

ผลของระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของงานกะเทาะต่อสมรรถนะ ของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา

Effect of Shelling Clearances and Shelling Shaft Speeds on Performance of Sacha Inchi Shelling Unit

ณัฐพล โสกุตเลาะ (Nuttaphon Sokudlor)* กิตติพงษ์ ลาโลน (Kittipong Laloon)¹** ศักดิ์ดา จำปานา (Sakda chumpana)***

สมโภชน์ สุดาจันทร์ (Somposh Sudajan)**** นิรติศักดิ์ คงทน (Nirattisak Khongthon)*****

(Received: August 1, 2018; Revised: September 24, 2018; Accepted: September 29, 2018)

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคาแบบจาน โดยประเมินสมรรถนะการทำงานของชุดกะเทาะจากเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก ความสามารถในการทำงานและพลังงานจำเพาะ ในการศึกษาใช้ผลดาวอินคาความชื้น 4.61% (ฐานเปียก) ควบคุมอัตราป้อน 290 กก./ชม. ศึกษา ระยะกะเทาะ 3 ระดับ คือ 13 15 และ 17 มม. ความเร็วงานกะเทาะ 3 ระดับ คือ 200 250 และ 300 รอบ/นาที ผลการศึกษาพบว่า ระยะกะเทาะ ความเร็วงานกะเทาะ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วงานกะเทาะ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์กะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียหาย ความสามารถในการทำงาน และพลังงานจำเพาะ โดยระยะกะเทาะ 15 มม. ที่ความเร็วงานกะเทาะ 250-300 รอบ/นาที เป็นระดับปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมที่สุด มีเปอร์เซ็นต์กะเทาะ 95.70-96.94 % เมล็ดแตกหัก 6.52-7.80 % ความสามารถในการทำงาน 245.40-255.78 กก./ชม. และใช้พลังงานจำเพาะ 3.93-3.95 วัตต์-ชม./กก.

ABSTRACT

This project aimed to find out proper operating factors of disc-typed Sacha inchi shelling unit. Performance was evaluated from shelling percentage, broken seed percentage, working capacity and specific energy consumption. Sacha Inchi moisture content of 4.61% (w.b.) were used in this study, feed rate was controlled at 290 kg/h, tested 3 difference shelling clearances of 13, 15 and 17 mm with difference shelling shaft speeds of 200, 250 and 300 rpm. The result show that shelling clearances, shelling shaft speeds and interaction of shelling clearances with shelling shaft speeds significantly impact all indicator. The shelling clearance of 15 mm with shelling shaft speeds about 250-300 rpm are suitable operating factors of the shelling unit, providing shelling percentage, broken seed, working capacity and specific energy consumption about 95.70-96.94%, 6.52-7.80 %, 245.40-255.78 kg/h and 3.93-3.95 W-h/kg, respectively.

สำคัญ: ระยะกะเทาะ ความเร็วเพลลาของงานกะเทาะ ชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา

Keywords: Shelling clearances, Shelling shaft speeds, Sacha Inchi shelling unit

¹ Correspondent author: kittila@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** นักวิจัย ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ

**** รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***** อาจารย์ สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



บทนำ

ดาวอินคาหรือที่คนไทยนิยมเรียก ถั่วดาวอินคา เป็นพืชในตระกูล *Euphorbiaceae* เช่นเดียวกับยางพารา สบู่ดำ และมันสำปะหลัง [1] ซึ่งไม่จัดอยู่ในกลุ่มพืชตระกูลถั่ว [2] ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศเปรู จากงานวิจัยพบว่า เมล็ดดาวอินคามีน้ำมันสูงถึง 41.4% [3] น้ำมันดังกล่าว เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว 85-90% ประกอบด้วย กรดอัลฟาไลโนเลนิก (Alpha-Linolenic Acid, ALA) 42-48% กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid, LA) 32-37% [4] และกรดโอเลอิก (Oleic acid) 9-12% [5] ซึ่งกรดไขมันดังกล่าวมีความจำเป็นต่อร่างกาย ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สูงดาวอินคาจึงกลายเป็นพืชน้ำมันที่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคได้ [4] การแปรรูปดาวอินคาเพื่อสกัดน้ำมันประกอบด้วยหลายขั้นตอน เริ่มจากนำผลดาวอินคาแห้งมาแกะเปลือกออก คัดเอาเมล็ดที่สมบูรณ์ จากนั้นนำเมล็ดที่ได้มาแกะเปลือกอีกครั้งเพื่อแยกเปลือกหุ้มเมล็ดออก แล้วจึงนำเมล็ดเนื้อในไปใช้เป็นวัตถุดิบหลักในขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป [6] การแกะเปลือกดาวอินคาจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อทั้งปริมาณและคุณภาพของเมล็ดที่จะใช้ในกระบวนการแปรรูป

จากการศึกษาของ สุพรรณ และคณะ [7] พบว่า การแกะเปลือกดาวอินคาในประเทศไทย ส่วนใหญ่ยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก ความสามารถในการทำงานจึงต่ำมากประมาณ 15-20 กิโลกรัม (ฝัก) ต่อวันต่อคน ทำให้ได้ปริมาณเมล็ดที่ได้ไม่เพียงพอสำหรับการแปรรูป โดยเฉพาะการหีบสกัดเป็นน้ำมันซึ่งต้องใช้เมล็ดดาวอินคาจำนวนมาก จากประเด็นดังกล่าวคณะวิจัยได้พัฒนาเครื่องแกะและทำความสะอาดถั่วดาวอินคาขึ้น เครื่องประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรกเป็นชุดแกะเปลือกเมล็ดเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นเมล็ดเนื้อใน ส่วนที่สองเป็นชุดคัดแยกและทำความสะอาดเมล็ดเนื้อใน ให้สะอาดบริสุทธิ์เหมาะสำหรับการแปรรูป อย่างไรก็ตาม เครื่องที่พัฒนามุ่งเน้นเพื่อแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออกจากเมล็ดเนื้อใน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สองของกระบวนการแปรรูป ส่วนขั้นตอนแรกคือการแกะเปลือกชั้นนอกออกจากเมล็ดนั้น ศักดิ์ดา และคณะ [8] ได้ศึกษาหากลไกแกะเปลือกดาวอินคา โดยทดสอบเปรียบเทียบกลไกการแกะ 4 แบบ ได้แก่ กลไกแบบตะแกรงโยก กลไกแบบหมุนกระแทก กลไกแบบลูกยางแกะ และกลไกแบบจานแกะ จากการศึกษพบว่า กลไกแบบจานแกะ มีความเหมาะสมสำหรับการแกะเปลือกดาวอินคาออกจากเมล็ดที่สุด มีค่าเปอร์เซ็นต์การแกะ 59-70% และเมล็ดแตกหัก 25-31% แม้กลไกดังกล่าวจะสามารถแกะเปลือกดาวอินคาออกจากเมล็ดได้ แต่ประสิทธิภาพการแกะที่ปรากฏยังคงต่ำและเมล็ดเกิดการแตกหักค่อนข้างสูง ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดกลไกแบบจานแกะ ฌรัฐพล และคณะ [9] ได้ศึกษาความเร็วเพลลาของจานแกะในเครื่องแกะเปลือกดาวอินคา พบว่า ช่วงความเร็วของเพลลาจานแกะระหว่าง 200-300 รอบต่อนาที มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การแกะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดถึง 98.7% แต่ช่วงความเร็วดังกล่าวยังคงทำให้เมล็ดแตกหักสูงเช่นเดิม แนวทางการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นคือการปรับตั้งระยะกะเทาะให้สอดคล้องกับขนาดและความแข็งของเมล็ด [10] เช่นการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อสมรรถนะเครื่องแกะถั่วลิสงแบบล้อยางของ สมโภชน์ [11] ซึ่งพบว่า ระยะกะเทาะที่เหมาะสมควรมีขนาดโตกว่าขนาดกว้างสุดของเมล็ดถั่วลิสง เพราะจะทำให้เมล็ดหลุดผ่านกลไกกะเทาะได้ง่ายขึ้น สามารถลดการแตกหักของเมล็ดลงได้ อย่างไรก็ตาม แม้การเพิ่มระยะกะเทาะจะทำให้การแตกหักของเมล็ดลดลง แต่ก็มีผลทำให้ปริมาณของฝักหรือผลที่ไม่ถูกกะเทาะมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นหรือทำให้ประสิทธิภาพการแกะลดลงได้ [12]

จากการศึกษาข้างต้นเห็นได้ว่า การแกะเปลือกดาวอินคาออกจากเมล็ดเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูป ปัจจุบันยังคงต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักเนื่องจากการใช้เครื่องมือยังคงประสบปัญหาเมล็ดแตกหักสูง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานแกะ เพื่อหา

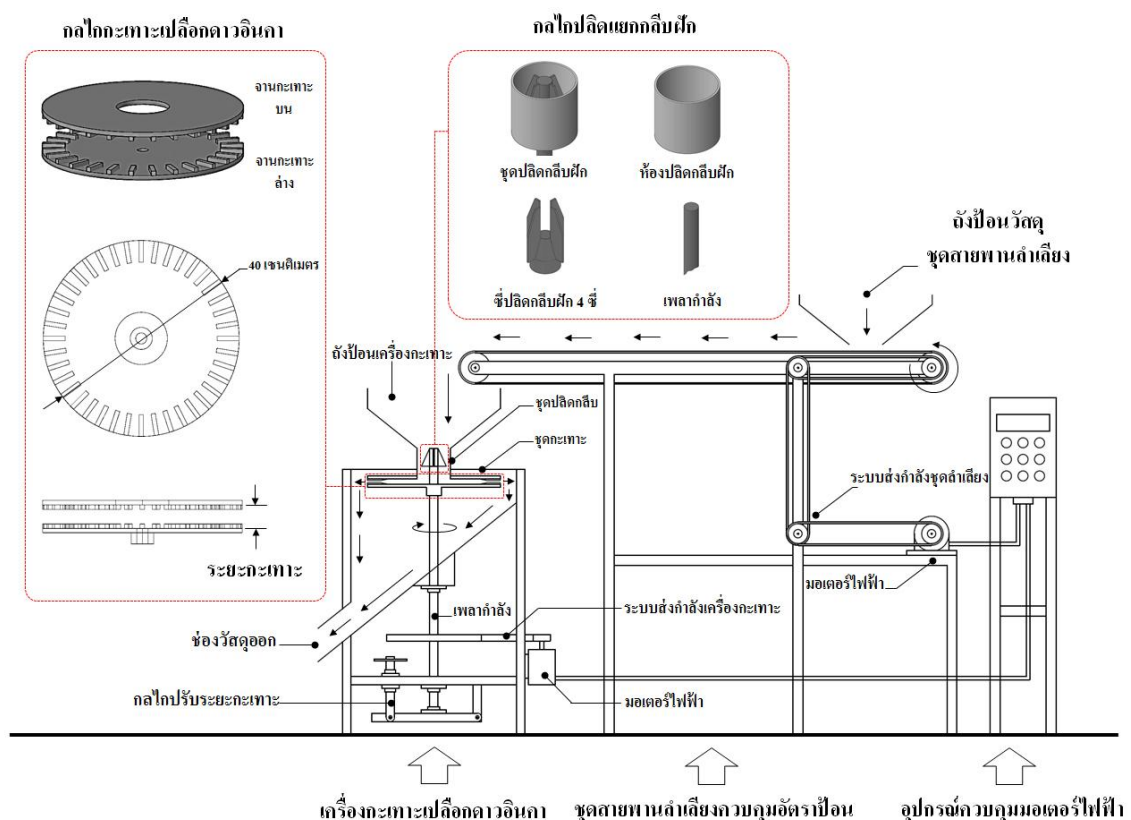
ปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของชุดกะเทาะที่สามารถกะเทาะได้ไม่มีสัณฐานอินคาเต็มเมล็ด เกิดการแตกหักน้อยลง ซึ่งจะ
เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องกะเทาะเปลือกดาวอินคาที่มีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา โดยศึกษา
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะและความเร็วงานกะเทาะที่มีผลทำให้สมรรถนะการทำงานของชุดกะเทาะเพิ่มขึ้น
ได้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงและเมล็ดเกิดการแตกหักต่ำ

วิธีการวิจัย

ในการทดสอบใช้เครื่องกะเทาะแบบจานกะเทาะ ของศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องแสดงในภาพที่ 1 เครื่องประกอบด้วย ถังป้อน ชุดปลิดแยกกลีบฝัก และชุด
กะเทาะ ภายในชุดกะเทาะประกอบด้วย แผ่นจานกะเทาะ 2 แผ่นวางขนานกันในระนาบราบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40
เซนติเมตร ผิวจานติดตั้งซี่กะเทาะเรียงยาวตามแนวรัศมีจาน ขนาดความยาว 4 เซนติเมตร และสูง 0.4 เซนติเมตร จาน
กะเทาะแผ่นบนถูกยึดแน่น ส่วนจานกะเทาะแผ่นล่างยึดกับเพลาลูกหมุนได้ด้วยกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 1 ชุดเครื่องทดสอบกะเทาะเปลือกดาวอินคา ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สมบัติทางกายภาพของเมล็ดดาวอินคาที่ได้จากการศึกษาของ Sokudlor et al. [13] พบว่า เมล็ดดาวอินคามีลักษณะ
รูปทรงแบนรี เมื่อวางระนาบราบมีความหนาเฉลี่ย 8.27 มิลลิเมตร ในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดระยะกะเทาะให้มีขนาดโต



กว่าความหนาแน่นของเมล็ดเช่นเดียวกับการศึกษาของของ สมโภชน์ [11] ส่วนความเร็วรอบเพลลาของจานกะเทาะศึกษาในช่วง 200-300 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นช่วงความเร็วเพลลาของจานกะเทาะที่ให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูง [9] โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

1. ปัจจัยที่ศึกษา

1.1 ระยะกะเทาะ 3 ระดับ ได้แก่ 13 15 และ 17 มิลลิเมตร

1.2 ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ 3 ระดับ ได้แก่ 200 250 และ 300 รอบต่อนาที (ความเร็วเชิงเส้นของจานกะเทาะขนาดรัศมีจาน 20 เซนติเมตร เท่ากับ 20.93, 26.18 และ 31.42 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ)

2. ปัจจัยควบคุม

2.1 ความชื้นของผลดาวอินคาที่ใช้ทดสอบ ควบคุมโดยนำผลดาวอินคาแห้งตากแดดเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นหาความชื้นโดยการอบลดความชื้นตามวิธีมาตรฐานของ ASAE 1994 [14] พบว่า ผลดาวอินคาที่มีความชื้นเฉลี่ย 4.61% (ฐานเปียก) แล้วนำผลดาวอินคาบรรจุในถุงเพื่อใช้ในการทดสอบ

2.2 อัตราการป้อน จากภาพที่ 1 เครื่องกะเทาะมี 2 กลไกหลัก คือ กลไกแยกฝักของชุดผลิตกลีบ และกลไกกะเทาะเปลือกของชุดกะเทาะ ซึ่งกลไกแยกฝักจะทำหน้าที่แยกแต่ละกลีบฝักของผลดาวอินคาให้หลุดออกจากกัน และกลีบฝักจะไหลเข้าสู่ชุดกะเทาะที่อยู่ด้านล่าง ดังนั้นความสามารถในการทำงานของชุดผลิตกลีบจึงเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราป้อนของชุดกะเทาะ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ที่ความเร็วการทำงานของชุดผลิตฝัก 260 รอบต่อนาที ชุดผลิตกลีบมีความสามารถในการทำงาน 290 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [15] การศึกษานี้จึงควบคุมอัตราป้อนให้มีค่าเท่ากับ 290 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ควบคุมการป้อนโดยใช้ชุดสายพานลำเลียง

3. วิธีการทดสอบ

3.1 เตรียมตัวอย่างและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ โดยผลิตแยกกลีบฝักดาวอินคา คัดเอาเฉพาะกลีบฝักที่สมบูรณ์มาใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ทำการป้อนกลีบฝักด้วยชุดสายพานลำเลียงโดยปรับตั้งความเร็วของชุดสายพานลำเลียงด้วยอัตราป้อน 290 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากนั้นถอดกลไกผลิตแยกกลีบฝักของชุดผลิตกลีบออก แล้วปรับตั้งเครื่องตามปัจจัยที่ศึกษา

3.2 เริ่มการทดสอบโดยใช้ระยะกะเทาะ 13 มิลลิเมตร กะเทาะด้วยความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ 200 รอบต่อนาที ใช้แรงงาน 1 คน ป้อนตัวอย่างบนสายพานลำเลียงให้ต่อเนื่อง ขณะเดียวกันใช้แรงงานคนอีก 1 คน สุ่มตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง โดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำ พร้อมจับเวลาตั้งแต่เริ่มสุ่มตัวอย่างถึงสุ่มตัวอย่างเสร็จ แล้วบรรจุตัวอย่างลงในถุง เพื่อส่งต่อไปยังแรงงานอีก 2 คน ซึ่งน้ำหนักและคัดแยกตัวอย่าง การคัดแยกตัวอย่างแยกตามลักษณะการกะเทาะ ได้แก่ เมล็ดเต็ม เมล็ดแตกหัก และกลีบฝักที่ไม่กะเทาะ จากนั้นชั่งน้ำหนักแต่ละลักษณะแล้วบันทึกข้อมูล

3.3 กะเทาะที่ระยะกะเทาะ 13 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วจานกะเทาะ 250 และ 300 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบที่ระยะกะเทาะ 13 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ดังข้อ 3.1 และ 3.2

3.4 กะเทาะด้วยระยะกะเทาะ 15 และ 17 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วจานกะเทาะ 200 250 และ 300 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยทดสอบเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบข้อ 3.1-3.3

ในการทดสอบใช้กลีบฝักดาวอินคาที่ปัดออกจากผล และคัดเลือกเอาเฉพาะกลีบฝักที่สมบูรณ์ ทำให้ได้ตัวอย่างกลีบฝักดาวอินคาที่มีขนาดสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน จึงพิจารณาใช้แผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. ค่าชี้ผลการศึกษา

4.1 เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ คือ ปริมาณกลีบฝักที่ถูกกะเทาะแยกเมล็ดและเปลือกออกจากกันได้โดยสมบูรณ์ ซึ่งรวมถึงกลีบฝักที่กะเทาะแล้วได้เมล็ดเต็มและเมล็ดที่แตกหัก [10] คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ} = \frac{\text{น้ำหนักกลีบฝักและเมล็ดที่กะเทาะได้ (กก.)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่สุ่ม (กก.)}} \quad (1)$$

4.2 เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก คือ ปริมาณเมล็ดที่แตกหักจากการกะเทาะ ซึ่งลักษณะการแตกหักของเมล็ด หมายถึง เมล็ดมีส่วนของเปลือกหุ้มแตก ร้าว หรือหลุดออกจากกันจนเห็นเมล็ดเนื้อใน [10] คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก} = \frac{\text{เมล็ดที่แตกหัก (กก.)} \times 100}{\text{เมล็ดทั้งหมดที่กะเทาะได้ตัวอย่างที่สุ่ม (กก.)}} \quad (2)$$

4.3 ความสามารถในการทำงาน คือ ปริมาณวัสดุที่กะเทาะได้ต่อเวลาที่ใช้สุ่ม วัสดุดังกล่าวหมายถึง ส่วนของ กลีบฝักที่ออกจากชุดกะเทาะ ได้แก่ เมล็ด เมล็ดเนื้อใน เปลือก และวัสดุอื่นๆ [10] คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (กก. (ฝัก)/ชม.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่สุ่ม (กก.)}}{\text{เวลาที่ใช้สุ่มตัวอย่าง (ชั่วโมง)}} \quad (3)$$

4.4 พลังงานจำเพาะ คือ อัตราส่วนการใช้พลังงานต่อปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมฝัก คำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\text{พลังงานจำเพาะ (วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมฝัก)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์)}}{\text{ความสามารถในการทำงาน (กก.(ฝัก)/ชม.)}} \quad (4)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ระยะกะเทาะและความเร็วเพลาชองจานกะเทาะ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก ความสามารถในการทำงานและพลังงานจำเพาะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วเพลาชองจานกะเทาะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก และความสามารถในการทำงานแต่ไม่มีผลต่อพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการกะเทาะเปลือก ซึ่งรายละเอียดผลการศึกษา มีดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

ผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ระยะกะเทาะและความเร็วเพลาชองจานกะเทาะระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 พบว่า ระยะกะเทาะและความเร็วเพลาชองจานกะเทาะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ โดยระยะกะเทาะที่ 13 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงสุดและมีค่าลดลงเมื่อระยะกะเทาะเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 17 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความเร็วเพลาชองจานกะเทาะ เมื่อระดับความเร็วเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยความเร็วเพลาชองจานกะเทาะที่ 300 รอบต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงสุด เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วเพลาชองจานกะเทาะ พบว่า ที่ระยะกะเทาะ 13



มิลลิเมตร ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ 250-300 รอบต่อนาที มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะไม่แตกต่างกันและให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงที่สุด มีค่าระหว่าง 97.36-98.26%

2. เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก

ผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักที่ระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 พบว่า ระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ โดยระยะกะเทาะที่ 17 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักต่ำสุดและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะกะเทาะลดลงเป็น 15 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความเร็วเพลลาของจานกะเทาะเมื่อระดับความเร็วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยความเร็วเพลลาของจานกะเทาะที่ 200 รอบต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วจานเพลลาของจานกะเทาะ พบว่า ที่ระยะกะเทาะ 17 มิลลิเมตร ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ 200 รอบต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 3.50% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ ที่ระยะกะเทาะ 17 มิลลิเมตร ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ 250 รอบต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียหาย 3.98%

3. ความสามารถในการทำงาน

ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานที่ระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 พบว่า ระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ โดยระยะกะเทาะที่ 17 มิลลิเมตร ชุดกะเทาะมีความสามารถในการทำงานสูงสุดและมีค่าลดลงเมื่อระยะกะเทาะลดลงเป็น 15 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะลดลง เนื่องจากการลดระยะกะเทาะทำให้ช่องว่างระหว่างแผ่นจานกะเทาะทั้งสองจานแคบยิ่งขึ้น กลีบฝักดาวอินคาเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นจานไปยังซี่กะเทาะบริเวณขอบจาน ได้ยากและใช้เวลาเคลื่อนที่อยู่ภายในชุดกะเทาะนานขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะลดลง ส่วนความเร็วเพลลาของจานกะเทาะเมื่อระดับความเร็วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยความเร็วที่ 300 รอบต่อนาที มีความสามารถในการทำงานสูงสุด เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วจานเพลลาของจานกะเทาะพบว่า ที่ระยะกะเทาะ 17 มิลลิเมตร ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ 300 รอบต่อนาที มีค่าความสามารถในการทำงานสูงที่สุดเท่ากับ 273.76 กิโลกรัมฝักต่อชั่วโมง จากการศึกษายังพบว่า อีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะไม่สอดคล้องกับอัตราการป้อน เนื่องจากชุดกะเทาะแบบจานมีการป้อนวัสดุเข้าสู่ชุดกะเทาะผ่านช่องป้อนบริเวณจุดศูนย์กลางของจานกะเทาะแผ่นบน ซึ่งช่องป้อนมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ช่องป้อนดังกล่าวยังมีขนาดไม่เหมาะสมทำให้ฝักดาวอินคาเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดกะเทาะไม่สม่ำเสมอและส่งผลให้ความสามารถในการทำงานของชุดกะเทาะลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ จรรย์และพิศมาส [16] ที่ศึกษาพัฒนาเครื่องขัดแยกข้าวกล้องและข้าวเปลือกหอมทอง ซึ่งพบว่าขนาดของช่องป้อนมีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. พลังงานจำเพาะ

ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานจำเพาะที่ระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 พบว่า ระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะมีผลทำให้พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการกะเทาะฝักดาวอินคาให้เปลือกแยกออกจากเมล็ดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วจานเพลลาของจานกะเทาะ มีผลต่อพลังงานจำเพาะที่ใช้ไม่แตกต่างกัน โดยระยะกะเทาะที่ 17 มิลลิเมตร มีค่าพลังงานจำเพาะเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 3.79 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมฝัก ส่วนความเร็วเพลลาของจานกะเทาะที่ 250 และ 300

รอบต่อนาที มีผลต่อค่าพลังงานจำเพาะไม่แตกต่างกัน โดยที่ความเร็ว 250 รอบต่อนาที ใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 3.39 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมฝัก ส่วนความเร็วที่ 300 รอบต่อนาที ใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 3.93 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมฝัก

จากผลการศึกษายังต้นสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระยะกะเทาะกับความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ ระดับต่างๆ แสดงตามภาพที่ 2 สำหรับการพิจารณาปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา จะพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักเป็นหลัก เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของเมล็ด ที่กะเทาะได้ จากผลการศึกษาที่กล่าวข้างต้น พบว่า ระยะกะเทาะ 13 มิลลิเมตร ที่ความเร็วจานกะเทาะ 250-300 รอบต่อ นาที เป็นระดับของปัจจัยการทำงานที่ให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงที่สุด ซึ่งมีค่าระหว่าง 97.36-98.26% แต่ปัจจัยการทำงานระดับดังกล่าวเมล็ดก็เกิดการแตกหักสูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งมีค่า 15.38-18.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะกะเทาะ 15 มิลลิเมตร ช่วงความเร็วเพลลาของจานกะเทาะเดียวกัน มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 95.70-96.94% ใกล้เคียงกับระยะกะเทาะ 13 มิลลิเมตร แต่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 6.52-7.80% ซึ่งต่ำกว่าระยะกะเทาะ 13 มิลลิเมตรค่อนข้างมาก สำหรับระยะกะเทาะ 17 มิลลิเมตร แม้จะมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักต่ำที่สุด แต่เปอร์เซ็นต์การกะเทาะก็มีค่าต่ำที่สุดเช่นกัน ดังนั้น ระยะกะเทาะ 15 มิลลิเมตร ความเร็วจานกะเทาะ 250-300 รอบต่อนาที น่าจะเป็นระดับของปัจจัยการทำงานที่เหมาะสมมากกว่าระดับอื่น โดยมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะระหว่าง 95.70-96.94% มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 6.52-7.80% ความสามารถในการทำงาน 245.40-255.78 กิโลกรัมฝักต่อชั่วโมง และใช้พลังงานจำเพาะในการกะเทาะเปลือกออกจากเมล็ด 3.93-3.95 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมฝัก

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ ที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะในเครื่องกะเทาะเปลือกดาวอินคาแบบจาน หากพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะและเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักเป็นหลัก สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยการทำงานของชุดกะเทาะที่ระดับระยะกะเทาะ 15 มิลลิเมตร ความเร็วจานกะเทาะ 250-300 รอบต่อนาที มีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของชุดกะเทาะมากที่สุด ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะระหว่าง 95.70-96.94% เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก 6.52-7.80% ความสามารถในการทำงาน 245.40-255.78 กิโลกรัมฝักต่อชั่วโมง และใช้พลังงานจำเพาะในการกะเทาะเปลือกออกจากเมล็ด 3.93-3.95 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมฝัก

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ถูกลงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. The Plant List [Online] 2010 [cited 2017 Jul 13]. Available from: <http://www.theplantlist.org>
2. Sinchaikit P, Jaikor P. Listening to problems "Inca Peanuts or Sacha Inchi" in Chiang Rai. MEDICAL SCIENCES NEWSLETTER. School of Medical Sciences, University of Phayao. 2014; 5(2): 5-6. Thai



3. Gutiérrez LF, Rosada LM, Jiménez A. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y aceites* 2011; 62(1): 76-83.
4. Nui L, Li J, Chen MS, Xu ZY. Determination of oil contents in Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) seed at different developmental stages by two method: Soxhlet extraction and Time-domain nuclear magnetic resonance. *Industrial Crops and Products* 2014; 56: 187-190.
5. Vicente J, Carvalho MG, Edwin E. Rojas G. Fatty acids profile of Sacha Inchi oil and blends by ¹H NMR and GC-FID. *Food Chemistry* 2015; 181: 215-221.
6. Jagersberger J. Development of novel products on basis of Sacha Inchi – Use of press cakes and hulls. [Master thesis of Science]. Austria: University of Vienna; 2013.
7. Yangyuen S. A shelling and cleaning machine for the inca peanut [Internet]. 2016 [updated 2016; cited 2018 Sep 10] Available from: https://www.thailandtechshow.com/view_techno.php?id=531
8. Chumpana S, Sogudlor N, Laloon K, Sudajan S. Effects of Shelling Mechanisms and Speed on Sacha Inchi Shelling. *Proceedings of the 15th National Postharvest Technology Conference*; 2017 July 13-14; Khon Kaen, Thailand. Thai
9. Sokudlor N, Chumpana S, Laloon K, Sudajan S. Effect of Number of decorticating peg tooth and Speed on decortication characteristics of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Proceedings of the 15th National Postharvest Technology Conference*; 2017 July 13-14; Khon Kaen, Thailand. Thai
10. Kabir AA, Fedele OK. A Review of Shelling, Threshing, De-Hulling and Decorticating Machines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 2018; 3(1): 1-10.
11. Sudajan S, Salokhe VM, Triratanasirichai K. Effect of type of drum, drum speed and feed rate on sunflower threshing. *Biosystems Engineering* 2002; 83(4): 413-421.
12. Pradhan RC, Naik SN, Bhatnagar N, Vijay VK. Design, development and testing of hand-operated decorticator for Jatropha fruit. *Applied Energy*. 2010; 87: 762–768.
13. Sokudlor N, Laloon K, Chumpana S, Sudajan S, Characteristic and Some Physical Properties of Dried Ripe Fruit of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Proceedings of the 11th Thai Society of Agricultural Engineering International Conference*; 2018 April 26-27; Prachuap Khiri Khan, Thailand.
14. ASAE. Moisture measurement –ungrounded grains and seeds. *American Society of Agricultural Engineers, Standard ASAE S352.3*; 1994.
15. Sokudlor N, Champana S, Laloon K, Duangkhumjan J, Sudajan S. Design and Construction of Pods splitting Machine for Sacha Inchi Fruit. *Proceeding of the 16th National Postharvest Technology Conference*, 2018 July 12-13; Chanthaburi, Thailand. Thai
16. Mongkolvai J, Hwangdee P. The study and Development of a Separator for Hom Tong Brown Rice and Paddy. *Agricultural Sci J*. 2011; 42(1): 537-540. Thai.

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาระยะกะเทาะและความเร็วเพลลาของจานกะเทาะต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา

ระยะกะเทาะ (มิลลิเมตร)	ความเร็วเพลลา (รอบ/นาที)	เปอร์เซ็นต์ กะเทาะเปลือก	เปอร์เซ็นต์ เมล็ดแตกหัก	ความสามารถ (กิโลกรัมฝัก/ชั่วโมง)	พลังงานจำเพาะ (วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมฝัก)
13	200	95.58	11.64	215.28	4.30
	250	97.36	15.38	233.36	4.14
	300	98.26	18.06	244.34	4.12
15	200	93.92	4.40	224.72	4.12
	250	95.70	6.52	245.40	3.93
	300	96.94	7.80	255.78	3.95
17	200	84.52	3.50	236.40	3.92
	250	87.44	3.98	257.78	3.75
	300	90.96	5.20	273.76	3.71

หมายเหตุ: ค่าชี้ผลการศึกษา ได้จากค่าเฉลี่ยของการสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะกะเทาะและความเร็วการหมุนของจานกะเทาะที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา

แหล่งความแปรปรวน	เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ		เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก		ความสามารถ (กิโลกรัมฝัก/ชั่วโมง)		พลังงานจำเพาะ (วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมฝัก)	
	df	F	df	F	df	F	df	F
ระยะกะเทาะ (A)	2	568.332 [*]	2	568.332 [*]	2	859.838 [*]	2	592.767 [*]
ความเร็วเพลลา (B)	2	91.173 [*]	2	91.173 [*]	2	1473.327 [*]	2	166.774 [*]
AB	4	8.386 [*]	4	8.386 [*]	4	9.514 [*]	4	1.158 ^{ns}
Error	36		36		36		36	
Total	44		44		44		44	

หมายเหตุ: * มีผลแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ



ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลของระยะกะเทาะในแต่ละระดับความเร็วเพลลาของจานกะเทาะที่มีต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา

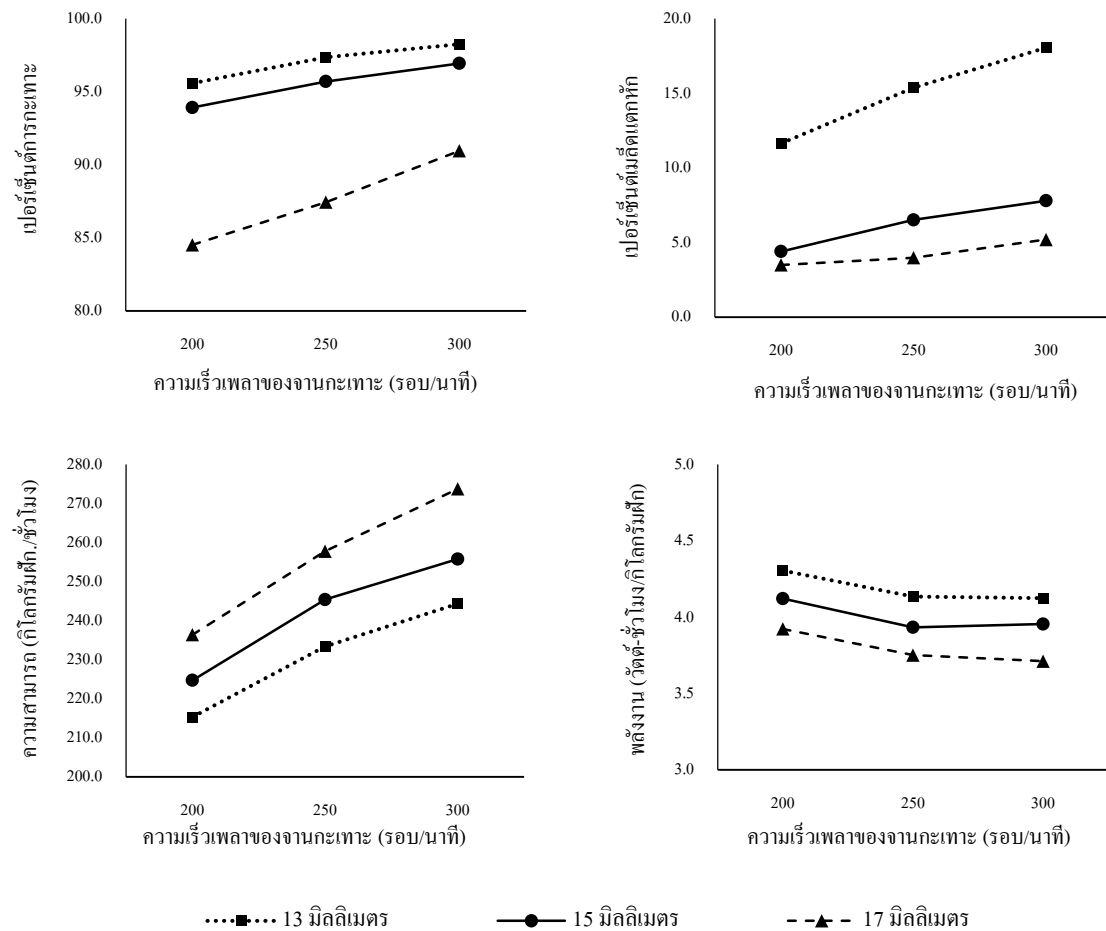
ระยะกะเทาะ (มิลลิเมตร)	ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ (รอบ/นาที)			ความเร็วเพลลาของจานกะเทาะ (รอบ/นาที)		
	200	250	300	200	250	300
เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ ($LSD_{0.05}=0.989$)				เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก ($LSD_{0.05}=0.428$)		
13	95.58a	97.36a	98.26a	11.64c	15.38c	18.06c
15	93.92b	95.70b	96.94b	4.40b	6.52b	7.80b
17	84.52c	87.44c	90.96c	3.50a	3.98a	5.20a
ความสามารถ ($LSD_{0.05}=2.083$)				พลังงานจำเพาะ ($LSD_{0.05}=0.059$)		
				(13 มม.)	(15 มม.)	(17 มม.)
13	215.28c	233.36c	244.34c	4.30	4.14	4.12
15	224.72b	245.40b	255.78b	4.12	3.93	3.95
17	236.40a	257.78a	273.76a	3.92	3.75	3.71

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งของแต่ละค่าชี้ผล หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD ที่ความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลของความเร็วเพลลาของจานกะเทาะในแต่ละระดับระยะกะเทาะที่มีต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา

ความเร็วเพลลา กะเทาะ (รอบ/นาที)	ระยะกะเทาะ (มิลลิเมตร)			ระยะกะเทาะ (มิลลิเมตร)		
	13	15	17	13	15	17
เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ ($LSD_{0.05}=0.989$)				เปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหัก ($LSD_{0.05}=0.428$)		
200	95.58b	93.29c	84.52c	11.64a	4.40a	3.50a
250	97.36a	95.70b	87.44b	15.38b	6.52b	3.98b
300	98.26a	96.94a	90.96a	18.06c	7.80c	5.20c
ความสามารถ ($LSD_{0.05}=2.083$)				พลังงานจำเพาะ ($LSD_{0.05}=0.059$)		
				(13 มม.)	(15 มม.)	(17 มม.)
200	215.28c	244.72c	236.40c	4.30	4.12	3.92
250	233.36b	245.40b	257.78b	4.14	3.93	3.75
300	244.34a	255.78a	273.76a	4.12	3.95	3.71

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งของแต่ละค่าชี้ผล หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD ที่ความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเพลของงานกะเทาะกับระยะกะเทาะที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดกะเทาะเปลือกดาวอินคา