

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีของกังหันลมแกนตั้ง เราจึงได้รู้วิธีการคำนวณในการหาจำนวนใบกังหันลม ซึ่งความเร็วลมเฉลี่ยของจังหวัดจันทบุรีอยู่ที่ 2.06 เมตร/วินาที ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด 9.44 เมตร/วินาที และขอบเขตที่เราต้องการก็คือ กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ รัศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร และความยาวใบกังหันลม 2.5 เมตร โดยผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับกังหันลมแกนตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมในการทำงานที่ความเร็วลมสูงขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นเราจะได้สมการในการคำนวณหาจำนวนใบกังหันลมแกนตั้ง ดังนี้

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบกังหันลมที่เหมาะสมสำหรับความเร็วลมต่ำ

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลัง} \quad C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (3-1)$$

$$P \text{ กำลังไฟฟ้า(วัตต์)} = 300 \text{ W}$$

$$\rho \text{ ค่าความหนาแน่นของมวลอากาศ} = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$A \text{ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางกระแสลม} = 0.15625 \text{ m}^2$$

$$V^3 \text{ ความเร็วสูงสุดของกระแสลม}^3 = 9.5 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ จะได้} \quad C_p &= \frac{300}{\frac{1}{2}(1.225)(0.15625)(9.5)^3} \\ &= 0.3656 \end{aligned}$$

$$\text{อัตราส่วนความเร็วของใบพัดกังหันลม(TSR) } \lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (3-2)$$

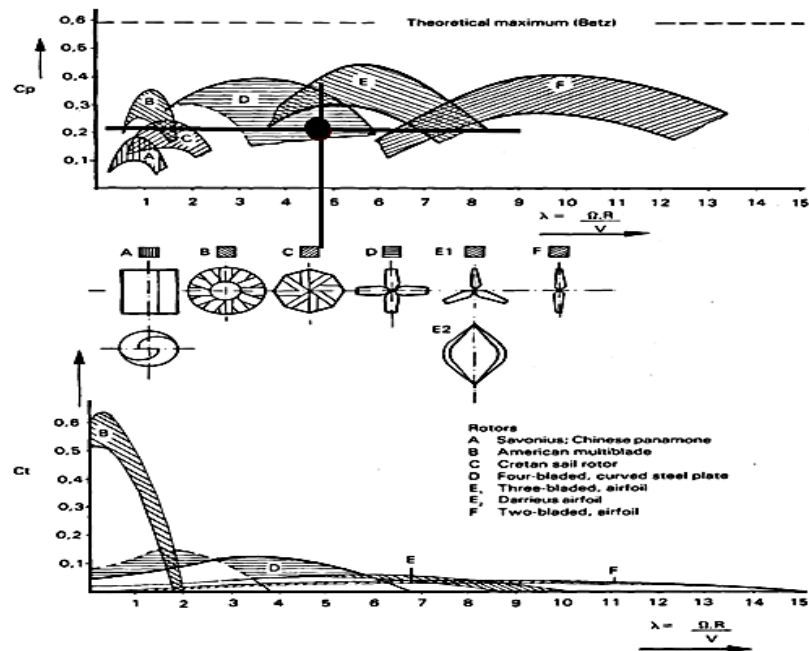
$$\Omega \text{ ความต้านทานไฟฟ้า} = \text{smph}/(\pi D \cdot 0.0372) = 80.77$$

$$R \text{ รัศมี} = 0.5 \text{ m}$$

$$V \text{ ความเร็วสูงสุดของกระแสลม} = 9.5 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ จะได้} \quad \lambda &= \frac{(80.77)(0.5)}{9.5} \\ &= 4.27 \end{aligned}$$

จากนั้น นำค่า  $C_p$  และ  $\lambda$  มาลากเส้นในภาพที่ 3.1 จะได้



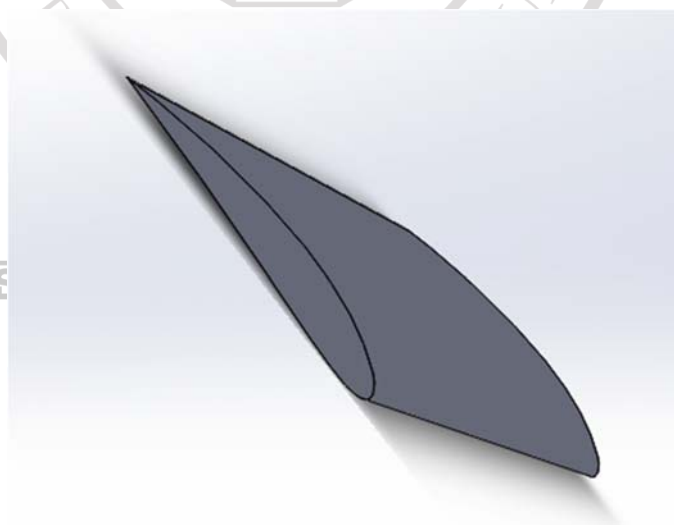
ภาพที่ 3.1 รูปแบบการเลือกใบกังหัน

จากภาพที่ 3.1 จะเห็นว่าเส้นที่ลากทั้งสองแกนนั้นตัดกันที่จุด D นั้นหมายความว่า จำนวนใบที่เหมาะสมในการทำกังหันลม ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีคือ 3 ใบ

### 3.2 การออกแบบใบพัด



การออกแบบใบพัดของกังหันลมแกนตั้งของใบพัดทั้ง 4 ใบ โดยใช้ชีรี NACA0012 เพื่อเพิ่มมุมโจมตี (attack angle) จะเพิ่มโมเมนต์ในการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ลิขสิทธิ์

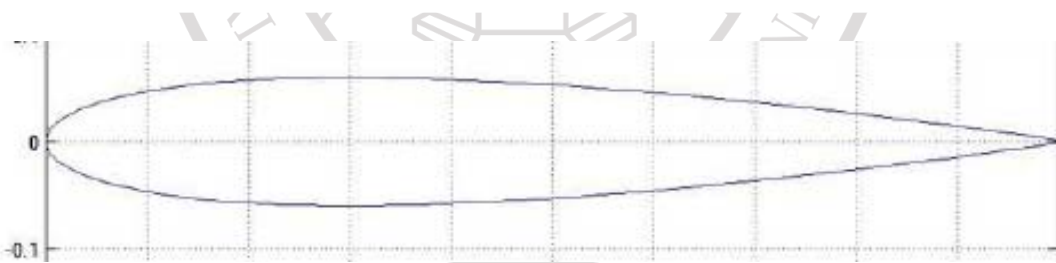


ภาพที่ 3.2 รูปแบบใบกังหันลม NACA0012 โดยใช้โปรแกรม solidwork

สืบค้นต้นแบบของกังหันลมที่นำมาศึกษาและพัฒนาโดยมีที่ใกล้เคียงกับตัวกังหันที่ต้องการ  
ออกแบบ

คุณสมบัติ	My Model	Model 1	Model 2
รูปภาพ			
คุณสมบัติ	100 W.	500 - 550 w	100 W.
เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	1.5 m.	1.2 m.	0.7 m.
ความสูงของใบพัด	2.5 m.	1.25 m	0.8 m.
น้ำหนัก	?	35 kg	31 kg
จำนวนใบพัด	3 pcs.	3 pcs.	5 pcs.
พิกัดความเร็วรอบแกนหมุนใบพัด	? r/min	-	200 r/min
ความเร็วลมที่เริ่มหมุน	1.5 m/s	1.5 m/s	1.7 m/s
ความเร็วลมทำงาน		1.5-12 m/s	1.7-25 m/s
ความเร็วลมอยู่รอด		40 m/s	50 m/s
แรงดันขาออก	DC 12V	DC 12/24 V	AC12V
ความสูงเสา	0.7 m	-	6 m

ตารางที่ 3.1 การหาต้นแบบกังหันลมและเปรียบเทียบเพื่อออกแบบกังหันลม

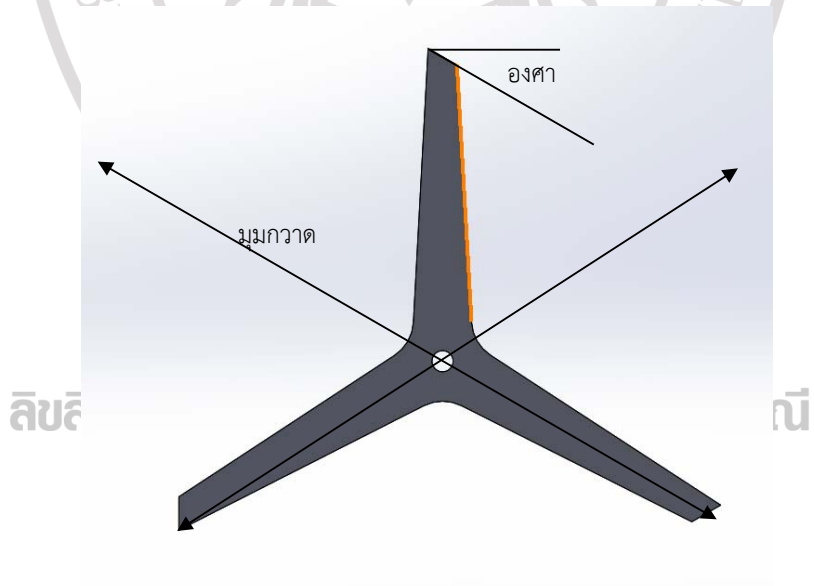


ภาพที่ 3.3 รูปแบบใบกังหันที่ใช้ คือ NACA 0012 AIRFOILS  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

หลังจากที่ได้รูปแบบใบแล้วนั้นก็มาทำการขึ้นรูปจำลองกังหันลมที่มีมุมบิดที่ 30, 45 และ 60 และที่ความเร็วรอบที่ 100, 120 และ 140 และมุมกวาดที่ 100, 120 และ 140 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.4 กังหันที่ใช้โปรแกรม Solidwork ทำรายละเอียดเพื่อวิเคราะห์



ภาพที่ 3.5 มุมบิดและมุมกวาด

## วิเคราะห์ด้วย Finite Element ด้วยโปรแกรม เพื่อหาค่าแรงพลักสูงสุดเพื่อนำมาใช้ในการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม

ใช้โปรแกรม Fluent จำลองขอบเขตและสร้างพื้นที่ในการ mesh รูปทรงของกังหันลมเพื่อเตรียมการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Fluent จากการสืบค้นใบกังหันลมต้นแบบมีคุณสมบัติดังนี้

Wind Turbine Performance Data

Turbine Model = FE0012U

Turbine Blades = 3 (25 deg blade pitch)

Battery Load = 12 V

Startup Wind Speed = 2 m/s

Charging Initiation Wind Speed = 3.2 m/s

Charging Initiation RPM = 100, 120, 140

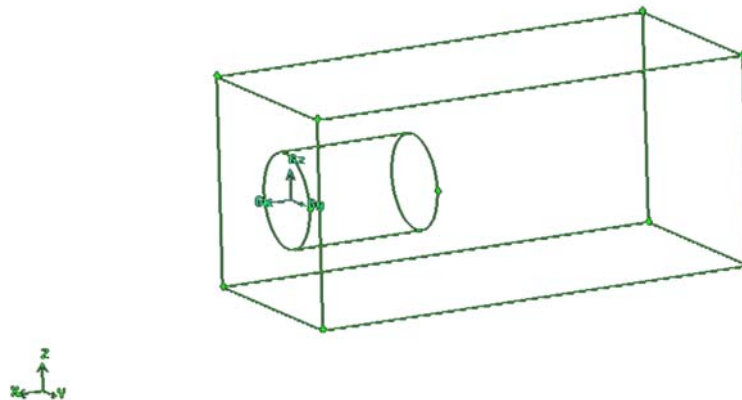
### 1. การใช้โปรแกรม Gambit เพื่อกำหนดค่าขอบเขตและพื้นที่การ mesh รูปทรงกังหันลม

การกำหนดค่าขอบเขตและพื้นที่ในการ mesh รูปทรงกังหันลม โดยกำหนดใบกังหันลมในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

กรณีข้อมูลจากการสืบค้นใบกังหันลมมีจำนวน 3 ใบและมุมบิด 30, 45 และ 60 องศา

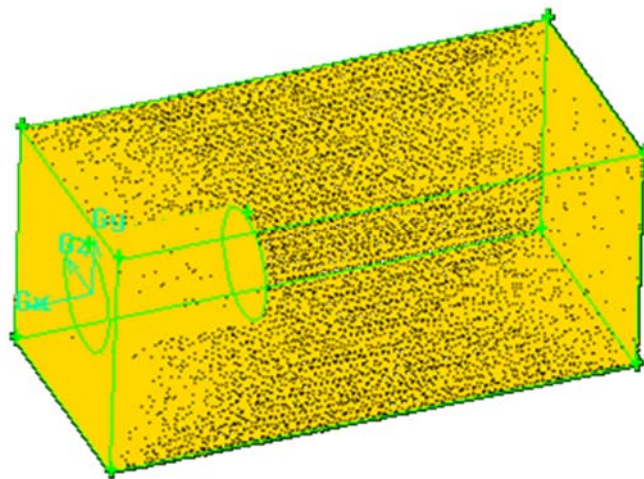
การกำหนดขอบเขตและพื้นที่การ mesh รูปทรงกังหันลมจากข้างต้นทั้ง 2 กรณีมีขั้นตอนดังนี้

- เปิดโปรแกรม Gambit ทำการ import file กังหันลมที่ออกแบบพร้อมทั้งติดตั้งใบกังหันลมกับ hub
- สร้างโดเมนในกรอบกังหันลมโดยกำหนดใบกังหันลมชิดด้านที่ลมปะทะกับโดเมน
- สร้างโดเมนนอกเพื่อครอบโดเมน



ภาพที่ 3.6 โดเมนนอก

- ทำการ mesh กังหันลมกับโดเมนใน ดังภาพที่ 3.6 และ mesh โดเมนนอก



ภาพที่ 3.7 โดเมนนอกที่ mesh

- กำหนดค่าขอบเขตโดยมีรายละเอียดดังนี้
  - 1) Hub กำหนดขอบเขตเป็น Wall ชนิด Moving Wall
  - 2) Blade กำหนดขอบเขตเป็น Wall ชนิด Moving Wall
  - 3) พื้นที่ด้านนอกของโดเมนใน กำหนดขอบเขตเป็น Interface
  - 4) พื้นที่กลางด้านในของโดเมนนอก กำหนดขอบเขตเป็น Interface
  - 5) ทางเข้าปะทะกังหันที่โดเมนนอก กำหนดขอบเขตเป็น Inlet Velocity
  - 6) ทางออกจากกังหันที่โดเมนนอก กำหนดขอบเขตเป็น Outlet Pressure
  - 7) ด้านทั้งสี่ที่โดเมนนอก กำหนดเป็น Wall
  - 8) กำหนดของไหลข้างใน โดเมนใน เป็น Fluid ชนิด Air
  - 9) กำหนดของไหลข้างใน โดเมนนอก เป็น Fluid ชนิด Air

## 2. การวิเคราะห์กังหันลมด้วยโปรแกรม Fluent

กังหันลมที่กำหนดค่าขอบเขตและ mesh รูปทรงเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณแบบ Numerical เพื่อทำนายค่าแรงต่างๆ ของกังหันลม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- เปิด file ที่เตรียมไว้จากโปรแกรม Gambit ด้วยโปรแกรม Fluent
- Check Grids เพื่อ Check ความถูกต้องของการ mesh
- ตรวจสอบขนาดของวัตถุที่วิเคราะห์โดยการ Scale
- กำหนดค่าคงที่ความหนาแน่นของอากาศและค่าความหนืดโดยจำลองการไหลแบบปั่นป่วน ( $k - \varepsilon$ )
- ตรวจสอบหน่วยของค่าตัวแปรต่างๆ เช่น Angular Velocity ให้เปลี่ยนเป็น rpm เป็นต้น

- กำหนด Grid interface
- กำหนดความเร็วลม และความเร็วรอบการหมุนเพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์
- วิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Iterate
- หลังจากการวิเคราะห์เสร็จสิ้น หาค่า Torque โดยใช้คำสั่ง Turbo Topology จับคู่ค่าต่างๆ และเมื่อเสร็จสิ้นการกำหนดค่าจะได้ค่า Torque จาก Turbo Report

**Turbo Report**

**Inlet/Outlet Data**

Averages: ☒ Mass-Weighted ☐ Area-Weighted

Turbo Topology: new-topology-1

	Inlet	Outlet
Mass Flow [kg/s]	99.225	-99.22956
Swirl Number	-6.848761e-06	0.008162932
Average Total Pressure [pascal]	10.91108	9.827592
Average Total Temperature [k]	0	0
Average Radial Flow Angle [deg]	0.08973117	0.8791303
Average Theta Flow Angle [deg]	-0.0003283008	0.6522246

**Losses**

Engr. Passage Loss Coef	-0.1186524
Norm. Passage Loss Coef	0.09930167

**Forces**

Axial Force [n]	13.28662
Torque [n-m]	-1.825918

**Efficiencies**

Isentropic [%]	0
Polytropic [%]	0
Hydraulic [%]	56.64665

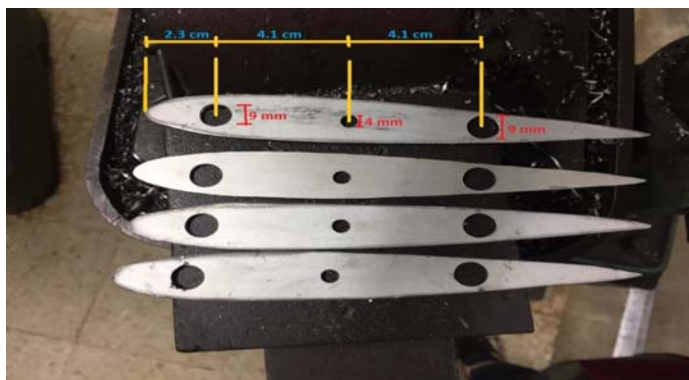
Buttons: Compute Write... Close Help

ภาพที่ 3.8 ค่าทอร์ค (Torque) ที่ได้จากการวิเคราะห์กังหันลม

สร้างแบบจำลองขนาดเล็กเพื่อหาผลสอดคล้องกับงานวิเคราะห์

1. สร้างใบกังหัน นำแผ่นอลูมิเนียมความหนา 2 มิลลิเมตร มาตัดตามแบบ NACA 0012 แล้วเจาะรูตามภาพ จำนวน 12 ชิ้น





ภาพที่ 3.9 แผ่นอลูมิเนียมความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดตามแบบ NACA 0012 แล้วเจาะรู



ภาพที่ 3.10 นำท่อสแตนเลสขนาด 9 มิลลิเมตร ยาว 59 เซนติเมตร 8 เส้นมาเชื่อมเข้ากับหัวฉีด  
หกเหลี่ยมขนาด 4 มิลลิเมตร



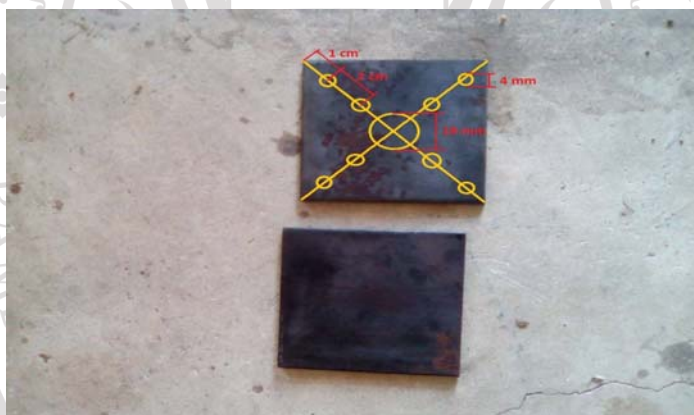
ภาพที่ 3.11 นำใบ NACA 0012 ที่ตัดไว้มาเสียบเข้ากับโครง



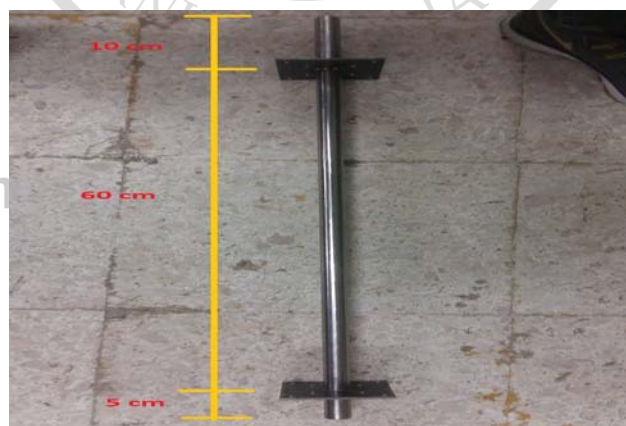


ภาพที่ 3.12 ตัดแผ่นอลูมิเนียมบาง เบอร์ 33 มาครอบแล้วทากาว DOG

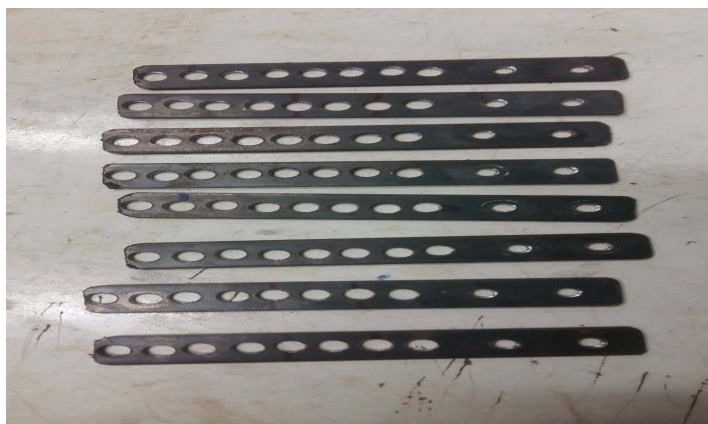
2. สร้างแกนจับพร้อมฐานยึด โดยทำที่จับกับชุดใบเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างใบกังหัน



ภาพที่ 3.13 เหล็กแบนหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 3x3 นิ้วมาเจาะรูตามขนาดที่กำหนด



ภาพที่ 3.14 ท่อสแตนเลสขนาด 19 มิลลิเมตร ยาว 75 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.15 แขนจับใบ นำเหล็กแบนหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 19 มิลลิเมตร ยาว 12.5 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.16 นำแกนจับใบมาขันน็อตเข้ากับแกนกลาง



ภาพที่ 3.17 ความสูงของฐาน 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.18 ประกอบกันเข้ากันฐาน

### สร้างชิ้นงานจริง

ใบก้นห้นจากไฟเบอร์กลาส มีขนาดความยาว 2.5 เมตร กว้าง 1.2 เมตร เป็นแบบ 3 แกน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและติดตั้งเข้ากับก้นห้น

1. สร้างแบบ Mold ใบก้นห้นโดยใช้เครื่อง CNC กัดโฟมแบบตัวผู้ ตัวเมียเพื่อทำ mold ประกอบ



ภาพที่ 3.19 เครื่อง CNC กัดโฟมเพื่อทำ Mold

2. ทำใบก้นห้นโดยใช้เส้นใยไฟเบอร์กลาสพร้อมน้ำยาเรซิน โดยลงซีฟ้งรองพื้นก่อนหลังจากนั้นจึงทาน้ำยาเรซินลงไปแล้วนำเส้นใยไฟเบอร์วางแล้วทาน้ำยาซ้ำอีกรอบ ทำซ้ำไปเรื่อยๆ โดยวางแผนใบไฟเบอร์ 3 ชั้น พอชิ้นงานแห้งจึงนำมาประกอบแล้วตัดปีกออกแล้วปรับแต่งให้เข้าทรง



ภาพที่ 3.20 Mold ตัวผู้และตัวเมีย

### 3. ปรับแต่งและทาสีใบกั้งหัน



ภาพที่ 3.21 ใบกั้งหัน



4. ใช้เครื่องตัดเลเซอร์ ตัดแผ่นสแตนเลส หนา 6 มิลลิเมตร ตามภาพที่ 3.5 เพื่อขนาดของชิ้นงาน สำหรับทำตัวจับใบ และทำสล็อตเพื่อจับกับตัวใบ



ภาพที่ 3.22 แขนจับใบกังหัน

5. ทำชุดแกนกลางโดยใช้เหล็กเพลาดันเป็นแกนกลางต่อกับชุดลูกปืนตุ้กตาเพื่อประกอบและ ลูกปืนอีกเพื่อลดแรงในแนวแกน



ภาพที่ 3.23 ชุดแกนกลาง



ภาพที่ 3.24 กังหันลมขึ้นงานจริง

### เก็บผลการทดสอบกังหันลมขึ้นงานจริง

จัดสถานที่เก็บผลโดยแบ่งระยะห่างของพัดลมเป็น 10 ระยะๆละ 1 เมตร โดยตั้งอุปกรณ์เก็บความเร็วลมไว้บริเวณหน้าใบเพื่อเก็บค่าความเร็วลม



ภาพที่ 3.25 ระยะการเก็บข้อมูลความเร็วลม





ภาพที่ 3.26 การติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.27 การติดตั้งอุปกรณ์วัดลมและวัดไฟในการเก็บข้อมูล