

การศึกษาและพัฒนาเครื่องทำลายกระดาษแบบเพลาดียว

The Study and Development of the Single-rotor Paper Shredder Machine

ยศอนันต์ โคตรเขื่อน (Yos-anan Khotkhuean)* ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร (Dr.Chatchai Benjapiyapom)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทำลายกระดาษแบบเพลาดียว เพื่อใช้ในการทดสอบและพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำลายกระดาษแบบเพลาดียว ในกระบวนการออกแบบได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้รูปแบบของลักษณะเครื่องทำลายกระดาษ โดยมีเครื่องยนต์เป็นขนาด 10 แรงม้าเป็นต้นกำลังหลัก การทดสอบการทำงานของเครื่องทำลายกระดาษได้มีการทดสอบการป้อนที่มุม 15, 30, 45, 60, 75 องศา ที่ความเร็วรอบต่างกัน ได้แก่ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที พบว่าที่มุม 45 องศา เป็นมุมที่สามารถทำลายได้สูงสุดคือ 23 แผ่นที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อหาปริมาณการทำลายสูงสุดต่อเวลาที่พบว่าที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที สามารถทำลายปริมาณกระดาษได้มากที่สุดคือ 1667 กรัมต่อนาที และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้คือ 14.70 มิลลิลิตร

ABSTRACT

The objectives of this study were to design and build the single-rotor paper shredder machine to test and develop its efficiency. In designing process, was reviewing the related literatures for feature of the paper shredder machine. The 10 HP engine was the main power. The testing of the paper shredder machine's performance was fed the angles include 15, 30, 45, 60, 75 degree at differences velocity comprise 1000, 1500, 2000, 2500, and 3000 rounds per minutes respectively. The result found, there were 23 paper shredded at the 45th degree at 3000 RPM. Afterward, the machine's efficiency had test to find the most number of shredding. It found that the speed at round 2500th per minutes could shredded for the most amount number which only 1,667 grams per minutes, and fuel consumption was 14.70 milliliters.

คำสำคัญ: เครื่องทำลายกระดาษ เพลาดียว การเฉือน

Keywords: Paper shredder, Single-Rotor, Shearing

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

กระดาษเป็นวัสดุที่ได้มาจากเส้นใยของพืชโดยผ่านกรรมวิธีการผลิตเชื้อ เพื่อให้ได้วัสดุที่เรียกว่าเยื่อกระดาษ จากนั้นเยื่อกระดาษจะถูกฟอกให้มีสีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนี้เยื่อกระดาษจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเยื่อกระดาษให้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เมื่อคุณภาพของเยื่อกระดาษถูกปรับปรุงแล้วกระบวนการต่อไปคือการรีด โดยเยื่อกระดาษจะถูกรีดจนเป็นแผ่นแล้วจึงนำไปตัดให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการใช้งานตามความต้องการ ความหลากหลายของกระดาษที่มีให้เลือกใช้มากมายจึงทำให้ปัจจุบันกระดาษได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันเนื่องจากการใช้กระดาษถือว่ามีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากโดยเฉพาะการใช้งานในด้านการจดบันทึกข้อมูลนั้นกระดาษถือได้ว่าเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้มากที่สุด ด้วยเหตุนี้เองทำให้เกิดปัญหากระดาษที่ใช้แล้วที่มีปริมาณมากโดยเฉพาะในองค์กรใหญ่จะมีการใช้งานกระดาษมากกว่าปกติ สิ่งที่เกิดขึ้นคือปริมาณกระดาษใช้แล้วที่มีจำนวนมากขึ้นตามปริมาณการใช้งาน

มหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นส่วนราชการที่ใช้กระดาษเป็นจำนวนมากต่อปี ทั้งกระดาษที่จำหน่ายในรูปกระดาษแผ่นได้และจำหน่ายในรูปกระดาษแผ่นไม่ได้ โดยกระดาษที่จำหน่ายในรูปกระดาษแผ่นไม่ได้ เช่น ดินฉาบข้อสอบกระดาษข้อสอบ ข้อมูลทางการเงิน หนังสือลับทางราชการ และข้อมูลของพนักงาน เป็นต้น โดยกระดาษเหล่านี้ ถูกจัดเก็บไว้ตามคณะและหน่วยงานต่างๆ ในมหาวิทยาลัย ซึ่งหากต้องการที่จะทำการจำหน่าย ต้องดำเนินการตามระเบียบที่มีขั้นตอนที่สำคัญที่สุดคือการขอยกกระดาษที่จำหน่ายไม่ได้เหล่านี้ ให้ละเลยจนไม่สามารถอ่านหรือเรียบเรียงได้ เครื่องขอยกกระดาษจึงถูกนำมาใช้ในขั้นตอนดังกล่าวนี้ แต่เนื่องด้วยเครื่องขอยกกระดาษที่มีการจัดจำหน่ายตามท้องตลาดนั้นยังทำงานตามความต้องการได้ไม่ดีนัก เพราะเศษกระดาษที่ได้จากการทำลายยังมีขนาดใหญ่และยังสามารถนำมาเรียงต่อกันได้นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการขอยกกระดาษของเครื่องทั่วไปนั้นมีอัตราเร็วในการทำลายที่ช้าและจำนวนกระดาษที่ป้อนเข้าเครื่องต่อครั้งนั้นจุได้ทีละน้อย ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการขอยกสามารถขอยกกระดาษให้มีขนาดเล็กลงจนไม่สามารถนำมาต่อหรือเรียบเรียงได้ดั้งเดิมและสามารถป้อนกระดาษเข้าเครื่องได้จำนวนสูงขึ้น จึงต้องมีการออกแบบเครื่องขอยกกระดาษแบบใหม่ที่สามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการและเพียงพอต่อความต้องการใช้งานภายในมหาวิทยาลัย สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องทำลายกระดาษแบบเพลาคู่ที่สามารถแก้ปัญหาดังที่ได้กล่าวมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทำลายกระดาษแบบเพลาคู่ แล้วทำการทดสอบการขอยกกระดาษและหาแนวทางพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขอยกกระดาษแบบเพลาคู่

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำลายกระดาษโดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้ 2 วิธี คือการเผาและการทำลายกระดาษผ่านเครื่องจักร แต่ในการเผากระดาษนั้นย่อมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรงทำให้การทำลายกระดาษโดยการเผาจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม ดังนั้นวิธีการทำลายกระดาษผ่านเครื่องจักรจึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่า แต่ในการทำงานของเครื่องทำลายกระดาษทั่วไปก็ยังพบว่าการทำงานของเครื่องทำลายกระดาษนั้นประสิทธิภาพต่ำเพราะว่าเครื่องทำลายกระดาษโดยทั่วไปจะเป็นแบบเพลาคู่(Multi-Rotor) ความเร็วรอบของเพลาคูนี้ทำงานได้ไม่เกิน 0.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งถ้าความเร็วรอบที่เกินจะให้ประสิทธิภาพในการทำลายกระดาษลดลง ถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดของเครื่องทำลายกระดาษแบบเพลาคู่

(Multi-Rotor) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาเครื่องสับแบบเพลาคือ (Single-Rotor) ที่สามารถทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุดได้ถึง 5 เมตรต่อวินาที อีกทั้งยังสามารถรองรับชนิดของฟันตัดกระดาชได้เยอะกว่าแบบเพลาคือ (Multi-Rotor) แต่ด้วยลักษณะของเครื่องที่เป็นแบบเพลาคือ (Single-Rotor) ทำให้ต้องมีเขียงรองสับ (Anvil) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่รองรับด้านล่างเพื่อให้ฟันสับตัดชิ้นงานในทิศทางด้านบน จากการศึกษาพบว่าในการสับถักระดาชและเขียงรองสับ (Anvil) มีระยะห่างกันน้อยกว่า 0.2 เท่าของความหนาชิ้นงานจะทำให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าแรงเฉือนสูงสุดในช่วงนี้ ถักระดาชและเขียงรองสับ (Anvil) มีระยะห่างกันมากๆจะทำให้เกิดโมเมนต์คดขึ้นในชิ้นงาน ส่งผลให้ความสามารถในการตัดนั้นลดลง (Woldt et al., 2004)

จากการศึกษาเครื่องทำลายกระดาชที่ได้มีการออกแบบและสร้างขึ้นพบว่าเครื่องทำลายกระดาชทั้งหมด (วุฒิพงษ์และคณะ, 2553) ที่ได้กล่าวมาจะใช้เพลาคือแบบเพลาคือ (Multi-Rotor) (ประสิทธิ์และคณะ, 2546) ทั้งในด้านการทำลาย (พรวิชัยและคณะ, 2554) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดข้อจำกัดด้านต่างๆในการทำงานขึ้น (ชนาพงศ์และคณะ, 2541) จึงได้มีการเลือกใช้เพลาคือของเครื่องทำลายกระดาชเป็นแบบเพลาคือ (Single-Rotor) โดยพบว่าการทำงานแบบเพลาคือนั้นจำเป็นต้องมีฟันสำหรับตัดกระดาชซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับย่อยเนื้อของกระดาชเพื่อให้มีขนาดเล็กลง จากการศึกษาพบว่ามุมองศาของฟันจะส่งผลอย่างมากต่อพฤติกรรมความเสียหายของชิ้นงานและพลังงานที่ใช้ ดังนั้นการเลือกฟันย่อยกระดาชให้เหมาะสมนั้นจึงจำเป็นต้องนำองศาของฟันย่อยมาพิจารณาด้วย (Wüstenberg et al., 2004)

ก่อนการพิจารณาการเลือกใช้นิคมของฟันจะเริ่มพิจารณาจากชนิดของวัสดุที่จะถูกตัด จากการศึกษาพบว่ากระดาชเป็นวัสดุที่จำแนกได้เป็น วัสดุเหนียว (Non-Brittle Material) การทำให้วัสดุประเภทนี้ขาดได้ต้องอาศัยแรงเฉือนในการทำลายและพบว่ามุมองศาของฟันสับกระดาชที่อยู่ระหว่าง 80-90 องศา พฤติกรรมของแรงที่เกิดขึ้นกับวัสดุนั้นจะเป็นแรงเฉือน (Shearing) ส่วนในกรณีที่มีมุมองศาของฟันสับกระดาชน้อยกว่า 80 องศา พบว่าพฤติกรรมของแรงจะถูกเรียกว่าแรงตัดและเฉือน (Cutting and Shearing) นอกจากนั้นเมื่อองศาของฟันมีมุมมากขึ้นค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดจะมีค่ามากและเมื่อองศาของฟันมีค่าน้อยลงค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดจะมีค่าน้อยลง ในกรณีเดียวกันถ้าองศาของฟันมีมุมมากขึ้นช่วงของการเสียรูป (Deflection Zone) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะเป็นแนวยาวตามทิศทางของแนวการตัดชิ้นงาน และเมื่อองศาของฟันมีค่าน้อยลงช่วงของการเสียรูป (Deflection Zone) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะเกิดขึ้นแค่ช่วงเล็กๆที่ปลายสุดของฟันตัด ดังนั้นการพิจารณาองศาของฟันเครื่องตัดกระดาชจึงพิจารณาจากลักษณะการเกิดช่วงของการเสียรูป (Deflection Zone) และค่าการใช้พลังงาน ในการออกแบบนี้ได้เลือกใช้ที่มุม 60 องศา เนื่องจากค่าการใช้พลังงานในช่วงมุม 60 องศาจะน้อยกว่าช่วงมุม 80 องศา ประมาณครึ่งหนึ่งและช่วงของการเสียรูป (Deflection Zone) มีลักษณะเป็นแนวยาวตามทิศทางของแนวการตัดชิ้นงาน (Schubert et al., 2004)

ในการพิจารณาการวางแนวแกนของเพลาคือเครื่องย่อยกระดาชพบว่าสามารถวางได้สองลักษณะคือ แนวตั้งและแนวนอน จากการศึกษาพบว่าการวางแนวเพลาคือในแนวตั้งนั้นจำเป็นต้องป้อนชิ้นงานจากด้านบนทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำงานคือ เมื่อชิ้นงานถูกป้อนเข้ามาจะถูกย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆจากนั้นชิ้นงานที่มีขนาดเล็กลงจะถูกเหวี่ยงออกจากกระดาชย่อยทำให้ชิ้นงานไม่สัมผัสกับฟันย่อยส่วนที่เหลือ ซึ่งต่างจากการวางเพลาคือในแนวนอนที่มีการย่อยที่คมมากกว่าในแนวตั้ง ดังนั้นการพิจารณาแนวแกนของเพลาคือเครื่องย่อยกระดาชจึงได้เลือกการวางในลักษณะแนวนอน (Kirchner et al., 1999)

นอกจากนั้นในการคำนวณขนาดของอุปกรณ์ยังพบว่าถ้าการย่อยของฟันของเครื่องทำลายกระดาชตัดกระดาชพร้อมกันทุกฟันจะทำให้แรงให้เพลามีขนาดมากส่งผลให้เพลามีขนาดใหญ่ขึ้น จึงได้วางตำแหน่งของฟันสับกระดาช

สลับกันทำมุม 22.5 องศา ทำให้เพลลาที่ได้มีขนาดลดลง จากนั้นได้ใช้วิธีการทางวิศวกรรมในการหาขนาดของอุปกรณ์เพื่อให้ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีขนาดเหมาะสมและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมการความล้าของวัสดุ

ความเสียหายอันเนื่องมาจากขนาดความเค้นที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานานๆ ความเสียหายนี้จะเรียกว่าความเสียหายเนื่องจากความล้า ซึ่งมีสาเหตุมาจากรอยร้าวที่มีขนาดเล็กก่อน รอยร้าวดังกล่าวจะมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า เมื่อมีการใช้งานเกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดก็เกิดการขาดกันอย่างเฉียบพลัน ซึ่งพิกัดการล้าของชิ้นงานจะคำนวณได้จาก

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad (1)$$

โดยที่

S_e = พิกัดความล้าของชิ้นงาน (N/m^2)

S'_e = พิกัดความทนทาน (N/m^2)

K_a = ตัวคูณประกอบผิวงาน

K_b = ตัวคูณประกอบขนาด

K_c = ตัวคูณประกอบความเค้น

K_d = ตัวคูณประกอบอุณหภูมิ

K_e = ตัวคูณประกอบความเค้นหนาแน่น

K_f = ตัวคูณประกอบอิทธิพลอื่นๆ

สมการออกแบบเพลลา

เพลลาเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่ในการส่งกำลังระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องจักร ในการใช้งานเพลลาต้องรองรับแรงต่างๆ ได้แก่ แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัดและโมเมนต์บิด ซึ่งในการใช้งานจริงอาจจะเกิดแรงกระทำเนื่องจากการบิดชิ้นงาน ดังนั้นจึงได้มีการเลือกใช้ทฤษฎีกู๊ดแมนดัดแปลง (Modified Good Man) แสดงสมการในรูปเส้นผ่านศูนย์กลางดังนี้

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (2)$$

โดยที่

K_f = ค่าความหนาแน่นสำหรับความเค้นกดหรือดึง

K_{fs} = ค่าความหนาแน่นสำหรับความเค้นเฉือน

T_a = ค่าความโมเมนต์บิดสถิต ($N \cdot m$)

T_m = ค่าความโมเมนต์บิดเฉื่อย ($N \cdot m$)

M_a = ค่าความโมเมนต์ดัดสถิต ($N \cdot m$)

M_m = ค่าความโมเมนต์ดัดเฉื่อย ($N \cdot m$)

S_{ut} = ค่าความต้านทานการครากของวัสดุ ($N \cdot m$)

สมการหาขีดจำกัดความเร็วรอบ

จากลักษณะของเพลามีมวลติดตั้งบนเพลามือหมุนจะเกิดการแอ่นตัว ซึ่งระยะแอ่นตัวของเพลาก็ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเพลและแรงที่กระทำบนเพลทำให้เกิดขีดจำกัดขึ้นในการหมุนซึ่งเรียกว่าความถี่ธรรมชาติ ผลที่ได้คือเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น ในการออกแบบจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องทราบถึงขีดจำกัดความเร็วรอบของอุปกรณ์ ซึ่งสมการการหาขีดจำกัดความเร็วรอบของระบบที่มีมวลหลายก้อนแสดงได้ดังนี้

$$\omega_{cr} = \sqrt{\frac{g \sum_{i=1, \dots, n} W_i \delta_{i, \max}}{\sum_{i=1, \dots, n} W_i \delta_{i, \max}^2}} \quad (3)$$

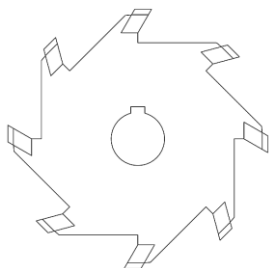
โดยที่ W = น้ำหนักที่กระทำบนเพล (N)

δ = ระยะยืด (m)

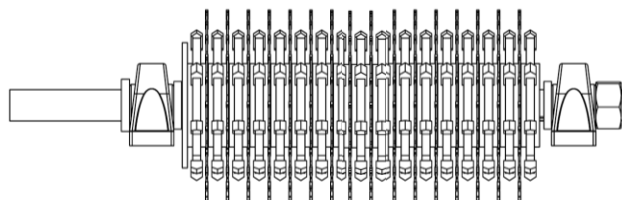
g = ค่าแรงโน้มถ่วง (m/s²)

วิธีการวิจัย

จากการคำนวณขนาดของอุปกรณ์จึงได้สร้างเครื่องทำลายกระดาศเพื่อใช้ในทดสอบการทำงานของฟันตัดกระดาศแบบเพลเดี่ยว ดังภาพที่ 1 แสดงใบมีดตัดกระดาศซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับย่อยกระดาศโดยมีจำนวนฟันตัดทั้งหมด 8 ฟันวางรอบแผ่นใบมีดและภาพที่ 2 แสดงชุดเพลตัดกระดาศโดยประกอบไปด้วยใบมีดตัดกระดาศทั้งหมด 17 ชุด

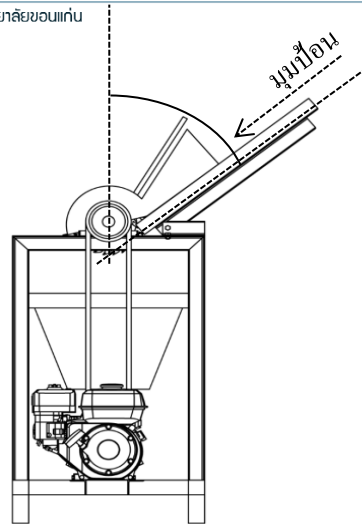


ภาพที่ 1 ใบมีดตัดกระดาศ



ภาพที่ 2 ชุดเพลตัดกระดาศ

ในการทดสอบการทำงานได้มีการสร้างเครื่องสำหรับการทดสอบ โดยตัวเครื่องได้ออกแบบให้สามารถปรับการองศาการป้อนกระดาศของเขียงรองสับเพื่อให้เป็นไปตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3

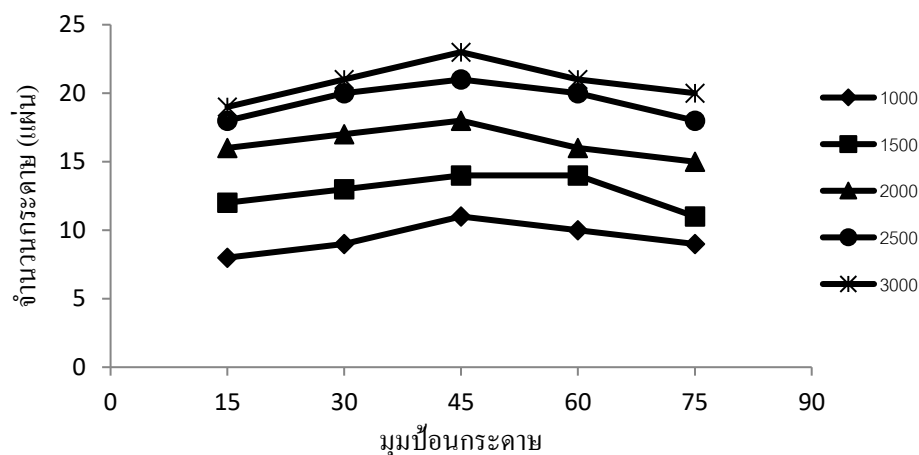


ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบการย่อยกระด้าง

การทดลองในครั้งนี้ได้ใช้เครื่องยนต์ยี่ห้อ ฮอนด้า รุ่น GX240 ขนาด 10 แรงม้า เป็นอุปกรณ์ให้กำลังในการทดสอบ โดยมีการทดสอบได้แก่ การทดสอบการป้อนกระด้างที่มุมต่างๆ โดยในการพิจารณาเลือกมุมในการป้อนนั้นจะพิจารณาจากมุมที่กระด้างสามารถไหลจากจุดป้อนไปยังชุดเพลตตัดกระด้างได้เองซึ่งได้แก่มุม 15, 30, 45, 60, 75 องศา แล้วจึงจะทำการหาจำนวนกระด้างสูงสุดที่สามารถตัดได้ในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์และปริมาณการทำลายต่ออนาทีรวมทั้งปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อจำนวนกระด้างที่ถูกทำลายผ่านเครื่องย่อยกระด้าง โดยทำการทดสอบที่รอบ 5 ความเร็วรอบ ได้แก่ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที

ผลการวิจัย

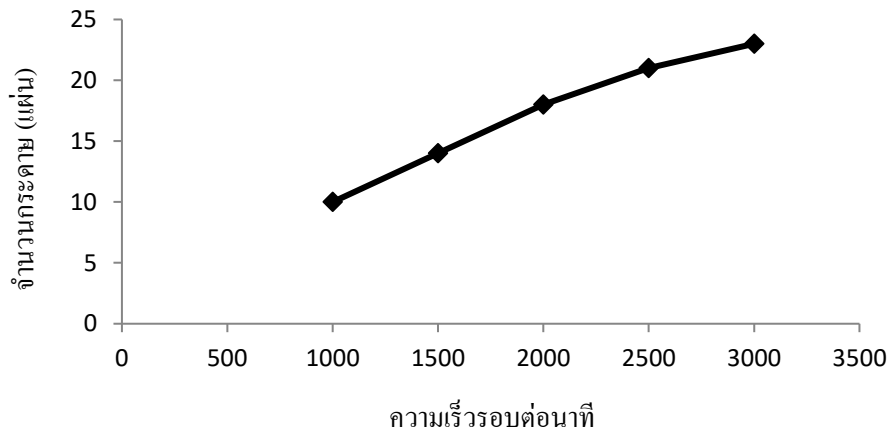
ผลการทดสอบการป้อนกระด้างของเครื่องทำลายกระด้างโดยได้มีการปรับมุมป้อนกระด้างทั้งหมด 5 มุม ได้แก่ 15, 30, 45, 60, 75 องศา ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 จำนวนกระด้างสูงสุดที่สามารถย่อยได้ที่แต่ละมุมป้อนกระด้าง

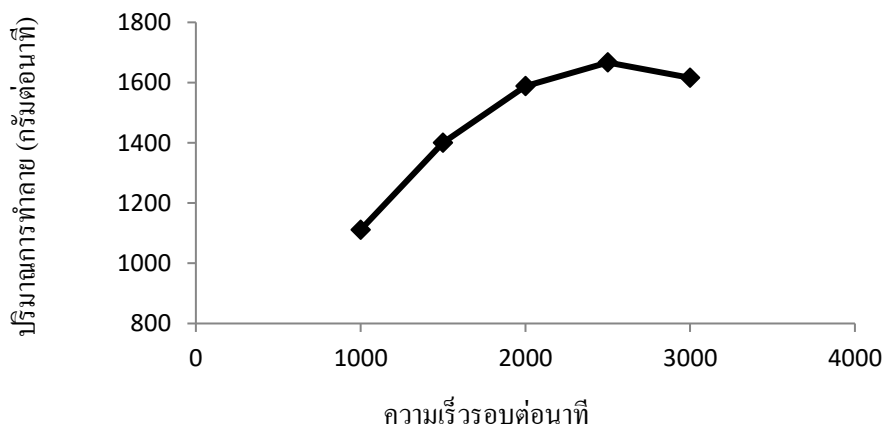
จากภาพที่ 4 พบว่าจำนวนกระด้างที่สามารถทำลายได้สูงสุดของมุม 15 องศา คือ 19 แผ่น ที่มุม 30 องศา จำนวนที่สามารถทำลายได้สูงสุดคือ 21 แผ่น ที่มุม 45 องศา จำนวนที่สามารถทำลายได้สูงสุดคือ 23 แผ่น ที่มุม 60 องศา จำนวนที่สามารถทำลายได้สูงสุดคือ 21 แผ่น ที่มุม 75 องศา จำนวนที่สามารถทำลายได้สูงสุดคือ 20 แผ่น

จากผลการทดลองในการป้อนกระดาษที่ม้วนต่างกัน 5 ม้วน พบว่าที่ม้วน 45 องศาสามารถทำลายกระดาษได้สูงสุดคือ 23 แผ่น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการทดสอบการป้อนที่ม้วน 45 องศาโดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 5 รอบ ได้แก่ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที โดยแสดงข้อมูลการทำลายกระดาษแสดงดังภาพที่ 5



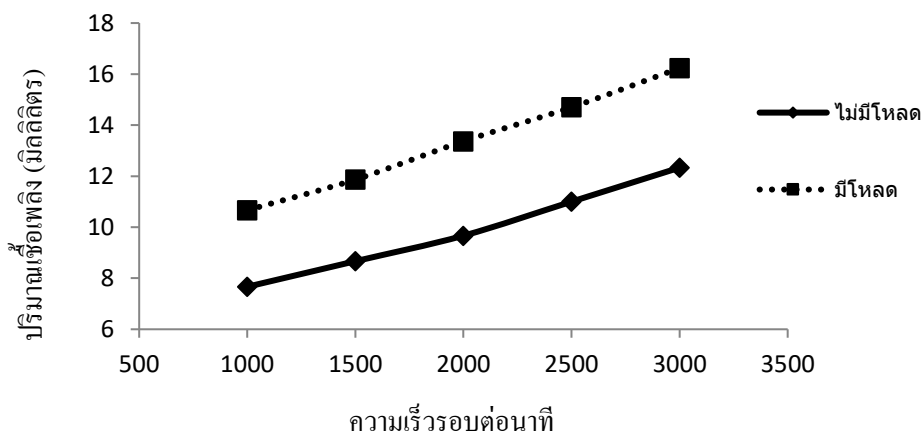
ภาพที่ 5 จำนวนกระดาษสูงสุดที่สามารถย่อยได้ในแต่ละความเร็วรอบ

จากภาพที่ 5 พบว่าความสามารถในการย่อยกระดาษของเครื่องทำลายกระดาษในช่วงความเร็วรอบ 1000 รอบต่อ นาที สามารถทำลายกระดาษสูงสุดได้ 10 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อ นาที สามารถทำลายกระดาษสูงสุดได้ 14 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อ นาที สามารถทำลายกระดาษสูงสุดได้ 18 แผ่น และที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อ นาที สามารถทำลายกระดาษสูงสุดได้ 21 แผ่น ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อ นาที สามารถทำลายกระดาษสูงสุด 23 แผ่น จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าจำนวนกระดาษที่สามารถทำลายได้ขึ้นอยู่กับรอบความเร็วรอบที่ได้มีการปรับเพิ่มขึ้น จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อ นาที เครื่องทำลายกระดาษสามารถทำลายกระดาษได้ปริมาณมากที่สุดคือจำนวน 23 แผ่น จากนั้นจึงได้มีการทดลองเพื่อหาปริมาณการทำลายกระดาษต่อ นาทีในแต่ละรอบที่ต่างกันดังภาพที่ 6



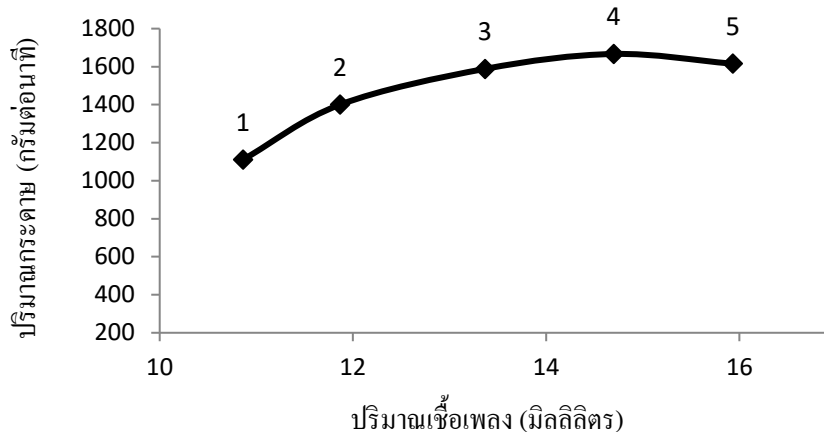
ภาพที่ 6 ปริมาณการทำลายต่อ นาที

จากภาพที่ 6 พบว่าปริมาณการทำลายกระดาศที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที สามารถทำลายกระดาศ 1111 กรัมต่อนาที ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาทีสามารถทำลายกระดาศ 1400 กรัมต่อนาที ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที สามารถทำลายกระดาศ 1588 กรัมต่อนาที ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาทีสามารถทำลายกระดาศ 1667 กรัมต่อนาที ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีสามารถทำลายกระดาศ 1615 กรัมต่อนาที จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณการทำลายกระดาศกระดาศสูงสุดคือ 1667 กรัมต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที โดยในการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นที่ 3000 รอบต่อนาที ได้เกิดลมสวนทางกับทิศของการป้อนกระดาศโดยลมดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากฟันตัดกระดาศที่มีความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ผลทำให้ลมที่เกิดพัดสวนทิศทางของกระดาศทำให้กระดาศที่ป้อนไม่สามารถสัมผัสกับฟันตัดกระดาศได้ดีมากนักทำให้ปริมาณการทำลายกระดาศในรอบที่ 3000 รอบต่อนาทีลดลง จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที สามารถทำลายปริมาณกระดาศไม่ได้มากที่สุดคือ 1667 กรัมต่อนาที



ภาพที่ 7 ปริมาณเชื้อเพลิงต่อความเร็วรอบ

จากภาพที่ 7 พบว่าปริมาณเชื้อเพลิงต่อความเร็วรอบในรอบต่างกันได้มีการทดลองในช่วงเดินเบายังไม่มีการป้อนกระดาศซึ่งแสดงด้วยเส้นไม่มีโหลด พบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 7.83 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที อยู่ที่ 8.67 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 9.67 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที อยู่ที่ 11 มิลลิเมตร และ ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 12.33 มิลลิเมตร และเมื่อป้อนการกระดาศข้อมูลแสดงด้วยเส้นมีโหลดพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นโดย ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 10.86 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที อยู่ที่ 11.87 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 13.37 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที อยู่ที่ 14.7 มิลลิเมตร และ ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 16.23 มิลลิเมตร จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า ปริมาณการการใช้เชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับความเร็วยรอบที่เพิ่มขึ้นและปริมาณโหลดที่ป้อนเข้าไป



ภาพที่ 8 ปริมาณกระดาบต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

จากภาพที่ 8 พบว่าปริมาณกระดาบต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ที่แสดงข้อมูลทั้งหมด 5 จุด คือ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า จุดที่ 1 มีจำนวนกระดาบที่ทำลายได้สูงสุดที่ 10 แผ่น และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 10.8 มิลลิลิตร จุดที่ 2 มีจำนวนกระดาบที่ทำลายได้สูงสุดที่ 14 แผ่น พบว่ามีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 11.8 มิลลิลิตร จุดที่ 3 มีจำนวนกระดาบที่ทำลายได้สูงสุดที่ 18 แผ่น และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 13.4 มิลลิลิตร จุดที่ 4 มีจำนวนกระดาบที่ทำลายได้สูงสุดที่ 20 แผ่น พบว่ามีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 14.7 มิลลิลิตร จุดที่ 5 คือความเร็วรอบที่ 3000 รอบต่อนาที ซึ่งมีจำนวนกระดาบที่ทำลายได้สูงสุดที่ 21 แผ่น และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 15.9 มิลลิลิตร

จากข้อมูลของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 4 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นยกเว้นจุดที่ 5 ที่มีปริมาณกระดาบที่ลดลงเนื่องจากได้เกิดลมเนื่องจากฟันตัดกระดาบที่มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการพัดสวนทางกับทิศของการป้อนกระดาบทำให้เกิดการต้านการกัดของฟันตัดกระดาบ จึงสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ปริมาณกระดาบ 1667 กรัมต่อนาที ปริมาณเชื้อเพลิง 14.70 มิลลิลิตร เป็นจุดการทำงานของเครื่องทำลายกระดาบที่ดีที่สุดในการทดลอง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในการทดสอบเพื่อหาจำนวนกระดาบที่ทำลายได้สูงสุดที่ความเร็วรอบ 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 รอบต่อนาที พบว่าที่มุม 45 องศา จำนวนกระดาบสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น โดยความเร็วรอบที่ 3000 รอบต่อนาทีนั้นมีจำนวนกระดาบสูงสุดที่จำนวน 23 แผ่น และในการหาปริมาณการทำลายกระดาบโดยการการป้อนจำนวนกระดาบสูงสุดในแต่ละความเร็วรอบที่มุม 45 องศาพบว่าปริมาณการทำลายสูงสุดอยู่ที่ 1667 กรัมต่อนาทีที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละความเร็วรอบพบว่า 2500 รอบต่อนาที นั้นมีปริมาณกระดาบสูงสุด โดยมีปริมาณเชื้ออยู่ที่ 14.7 มิลลิลิตรต่อนาที โดยในขณะการทดลองพบว่าทดสอบที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาทีนั้นได้เกิดลมเนื่องจากฟันตัดกระดาบที่มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการพัดสวนทางกับทิศของการป้อนกระดาบทำให้กระดาบไม่สามารถทำลายได้ดีเท่าที่ควรในรอบที่สูงขึ้นจึงควรมีการปรับปรุงแก้ไขในครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ธนาพงศ์ ถานอาคณา, สมพร วงษาธรรม, อิศระ รามางกูร. เครื่องทำลายกระดาษ. ปรินูญานิพนธ์ วศ.บ. ขอนแก่น:

มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2541.

ประสิทธิ์ พลหล้า, ประเสริฐ วิชาศิริวัฒน์. เครื่องย่อยกระดาษ. ปรินูญานิพนธ์ วศ.บ. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น;

2546.

พรวิชัย ลิ้มโพธิ์ทอง, เทวนพ เทินสะเกษ, ปฏิวัติ คำสนาม, มาโนชัย มาจันแดง. เครื่องย่อยกระดาษ. วศ.บ. ขอนแก่น:

มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2554.

วุฒิพงษ์ วีระนนท์, เอกพงษ์ สุริยงค์. การออกแบบและสร้างเครื่องทำลายกระดาษ. วศ.บ. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัย

มหาสารคาม; 2553.

Wüstenberg D, Kasper J. Required energy and structural breakdown at the process of dynamic cutting—

comminution of polypropylene and aluminium. International Journal of Mineral Processing 2004; 74

(Supplement).

Woldt D, Schubert G, Jäckel HG. Size reduction by means of low-speed rotary shears. International Journal of

Mineral Processing 2004; 74(Supplement).

Schubert G, Bernotat S. Comminution of non-brittle materials. International Journal of Mineral Processing 2004;

74(Supplement).

Kirchner J, Timmel G, Schubert G. Comminution of metals in shredders with horizontally and vertically mounted

rotors — microprocesses and parameters. Powder Technology 1999; 105(1-3).