (in Thai)

[3] Suwannapa, K. & Wongphichet, S. (2019). Research and Development to Increase the Work Rate of the Cassava Rhizome Chopper. *Journal of Science and Technology Research Rajamangala University of Technology Thanyaburi*. 18(2), 41-51. (in Thai)

[4] Langkapin, C., et al. (2012). Design and Construction of a Machine for Removing Cassava Roots from Rhizomes, *Journal of Agriculture*. 30(3), 300-311. (in Thai)

[5] Chulayusen, P., et al. (2014). Development of a Cassava Harvesting Machine that Cuts Cassava Tubers from the Rhizomes. *Journal of Agriculture*. 45(3), 353-356.(in Thai)

[6] Asawang, S., et al. (2016). Design and Develop a Cassava Root De-Peeling Machine. *Agricultural Science J*ournal, 47(3), 463-466. (in Thai)

[7] Wongpichet, S. (2013). *Study of the Physical Properties of Cassava Rhizomes and Design of the Working Principle of the Rhizome Cutting Mechanism*. Khon Kaen: Post-Harvest Technology Innovation Center, Khon Kaen University. (in Thai)

[8] Langkapin, C., et al. (2008). Development of a Cassava Cutting Machine. *Rajamangala University of Technology Thanyaburi Journal of Engineering*, 12(1), 19-26. (in Thai)

[9] Bhavaree, N. & Pukaphak, S. (2020). Effects of Rotational Speed on Increasing the Production Rate of Cassava Cutting Machines. *Journal of Science and Technology Mahasarakham Rajabhat University*, 5(2), 1-13. (in Thai)

[10] Kutsamrong, R. & Klajing, W. (2015). Study of Mechanical Properties of Cassava Plants, In *16th National Agricultural Engineering Association of Thailand Academic Conference 2015 and 8th International Conference* (p. 571-577), 17-19 March 2015, Bangkok, Thailand. (in Thai)

[11] Sukprasert, S., et al. (2017). Study and Development of Scotch Yoke Mechanism for Planting Machines Cassava. *Journal of Science and Technology Research Rajamangala University of Technology Isan*, 10(1), 94-105. (in Thai)

[12] Sompong, C., et al. (2022). *Cassava Chopping Machine for Small Farmers*. Available from www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_25937. Accessed date: 27 March 2024. (in Thai)

[13] Wangkhueanklang, W. (2004). *Study of a Rocking Blade Cassava Chopper for Producing*

Cassava Pieces, (Master thesis, Khon Kaen University). (in Thai)

[14] Suebkha, S., et al. (2012). Comparison of Energy Used in Cutting Cassava Roots (Research Report). Khon Kaen: Post-Harvest Technology Innovation Center, Khon Kaen University. (in Thai)

[15] Lomchangkum, C., et al. (2020). A Study on the Mechanical Characteristics of Casava Tuber Cutter. *International Journal of Agricultural Technology*. 16(1), 63-76.(in Thai)

[16] Jyoti, B. (2021). Specific Cutting Energy Characteristics of Casava Stem with Varying Blade Parameters Using Impact Type Pendulum Testing. *Agricultural Mechanization in Asia, Affrica and Latin America*, 52(4), 15-23.

[17] Visvanathan, R., et al. (1996). Effect of Knife Angle and Velocity on the Energy Required to Cut Cassava Tubers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64(2), 99–102.

[18] Lomchangkum, C., et al. (2020). A Study on the Mechanical Characteristics of Cassava Tuber Cutter. *International Journal of Agricultural Technology*. 16(1), 63-76.