การศึกษาผลกระทบของแรงเสียดทานในเกียร์ทดรอบแบบเกลียวตัวหนอนสำหรับถังผสมเชื้อเห็ด

The study of the impact of friction in worm gear for the Mushroom mixing machinery

ทวี งามวิไลกร[1],ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์[2], ชัยวัฒน์ ชัยแหม่ง[3]

[1] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 59 หมู่ 1 ถ.วปรอ 366 ต.เชียงเครือ อ.เมือง จ.สกลนคร 47000
[2] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[3] ห้างหุ้นส่วน ชัยแหม่ง 144 ม.7 บ้านหนองบัวสร้าง ต.อุ่มจาน อ.กุสุมาลย์ จ.สกลนคร 47230
*ติดต่อ: Tawee.n@ku.th, เบอร์โทรศัพท์ 085-1510290, เบอร์โทรสาร 061-0287788

บทคัดย่อ

เกียร์ทดรอบแบบเกลียวตัวหนอนนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเกียร์ทดรอบประเภทอื่น แต่เนื่องจากเกียร์ทดรอบแบบเกลียวตัวหนอนนั้นมีแรงเสียดทานมากกว่าเกียร์ทดชนิดอื่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอผลกระทบของแรงเสียดทานในเกียร์ทดรอบแบบเกลียวตัวหนอนที่ใช้สำหรับหมุนใบเกลียวในเครื่องผสมเชื้อเห็ดที่มีต่อประสิทธิภาพของการส่งผ่านกำลัง แรงบิดขาเข้าและแรงบิดขาออกของเกียร์ทดรอบฯ โดยที่เกียร์ทดรอบฯที่ใช้ทดลองในงานวิจัยมีอัตราทด 40:1และ 30:1 งานวิจัยนี้ได้แสดงผลการทดลองของประสิทธิภาพ อัตราทดแรงบิด ของเกียร์ทดรอบแบบเกลียวตัวหนอนอีกด้วย

คำหลัก: เกียร์ทดรอบ, เฟืองตัวหนอน, ระบบส่งผ่านกำลัง

Abstract

The worm gear reducer is variety use in industrial because the price is not expensive. Unfortunately the friction of the worm gear reducer is higher than the other type of gear reducer such as planetary gear. The efficiency, torque ratio of worm gear reducer which gear ratio is 40:1 and 30:1 is studied and tested. The worm gear reducer is use for driving the shaft of the mixing tank. The mixing tank is use to mix the ingredients of Mushroom. The result of the efficiency and torque ratio of the worm gear reducer are present.

Keywords: worm gear, speed reducer, transmission

1. บทนำ

เห็ดเป็นสินค้าเกษตรชนิดหนึ่งที่ไทยมีศักยภาพการผลิตสูง ปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคเห็ดเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคที่ลดการบริโภคเนื้อสัตว์ กลุ่มผู้รักสุขภาพ และกลุ่มผู้บริโภคมังสวิรัติ ส่งผลให้ตลาดและธุรกิจเห็ดขยายตัวเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทั้งเห็ดเมืองหนาวและเห็ดเมืองร้อน ส่วนใหญ่เป็นเห็ดฟางและเห็ดเพาะในถุงพลาสติก อาทิ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดหอม เห็ดเข็มทอง เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหูหนู เป็นต้น ซึ่งปี 2558 ไทยมีปริมาณผลผลิตเห็ดสูงถึง 15,000 ตัน มีมูลค่ารวมกว่า 1,156 ล้านบาท [1] ขณะเดียวกันยังมีการผลิตถุงเพาะเห็ดปีละ ประมาณ 20 ล้านถุง คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 2,000 ล้าน ในการผลิตเห็ดของเกษตรกรในปัจจุบันจะประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมส่วนผสมของเชื้อสำหรับทำก้อนเห็ด ประกอบด้วย ขี้เลื่อย ปูนขาว ดีเกลือ รำละเอียด และน้ำสะอาด โดยส่วนผสมนี้ต้องคลุกเคล้าให้เข้ากัน
2. การบรรจุส่วนผสมลงในถุงพลาสติกให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดประมาณ 7-8 ขีดต่อถุง
3. การทุบหรืออัดส่วนผสมที่ใส่ในถุงพลาสติกให้แน่นที่พอดี

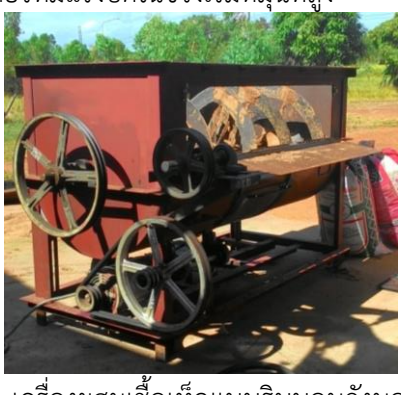
4. การใส่ปลอกคอขวดพลาสติกที่อัดแน่นแล้ว ถุงพลาสติกที่บรรจุส่วนผสมและอัดแน่นและใส่ปลอกคอขวดแล้ว เรียกว่า ก้อนเห็ด
5. จัดเรียงก้อนเห็ดใส่ตะกร้า
6. นึ่งก้อนเห็ดเพื่อฆ่าเชื้อ
7. หยอดเชื้อเห็ด

ในการผลิตเห็ดทุกขั้นตอนนั้นเกษตรกรจะใช้แรงงานคนเป็นหลักซึ่งปัญหาจากการใช้แรงงานคือ น้ำหนักก้อนเห็ดไม่สม่ำเสมอ ความแน่นก้อนเห็ดไม่สม่ำเสมอ แรงงานขาดแคลนทำให้เกษตรกรต้องหยุดการผลิตก้อนเห็ด ใช้เวลาในการผลิตก้อนเห็ดมาก โดยกำลังการผลิตก้อนเห็ดโดยการใช้แรงงานอยู่ที่ 300 ก้อนต่อวันต่อแรงงาน 1 คน [1] โดยขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมของเชื้อสำหรับทำก้อนเห็ดนั้นหากทำด้วยแรงงานจะใช้เวลาและแรงงานมากในการผสมคลุกเคล้าซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทำให้เกษตรกรหันมาใช้เครื่องผสมกันมากขึ้น เครื่องผสมที่มีจำหน่ายในปัจจุบันจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังผ่านเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนเพื่อไปใบผสมในถังผสม โดยเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนจะทำหน้าที่ลดความเร็วรอบทีออกจากมอเตอร์ทำให้ใบผสมมีความเร็วรอบที่เหมาะสมและเกียร์ทดฯจะช่วยเพิ่มแรงบิดที่ออกจากมอเตอร์ให้มีค่ามากเพียงพอสำหรับหมุนใบผสมอีกด้วย แต่เกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนนั้นมีแรงเสียดทานค่อนข้างมากซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้โดยเฉพาะช่วงการเริ่มหมุนของมอเตอร์

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลของแรงเสียดทานในเกียร์ทดรอบแบบเกลียวตัวหนอนซึ่งจะช่วยในการออกแบบและเลือกขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องผสมเชื้อเห็ดต่อไป

2. เครื่องผสมเชื้อเห็ด

เครื่องผสมเชื้อเห็ดที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ เครื่องผสมแบบริบบอนถังนอน [2] (Horizontal Ribbon Mixer) ภายในเครื่องผสมแบบนี้ มีลักษณะเป็นถังยาวขนานกับพื้น มีแกนข้างในให้เส้นของแถบเหล็กบางคล้ายริบบอนพันรอบแกนใช้คลุกอาหาร ฝาถังเปิดออกด้านบน รูปร่างคล้ายรูปตัวยูในภาษาอังกฤษ ตัวถังผสมอยู่กับที่ แต่แกนภายในหมุน การผสมอาศัยการหมุนจากมอเตอร์ทำให้อาหารคลุกเข้ากันได้ ความจุของถัง จำนวนเส้นริบบอนเหล็ก และจำนวนรอบของการหมุนจะต้องสมดุลกันจึงจะทำให้ผสมได้ทั่วถึง เครื่องแบบนี้ผสมได้ทั่วถึงง่าย และใช้เวลาในการผสมน้อย (ประมาณ 25 นาที) แต่ราคาแพงกว่าแบบตั้ง รูปที่ 1 เป็นเครื่องผสมที่ใช้ระบบส่งกำลังแบบสายพานและมู่เล่ ซึ่งระบบส่งกำลังชนิดนี้ข้อดีคือบำรุงรักษาง่าย ข้อเสียคือหากต้องการอัตราทดสูงแล้วต้องใช้จำนวนมู่เล่หลายชุดทำให้มีราคาสูง การติดตั้งจะยุ่งยากมากขึ้น รูปที่ 2 เป็นเครื่องผสมแบบริบบอนที่ใช้ระบบส่งกำลังแบบเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอน โดยนำมอเตอร์ต่อเข้ากับเกียร์ทดโดยตรงโดยใช้คับปิ้งจากนั้นเพลาขาออกของเกียร์ทดไปขับเฟืองสเตอของเพลาถังผสมอีกที ข้อดีของระบบส่งกำลังนี้คือ ราคาไม่แพง ให้อัตราทดสูง ข้อเสียคือเกียร์ชนิดนี้มีแรงเสียดทานสูงทำให้ต้องใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดในช่วงเริ่มหมุนที่สูง



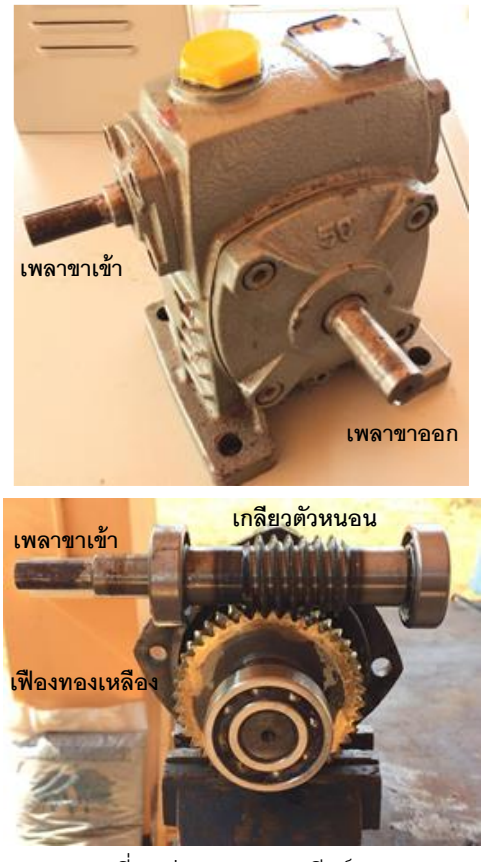
รูปที่ 1 เครื่องผสมเชื้อเห็ดแบบริบบอนถังนอนที่ใช้ระบบสายพานและมู่เล่

รูปที่ 2 เครื่องผสมเชื้อเห็ดแบบริบบอนถังนอนที่ใช้เกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอน

เครื่องผสมสำหรับผสมเชื้อเห็ดโดยส่วนมากนั้นจะสามารถผสมเชื้อเห็ดได้ครั้งละประมาณ 70 ถึง 120 กิโลกรัม ความเร็วรอบของใบผสมประมาณ 10 ถึง 20 รอบต่อนาที อัตราทดรอบรวมประมาณ 70 ถึง 80 ต่อ 1

2.1 เกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอน

เกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ยี่ห้อ KIMPO ซึ่งมีอัตราทด 40 : 1 และ 30:1 ซึ่งอัตราทดนี้เป็นอัตรทดที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากจะให้ความเร็วรอบของใบริบบอนที่เหมาะสม โดยเพลาขาเข้าจะอยู่ด้านบน มีเกลียวตัวหนอนซึ่งทำจากเหล็กกล้าอยู่บนเพลาขาเข้า เมื่อหมุนเพลาขาเข้าจะทำให้เกลียวตัวหนอนไปหมุนเฟืองทองเหลืองซึ่งมีเพลาขาออกติดอยู่ เพลาขาเข้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร เพลาขาออกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบเกียร์ทดฯ

โดยส่วนมากประสิทธิภาพของเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนจะขึ้นกับปัจจัยหลัก 4 ด้านดังนี้ [3 ,4 ,5]

1. การสูญเสียจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืน
2. การสูญเสียจากแรงเสียดทานในฟันเฟือง
3. การสูญเสียจากการเยื้องของเฟืองเกียร์
4. การสูญเสียจากตีหรือปั่นของน้ำมันหล่อลื่น

การสูญเสียจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืน หาได้จากสมการ

$$T = f\frac{D_p}{2}W \qquad (2)$$

โดยที่

T คือแรงบิดสูญเสียในตลับลูกปืน

$D_p = 0.5(D_1 + D_2)$

D_1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรูในของตลับลูกปืน

D_2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอดของตลับลูกปืน

f คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ ตลับลูกปืนซึ่งมีค่าประมาณ 0.0015

โดยปกติความสูญเสียในตลับลูกปืนมักมีค่าน้อยมาก เช่นแรงบิดสูญเสียสูงสุดมีค่าประมาณ 0.022 Nm ซึ่งสามารถละทิ้งได้ นอกจากนี้ในเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนมักมีเสื้อที่เป็นเหล็กหล่อห่อหุ้มและนิยมใช้จารบีหรือน้ำมันหล่อลื่นที่มีควาหนืดค่อนข้างสูง ทำให้ความสูญเสียเนื่องจากการเยื้องของเฟืองเกียร์และการสูญเสียจากตีหรือปั่นของน้ำมันหล่อลื่นสามารถละทิ้งได้เช่นกัน [6] ดังนั้นความสูญเสียหลักจึงมาจากแรงเสียดทานของเฟืองซึ่งประสิทธิภาพที่คิดเฉพาะผลของแรงเสียดทานหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\cos\alpha - \mu\tan\gamma}{\cos\alpha + \mu\cot\gamma} \times 100\% \qquad (1)$$

โดยที่

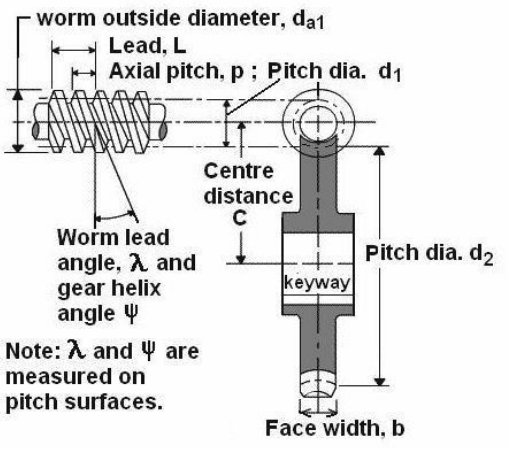
η คือประสิทธิภาพของเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอน

α คือ pressure angle

γ คือ pinion lead angle

μ คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ค่า α และ γ สามารถปรับได้ซึ่งขึ้นกับการออกแบบ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจึงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 ค่าตัวแปรต่างๆของเกียร์ทด

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนั้นขึ้นกับปัจจัยหลัก 7 ประการ ด้วยกัน เช่น วัสดุ ความหยาบของผิว การหล่อลื่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วในการไถลและ normal contact pressure โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอการหาประสิทธิภาพโดยการทดลองเป็นหลัก

2.2 การทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้จะทำการวัดแรงบิดที่เพลาขาเข้าของเกียร์ทดฯซึ่งมีแขนวัดแรงบิดติดตั้งอยู่ ที่เพลาขาออกจะมีแขนโดยมีน้ำหนักถ่วงอยู่ที่ปลายแขน การทดลองจะทดสอบหาแรงเสียดทานเกียร์ทดฯดังนี้

1. หาค่าแรงบิดเริ่มหมุนของเพลาด้านขาเข้าเมื่อเพลาด้านขาออกมีแรงบิดค่าต่างๆ โดยจะออกแรงหมุนแขนวัดแรงบิดจนกระทั่งแขนวัดแรงบิดเริ่มหมุนจึงบันทึกค่าและเก็บข้อมูล
2. หาค่าแรงบิดของเพลาด้านขาเข้าเมื่อเพลาด้านขาเข้าหมุนด้วยความเร็วคงที่โดยทีเพลาด้านขาออกมีแรงบิดค่าต่างๆ โดยจะออกแรงหมุนแขนวัดแรงบิดด้วยความเร็วคงที่จากนั้นจึงบันทึกค่าและเก็บข้อมูล
3. การทดลองจะทดลองกับเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนที่มีอัตราทด 40:1 และ 30:1

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองสำหรับเกียร์ทดฯอัตราทด 40:1 เริ่มจากนำมวล 3 กิโลกรัมไปแขวนที่แขนที่ติดบนเพลาขาออกโดยแขนนี้มีตำแหน่งที่ใช้แขวนมวลกำหนดไว้ด้วยซึ่งมีระยะเริ่มต้นที่ 0.6 เมตร ถึง 1.3 เมตรโดยระยะที่กำหนดนี้กับมวลที่นำมาแขวนจะทำให้มีแรงบิดที่ช่วงการใช้งานของเกียร์ทดรอบที่นำมาทดสอบ โดยเริ่มแขวนมวลที่ตำแหน่ง 0.6 เมตรจากนั้นจึงเริ่มออกแรงหมุนแขนที่เพลาขาเข้าจนเพลาขาเข้าเริ่มหมุน อ่านค่าแรงบิดที่ได้โดยที่แขนที่เพลาขาเข้ามีตัววัดแรงบิดติดตั้งอยู่ จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยแขวนมวลที่ตำแหน่ง 0.7 เมตร 0.8 จนถึง 1.3 เมตร ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 และ 2 กราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดขาเข้าและขาออกของเกียร์ทดฯ อัตราทด 40:1 แสดงในรูปที่ 5 จากตารางและกราฟพบว่าเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนอัตราทด 40:1 นั้นมีอัตราทดแรงบิดเฉลี่ยขณะเพลาขาเข้าเริ่มหมุนเท่ากับ 1:11 และเท่ากับ 1:13 เมื่อเพลาขาเข้าหมุนด้วยความเร็วคงที่ ประสิทธิภาพประมาณ 33%

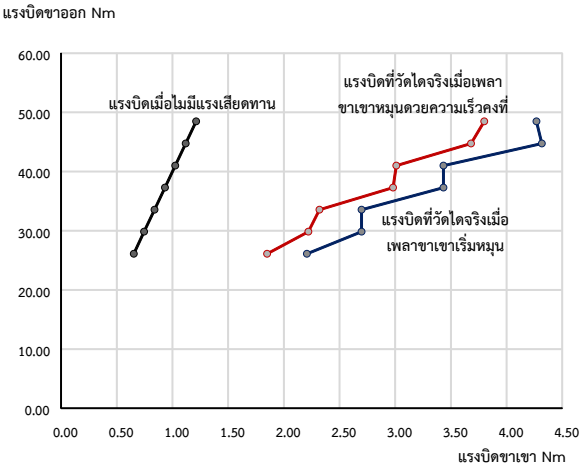
ผลการทดลองสำหรับเกียร์ทดฯอัตราทด 30:1 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3 และ 4 กราฟความสัมพันธ์

ตารางที่ 1 แรงบิดขาเข้าขณะเริ่มหมุนของเกียร์ทดฯที่มีอัตราทด 40:1 (หน่วย นิวตัน·เมตร)

อัตราทด 40:1			
แรงบิดขาเข้าเมื่อไม่มีแรงเสียดทาน	แรงบิดขาเข้า	แรงบิดขาออก	อัตราทดแรงบิด
0.65	2.21	26.09	12
0.75	2.70	29.82	11
0.84	2.70	33.55	12
0.93	3.43	37.28	11
1.03	3.43	41.01	12
1.12	4.32	44.73	10
1.21	4.27	48.46	11

ตารางที่ 2 แรงบิดขาเข้าขณะหมุนด้วยความเร็วคงที่ของเกียร์ทดฯที่มีอัตราทด 40:1 (หน่วย นิวตัน·เมตร)

อัตราทด 40:1				
แรงบิดขาเข้าเมื่อไม่มีแรงเสียดทาน	แรงบิดขาเข้า	แรงบิดขาออก	อัตราทดแรงบิด	ประสิทธิภาพ %
0.65	1.85	26.09	14	35.26
0.75	2.22	29.82	13	33.58
0.84	2.32	33.55	14	36.15
0.93	2.98	37.28	13	31.27
1.03	3.01	41.01	14	34.06
1.12	3.68	44.73	12	30.39
1.21	3.80	48.46	13	31.88



รูปที่ 5 กราฟแรงบิดของเกียร์ทดฯ อัตราทด 40:1

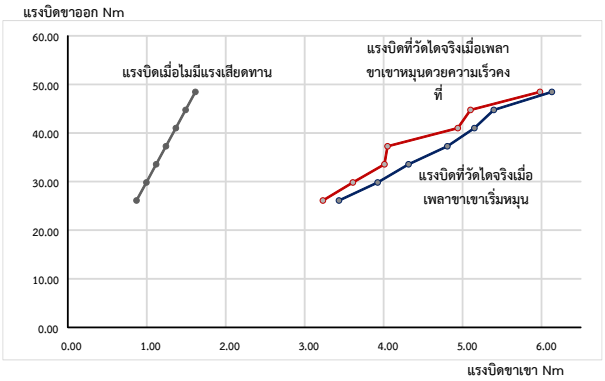
ของแรงบิดขาเข้าและขาออกของเกียร์ทดฯ อัตราทด 30:1 แสดงในรูปที่ 6 จากตารางและกราฟพบว่าเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนอัตราทด 30:1 นั้นมีอัตราทดแรงบิดเฉลี่ยขณะเพลาขาเข้าเริ่มหมุนเท่ากับ 1:8 และเท่ากับ 1:8.3 เมื่อเพลาขาเข้าหมุนด้วยความเร็วคงที่ ประสิทธิภาพประมาณ 28%

ตารางที่ 3 แรงบิดขาเข้าขณะเริ่มหมุนของเกียร์ทดฯ ที่มีอัตราทด 30:1 (หน่วย นิวตัน·เมตร)

อัตราทด 30:1			
แรงบิดขาเข้าเมื่อไม่มีแรงเสียดทาน	แรงบิดขาเข้า	แรงบิดขาออก	อัตราทดแรงบิด
0.87	3.43	26.09	8
0.99	3.92	29.82	8
1.12	4.32	33.55	8
1.24	4.81	37.28	8
1.37	5.15	41.01	8
1.49	5.40	44.73	8
1.62	6.13	48.46	8

ตารางที่ 4 แรงบิดขาเข้าขณะหมุนด้วยความเร็วคงที่ของเกียร์ทดฯที่มีอัตราทด 30:1 (หน่วย นิวตัน·เมตร)

อัตราทด 30:1				
แรงบิดขาเข้าเมื่อไม่มีแรงเสียดทาน	แรงบิดขาเข้า	แรงบิดขาออก	อัตราทดแรงบิด	ประสิทธิภาพ %
0.87	3.23	26.09	8	26.93
0.99	3.61	29.82	8	27.54
1.12	4.01	33.55	8	27.89
1.24	4.05	37.28	9	30.68
1.37	4.94	41.01	8	27.67
1.49	5.10	44.73	9	29.24
1.62	5.98	48.46	8	27.01



รูปที่ 6 กราฟแรงบิดของเกียร์ทดฯ อัตราทด 30:1

ผลการทดลองของเกียร์ทดฯทั้งสองอัตราทดยังพบว่า ค่าอัตราทดแรงบิดต่ำกว่าค่าอัตราทดแรงบิดเมื่อไม่มีแรงเสียดทานประมาณ 4 เท่า เช่นเมื่อนำเกียร์ทดฯอัตราทด 30:1 ไปหมุนโหลดที่มีแรงบิด 48 Nm จะต้องใช้แรงบิดที่เพลาขาเข้าเท่ากับ 6 Nm แทนที่จะเป็น 1.6 Nm สำหรับเริ่มหมุนเพลา

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบผลของแรงเสียดทานที่มีต่อประสิทธิภาพและอัตราทดแรงบิดของเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนที่มีอัตราทด 40:1 และ 30:1 มีค่าต่ำ(ประมาณ 27%-30%) และมีค่าค่อนข้างคงที่ถึงแม้แรงบิดด้านเพลาขาออกมีค่าเปลี่ยนแปลง โดยที่เกียร์ทดที่อัตรทด 40:1 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกียร์ทดที่มีอัตรทด 30:1 เล็กน้อย

2. เกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนที่มีอัตราทด 40:1 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนที่มีอัตราทด 30:1 เล็กน้อย

3. อัตราทดแรงบิดของเกียร์ทดฯมีค่าต่ำกว่าค่าอัตราทดแรงบิดเมื่อไม่มีแรงเสียดทานประมาณ 4 เท่า และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเพลาของเกียร์ทดหมุนด้วยความเร็วคงที่กับกรณีเพลาเริ่มหมุน

4. มอเตอร์ที่ใช้ต่อกับเพลาขาเข้าของเกียร์ทดชนิดนี้ควรมีขนาดแรงบิดมากกว่าปกติจากที่ออกแบบโดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทานของเกียร์ทดประมาณ 4 เท่าขึ้นไป ตัวอย่างเช่น แรงบิดที่ต้องการในการหมุนใบผสมเชื้อเห็ดเท่ากับ 60 N·m และเลือกใช้เกียร์ทดแบบเกลียวตัวหนอนอัตราทด 40:1 แทนที่จะใช้มอเตอร์ที่ให้แรงบิด

เท่ากับ $\frac{60}{40}$ N·m แต่ควรเลือกใช้มอเตอร์ที่ให้แรงบิดมากกว่าหรือเท่ากับ $\frac{60}{40}\times 4=\frac{60}{10}$ N·m เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

[1] กิตติมา งามวิไลกร. 2559. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน, ระยะเวลาคืนทุน, และการผ่อนชำระเงินกู้ของเครื่องผลิตก้อนเห็ดอัตโนมัติเกษตรสกล 1 สำหรับวิสาหกิจชุมชน: บทความวิจัย. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ฉบับพิเศษประจำปี 2559, 251-261.

[2] นพพล จันทร์ประทัด, ปรีชา เป้าป่าเถื่อน และอภิปรัชญา ละทัยนิล .2555. การพัฒนาเครื่องผสมอาหารเชื้อเห็ด ปริญญานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร

[3] B. Magyar,B. Sauer, (2014). Calculation of the efficiency of worm gear drives, paper presented in *International Gear Conference 2014*, Lyon.

[4] B. Magyar,B. Sauer, (2014). On Some Problems With Modeling of Coulomb Friction in Self-Locking Speed Reducers, paper presented in *ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Buffalo, New York, USA, August 17–20, 2014.

[5] Changenet, C.and M. Pasquier, (2002). Power Losses and Heat Exchange in Reduction Gear: Numerical and Experimental Results, paper presented in *International Conference on Gear 2002*, Verlag.

[6] Efficiency Prediction of Worm Gear with Plastic Worm Wheel Seong Han Kim1, Min Chul Shin1, Jung Won Byun2, Kwang Hwan O3 and Chong Nam Chu1 INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING Vol. 13, No. 2

5.2 เว็บไซต์

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, URL: http://www.oae.go.th.