

## การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วของเพลาหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

### Design Control Speed of the Shaft with Governor

สรารุณ สิริเกษมสุข\* และ ชาดิชา ยี่ลาสิริวิไล

มหาวิทยาลัยปทุมธานี 140 ม.4 ถ.ติวานนท์-ปทุมธานี ต.บ้านกลาง อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

\*ติดต่อ: sirikasemsuk@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 0-2975-6999 ต่อ 161, โทรสาร 0-2979-6728

#### บทคัดย่อ

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นกลไกที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยกลไกนี้สามารถควบคุมการเปิดปิดการจ่ายน้ำมันโดยปรับตามความเร็วของเพลา และด้วยกลไกไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ยังถูกประยุกต์ใช้ในงานที่มีการควบคุมเพลาหมุน เช่น บ้านกังหันลม เป็นต้น โดยทั่วไปกังหันลมที่อยู่ตามแนวภูเขา หรือ พื้นที่โล่งที่มีลมพัดผ่านอยู่เสมอ นั้นจะถูกติดตั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการควบคุมความเร็วที่เกิดจากกระแสลมที่มีความเร็วสูงเกินจนเกิดอันตรายกับระบบเพลาในกังหันลม ซึ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีความซับซ้อนมาก แต่หากเปลี่ยนมาใช้กลไกไมโครคอนโทรลเลอร์แทนอย่างที่ใช้ในบ้านกังหันลมจะช่วยลดความซับซ้อนของกลไกในกังหันลมได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมความเร็วของเพลาหมุนที่มีต้นกำลังมาจากกังหันลม เพื่อควบคุมเพลาไม่ให้หมุนเร็วเกินกว่าความเร็วที่ต้องการ โดยได้ติดตั้งงานเบรกร่วมกับกลไกไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเพลาหมุนด้วยความเร็วที่มากพอ กลไกไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มกางแขนที่มีมวลติดอยู่ ทำให้งานเบรกเคลื่อนที่ชิดกันเป็นผลให้เพลาหมุนช้าลง และหากเพลาหมุนลดความเร็วลง กลไกไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้งานเบรกแยกจากกัน

**คำหลัก:** ควบคุมความเร็ว, ความเร็วเพลา, ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### Abstract

Governors are widely used mechanisms in the automotive industry. With this mechanism, it can regulate and adjust the opening and closing of the fuel supply according to the speed of the shaft. This governor mechanism is also used in devices where rotary shafts are controlled such as wind turbines. Typically, wind turbines in mountains or open spaces where winds blow continuously, electronic systems are installed to control the speed generated by such high velocity wind that causes damage to the shaft system of the wind turbines. The electronic system is very complex. However, if the governor is used instead as in the windmill house, the complexity of the wind turbine mechanism will be reduced. In this research, the governor system is adapted to control the speed of the rotating shaft originated from the wind turbine and to control the shaft to rotate not faster than the required speed by installing disc brakes together with the governor mechanism. When the shaft rotates at a sufficient speed, the governor will expand the lever arms with the attached masses to make the disc brakes move closer together so that the shaft rotates more slowly. When the shaft

rotates at a slower speed, the governor mechanism will separate the disc brakes from each other.

**Keywords:** speed control, shaft speed, governor

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นการใช้พลังงานธรรมชาติมาร่วมในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพลังงานดังกล่าวเป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมค่อนข้างมาก เพราะเป็นพลังงานที่บริสุทธิ์ แต่การนำพลังงานจากธรรมชาติมานั้น ก็มีความเสี่ยงเรื่องของธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานทางเลือกนั้น จึงต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวงจรควบคุม ระบบตรวจสอบและป้องกันของสัญญาณ ซึ่งความยุ่งยากในการติดตั้งและซ่อมบำรุงก็มีไม่น้อย แต่หากมีการประยุกต์นำเอาระบบทางกลมาใช้งานจะสามารถช่วยลดความซับซ้อนลงได้ โดยหากมองเรื่องความปลอดภัยในส่วนของกระแสลมที่แรง จนทำให้กังหันลมหมุนเร็วเกินไป ถ้าต้องการหาอุปกรณ์ทางกลที่เข้ามาช่วยควบคุมความเร็วของเพลากังหันลมนั้น ก็มีกลไกโกเวอร์เนอร์ที่สามารถช่วยควบคุมความเร็วของเพลาลูก จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเพลากับแกนโกเวอร์เนอร์ที่กาง และจากผลที่แกนกลไกที่กางก็สามารถติดตั้งระบบเบรกได้

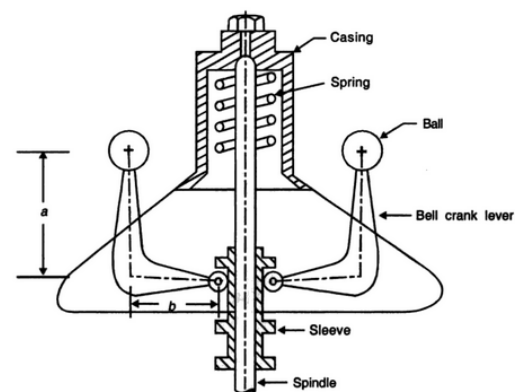
ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงข้อมูลการอ้างอิงรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการคำนวณและออกแบบชุดกลไกโกเวอร์เนอร์

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลังงานลมเป็นพลังงานบริสุทธิ์ ทำให้กังหันลมเพื่อการผลิตพลังงานเป็นที่ได้รับความนิยมอีกทางเลือกสำหรับการผลิตพลังงาน อีกทั้งสามารถติดตั้งง่ายและราคาไม่แพง ซึ่งกังหันลมมีทั้งชนิดแนวตั้งและแนวนอน แต่กังหันลมชนิดแนวตั้งจะมีข้อดีที่สามารถรับทิศทางลมได้ทุกทิศทาง โดยเฉพาะกังหันลมซาโวนีเยชนิด 3 ใบที่ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด [1] และกังหันลมเมื่อเวลาที่

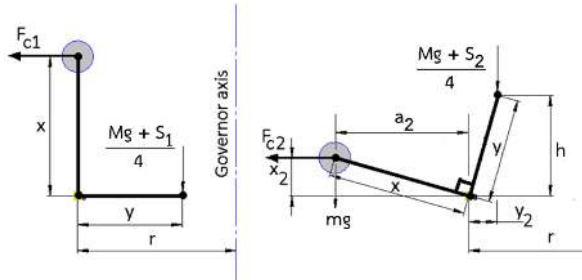
ใบพัดหมุนนั้น หากความเร็วของใบพัดเปลี่ยนแปลงจะเกิดการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น เพื่อเป็นการลดการสั่นสะเทือนดังกล่าวสามารถติดตั้งระบบการสั่นสะเทือนได้ที่เสาของกังหันลมเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของใบพัดได้ [2]

กลไกโกเวอร์เนอร์ เป็นกลไกที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ตามความสัมพันธ์ของเพลาลูก โดยสามารถประยุกต์ได้หลากหลายเช่นงานประเภทยานยนต์ จะพบในระบบเครื่องยนต์ดีเซล โดยทำหน้าที่ควบคุมการปรับจ่ายน้ำมันให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ของเครื่องยนต์ หรือใช้ในบ้านกังหันลมที่ต่างประเทศเนื่องจากปัญหาของกระแสลมที่ควบคุมไม่ได้ โดยกลไกโกเวอร์เนอร์จะทำงานเมื่อเพลาลูกด้วยความเร็วที่มากเกินไป ซึ่งกลไกที่ใช้เป็นโกเวอร์เนอร์ชนิดพอร์เตอร์ (Porter governor) แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โกเวอร์เนอร์ชนิดฮาร์ดเนล (Hartnell Governor) โดยกลไกฮาร์ดเนลโกเวอร์เนอร์ จะมีการติดตั้งสปริงเป็นเป็นตัวดึงแขนที่ติดมวล โดยเมื่อเพลาลูกด้วยความเร็วจะทำให้มวลถูกเหวี่ยงออก และหากเพลาลูกด้วยความเร็วลดลงมวลก็จะกลับเข้าตำแหน่งสมดุลด้วยแรงจากสปริงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กลไกโกเวอร์เนอร์ฮาร์ดเนล [3]

จากรูปที่ 1 สามารถวิเคราะห์หาค่าสปริงที่ใช้ในการกดแกนของโกเวอร์เนอร์ได้โดยวิเคราะห์จากกลไกที่เป็นไปได้ในการยับยั้งของปลายแขนที่ความเร็วต่างๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแขนของกลไกโกเวอร์เนอร์ที่สภาวะปกติและที่สภาวะแขนกางออกสูงสุด

จากรูปที่ 2 เมื่อต้องการหาค่าของคางที่ของสปริงต้องรูปค่าแรงเหวี่ยงก่อน โดยค่าแรงเหวี่ยง  $F_{c1}$  และ  $F_{c2}$  หาได้จากสมการ (1)

$$F_c = m \omega^2 r \quad (1)$$

โดยที่  $F_c$  คือ แรงเหวี่ยง N

$m$  คือ มวล kg

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม rad/s

$R$  คือ ระยะระหว่างมวลกับแกน

โกเวอร์เนอร์ m

เมื่อทราบค่าแรงเหวี่ยงจากนั้นหาค่าแรงจากสปริง  $S$  ซึ่งพิจารณาจาก 2 กรณี คือที่ความเร็วรอบต่ำ แขนไม่กาง และที่ความเร็วรอบสูง แขนกาง โดยหาได้จากสมการ (2) และสมการที่ (3)

$$\frac{Mg+S_1}{4} \cdot y = F_{c1} \cdot x \quad (2)$$

$$\frac{Mg+S_2}{4} \cdot y = (F_{c2} \cdot x) + (mg \cdot a_2) \quad (3)$$

โดยที่  $S_1$  คือ แรงจากสปริง N กรณีความเร็วรอบต่ำ แขนกลไกกาง

$S_2$  คือ แรงจากสปริง N กรณีความเร็วรอบสูง แขนกลไกกาง

$M$  คือ มวลชุดเบรก kg

$x$  คือ ระยะแขนในแนวแกน  $x$

$x_2$  คือ ระยะแขนในแนวแกน  $x$  เมื่อเพลลาหมุนความเร็วสูง แขนกลไกกาง

$y$  คือ ระยะแขนในแนวแกน  $y$

$y_2$  คือ ระยะแขนในแนวแกน  $y$  เมื่อเพลลาหมุนความเร็วสูง แขนกลไกกาง

โดยแรงจากสปริงจะพิจารณาจากความเร็ว 2 ค่า คือ แขนโกเวอร์เนอร์ที่เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำ  $S_1$  และแขนโกเวอร์เนอร์ที่เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบสูง  $S_2$  ซึ่งจะสามารถหาค่าคางที่ของสปริงได้ดังสมการ (4)

$$s = \frac{S_2 - S_1}{h} \quad (4)$$

โดยที่  $s$  คือ ค่าคางที่ของสปริง N/m

$S_1$  คือ แรงจากสปริง N กรณีความเร็วรอบต่ำ แขนกลไกกาง

$S_2$  คือ แรงจากสปริง N กรณีความเร็วรอบสูง แขนกลไกกาง

$h$  คือ ความสูงที่ปลายแขนโกเวอร์เนอร์เปลี่ยนแปลง  $m$

ในการคำนวณนั้นเป็นการพิจารณาจากแขนกลไกโกเวอร์เนอร์เพียงมวลเดียวเท่านั้น โดยในบทต่อไปจะเป็นการออกแบบชุดกลไกโกเวอร์เนอร์ชนิดฮาร์เนล

### 3. การคำนวณและการออกแบบ

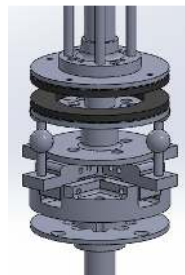
การออกแบบกลไกโกเวอร์เนอร์เพื่อควบคุมความเร็วของเพลลาหมุนนั้น ได้แบ่งการออกแบบเป็น

3.1 ตำแหน่ง กลไกโกเวอร์เนอร์ที่ออกแบบนั้นจะทำการติดตั้งไว้ด้านล่างของชุดทดสอบอุโมงค์ลมตรงตำแหน่งด้านล่างของกังหันลมแนวตั้งดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดทดสอบอุโมงค์ลม

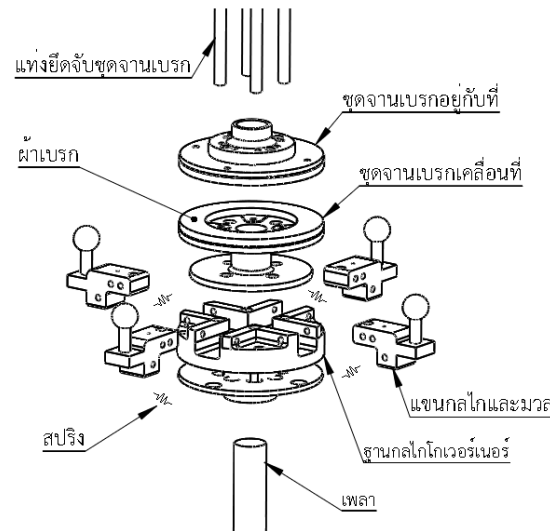
จากรูปที่ 1 ชุดทดสอบอุโมงค์ลมแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนที่ 1 ส่วนทางเข้าของลม ส่วนที่ 2 ส่วนทดสอบกังหันลมแนวตั้งชนิด 2 ใบพัด ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของทางออกของลมและเป็นส่วนของต้นกำลังของชุดทดสอบอุโมงค์ลม โดยพื้นที่ทดสอบที่บริเวณพื้นที่ด้านล่างของชุดทดสอบอุโมงค์ลมซึ่งสูง 85 เซนติเมตร กว้าง 62 เซนติเมตร และยาว 121 เซนติเมตร โดยพื้นที่ส่วนนี้จะทำการติดตั้งกลไกโกเวอร์เนอร์ชนิดฮาร์ดเนลที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กลไกโกเวอร์เนอร์ชนิดฮาร์ดเนลที่ออกแบบ

จากรูปที่ 3 จะทำการติดตั้งโดยให้เพลาด้านบนของชุดกลไกต่อกับเพลาลูกของกังหันลมแนวตั้งที่อยู่ในส่วนที่ 2 ส่วนด้านล่างจะทำการยึดกับโครงของอุโมงค์ลมเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น

3.2 กลไกโกเวอร์เนอร์ชนิดฮาร์ดเนลที่ออกแบบไว้นั้น จะทำการติดตั้งผ้าเบรกไว้ที่ส่วนบน และออกแบบชุดรองรับแขนการหมุนไว้ทั้งหมด 4 แขน โดยแต่ละแขนนั้นมีมวลบอล 1 กิโลกรัม และชุดโกเวอร์เนอร์กับระบบเบรก 1 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงกลไกโกเวอร์เนอร์ชนิดฮาร์ดเนล

จากรูปที่ 4 เมื่อเพลาลูกหมุนจะทางออกจากแรงเหวี่ยงของมวลทั้ง 4 ก้อน และขณะที่เพลาลูกก็เป็นผลให้แขนของกลไกขยับขึ้นเพื่อพลาจันเบรกที่ติดตั้งไว้เบรกไว้เมื่อไปชิดกับจานเบรกที่ติดตั้งไว้ด้านบน จะส่งผลให้เพลาลูกหมุนช้าลง และขณะที่เพลาลูกหมุนช้าลงแขนของกลไกก็จะค่อยๆ เคลื่อนกลับเข้าหาตำแหน่งเริ่มต้นจากแรงของสปริงที่ดึงก้านไว้ เมื่อแขนไม่ได้กดจานเบรกด้านล่างแล้วจานก็จะหมุนลงตามแรงดึงดูดของโลกเมื่อจานเบรกจากกันเพลาลูกก็จะหมุนได้อิสระอีกครั้ง แต่ถ้าความเร็วเพิ่มมากขึ้น จนกลไกโกเวอร์เนอร์ทำงานแขนกลไกก็จะทางออกอีก และจานเบรกก็ทำงานใหม่จะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

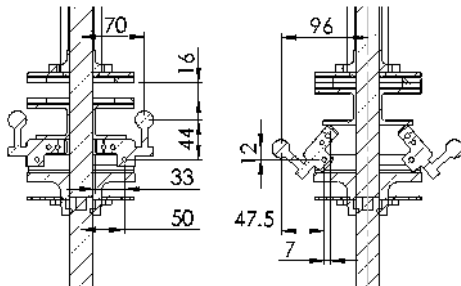
3.3 การคำนวณหาแรงของสปริงที่ใช้ในระบบเบรกของโกเวอร์เนอร์ สามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของข้อมูลกลไกที่ออกแบบ

|                     | กลไกไม่ทาง  | กลไกทางสุด |
|---------------------|-------------|------------|
| ความเร็วเพลาลูกหมุน | 0 - 295 rpm | 350 rpm    |
| ระยะแกน x           | 33 mm       | 7 mm       |
| ระยะแกน y           | 44 mm       | 12 mm      |
| ระยะระหว่างจานเบรก  | 16 mm       | 0 mm       |

|                        |       |       |
|------------------------|-------|-------|
| ระยะจากมวลถึงเพลลา     | 70 mm | 96 mm |
| ระยะจากจุดหมุนถึงเพลลา | 50 mm |       |
| มวลบอล (m)             | 1 kg  |       |
| มวลชุดเบรก (M)         | 1 kg  |       |

จากตารางที่ 1 มีรายละเอียดของกลไกที่ออกแบบไว้  
อีกดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขนาดของส่วนประกอบกลไกโกเวอร์เนอร์

จากข้อมูลในตารางที่ 1 และรูปที่ 5 สามารถหา  
ค่าคงที่ของสปริงได้จากสมการที่ (1), (2) และ (3) โดยใน  
การคำนวณจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือกรณีที่กลไกไม่กาง  
ออก และกรณีที่กลไกกางออกเต็มที่

### 3.3.1 กรณีเพลลาหมุนด้วยความเร็วต่ำ

3.3.1.1 หาค่าแรงเหวี่ยง  $F_{c1}$  ของมวลน้ำหนักที่  
ใส่เข้าไปในกลไก โดยใช้สมการที่ (1) พิจารณาที่เพลลา  
หมุนเร็วสุดที่กลไกไม่ขยับคือ 295 rpm หรือ 30.89  
rad/s จะได้

$$F_{c1} = m \omega^2 r = (1) (30.89)^2 (0.07) = 66.79 \text{ N}$$

3.3.1.2 หาค่าจากแรงกดที่สปริงกระทำกับกลไก  
โดยใช้สมการที่ (2) จะได้

$$\frac{Mg+S_1}{4} \cdot y = F_{c1} \cdot x$$

$$\left( \frac{(1 \cdot 9.81) + S_1}{4} \right) \cdot 0.044 = 66.79 \cdot 0.033$$

$$S_1 = 190.56 \text{ N}$$

### 3.3.2 กรณีเพลลาหมุนด้วยความเร็วสูง

3.3.2.1 หาค่าแรงเหวี่ยง  $F_{c2}$  ของมวลน้ำหนักที่  
ใส่เข้าไปในกลไก โดยใช้สมการที่ (1) โดยเพลลาหมุน 350  
rpm หรือ 36.65 rad/s จะได้

$$F_{c2} = m \omega^2 r = (1) (36.65)^2 (0.096) = 128.95 \text{ N}$$

3.3.2.2 หาค่าจากแรงกดที่สปริงกระทำกับกลไก  
โดยใช้สมการที่ (3) จะได้

$$\frac{Mg+S_2}{4} \cdot y = (F_{c2} \cdot x) + (mg \cdot a_2)$$

$$\left( \frac{(1 \cdot 9.81) + S_2}{4} \right) \cdot 0.012 = (128.95 \cdot 0.007) + ((1 \cdot 9.81) \cdot 0.0475)$$

$$S_2 = 446.4 \text{ N}$$

3.3.3 เมื่อได้แรงจากสปริงทั้ง 2 กรณีสามารถหา  
ค่าคงที่สปริงได้จากสมการที่ (3)

$$s = \frac{S_2 - S_1}{h}$$

$$s = \frac{446.4 - 190.56}{0.016}$$

$$s = 16 \text{ kN/m}$$

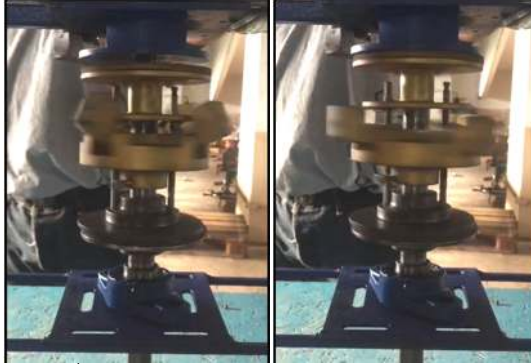
จากการคำนวณเมื่อได้ค่าคงที่ของสปริงโดยค่าของ  
สปริงสมมูลมีค่า 16 kN/m แต่ระบบเป็นสปริงทั้งหมด 4  
ตัว และเป็นการต่อชนิดขนาน ทำให้ได้สปริงต่อตัวเป็น 4  
kN/m ในการเลือกใช้สปริงจะใช้สปริงที่มีค่าน้อยกว่าหรือ  
เท่ากับ 4 kN/m เพราะถ้าเลือกใช้สปริงที่มีค่าคงที่น้อยกว่า  
กว่าที่คำนวณไว้ กลไกแขนจะกางออกที่ความเร็วรอบของ  
เพลลามากกว่าที่คำนวณ

โดยในบทต่อไปจะแสดงผลที่ได้จากการทดลองที่  
ความเร็วต่างๆ ของเพลลา เพื่อวิเคราะห์การทำงานของ  
ระบบเบรก

## 4. ผลการทดลอง

ในการทดลองจะทำการปรับความเร็วของต้นกำลังที่  
ส่งไปยังกังหันลมในชุดทดสอบอุโมงค์ลม โดยความเร็วที่ใช้  
จะเลือกใช้ที่อยู่ในช่วงความเร็วของต้นกำลังที่ความเร็ว  
รอบ 280 -400 rpm เพื่อดูการทำงานของกลไกโกเวอร์เนอร์

เนอร์ที่กระทำต่อจานเบรก ว่าระยะเบรกที่ส่งผลต่อความเร็วกักหนเป็นอย่างไร ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการทำงานของกลไกฮาร์ดเนลโกเวอร์เนอร์เมื่อทำการทดลอง

จากรูปที่ 6 เมื่อเริ่มการทดลอง จะทำการปรับความเร็วของระบบต้นกำลังเพื่อส่งกระแสลมให้เข้าไปในอุโมงค์ลม และเมื่อลมผ่านในอุโมงค์ลม กักหนลมแนวตั้งก็จะเริ่มหมุน โดยกลไกโกเวอร์เนอร์เริ่มทำงานที่ความเร็วรอบ 312 rpm ดังนั้นความเร็วของต้นกำลังจึงเริ่มต้นที่ความเร็วรอบ 280 rpm และเพิ่มขึ้นทีละ 20 rpm โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งเพื่อหาเป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วต้นกำลัง และทำการทดลองไปจนถึงความเร็วรอบ 400 rpm เพื่อให้เพลากของกักหนลมหมุนเกินกว่าที่คำนวณความเร็วของกลไกโกเวอร์เนอร์ เพื่อทดสอบระบบเบรก โดยทำการทดลอง 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในการทดลองนั้นจะตรวจสอบกักหนลมว่าหมุนด้วยความเร็วรอบเท่าไร และที่ความเร็วรอบต่างๆ ระบบเบรกจากกลไกโกเวอร์เนอร์มีระยะห่างเท่าไร โดยข้อมูลทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลอง

| ค่าเฉลี่ยเมื่อกลไกโกเวอร์เนอร์ทำงาน |                          |                    |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| ความเร็วต้นกำลัง rpm                | ความเร็วของเพลากักหน rpm | ระยะห่างจากเบรก mm |
| 0                                   | 0                        | 16                 |
| 280                                 | 273                      | 16                 |

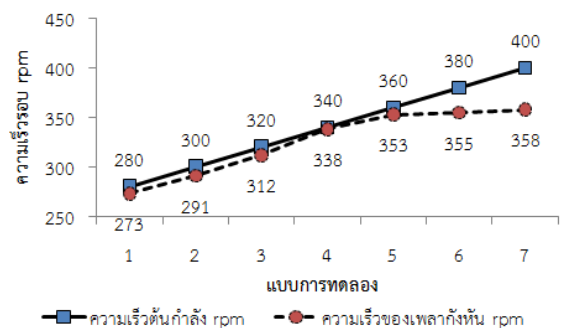
|     |     |    |
|-----|-----|----|
| 300 | 291 | 16 |
| 320 | 312 | 11 |
| 340 | 338 | 7  |
| 360 | 353 | 1  |
| 380 | 355 | 0  |
| 400 | 358 | 0  |

โดยหัวข้อถัดไป เป็นการสรุปผลและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองนั้นสามารถสรุปวิเคราะห์ผลที่ได้เป็น 2 ส่วน คือประสิทธิภาพของระบบต้นกำลังที่ส่งผลต่อกักหนลม และอีกส่วนคือความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเพลากักหนลมแนวตั้งกับระยะห่างระหว่างจานเบรก

5.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังของต้นกำลังไปยังกักหนลมแนวตั้ง ซึ่งสรุปข้อมูลดังกราฟในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วรอบระหว่างความเร็วของระบบต้นกำลังกับความเร็วของกักหนลม

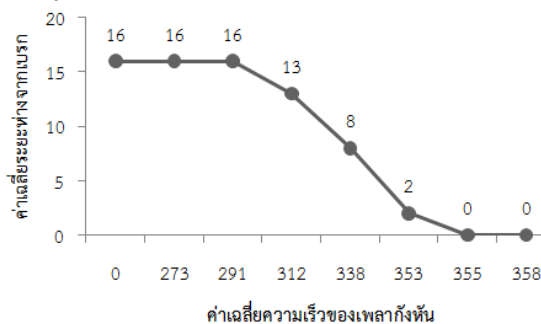
โดยประสิทธิภาพของกักหนลมที่ได้รับกระแสลมจากต้นกำลังอยู่ที่ประมาณร้อยละ 98 โดยประสิทธิภาพของกักหนลมจะเริ่มลดลงเมื่อความเร็วรอบเกิน 350 rpm เนื่องจากระบบเบรกเริ่มทำงาน เป็นผลให้ความเร็วที่ควร



จะเป็นถูกระบบเบรกชะลอความเร็วจนได้ความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วควบคุม คือที่ความเร็วรอบ 350 rpm

แต่หากทำการล๊อคแกนของกลไกเกอร์เนอร์ไม่ให้แกนกลไกกางออกเมื่อเพลาหมุน ความเร็วที่ได้จะใกล้เคียงกับความเร็วต้นกำลัง

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเพลากังหันลมแนวดิ่งกับระยะห่างระหว่างจานเบรก โดยเมื่อความเร็วของเพลาหมุนเกิน 295 rpm กลไกแกนเกอร์เนอร์จะเริ่มกางออก และเป็นผลทำให้ไปลัดจากเบรกให้ขึ้นไปชิดจานเบรกอีกจาน โดยระยะห่างระหว่างจานเบรกทั้ง 2 จะชนสนิทที่ความเร็วรอบ 350 rpm ซึ่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเพลากังหัน กับระยะห่างระหว่างจานเบรก

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่ากลไกเกอร์เนอร์สามารถช่วยชะลอความเร็วไม่ให้เพลาของกังหันลมหมุนเร็วเกินไป แต่ด้วยวัสดุที่ใช้ทำระบบเบรกเป็นผ้าเบรก ทำให้การเบรกปล่อยเรื่อยๆ เกิดการสึกหรอของผ้าเบรกได้ค่อนข้างไว แต่ถ้าใช้ร่วมกับระบบป้องกันที่ใช้ในปัจจุบันคือการปรับมุมใบของกังหันลม จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการป้องกันที่ดี

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยปทุมธานี ที่ให้ความกรุณาในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำที่ดีจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Frederikus Wenehenubun, Andy Saputra and Hadi Sutanto. An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades, Energy Procedia 68 (2015) 297-304
- [2] A. Staino, B. Basu. Dynamics and control of vibrations in wind turbines with variable rotor speed, Engineering Structures 56 (2013) 58–67
- [3] C.S. Sharma, Kamlesh Purohit (2006). Theory of Mechanisms and Machines, ISBN-81-203-2901-5, India.
- [4] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, เทคโนโลยีกังหันลม, ประเทศไทย, URL: [http://www3.egat.co.th/re/egat\\_wind/wind\\_technology.htm](http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm) เข้าดูเมื่อวันที่ 20/03/2560
- [5] iEnergyGuru, มารู้จักกังหันลมกันเถอะ : !Wind Turbine, ประเทศไทย, URL: <https://ienergyguru.com/2015/07/รู้จักกังหันลม-wind-turbine/>. เข้าดูเมื่อวันที่ 20/03/2560