KKU Res J. 2011; 16(8): 965-972
http://resjournal.kku.ac.th

ผลของรูปแบบซี่นวดและมุมเอียงครีบวงเดือนของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกนที่มีต่อความสูญเสียจากชุดนวด

Effects of Spike-Tooth Pattern and Louver Inclination of an Axial Flow Rice Combine Harvester on Threshing Losses

ทิวาพร เวียงวิเศษ[1], สมชาย ชวนอุดม[1] และวินิต ชินสุวรรณ[2]*

Tiwaporn waingwised[1], Somchai Chuan-udom[1] and Winit Chinsuwan[2]*

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2] ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น
**Correspondent author: aoo_en@hotmail.com*

Received April 22, 2010
Accepted September 6, 2011

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรูปแบบซี่นวดและมุมครีบวงเดือนของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกนที่มีต่อความสูญเสียจากชุดนวด โดยแปรค่าทดสอบรูปแบบซี่นวด 4 ระดับ คือ 90, 130, 195 และ 260 ซี่ มุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวดแปรค่า 3 ระดับ คือ 64, 68 และ 72 องศา ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนซี่นวดความสูญเสียรวมจากชุดนวดลดลง ส่วนปริมาณแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความสูญเสียรวมจากชุดนวด และปริมาณเมล็ดแตกหักแล้วควรมีจำนวนรูปบบซี่นวด 260 ซี่ ที่มุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด 72 องศาสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สามารถใช้ซี่นวดได้ ตั้งแต่ 260 ซี่ ถึง 90 ซี่ และปรับมุมเอียงครีบวงเดือนตั้งแต่ 72 ถึง 64 องศาได้โดยไม่มีความสูญเสียสูงเกิน 3 เปอร์เซ็นต์

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of spike-tooth and louver inclination of an axial flow rice combine harvester on threshing unit losses. Four sets of spike-tooth of 90, 130, 195 and 260 teeth were tested in the field. The increasing of the number of spike-tooth resulted in lower total threshing losses, but higher grain breakage. The spike-tooth of 260 teeth and the louver inclination of 72 degrees were recommended for Chainat 1 rice variety. Applying spike-tooth of 260 teeth to 90 teeth and the louver inclination of 72 degrees to 64 degrees were recommended for Khawdokmali 105 variety with losses no more than 3 %.

คำสำคัญ: เครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกน รูปแบบซี่นวดมุมเอียงครีบวงเดือน

Keywords: axial flow rice combine harvester, louver inclination spike-tooth

1. บทนำ

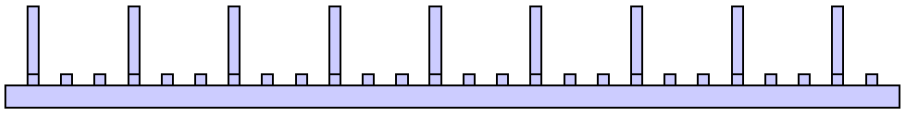
ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อการส่งออกของไทย ประเทศไทยส่งออกข้าวมากเป็นอันดับหนึ่งของโลกมานานกว่า 20 ปีติดต่อกัน ปัจจุบันมีการส่งออกข้าวไทยไปประเทศต่างๆทั่วโลกมากกว่า 160 ประเทศ ในจำนวนปีละประมาณ 7 ล้านตัน โดยไทยมีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณการค้าข้าวของโลก (1) ประเทศไทยมีการปลูกข้าวหลายสายพันธุ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์ลูกผสม ข้าวพันธุ์ลูกผสมได้แก่ ชัยนาท 1 ชัยนาท 2 ปทุมธานี 1 ส่วนข้าวพันธุ์พื้นเมืองได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีการส่งออกมากที่สุด ข้าวทั้ง 2 ประเภทนี้มีความแตกต่างกันที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองเมล็ดจะร่วงหล่นได้ง่ายเมื่อสุกแก่ จึงมีความสูญเสียจากการเกี่ยวสูงกว่าการนวดและทำความสะอาด ส่วนข้าวพันธุ์ลูกผสมจะร่วงหล่นยากกว่าพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งจะทำให้นวดยากและทำให้เกิดการสูญเสียจากการคัดแยกและทำความสะอาดสูงกว่าการเกี่ยว (2) ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิต หากเกิดความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวก็จะส่งผลต่อความเสียหายต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งด้านปริมาณและมูลค่าเป็นจำนวนมาก ในการเก็บเกี่ยวข้าวในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวกันอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากว่าการใช้เครื่องเกี่ยวนวดมีโอกาสช่วยลดความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวลงได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (3) และยังประหยัดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายและแรงงานในการเก็บเกี่ยว

ความสูญเสียของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกนส่วนใหญ่เกิดจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟาง เป็นความสูญเสียที่เกิดจากระบบการนวดที่ทำการนวดและแยกเมล็ดที่ถูกนวดและหลุดออกจากรวงแล้วให้ออกจากฟางได้ไม่ดี จึงทำให้มีเมล็ดบางส่วนติดรวงและเมล็ดที่หลุดจากรวงแล้วปะปนและไหลออกไปพร้อมกับฟางที่ช่องขับฟาง สาเหตุสำคัญของความสูญเสียในส่วนนี้เกิดจากการทำงานในสภาพที่มีความแปรปรวนสูงเนื่องจากสภาพของพืช การใช้งานและการปรับแต่งเครื่องที่ต่างกัน (4) ปัจจุบันมีการดัดแปลงรถเกี่ยวนวดของผู้รับจ้างโดยเฉพาะการถอดซี่นวดและการปรับมุมเอียงครีบวงเดือนซึ่งอาจส่งผลต่อความสูญเสียจากชุดนวด อีกทั้งการศึกษาผลของรูปแบบของการถอดซี่นวดยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อยดังนั้นหากมีการศึกษารูปแบบการถอดซี่นวดและมุมเอียงครีบวงเดือนประกอบกันก็อาจจะได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ต่อการปรับแต่งชุดนวดให้มีความเหมาะสม และมีความสูญเสียรวมจากชุดนวดน้อยที่สุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา ผลของรูปแบบซี่นวด และมุมครีบวงเดือนที่มีต่อความสูญเสียจากชุดนวด ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวแบบไหลตามแกน

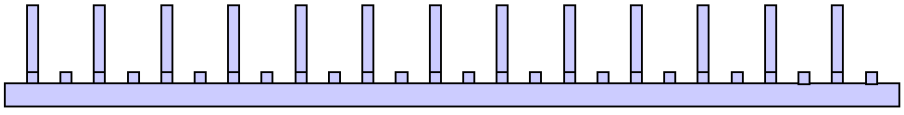
2. วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ทำการโดยใช้เครื่องนวดข้าวแบบไหลตามแกนของศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้ากว้างการเกี่ยว 3 เมตร ความยาวลูกนวด 1.92 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางถึงปลายซี่นวด 0.68 เมตร ซี่นวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร สูง 89 มิลลิเมตร จำนวนแถบซี่นวด 10 แถบ ระยะห่างระหว่างซี่ 70 มิลลิเมตร ครีบวงเดือน 5 ครีบ ทำการศึกษากับข้าวในจังหวัดขอนแก่น

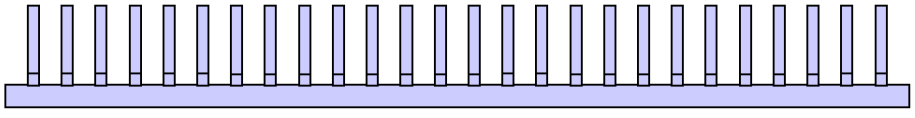
ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ข้าวสองพันธุ์คือ พันธุ์ชัยนาท 1 และขาวดอกมะลิ 105 จำนวนซี่นวด ซึ่งมี 4 ระดับคือ 90, 130, 195 และ 260 ซี่ มุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด มี 3 ระดับ คือ 64, 64, 68 และ 72 องศา มีการจัดการทดสอบแบบ Factorial in RCBD ในการแปรค่าซี่นวดจะทำการถอดซี่รูปแบบจำนวนซี่นวดที่น้อยที่สุดจนไปถึงรูปแบบซี่นวดที่มากที่สุดที่เครื่องเกี่ยวนวดยังสามารถนวดข้าวได้ โดยเลือกมา 4 รูปแบบคือ แบบ 90 ซี่โดย



รูปที่ 1. ลักษณะการถอดและใส่ซี่แบบถอด 2 ซี่ และใส่ 1 ซี่ ใน 1 แถบ



รูปที่ 2. ลักษณะการถอดและใส่ซี่แบบถอด 1 ซี่ และใส่ 1 ซี่ ใน 1 แถบ



รูปที่ 3. ไม่ถอดซี่นวดออกใน 1 แถบ

รูปแบบการถอดซี่นวดเป็นไปตามรูปที่ 1 จำนวน 10 แถบ แบบ 130 ซี่โดยรูปแบบการถอดซี่นวดเป็นไปตาม ภาพที่ 2 จำนวน 10 แถบ แบบ195 ซี่ โดยรูปแบบการถอดซี่นวดเป็นไปตามรูปที่ 2 จำนวน 5 แถบ และ 260 ซี่ คือไม่ถอดซี่นวดออกดังรูปที่ 3 จำนวน 10 แถบซึ่งการถอดซี่นวดในลักษณะนี้จะทำให้ลูกนวดเกิดความสมดุลขณะทำงานและยังครอบคลุมกรอบของการวิจัยด้วย สำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ความชื้นของเมล็ดข้าวได้จากการทดสอบมีค่าเฉลี่ย 21.8 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ความชื้นของฟางมีค่าเฉลี่ย 53.2 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก อัตราส่วนเมล็ดต่อฟางมีค่าเฉลี่ย 1.11 อัตราการป้อนมี่ค่าเฉลี่ย 9.5 ตันต่อชั่วโมง ความหนาแน่นของต้นข้าว 562,133 ต้นต่อไร่ ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นของเมล็ดข้าวได้จากการทดสอบ มีค่าเฉลี่ย 25.5 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก อัตราการป้อนเฉลี่ย 7.5 ตันต่อชั่วโมง ความชื้นฟางมีค่าเฉลี่ย 63 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก อัตราส่วนเมล็ดต่อฟางมีค่าเฉลี่ย 0.93 อัตราการป้อนมีค่าเฉลี่ย 7.5 ตันต่อชั่วโมง ความหนาแน่นของต้นข้าว 226,667 ต้นต่อไร่ กำหนดให้ความเร็วรอบลูกนวดอยู่ที่ 480 รอบต่อนาทีหรือคิดเป็นความเร็วเชิงเส้นปลายซี่นวดเท่ากับ 17.22 เมตรต่อวินาที

ในการทดสอบทำการเก็บวัสดุที่ถูกขับออกมาจากช่องขับฟางโดยใช้ถุงตาข่ายรองรับ โดยทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นแยกฟางออกเพื่อหาเมล็ดติดรวงซึ่งจะนำไปหาความสูญเสียจากชุดนวด

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการศึกษาแสดงอยู่ในส่วนของความสูญเสียจากการนวด ความสูญเสียจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟาง ความสูญเสียรวมจากชุดนวดดังตารางที่ 1 และ 2 และปริมาณเมล็ดแตกหัก และเมื่อนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างซี่นวดกับความสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆดังนี้

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนซี่นวดกับความสูญเสียจากการนวดของข้าวพันธ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ เมื่อปรับมุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด ไปที่ 64, 68 และ 72 องศา พบว่าความสูญเสียจากการนวดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนซี่นวด เนื่องจากซี่นวดทำหน้าที่ตีเมล็ดข้าวให้หลุดออกจากรวงเมื่อเพิ่มจำนวนซี่นวดมากขึ้นมีผลให้การตีเมล็ดให้หลุดออกจากรวงทำได้ดีขึ้น ความสูญเสียจึงลดลง ส่วนมุมเอียงครีบวงเดือนที่สูงขึ้นทำให้ความสูญเสียลดลง เพราะมุมเอียงครีบ

ตารางที่ 1. เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียที่เกิดชุดนวดสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

มุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด (องศา)	จำนวนซี่ลูกนวด (ซี่)	ความสูญเสียจากการนวด	ความสูญเสียจากการคัดแยก	ความสูญเสียรวมจากชุดนวด
64	90	4.65d	4.34d	8.99d
64	130	4.09c	4.18c	8.27c
64	195	2.25b	3.47a	5.72a
64	260	1.00a	3.66b	4.66b
68	90	4.36d	3.41d	7.77d
68	130	3.70c	3.24c	6.93c
68	195	2.10b	2.75a	4.85b
68	260	0.59a	2.77b	3.36a
72	90	3.84d	2.62d	6.46d
72	130	3.06c	2.58c	5.64c
72	195	1.91b	1.64a	3.54b
72	260	0.51a	1.85b	2.36a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละแถวหมายถึงไม่แตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เป็นค่าเปรียบเทียบ

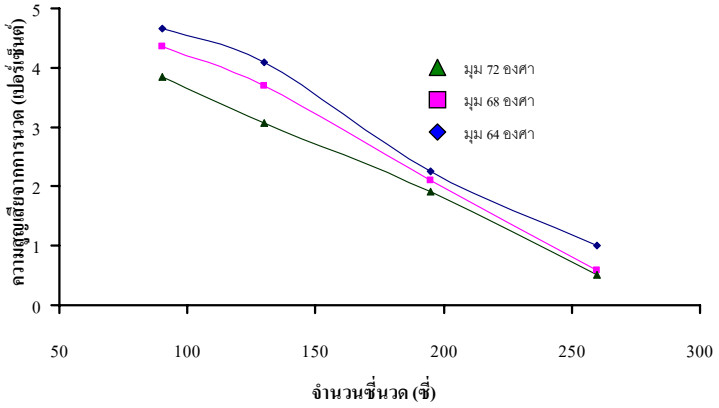
ตารางที่ 2. เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียที่เกิดชุดนวดสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

มุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด(องศา)	จำนวนซี่ลูกนวด (ซี่)	ความสูญเสียจากการนวด	ความสูญเสียจากการคัดแยก	ความสูญเสียรวมจากชุดนวด
64	90	0.55d	0.80c	1.35c
64	130	0.28c	0.67b	0.95b
64	195	0.17b	0.51a	0.68a
64	260	0.13a	0.47a	0.60a
68	90	0.43d	0.55c	0.98c
68	130	0.19c	0.45b	0.64b
68	195	0.14b	0.31a	0.45a
68	260	0.08a	0.30a	0.39a
72	90	0.37d	0.44c	0.81c
72	130	0.11c	0.34b	0.45b
72	195	0.08b	0.20a	0.28a
72	260	0.07a	0.19a	0.26a

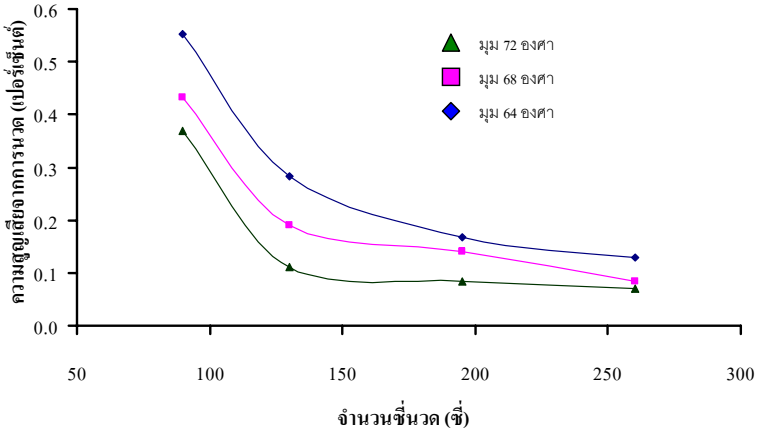
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละแถวหมายถึงไม่แตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เป็นค่าเปรียบเทียบ

วงเดือนเป็นตัวกำหนดการไหลของต้นข้าวในห้องนวด มุมเอียงครีบวงเดือนที่สูงขวางการไหลของต้นข้าวทำให้ต้นข้าวถูกตีในห้องนวดนานขึ้น ส่งผลให้ความสูญเสียมีค่าลดลง

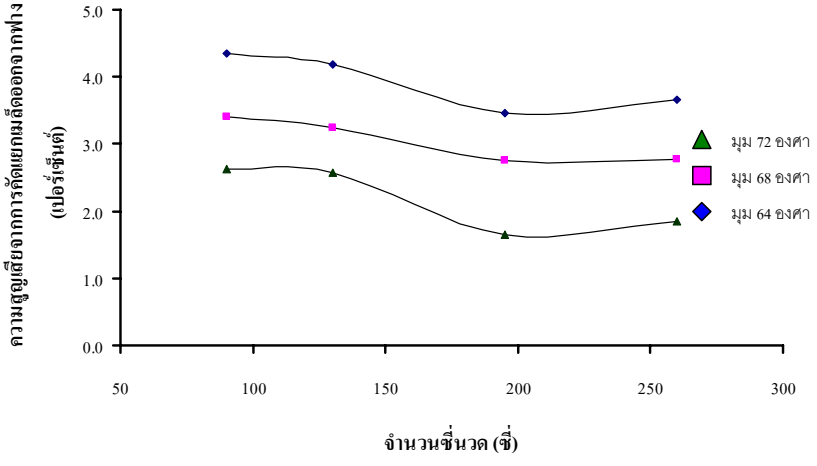
ความสูญเสียที่เกิดจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟางของข้าวชัยนาท 1 ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเห็นว่าเมื่อลดจำนวนซี่นวดมาอยู่ที่ประมาณ 200 ซี่ ความสูญเสียที่เกิดจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟาง มีค่าลดต่ำลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจำนวนซี่นวดที่มากจนเกินไปขัดขวางการไหลของเมล็ดข้าวจากห้องนวดสู่ชุดทำความสะอาด ส่วนจำนวนซี่นวดที่น้อยเกินไปไม่สามารถตีฟางให้แยกออกจากเมล็ดได้ส่งผลให้ความสูญเสียจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟางมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความสูญเสียจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟางมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนซี่นวด ดังรูปที่ 7 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราการป้อนที่ต่ำและพันธุ์ข้าวซึ่งเป็นพันธุ์ที่นวดง่าย ท่อนฟางไม่เหนี่ยวการเพิ่มซี่นวดอาจช่วยกระจายเมล็ดให้ออกจากฟางได้ดี



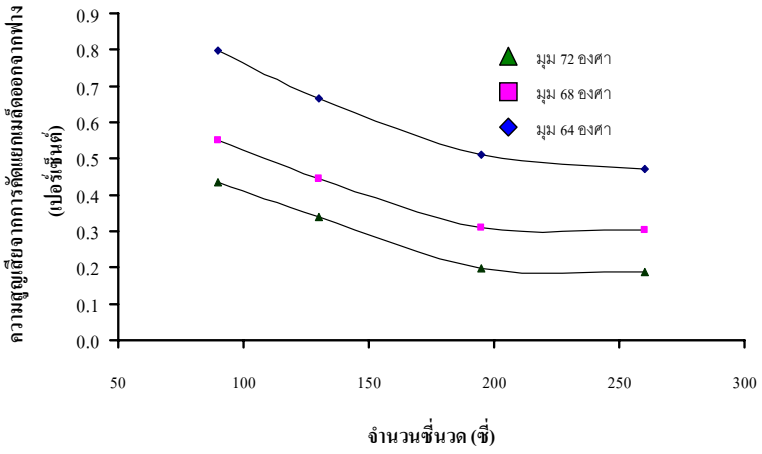
รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของรูปแบบชี่นวดกับความสูญเสียจากการนวดสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1



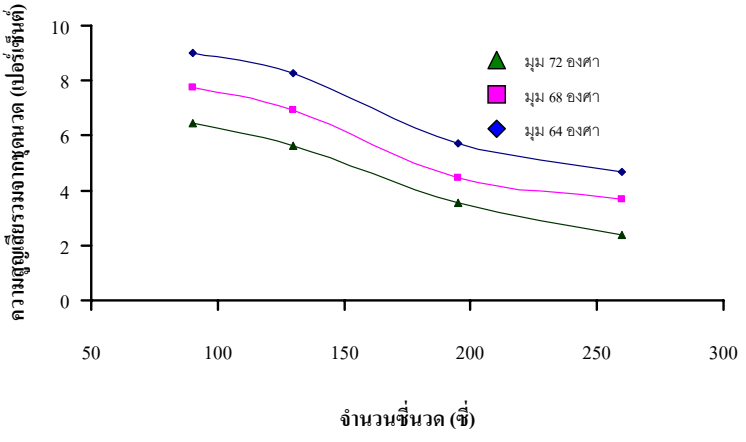
รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของรูปแบบชี่นวดกับความสูญเสียจากการนวดสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105



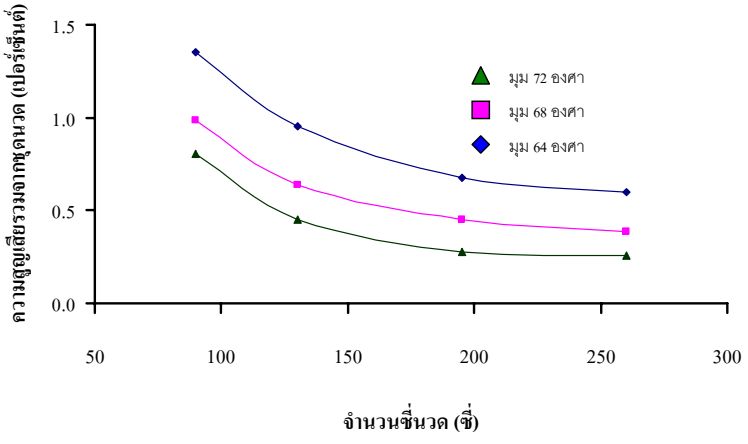
รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของรูปแบบชี่นวดกับความสูญเสียจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟางสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1



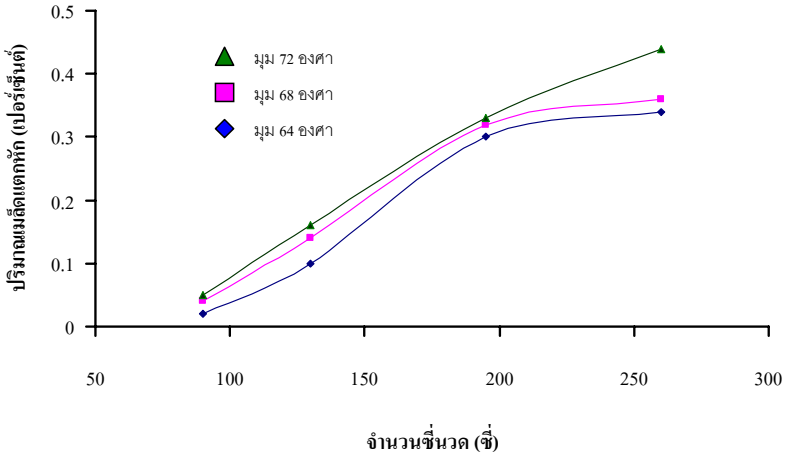
รูปที่ 7. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบชื่นวดกับความสูญเสียจากการคัดแยกเมล็ดออกจากฟางสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105



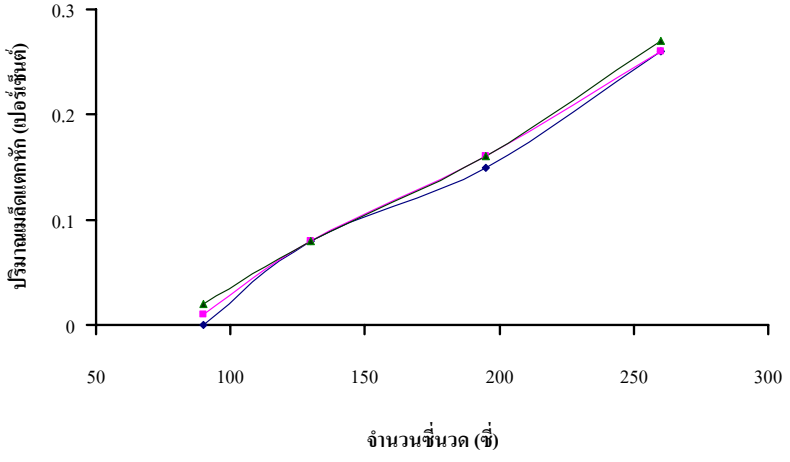
รูปที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชื่นวดกับความสูญเสียรวมจากชุดนวดสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1



รูปที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชื่นวดกับความสูญเสียรวมจากชุดนวดสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105



รูปที่ 10. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของรูปแบบชื่นวดกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณเมล็ดแตกหักสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1



รูปที่ 11. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชื่นวดกับความสูญเสียรวมจากชุดนวดสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

เมื่อนำความสูญเสียจากการนวดและความสูญเสียจากการคัดแยกมารวมกันเป็นความสูญเสียรวมจากชุดนวดของพันธ์ชัยนาท 1 ซึ่งแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าความสูญเสียมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนชื่นวดและเพิ่มมุมเอียงครีบวงเดือน ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่าที่มุม 72 องศา จำนวนชื่นวด 260 ชี่ มีความสูญเสียต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าความสูญเสียรวมจากชุดนวดสำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าน้อย โดยรวมแล้วต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่าเป็นพันธุ์ข้าวที่ร่วงหล่นง่ายเมื่อสุกแก่แม้จะถอดชื่นวดออกมากก็สามารถนวดข้าวได้โดยไม่ก่อให้เกิดความสูญเสียในเปอร์เซ็นต์ที่สูง

หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดแตกหักกับจำนวนชื่นวดสำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่าการเพิ่มจำนวนชื่นวดทำให้มีปริมาณเมล็ดแตกหักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนชื่

นวดเป็นการเพิ่มความรุนแรงในการนวดจึงส่งผลต่อปริมาณเมล็ดแตกหักเพิ่มมากขึ้น แต่การทำงานโดยรวมส่งผลให้มีเมล็ดแตกหักน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ เช่น เดียวกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแตกหักโดยรวมต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 11

4. สรุป

เมื่อพิจารณาความสูญเสียจากชุดนวด และปริมาณเมล็ดแตกหักที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนจำนวนซี่นวดและมุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด ควรมีจำนวนซี่นวด 260 ซี่ ที่มุมเอียงครีบวงเดือนจากแนวเพลาลูกนวด 72 องศา ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สามารถถอดซี่นวดออกได้ ตั้งแต่ 260 ซี่ ถึง 90 ซี่ และปรับมุมเอียงครีบวงเดือน ตั้งแต่ 72 ถึง 64 องศาได้โดยไม่มีความสูญเสียสูงเกิน 3 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400 และศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนการศึกษานี้

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Department of Trade Negotiation [Internet]. 2002 [updated 2011 Feb 25]. Available from: http://www.thaifta.com/thaifta/Portals/0/File/ascn_rice3.doc

(2) Chinsuwan W, Pongian N, Choun-Udom S, Phayom W.Effects of threshing bar inclination and clearance between concave rod on performance of axial flow rice thresher.KKU Res J. 2003; 8(1): 55-62. Thai.

(3) Chinsuwan W, Choun-Udom S, Udompetaikul V, Phayom W, Panya N. Harvest losses of hommali rice due to manual harvesting and the use of combine harvester. KKU Res J. 1999; 4(2): 4-12 Thai.

(4) Choun-Udom S. Prediction of threshing losses on axial flow rice combine harvesters [PhD thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2007. Thai