

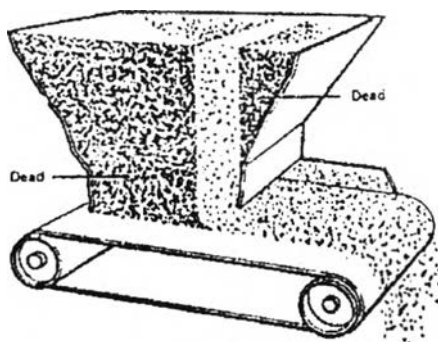
### บทที่ 3

#### การออกแบบอุปกรณ์ป้อนและติดตั้ง

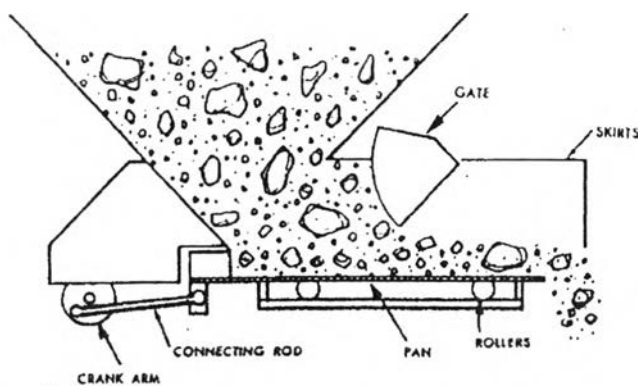
อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้อนวัสดุต่างๆในปัจจุบันมีด้วยกันหลายแบบ เช่น แบบสายพานลำเลียง (Belt feeder) แบบสกรู (Screw feeder) แบบใบพัดโรตารี (Rotary vane) แบบสั่น (Vibrating) ฯลฯ ซึ่งในการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ป้อนแบบใด ควรคำนึงถึงความเหมาะสมหลายๆอย่างในการใช้งานเช่น ต้นทุนในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง บริเวณเนื้อที่ที่จะใช้ในการติดตั้ง ลักษณะและประเภทของวัสดุที่ใช้ในการขนถ่าย และการดูแลบำรุงรักษา ซึ่งรายละเอียดต่างๆในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้อนแบบใดจะแสดงในตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** แสดงรายละเอียดตัวแปร ที่มีผลต่อการเลือกใช้อุปกรณ์ป้อนแบบต่างๆ

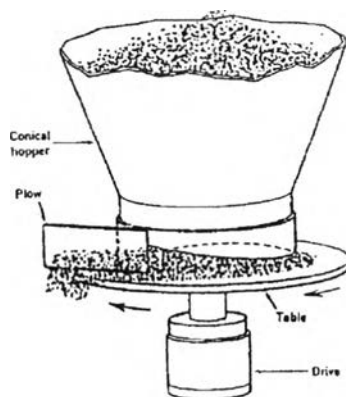
ตัวแปร	Type of Feeder							
	Apron	Belt	Flight	Reciprocating Plate	Rotary Table	Rotary Vane	Screw	Vibrating
<i>Material Characteristic</i>								
<i>ขนาดของวัสดุ</i>								
ใหญ่มาก	✓							
ใหญ่	✓			✓				
ปานกลาง	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
เล็ก	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ละเอียด					✓	✓	✓	✓
<i>คุณสมบัติการไหล</i>								
ไหลได้ง่าย	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ไหลได้ค่อนข้างยาก						✓	✓	
ไหลได้ลำบาก	✓	✓			✓			
<i>อื่นๆ</i>								
ใช้ในงานเกี่ยวกับความร้อน	ดี	ไม่ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
ความทนทานในการใช้	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี	พอใช้	ไม่ดี	ไม่ดี	ไม่ดี	ดี
<i>Feed Characteristic</i>								
<i>ความต้องการในการป้อน</i>								
ป้อนได้สม่ำเสมอ	ดี	ดี	พอใช้	พอใช้	ดี	ดี	พอใช้	ดี
อัตราการป้อนที่เที่ยงตรง	พอใช้	พอใช้	ไม่ดี	พอใช้	พอใช้	พอใช้	พอใช้	พอใช้
ความสามารถในการควบคุมทิศทางในการป้อน	ดี	ดี	ไม่ดี	พอใช้	ดี	พอใช้	พอใช้	ดี
<i>ค่าใช้จ่าย</i>								
เงินลงทุน	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
บำรุงรักษา	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ต่ำ
กำลังไฟฟ้า	สูง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ



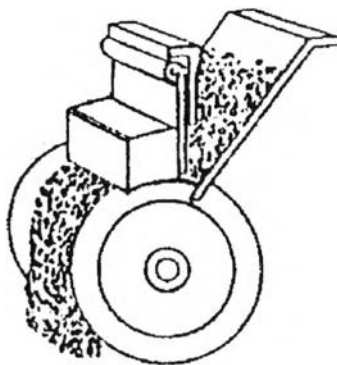
รูปที่ 3.1.1 อุปกรณ์ป้อนแบบ Belt feeder



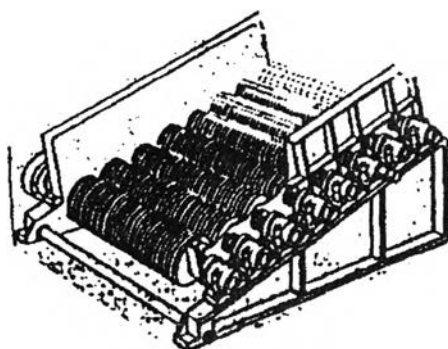
รูปที่ 3.1.2 อุปกรณ์ป้อนแบบ Reciprocating feeder



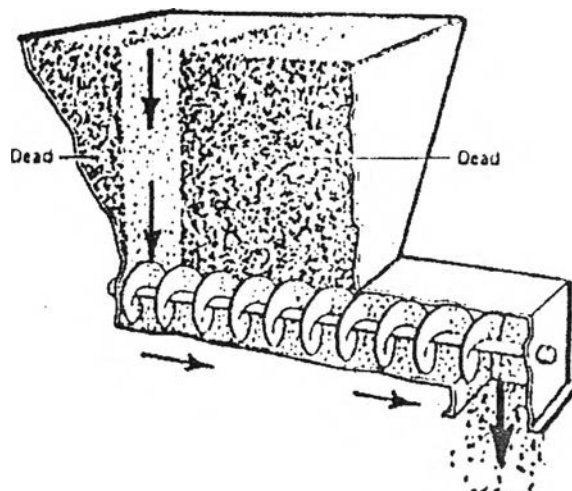
รูปที่ 3.1.3 อุปกรณ์ป้อนแบบ Rotary table feeder



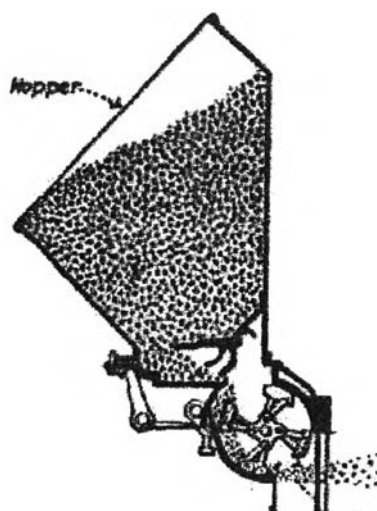
รูปที่ 3.1.4 อุปกรณ์ป้อนแบบ Roll feeder



รูปที่ 3.1.5 อุปกรณ์ป้อนแบบ Scapler feeder



รูปที่ 3.1.6 อุปกรณ์ป้อนแบบ Screw feeder



รูปที่ 3.1.7 อุปกรณ์ป้อนแบบ Rotary feeder

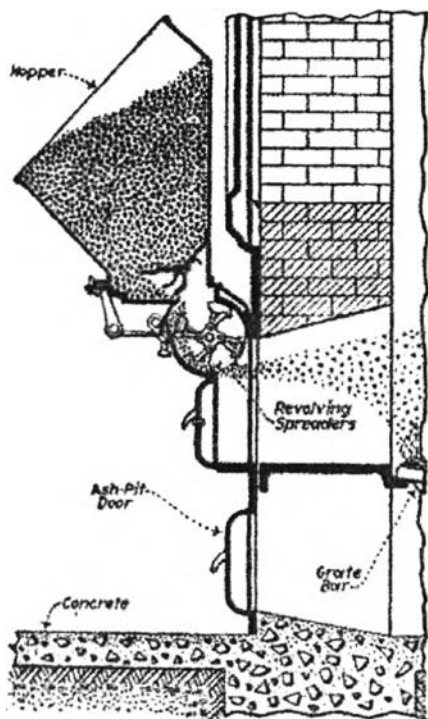
สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ป้อนมูลฝอยเข้าสู่เตาเผา นั้น ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** แสดงอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิดต่างๆ ข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมในการใช้งานของอุปกรณ์ป้อนประเภทต่างๆ

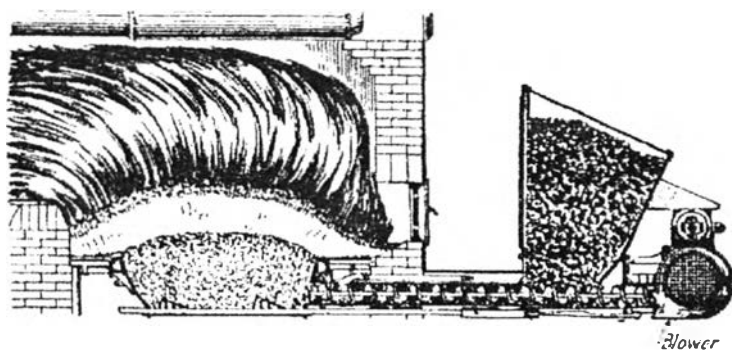
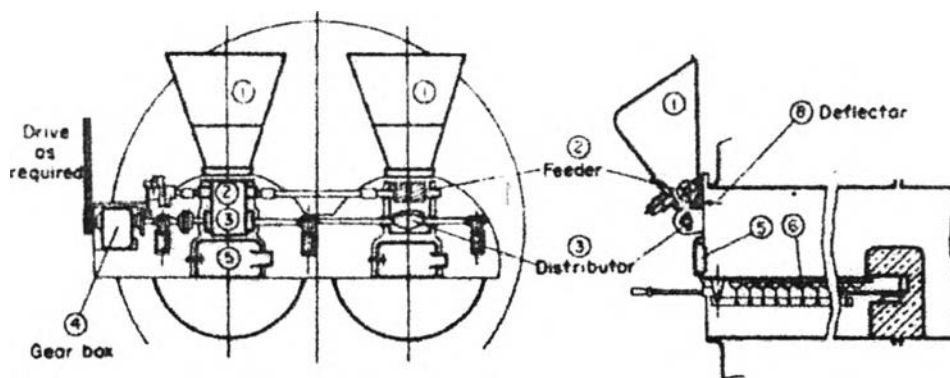
ชนิดของอุปกรณ์ป้อน	ข้อดี	ข้อเสีย	ความเหมาะสมในการใช้งาน
สายพานลำเลียง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถป้อนมูลฝอยได้จำนวนมาก</li> <li>- ไม่จำเป็นต้องคัดแยกขนาดของมูลฝอย</li> <li>- มีระยะเวลาในการใช้งานยาวนาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้บริเวณพื้นที่มากในการติดตั้ง</li> <li>- เสียค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและซ่อมบำรุง</li> <li>- การขนย้ายอุปกรณ์ทำได้ยาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้กับเตาเผามูลฝอยขนาดใหญ่ หรือเตาเผาชุมชน</li> </ul>
ตัวตัก	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถป้อนมูลฝอยได้จำนวนมาก</li> <li>- มีระยะเวลาในการใช้งานยาวนาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้บริเวณพื้นที่มากในการติดตั้ง</li> <li>- เสียค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและซ่อมบำรุง</li> <li>- การขนย้ายอุปกรณ์ทำได้ยาก</li> <li>- มีราคาแพง</li> <li>- จำเป็นต้องคัดแยกขนาดของมูลฝอย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้กับเตาเผามูลฝอยขนาดใหญ่ หรือเตาเผาชุมชน</li> </ul>
สกรู	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้เนื้อที่น้อยในการติดตั้ง</li> <li>- สามารถถอดประกอบได้ง่าย</li> <li>- สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย</li> <li>- รักษาอัตราการป้อนได้คงที่</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- บำรุงรักษายาก</li> <li>- เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง</li> <li>- ลักษณะมูลฝอยที่ออกจากตัวป้อนจะเป็นกองๆ ไม่กระจาย</li> <li>- ใช้กับมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ไม่ได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้กับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก</li> </ul>
โรตารี	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีขนาดเล็กน้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย</li> <li>- ใช้เนื้อที่น้อยในการติดตั้งเพราะติดตั้งเข้ากับตัวเตา</li> <li>- มูลฝอยที่ออกจากเครื่องมีการกระจายตัว</li> <li>- ราคาถูกเสียค่าใช้จ่ายน้อย</li> <li>- การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่สามารถใช้กับมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ได้</li> <li>- ป้อนมูลฝอยได้จำนวนไม่มากนัก</li> <li>- ต้องการการดูแลบ่อยครั้ง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้กับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก</li> </ul>

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้อาศัยเตาเผาที่มีอยู่แล้ว โดยออกแบบไว้สำหรับเผามูลฝอยใบไม้ที่อัตราการป้อน 50 kg/h ซึ่งเป็นเตาเผาขนาดเล็ก จากเหตุข้างต้นผู้วิจัยเลือกใช้อุปกรณ์ป้อนแบบโรตารี (rotary vane) เพราะว่ามีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้เนื้อที่น้อยในการติดตั้ง เพราะติดตั้ง

เข้ากับตัวเตาโดยตรง และมูลฝอยที่ออกจากเครื่องเข้าสู่ห้องเผาไหม้ มีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile) ทำให้มูลฝอยตกลงในตำแหน่งต่างๆภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.2.1 แสดงอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิด Rotary

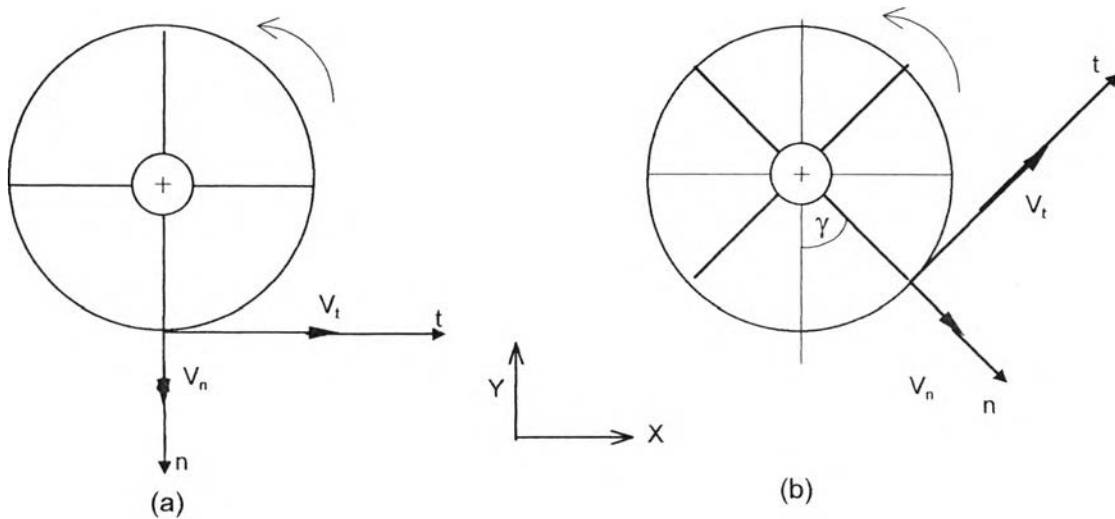


รูปที่ 3.2.2 แสดงอุปกรณ์ป้อนมูลฝอยชนิด Screw

## แนวความคิดในการออกแบบใบของอุปกรณ์ป้อน

อุปกรณ์ป้อนมูลฝอยแบบโรตารีนั้นอาศัยหลักการทำงานอย่างง่าย ๆ คือ เมื่อมอเตอร์หมุนจะขับให้โรเตอร์หมุนตามเพื่อให้เกิดแรงเหวี่ยงให้มูลฝอยเข้าสู่เตา มูลฝอยที่เข้าเตามีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile) สำหรับใบป้อนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ใบโค้งและใบตรง ซึ่งมีผลต่อระยะตกของมูลฝอยเมื่อออกจากอุปกรณ์ป้อนแตกต่างกันดังต่อไปนี้

พิจารณาความเร็วและทิศทางของมูลฝอยที่เคลื่อนที่ใน casing และเมื่อหลุดออกจาก casing



รูปที่ 3.3

กรณีใบพัด (blade) เป็นแบบตรง เมื่อมูลฝอยเริ่มหลุดออกจาก casing โดย  $\gamma = 0$  (รูปที่ 3.3) จะมีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile) โดยในการเคลื่อนที่ของมูลฝอยใน casing นั้นใช้แกนสัมผัสและตั้งฉาก (n-t) เป็นแกนอ้างอิง

ที่  $\gamma = 0^\circ$  มูลฝอยเริ่มหลุดออกจาก casing

ความเร็วในแนวแกน t :  $V_t = \omega r$

ความเร็วในแนวแกน n :  $V_n = 0 = V_{y0}$

เมื่อมูลฝอยหลุดออกจาก casing, มีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile)

ความเร็วในแนวแกน X :  $V_x = V_t$   
 $= \omega r$

ความเร็วในแนวแกน Y :  $V_y = V_{y0} + a_y t$   
 $= 0 + (9.81 + \omega^2 r)t$

$V_{y0}$  = ความเร็วเริ่มต้นในแนวแกน Y , m/s

$a_{y0}$  = ความเร่งเริ่มต้นในแนวแกน Y , m/s<sup>2</sup>

t = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ , s

$\omega$  = ความเร็วรอบของการหมุนของตัว rotor 3.8 rad/s (สำหรับป้อนมูลฝอย 25 kg/h)

r = รัศมีของการหมุน 0.17 m

$a_y$  = ความเร่งเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง ( $\omega^2 r$ ) รวมกับความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81)

ระยะทางในแนวแกน Y = 1.4 m  
(ระยะจากประตูป้อนถึงตะแกรง)

$$S_y = V_{y0}t + \frac{1}{2}(a_y)t^2$$

$$1.4 = 0t + \frac{1}{2}(9.81 + (3.8^2 \cdot 0.17))t^2$$

$$t = 0.48 \text{ s}$$

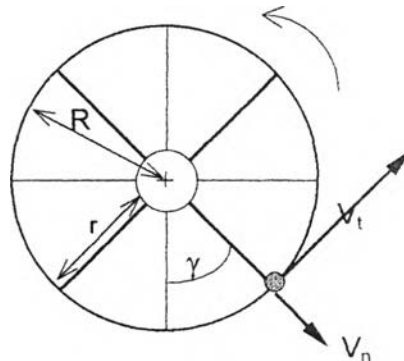
ระยะทางในแนวแกน X

$$S_x = V_x t$$

$$= (\omega r)t$$

$$= 3.8(0.17)(0.48) = 0.31 \text{ m}$$

สมมติให้ที่  $\gamma = 45^\circ$  มูลฝอยด้านในเคลื่อนที่มายังด้านนอกและหลุดออก



ความเร็วในแนวแกน t :

$$V_t = \omega r$$

ความเร็วในแนวแกน n :

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (6)$$

(5)÷(6) จะได้

$$\frac{a}{v} = \frac{dv}{ds}$$

$$vdv = ads$$

$$a = \omega^2 r, s = r$$

$$\int_{v=0}^{v=v_n} v dv = \omega^2 \int_{r=0.17}^{r=0.02} r dr$$

$$v_n^2 = \omega^2 (0.17^2 - 0.02^2)$$

แทน  $\omega = 3.8 \text{ rad/s}$  (ความเร็วรอบสำหรับปีคอนมูฝอย 25 kg/h)

$$V_n = 0.642 \text{ m/s}$$

เมื่อมูลฝอยหลุดออกจาก casing มีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile)

ความเร็วในแนวแกน X :

$$V_x = V_t \cos 45^\circ + V_n \sin 45^\circ$$

$$= (\omega r) \cos 45^\circ + 0.642 \sin 45^\circ$$

$$= 0.911 \text{ m/s} \rightarrow$$

ความเร็วในแนวแกน Y:

$$V_y = V_t \sin 45^\circ - V_n \cos 45^\circ$$

$$= (\omega r) \sin 45^\circ - 0.642 \cos 45^\circ$$

$$= 0.0028 \text{ m/s} \uparrow$$

ระยะทางในแนวแกน Y =  $(1.4 + 0.17 - 0.17 \cos 45^\circ) = 1.45 \text{ m}$

$$S_y = V_y t + \frac{1}{2} (a_y) t^2$$

$$-1.45 = 0.0028 t - \frac{1}{2} (9.81 + (a_n \cos 45^\circ)) t^2$$

$$-1.45 = 0.0028 t - \frac{1}{2} (9.81 + 2.45 \cos 45^\circ) t^2$$

$$-1.45 = 0.0028 t - 5.77 t^2$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

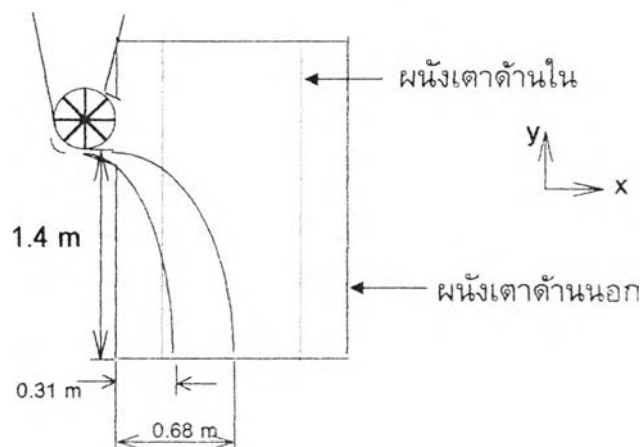
ระยะทางในแนวแกน X

$$S_x = V_x t + \frac{1}{2} (a_x) t^2$$

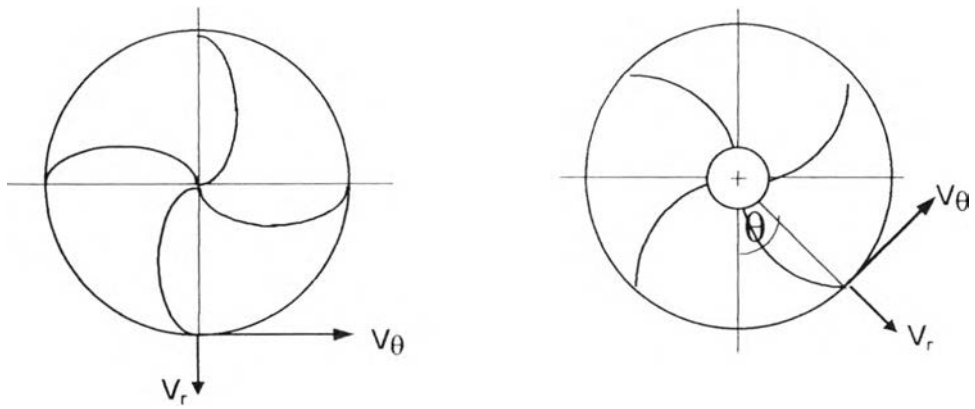
$$= 0.911 t + \frac{1}{2} (a_n \sin 45^\circ) t^2$$

$$= 0.911 (0.5) + \frac{1}{2} (2.45 \sin 45^\circ) 0.5^2$$

$$= 0.68 \text{ m}$$

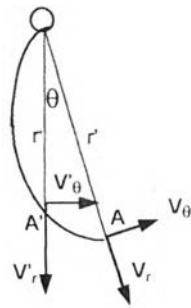






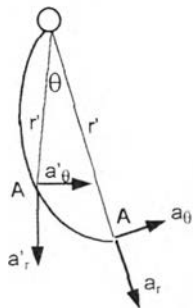
รูปที่ 3.4

กรณีใบพัด (blade) เป็นแบบโค้ง เมื่อมูลฝอยเริ่มหลุดออกจาก casing โดย  $\theta = 0^\circ$  (รูปที่ 3.5) จะมีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile) โดยในการเคลื่อนที่ของมูลฝอยใน casing ใช้แกนโพล่า ( $\theta$ - $r$ ) เป็นแกนอ้างอิง



$$V_r = \dot{r}$$

$$V_\theta = r \omega$$



$$a_\theta = r\alpha + 2\dot{r}\omega$$

$\alpha$  = ความเร่งเชิงมุม ,rad/s<sup>2</sup>

$$a_r = \ddot{r} - r\omega^2$$

รูปที่ 3.5

ที่  $\theta = 0^\circ$  มวลฝอยเริ่มหลุดออกจาก casing

$$\text{ความเร็วในแนวแกน } \theta \quad V_\theta = \omega r = V_{x0}$$

$$\text{ความเร็วในแนวแกน } r \quad V_r = 0 = V_{y0}$$

เมื่อมวลฝอยหลุดออกจาก casing มีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile)

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วในแนวแกน } X \quad V_x &= V_{x0} + a_x t \\ &= \omega r + (r\alpha + 2\dot{r}\omega)t \end{aligned}$$

$$\omega = \text{constant}, \alpha = 0$$

$$= \omega r + 2\dot{r}\omega t$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วในแนวแกน } Y \quad V_y &= V_{y0} + a_y t \\ &= 0 + (9.81 + \ddot{r} - r\omega^2)t \end{aligned}$$

$a_y =$  ความเร่งเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง  $(\ddot{r} - \omega^2 r)$  รวมกับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81)

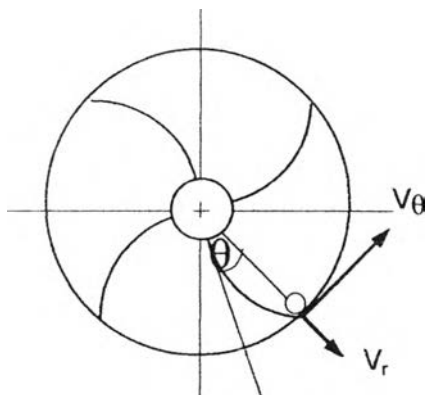
$$\begin{aligned} \text{ระยะทางในแนวแกน } Y = 1.4 \quad S_y &= V_{y0} t + \frac{1}{2} (a_y) t^2 \\ 1.4 &= 0 \cdot t + \frac{1}{2} (9.81 + \ddot{r} - r\omega^2) t^2 \\ t &= \sqrt{\frac{2.8}{(9.81 + \ddot{r} - r\omega^2)}} \end{aligned}$$

รอบการหมุนของ Rotor คงที่  $\ddot{r} = 0$

$$t = 0.617 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางในแนวแกน } X \quad S_x &= V_{x0} t + \frac{1}{2} (a_x) t^2 \\ &= \omega r t + \frac{1}{2} (2\dot{r}\omega) t^2 \\ &= 3.8(0.17)(0.617) + 0 \\ &= 0.40 \text{ m} \end{aligned}$$

ระยะ  $r$  เป็นฟังก์ชันกับเวลา ( $t$ ) โดยกำหนดให้  $r(t) = Kt + c$  ที่  $r(0) = 0$ ,  $r(0.617) = 0.17$  เพราะฉะนั้นจะได้  $K = 0.275$  และ  $r(t) = 0.275t$



สมมติให้ที่  $\theta = 45^\circ$  มวลของมวลฝอยด้านในเคลื่อนที่มายังด้านนอกและหลุดออก

ความเร็วในแนวแกน  $\theta$ :  $V_\theta = r\omega$

ความเร็วในแนวแกน  $r$ :  $V_r = \dot{r}$

เมื่อมวลฝอยหลุดออกจาก casing , มีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (projectile)

ความเร็วในแนวแกน X:

$$\begin{aligned} V_x &= V_\theta \cos 45 + V_r \cos 45 \\ &= r\omega \cos 45 + \dot{r} \cos 45 \\ &= 0.17(3.8)\cos 45 + (0.275\cos 45) \\ &= 0.651 \text{ m/s} \rightarrow \end{aligned}$$

ความเร่งในแนวแกน X

$$\begin{aligned} a_x &= a_r \sin 45 + a_\theta \cos 45 \\ &= r\omega^2 \sin 45 + (2\dot{r}\omega)\cos 45 \\ &= 2.46\sin 45 + 2.09\cos 45 \\ &= 3.22 \text{ m/s}^2 \rightarrow \end{aligned}$$

ความเร็วในแนวแกน Y:

$$\begin{aligned} V_y &= V_\theta \sin 45 - V_r \sin 45 \\ &= r\omega \sin 45 - \dot{r} \sin 45 \\ &= 0.17(3.8)\sin 45 - (0.275\sin 45) \\ &= 0.26 \text{ m/s} \uparrow \end{aligned}$$

ความเร่งในแนวแกน Y

$$\begin{aligned} a_y &= 9.81 - (a_\theta \sin 45 - a_r \cos 45) \\ &= 9.81 - [(2\dot{r}\omega)\sin 45 - r\omega^2 \cos 45] \\ &= 9.81 - (2.09\sin 45 - 2.46\cos 45) \\ &= 10.07 \text{ m/s}^2 \downarrow \end{aligned}$$

ระยะทางในแนวแกน Y =  $(1.4 + 0.17 - 0.17 \cos 45^\circ) = 1.45 \text{ m}$

$$S_y = V_y t + \frac{1}{2} (a_y) t^2$$

$$-1.45 = (0.26)t - \frac{1}{2} (10.07) t^2$$

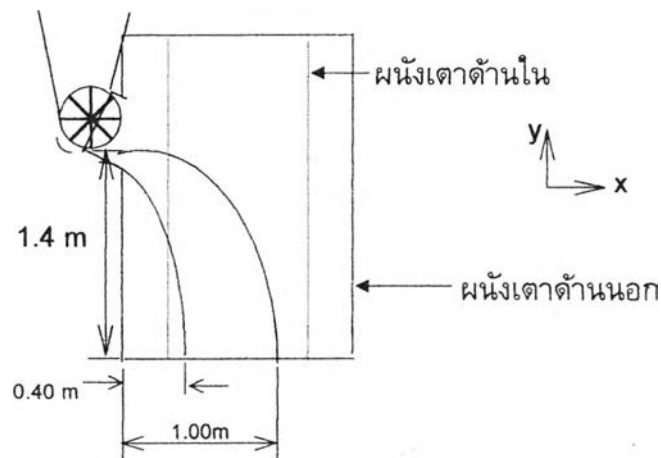
$$t = 0.583$$

ระยะทางในแนวแกน X

$$S_x = V_x t + \frac{1}{2} (a_x) t^2$$

$$= 0.651(0.583) + \frac{1}{2} (3.22)(0.583^2)$$

$$= 1.00 \text{ m}$$



จะเห็นได้ว่าความแตกต่างของใบพัด (blade) แบบตรงและโค้ง จะส่งผลให้ระยะการตกของมวลฝอยที่อยู่ภายในเตาเผา จากจุดที่มวลฝอยเริ่มหลุดออกจาก casing นั้น แตกต่างกัน โดยใบป้อนแบบตรงสามารถส่งมวลฝอยให้ได้ระยะเท่ากับ  $0.68 - 0.31 = 0.37 \text{ m}$  และใบป้อนแบบโค้งสามารถส่งมวลฝอยให้ได้ระยะเท่ากับ  $1.00 - 0.40 = 0.6 \text{ m}$  โดยหมุนด้วยรอบความเร็วที่เท่ากัน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์ป้อน และแบ่งลักษณะ ใบของอุปกรณ์ป้อนไว้หลายแบบ ซึ่งจะทำการศึกษาลักษณะ และคุณสมบัติของใบแต่ละแบบว่า มีผลต่อการเผาไหม้อย่างไร

### ข้อกำหนดในการออกแบบ

- 1 ป้อนมูลฝอย (ใบไม้) ที่อัตราการป้อน 25 kg/h
- 2 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ casing มีค่าเท่ากับ 35 cm และมีความกว้าง 18 cm (ด้วยข้อกำหนดของประตูป้อนมูลฝอยของเตาเผาที่มีอยู่แล้ว)

### ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ป้อน ประกอบด้วย

- 1 มอเตอร์ขับเคลื่อน
- 2 คัปปลิง (Coupling)
3. สลักเกลียวยึดตัว Coupling กับเฟลา(เชื่อมต่อระหว่างเฟลาของมอเตอร์กับเฟลาของ Gear Box)
4. Gear Box อัตราทด และ ความถี่ (f) ใช้งาน , Hz
5. สลักยึดตัว Coupling กับเฟลา(เชื่อมต่อระหว่างเฟลาของ Gear Boxกับเฟลาของ Feeder)
6. ขนาดเฟลาของ Feeder
7. สลักเกลียวยึดจานกับเฟลา(เฟลาของ Feeder)
- 8 แบริ่ง (Bearing)

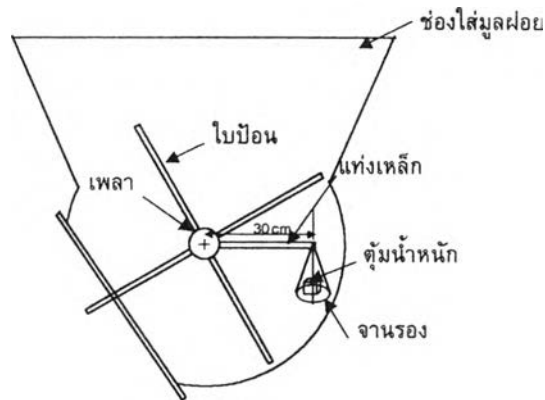
#### 1. มอเตอร์ขับเคลื่อน

มอเตอร์ขับเคลื่อนมีหน้าที่ให้กำลังขับเคลื่อนกับตัว Feeder ในที่นี้เลือกใช้มอเตอร์ชนิด 3 เฟส เพราะว่ามีมอเตอร์ชนิดนี้ สามารถควบคุมรอบของการหมุนได้ โดยใช้ Inverter เป็นตัวปรับ ในการหาค่าที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนตัว Feeder นั้นจำเป็นต้องทราบ แรงต้านการหมุนของวัสดุที่เราจะทำการป้อน (ในที่นี้คือใบหูกวาง) หาได้โดยทำการทดลอง ในการทดลองจำเป็นต้องคำนึงถึงผลของความเสียดทาน ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองขณะที่ไม่มีใบไม้ (No Load) ด้วย

## ขั้นตอนการหาแรงต้านการหมุน

### No Load (ไม่มีมวลฝอย)

1. ทำการจำลองแบบของ Feeder เพื่อหาแรงต้านการหมุนของใบหูกวาง
2. นำแท่งเหล็กมาต่อเข้ากับแกนเพลลา (เหล็กมีมวล 500 g) โดยตั้งฉากกับแกน ยาว 30 cm  
เจาะรูที่ปลายอีกด้านไว้สำหรับคล้องจานรองก้นน้ำหนักดังรูป



3. คล้องจานรองก้นน้ำหนัก (จานรองมีน้ำหนัก 10 N) นำลูกตุ้มน้ำหนักใส่ลงไปในงาน ใส่จนเพลลาเริ่มขยับ จดบันทึกค่าน้ำหนักทั้งหมด
4. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งหาค่าเฉลี่ยที่ได้

### Load (มีมวลฝอย)

ทำเหมือน No Load แต่ใส่มวลฝอย (ใบหูกวาง) ลงในช่องใส่มวลฝอย จดบันทึกค่าน้ำหนักทั้งหมดเช่นกัน

แรงต้านการหมุนคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\text{No Load ; } W_{ave} &= (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) / 5 \\ &= (3 + 5 + 4 + 5 + 3) / 5 \\ &= 4 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Load ; } W_{ave} &= (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) / 5 \\ &= (115 + 110 + 110 + 110 + 115) / 5 \\ &= 112 \text{ N}\end{aligned}$$

โดย  $W_{1,2,3,4,5}$  = น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักที่ทดลองแต่ละครั้ง , N

$W_{ave}$  = น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักเฉลี่ย , N

$$\begin{aligned}\text{No Load ; } W_{total} &= W_{disk} + W_{ave} \\ &= 4 + 10 \\ &= 14 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Load ; } W_{total} &= W_{disk} + W_{ave} \\ &= 10 + 112\end{aligned}$$

$$= 122 \text{ N}$$

โดย  $W_{total} =$  น้ำหนักรวมสุทธิ , N  
 $W_{disk} =$  น้ำหนักจานรองตุ้มน้ำหนัก , N  
 $W_{ave} =$  น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักเฉลี่ย , N

No Load ;  $\sum M = 0 ; \frac{r_a}{2} (m_{steel} \times g) + r_a (W_{total}) - T = 0$   
 $\frac{0.3}{2} (0.5 \times 9.81) + 0.3(14) - T = 0$   
 $T = 5 \text{ N}\cdot\text{m}$

Load ;  $\sum M = 0 ; \frac{r_a}{2} (m_{steel} \times g) + r_a (W_{total}) - T = 0$   
 $\frac{0.3}{2} (0.5 \times 9.81) + 0.3(122) - T = 0$   
 $T = 37 \text{ N}\cdot\text{m}$

โดย  $r_a =$  ระยะจากแกนเพลมาถึงรูที่สำหรับคล้องจานรับน้ำหนัก , m  
 $g = 9.81 , \text{ m/s}^2$   
 $T =$  ทอร์กที่เพล ,  $\text{N}\cdot\text{m}$   
 $m_{steel} =$  มวลของแท่งเหล็กที่นำมาต่อเข้ากับแกนเพลในทิศตั้งฉากกับแกนเพล , 500 g

∴ ทอร์กที่ใช้ขับเคลื่อนให้ใบหูกวางเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่ากับ  $37-5 = 32 \text{ N}\cdot\text{m}$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$= \frac{32.0}{0.175} = 182 \text{ N}$$

โดย  $F =$  แรงต้านการหมุน(ใบหูกวาง) , N  
 $r =$  รัศมีของใบป้อน , 0.175 m

**ตารางที่ 3.2** แสดงผลการทดสอบหาแรงต้านการหมุนของใบหูกวาง

	น้ำหนัก ครั้งที่ 1 $W_1 . (N)$	น้ำหนัก ครั้งที่ 2 $W_2 . (N)$	น้ำหนัก ครั้งที่ 3 $W_3 . (N)$	น้ำหนัก ครั้งที่ 4 $W_4 . (N)$	น้ำหนัก ครั้งที่ 5 $W_5 . (N)$	น้ำหนักเฉลี่ย (ไม่คิดน้ำหนักจาน) $W_{ave} . (N)$	ทอร์ก T, ( $\text{N}\cdot\text{m}$ )
No Load	3	5	4	5	3	4	5
Load	111	110	114	112	113	112	37

**กำลังขับเคลื่อน (P) , W**

$$\begin{aligned}
 P &= \omega \times T \\
 &= 6.23(32) \\
 &= 200 \text{ W}
 \end{aligned}$$

โดย  $\omega$  = รอบการหมุนของเพลลา ที่อัตราการป้อน 25 kg/h มีค่าเท่ากับ 6.23 rad/s

$T$  = แรงบิดของเพลลาตัวป้อน , N-m

เพราะฉะนั้นจากกำลังขับเคลื่อนที่ได้ พิจารณาเลือกมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้าเพื่อใช้งาน

## 2. คัปปลิง (Coupling)

คัปปลิง (Coupling) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ต่อเชื่อมต่อระหว่าง เพลลาของมอเตอร์กับ Gear Box คัปปลิงที่ใช้เป็นแบบ สามปาก (Three – jaw) ซึ่งทำมาจาก อลูมิเนียม ยาง ยางจะอยู่ตรงกลาง ระหว่าง ตัวคัปปลิง คัปปลิงชนิดนี้ยังสามารถรับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการหมุนของตัวเพลลา และยังช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับเครื่องจักร ในกรณีที่การติดตั้งอาจมีการเยื้องศูนย์ได้

## 3. สลักเกลียวยึดตัวคัปปลิงกับเพลลาของมอเตอร์ และเพลลาของ Gear Box

สลักเกลียวยึดตัวคัปปลิงกับเพลลาเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่ง เพราะช่วยในการยึดระหว่างเพลลาของมอเตอร์กับคัปปลิง และเพลลาของ Gear Boxกับคัปปลิง ให้ติดอยู่ด้วยกันไม่หลุดออกจากกัน ลักษณะของสลักเกลียวยึดทำมาจากเหล็กหล่อดำ มีทั้งเกลียวละเอียดและเกลียวหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีตั้งแต่ 3 -12 mm แล้วแต่ความเหมาะสมของงาน การหาขนาดของสลักเกลียวยึดหาได้โดย

มอเตอร์ที่ใช้งานมีขนาด 0.5 แรงม้า (373 W) เพราะฉะนั้นทอร์กที่จะเกิดขึ้นกับเพลลาของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 T_m &= P/\omega_m \\
 &= 373 / 157 \\
 &= 2.37 \text{ N-m}
 \end{aligned}$$

โดย  $\omega_m$  = รอบการหมุนของมอเตอร์ 1500 rpm หรือ 157 rad / s

$T_m$  = ทอร์กที่เกิดกับเพลลาของมอเตอร์

$$\begin{aligned}
 F_r &= \frac{T_m}{r_m} \\
 &= \frac{2.37}{6.35 \times 10^{-3}} = 0.373 \times 10^3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

โดย  $F_r$  = แรงเฉือนที่ตำแหน่งผิวของเพลลามอเตอร์ , N

$T_m$  = ทอร์กที่เพลลาของมอเตอร์ 2.37 N-m

$r_m$  = รัศมีเพลลาของมอเตอร์ 6.35 mm

จากทฤษฎีพลังงานการเสียรูป (distortion - energy theory) [13]



$$S_{sy} = 0.577S_y$$

$$= 0.577(380 \times 10^6) = 219.26 \text{ Mpa}$$

โดย

$S_{sy}$  = ค่า shear strength ที่ทำให้เกิดการเสีรูป , MPa

$S_y$  = ค่า yield shear strength ของ carbon steel มีค่าเท่ากับ 380 MPa

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{S_{sy}}{F_r / A}$$

$$A = \frac{FS \times F_r}{S_{sy}}$$

$$= \frac{7(0.373 \times 10^3)}{219.26 \times 10^6} = 1.19 \times 10^{-5} \text{ , m}^2$$

โดย

A = ขนาดของพื้นที่หน้าตัดหมุดยึด , m<sup>2</sup>

FS = ค่าความปลอดภัย (factor of safety) สำหรับภาระเปลี่ยนแปลง (dynamic load) เลือกใช้ค่าเท่ากับ 7 ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ระหว่าง 4 – 8 [13]

$$\frac{\pi D^2}{4} = 1.19 \times 10^{-5}$$

$$D = 0.00389 \text{ m}$$

$$= 4 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้นจะใช้สลักเกลียวยึดที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4 mm .เพื่อที่จะยึดกับปั๊มป์กับเพลามอเตอร์ และเพลลาของ Gear Box (ขนาดเพลลาของ Gear Box เท่ากับขนาดเพลลาของมอเตอร์คือ 12.7 mm เพราะฉะนั้น สลักเกลียวยึดที่จะใช้กับเพลลาของ Gear Box จึงใช้ขนาดเดียวกันได้ )

#### 4.Gear Box อัตราทด และ ความถี่ (f) ใช้งาน , Hz

ในการทดลองจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทดรอบซึ่งเรียกว่า Gear Box เพื่อใช้ในการทดรอบ Gear Box เป็นอุปกรณ์ทดรอบที่มีอัตราทดจำเพาะ คือมีตั้งแต่ 1:10 , 1:20 , 1:30 ฯลฯ โดยในการวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้อัตราทดรอบ 1:20 เพราะฉะนั้นรอบของมอเตอร์ที่ใช้มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\omega_m &= 20 \times \omega \\ &= 20(6.23) \\ &= 124.6 \text{ rad/s หรือ } 1189.84 \text{ rpm}\end{aligned}$$

โดย  $\omega_m$  = รอบการหมุนของมอเตอร์ , rad/s  
 $\omega$  = รอบการหมุนของเพลาอุปกรณ์ป้อน , rad/s

จากสูตร รอบมอเตอร์ 3 เฟส

$$\begin{aligned}\text{rpm} &= \frac{120 f}{n} \\ f &= \frac{n(\text{rpm})}{120} \\ &= \frac{4(1189.84)}{120} = 39.66 \text{ หรือ } 40 \text{ Hz}\end{aligned}$$

โดย  $f$  = ความถี่ทางไฟฟ้า , Hz  
 $n$  = จำนวนขั้ว (pole) ของมอเตอร์ ซึ่งมีเท่ากับ 4 ขั้ว

เพราะฉะนั้นความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วงที่ อินเวอร์เตอร์สามารถปรับค่าได้คือ 0 - 50Hz และอัตราทดของ Gear Box มีค่าเท่ากับ 1:20

## 5. สลักเกลียวยึดตัวคัปปลิงกับเพลาของ Gear Box และเพลาของ Feeder

จากอัตราการทดเฟืองเกียร์ ของ Gear Box เท่ากับ 1: 20 ทอร์กที่ได้จากการทดเฟืองมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\omega_1 T_1 &= \omega_2 T_2 \\ T_2 &= T_1 (\omega_1 / \omega_2) \\ &= 2.37(20) \\ &= 47.4 \text{ N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

โดย  $(\omega_1 / \omega_2)$  = อัตราการทดรอบของ Gear Box เท่ากับ 20  
 $T_1$  = ทอร์กที่เกิดขึ้นที่เพลาของ Gear Box ที่ต่อกับเพลาของมอเตอร์ , N·m  
 $T_2$  = ทอร์กที่ได้จากการทดเฟืองของ Gear Box ซึ่งต่อกับเพลาของ Feeder , N·m

ขนาดของสลักเกลียวยึดระหว่างเพลลาของ Gear Box ด้านซึ่งต่อกับเพลลาของ Feeder หาได้โดย

$$F_g = \frac{T_g}{r_g}$$

$$= \frac{47.4}{12.7 \times 10^{-3}} = 3.73 \times 10^3 \text{ N}$$

โดย  $F_g$  = แรงเฉือนที่ตำแหน่งผิวของเพลลาของ Gear Box ด้านซึ่งต่อกับเพลลาของ Feeder , N

$T_g = T_2$  = ทอร์กของ Gear Box ที่ต่อกับเพลลาของ Feeder 47.4 N-m

$r_g$  = รัศมีเพลลาของ Gear Box ที่ต่อกับเพลลาของ Feeder 12.7 mm

จากทฤษฎีพลังงานการเสียรูป (distortion - energy theory) [13]

$$S_{sy} = 0.577S_y$$

$$= 0.577(380 \times 10^6) = 219.26 \text{ Mpa}$$

โดย

$S_{sy}$  = ค่า shear strength ที่ทำให้เกิดการเสียรูป , MPa

$S_y$  = ค่า yield shear strength ของ carbon steel มีค่าเท่ากับ 380 MPa

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{S_{sy}}{F_g/A}$$

$$A = \frac{FS \times F_g}{S_{sy}}$$

$$= \frac{7(3.73 \times 10^3)}{219.26 \times 10^6} = 0.119 \times 10^{-3} \text{ , m}^2$$

โดย

$A$  = ขนาดของพื้นที่หน้าตัดหมุดยึด ,  $\text{m}^2$

$FS$  = ค่าความปลอดภัย (factor of safety) สำหรับภาระเปลี่ยนแปลง (dynamic load) เลือกใช้ค่าเท่ากับ 7 ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ระหว่าง 4 – 8 [13]

$$\frac{\pi D^2}{4} = 0.119 \times 10^{-3}$$

$$D = 0.0123 \text{ m}$$

$$= 12.3 \text{ mm}$$

ขนาดใหญ่มาก ค่อนข้างไม่เหมาะสมในการใช้งานจริง เพราะฉะนั้น ควรที่จะใช้สลักเกลียวยึด 4 ตัว

$$4 \frac{\pi D^2}{4} = 0.119 \times 10^{-3}$$

$$D = 0.006 \text{ m}$$

$$= 6 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้นจะใช้สลักเกลียวยึดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm จำนวน 4 อัน เพื่อที่จะยึดคัปป์กับเฟลาของ Gear Box และยึดคัปป์กับเฟลาของ Feeder (ขนาดเฟลาของ Gear Box เท่ากับขนาดเฟลาของ Feeder คือ 25.4 mm จึงใช้ขนาดและจำนวนสลักเกลียวยึด แบบเดียวกันได้)

## 6. ขนาดของเฟลาของ Feeder

เฟลาของ Feeder มีความสำคัญอย่างมาก โดยเป็นตัวส่งผ่านกำลังไปยังใบป้อน หาได้โดย จาก distortion - energy theory

$$d = \left[ \frac{16n}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left[ \frac{16(4)}{\pi 170 \times 10^6} (4(0)^2 + 3(47.4)^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.0214 \text{ m หรือ } 2.14 \text{ cm}$$

ขนาดของเฟลาที่คำนวณได้เท่ากับ 2.14 cm พิจารณาเลือกใช้เฟลาขนาด 1 นิ้ว (2.54 cm)

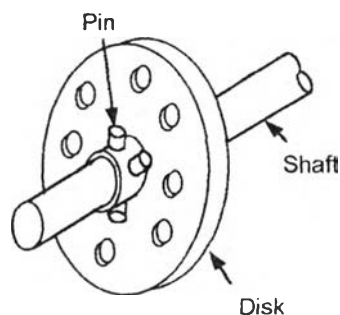
โดย  $S_y$  = yield strength ของเหล็กหล่อ (C = 3 %) มีค่าเท่ากับ 170 MPa

$M$  = โมเมนต์ , N·m

$T$  = ทอร์ค , N·m

$N$  = factor of safety 4

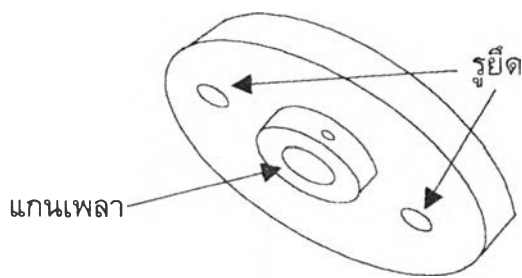
## 7. สลักเกลียวยึดจานกับเฟลา(เฟลาของ Feeder) [11]



เนื่องจากขนาดของเพลลา Gear Box และขนาดของเพลลา Feeder มีขนาดเท่ากัน 1 นิ้ว (25.4 cm) และทอร์คที่กระทำที่เพลลาทั้งสองมีขนาดเท่ากัน 47.4 N·m เพราะฉะนั้นสลักยึดเกลียวที่ใช้ยึดจานกับเพลลาจึงมีขนาด และจำนวนเท่ากันนั่นก็คือใช้สลักเกลียวยึดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm จำนวน 4 อัน

### 8. แบริ่ง (Bearing)

แบริ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญ อีกชิ้นหนึ่ง เพลลาจะสามารถหมุนได้ก็ต้องอาศัยแบริ่งช่วย แบริ่งมีด้วยกันหลายชนิดทั้งใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำ สำหรับในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้แบริ่งทนความร้อนแบบ UCFL ซึ่งเป็นแบริ่งที่รูของเพลลา และรูยึดอยู่ในแนวแกนเดียวกัน โดยยึดตัวแบริ่งไว้กับกับผนังด้านข้างของ Casing



แบริ่งแบบ UCFL