

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดลองดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จจำเป็นต้องทำอย่างอื่นที่จะต้องทราบถึงแผนการดำเนินการ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

3.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

3.1.1 เพื่อออกแบบและสร้างกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ น้ำทิ้งจากอาคาร

3.1.2 เพื่อทดสอบสมรรถนะและวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ น้ำทิ้งจากอาคาร

3.1.3 เพื่อพัฒนาการใช้พลังงานหมุนเวียนน้ำจากน้ำทิ้งของอาคารสำหรับนำมาผลิตไฟฟ้าโดยกังหันน้ำขนาดเล็ก

3.2 แผนการดำเนินงาน

สำหรับแผนการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้แบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ตรวจสอบปริมาณน้ำทิ้งจากแหล่งพลังงาน

สำรวจแหล่งน้ำที่จะใช้สำหรับเป็นแหล่งพลังงานสำหรับกังหันน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจแหล่งพลังงานน้ำทิ้งจากอาคารโดยทั่วไป และแหล่งอาคารที่สนใจในเบื้องต้นก็คือ หอพักนักศึกษา บริเวณหลังมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จึงได้ติดต่อไปยังเจ้าของกิจการหอพักขนาดใหญ่ (6-8 ชั้น) เพื่อขอความอนุเคราะห์ขอเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของผู้พักอาศัยในหอพัก แต่หลังจากได้ติดต่อกับเจ้าของกิจการของหอพักขนาดใหญ่หลายแห่งแล้ว พบว่าไม่ได้รับความอนุเคราะห์ ทางผู้วิจัยจึงหันมาติดต่อทางเจ้าของกิจการหอพักขนาดกลาง (4-6 ชั้น) แทน และสุดท้ายได้หอพักที่จะทำการสำรวจเป็นหอพักขนาด 4 ชั้น ชั้นละ 16 ห้อง รวม 64 ห้อง ซึ่งได้ทำการสำรวจทั้งหมด 2 เดือน คือ เดือน มกราคม – กุมภาพันธ์ 2555 และได้ผลการสำรวจสรุปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงปริมาณน้ำทิ้งของหอพักขนาด 4 ชั้น

รายละเอียด	เดือน มกราคม 2555	เดือน กุมภาพันธ์ 2555
ปริมาณน้ำทิ้งรวม (m ³)	314	328
ปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยต่อห้องในแต่ละเดือน (m ³)	4.91	5.13
ปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยต่อห้องต่อเดือน (m ³)	5.02	

หลังจากได้ข้อมูลปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยต่อห้องต่อเดือนของอาคารหอพักแล้ว จะนำข้อมูลเหล่านี้มาหาช่วงของอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับป้อนข้อมูลลงในโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอัตราการไหลที่เหมาะสมนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งที่มีและระยะเวลาการทำงานของกังหันน้ำ สำหรับงานวิจัยนี้จะกำหนดระยะเวลาการทำงานของกังหันน้ำอย่างน้อย 20 นาที ดังนั้น จะสามารถหาช่วงของอัตราการไหลที่เหมาะสมได้จากสมการที่ (3.1)

$$Q \leq \frac{\text{Vol}_{\text{av}} \times N_r}{60 \times t} \quad (3.1)$$

เมื่อ Vol_{av} คือ ปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยต่อห้องต่อเดือน, (m³)

N_r คือ จำนวนห้องพักที่เก็บสะสมน้ำทิ้ง (ตั้งแต่ชั้น 2 ขึ้นไป)

Q คือ อัตราการไหล, (m³/s)

t คือ เวลาในการผลิตไฟฟ้า, (min)

ดังนั้น จะได้ช่วงของอัตราการไหลของน้ำทิ้งจากหอพักสำหรับใช้ในโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ ไม่เกิน 0.04 m³/s

3.2.2 ออกแบบกังหันน้ำ

จากการศึกษาในบทที่ 2 พบว่าชนิดของกังหันน้ำที่เหมาะสมกับเสถียรภาพสูงต่ำคือ กังหันน้ำชนิด Propeller ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กังหันน้ำชนิด Propeller ในการวิจัย และขั้นตอนการ

ออกแบบกังหันน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ การออกแบบใบกังหันน้ำและการออกแบบรูปร่างของใบกังหันน้ำ

3.2.2.1 ออกแบบขนาดกังหันน้ำ

การออกแบบขนาดของกังหันน้ำในขั้นตอนนี้ เพื่อที่จะหารัศมีของคูล (r_h), รัศมีของใบกังหันน้ำ (r_t), อัตราการไหล (Q), ความเร็วรอบของใบพัด (N), ความเร็วเชิงเส้นของใบพัด (u), ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำตามแนวแกน (V_a), ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำที่ทางเข้า (V_1), ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำที่ทางออก (V_2), ความเร็วสัมผัสของน้ำที่ทางเข้า (W_1), ความเร็วสัมผัสของน้ำที่ทางออก (W_2), มุมที่น้ำไหลเข้ากังหันน้ำ (α_1), มุมที่น้ำไหลออกจากกังหันน้ำ (α_2), มุมของใบพัดที่ทางเข้า (β_1), มุมของใบพัดที่ทางออก (β_2), แรงบิด (T), กำลังของน้ำที่ให้กับกังหันน้ำ (P_i), กำลังทางกลของกังหันน้ำ (P_r), ประสิทธิภาพไฮดรอลิก (η_h), ความเร็วจำเพาะ (N_s), และ Peripheral-velocity factor (ϕ)

ซึ่งวิธีการออกแบบขนาดกังหันน้ำนั้น จะทำการออกแบบโดยการสร้างโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำที่เหมาะสม ซึ่งจะมีเงื่อนไขเริ่มต้นที่ใช้คำนวณในโปรแกรกดังนี้

เงื่อนไขการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำ

- เสดความสูง (H) มีค่าคงที่ 4 m
- อัตราการไหล (Q) มีค่าตั้งแต่ 0 – 0.04 m³/s โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.005 m³/s
- ความเร็วรอบของใบพัด (N) มีค่าตั้งแต่ 0 – 5,000 rpm โดยเพิ่มขึ้นทีละ 100 rpm
- รัศมีของใบพัด (r_t) มีค่าตั้งแต่ 0.05 – 0.5 m โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.005 m
- สัดส่วนระหว่างรัศมีของคูลต่อรัศมีของใบพัด (k) มีค่าตั้งแต่ 0.3 – 0.7 โดยเพิ่มขึ้น

ทีละ 0.1

- มุมที่น้ำไหลเข้ากังหัน (α_1) มีค่าตั้งแต่ 0 – 90 deg โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 deg
- มุมที่น้ำไหลออกจากกังหัน (α_2) มีค่าคงที่ 90 deg

จากข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้นของการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรเริ่มต้นของการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำ

ตัวแปร	ค่า
เสดความสูง (m)	4
อัตราการไหล (m^3/s)	0 – 0.04
รัศมีของใบพัด (m)	0.05 – 0.5
ความเร็วรอบของใบพัด (rpm)	0 – 5,000
สัดส่วนระหว่างรัศมีของคูลต่อรัศมีของใบพัด	0.3 -0.7
มุมที่น้ำไหลเข้ากังหัน (deg)	0 - 90
มุมที่น้ำไหลออกจากกังหัน (deg)	90

และนอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขของตัวแปรควบคุมสำหรับการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำ ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขของตัวแปรควบคุม

- ความเร็วจำเพาะ (N_s) ที่เหมาะสมสำหรับกังหันน้ำชนิด Propeller ได้แสดงในรูปที่ 2.11 พบว่าควรมีค่าตั้งแต่ 380 – 720

- ค่า Peripheral-velocity factor (ϕ) ที่เหมาะสมสำหรับกังหันน้ำชนิด Propeller ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 พบว่าควรมีค่าตั้งแต่ 1.4 – 2.0

- เพื่อให้ได้รูปร่างของใบกังหันที่เหมาะสม คือใบกังหันไม่มีลักษณะแบบราบจนเกินไป หรือมีความตั้งชันจนเกินไป ดังนั้น มุมใบกังหันที่ตำแหน่งทางเข้า (β_1) ควรมีค่าตั้งแต่ 20 – 80 deg

- เนื่องจากในการคำนวณนั้นจะได้ชุดกังหันน้ำออกมาจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อลดจำนวนผลการคำนวณจะตัดผลการคำนวณของชุดกังหันน้ำที่ให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าออกไป โดยประสิทธิภาพไฮดรอลิก (η_h) ควรมีค่าตั้งแต่ 80 – 100 %

จากข้อมูลเงื่อนไขของตัวแปรควบคุมของการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรควบคุมของการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำ

ตัวแปร	ค่า
ความเร็วจำเพาะ	$380 \leq N_s \leq 720$
Peripheral-velocity factor	$1.4 \leq \phi \leq 2.0$
ประสิทธิภาพไฮดรอลิก	$80 \leq \eta_h \leq 100$
มุมใบกังหันที่ตำแหน่งทางเข้า	$20 \leq \beta_1 \leq 80$

จากนั้นป้อนค่าตัวแปรเริ่มต้น (ตารางที่ 3.2) และตัวแปรควบคุม (ตารางที่ 3.3) เข้าสู่โปรแกรมควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำ

- ป้อนค่าตัวแปรเพื่อใช้ในการคำนวณขนาดของใบกังหันน้ำ ได้แก่ เฮดความสูง (H), อัตราการไหล (Q), ความเร็วรอบของใบพัด (N), รัศมีของใบพัด (r_t), สัดส่วนระหว่างรัศมีของคูลต่อรัศมีของใบพัด (k), มุมที่น้ำไหลเข้ากังหัน (α_1) และมุมที่น้ำไหลออกจากกังหัน (α_2)

- คำนวณหาค่ารัศมีเฉลี่ย (r_m), ความเร็วสัมผัสของน้ำตามแนวแกน (V_a) และความเร็วเชิงเส้นของใบพัด (u) ได้จากสมการที่ (2.12), (2.11) และ (2.13) ตามลำดับ

- คำนวณหาค่าความเร็วสัมผัสของน้ำที่ตำแหน่งทางเข้า (V_1), ความเร็วสัมผัสของน้ำที่ตำแหน่งทางออก (V_2), มุมของใบพัดที่ทางเข้า (β_1), มุมของใบพัดที่ทางออก (β_2), ความเร็ว

สัมพัทธ์ของน้ำที่ทางเข้า (W_1) และความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำที่ทางออก (W_2) ได้จากสมการที่ (2.15), (2.14), (2.16), (2.18), (2.17) และ (2.19) ตามลำดับ

- คำนวณหาค่ากำลังทางกลของกังหันน้ำ (P_r), กำลังของน้ำที่ให้กังหันน้ำ (P_i), ประสิทธิภาพไฮดรอลิก (η_h), Peripheral-velocity factor (ϕ) และความเร็วจำเพาะ (N_s) ได้จากสมการที่ (2.20), (2.21), (2.22), (2.23) และ (2.29) ตามลำดับ

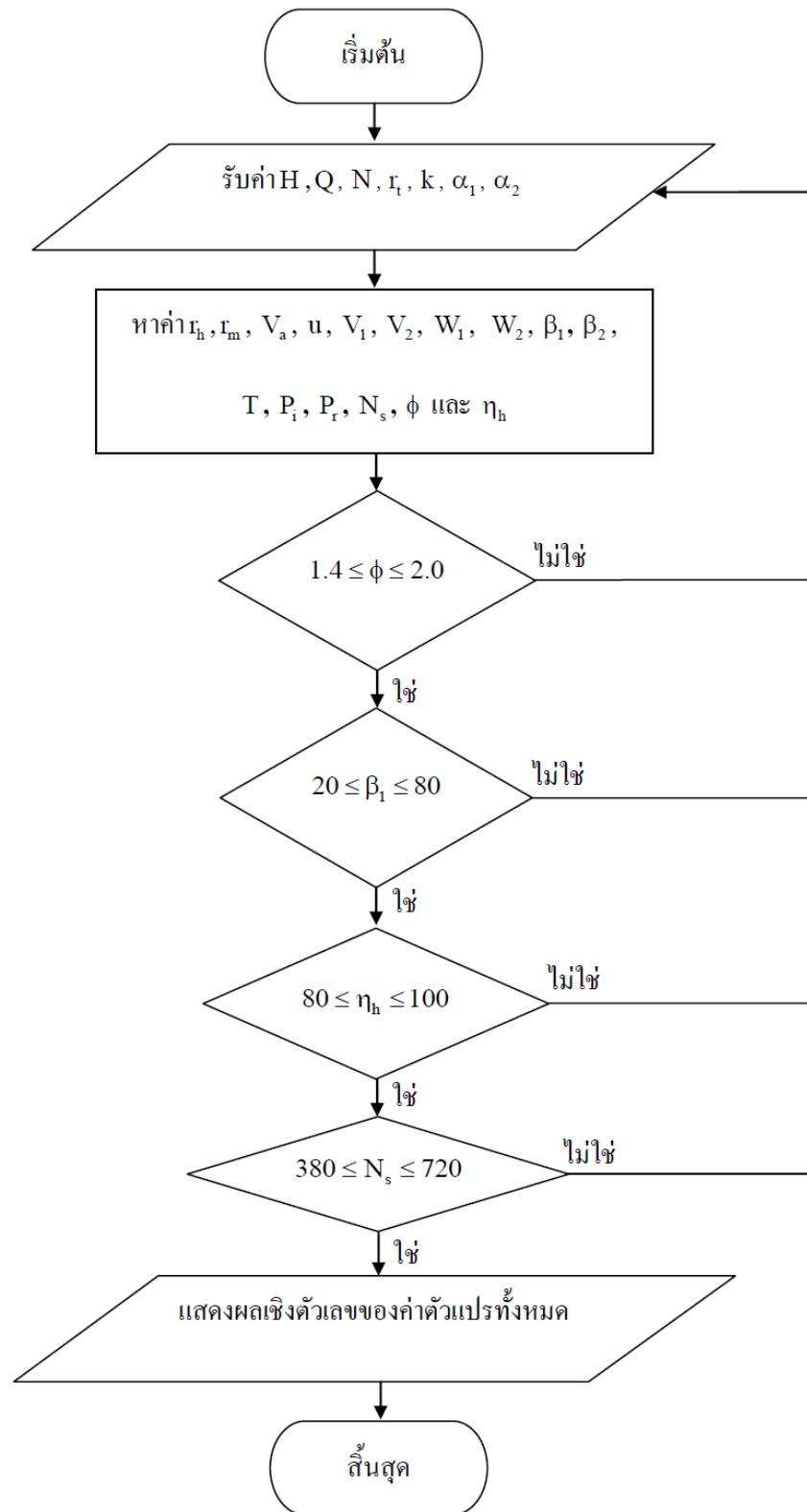
- เปรียบเทียบค่าความเร็วจำเพาะ (N_s) ว่าอยู่ในช่วง $380 \leq N_s \leq 720$ หรือไม่ ถ้าค่าความเร็วจำเพาะอยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวณต่อในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าค่าความเร็วจำเพาะไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกตัดทิ้ง และโปรแกรมจะเริ่มกลับไปป้อนค่าตัวแปรเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

- เปรียบเทียบค่า Peripheral-velocity factor (ϕ) ว่าอยู่ในช่วง $1.4 \leq \phi \leq 2.0$ หรือไม่ ถ้าค่า Peripheral-velocity factor อยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวณต่อในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าค่า Peripheral-velocity factor ไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกตัดทิ้ง และโปรแกรมจะเริ่มกลับไปป้อนค่าตัวแปรเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

- เปรียบเทียบค่ามุมของใบพัดที่ทางเข้า (β_1) ว่าอยู่ในช่วง $20 \leq \beta_1 \leq 80$ หรือไม่ ถ้าค่ามุมของใบพัดที่ทางเข้าอยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวณต่อในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าค่ามุมของใบพัดที่ทางเข้าไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกตัดทิ้ง และโปรแกรมจะเริ่มกลับไปป้อนค่าตัวแปรเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

- เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพไฮดรอลิก (η_h) ว่าอยู่ในช่วง $80 \leq \eta_h \leq 100$ หรือไม่ ถ้าประสิทธิภาพไฮดรอลิกอยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกโปรแกรมนำไปแสดงผลเชิงตัวเลขออกมา แต่ถ้าประสิทธิภาพไฮดรอลิกไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ผลการคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดจะถูกตัดทิ้ง และโปรแกรมจะเริ่มกลับไปป้อนค่าตัวแปรเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

- โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณค่าตัวแปรออกมาทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ได้กลุ่มข้อมูลขนาดของกังหันน้ำที่เหมาะสมออกมา



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำที่เหมาะสม โดยโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ผลการคำนวณออกมาดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะได้แบบกังหันน้ำออกมาจำนวนมาก และในงานวิจัยนี้จะเลือกมา 1 แบบ เพื่อสร้างและทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำ โดยหลักการเลือกมีดังต่อไปนี้

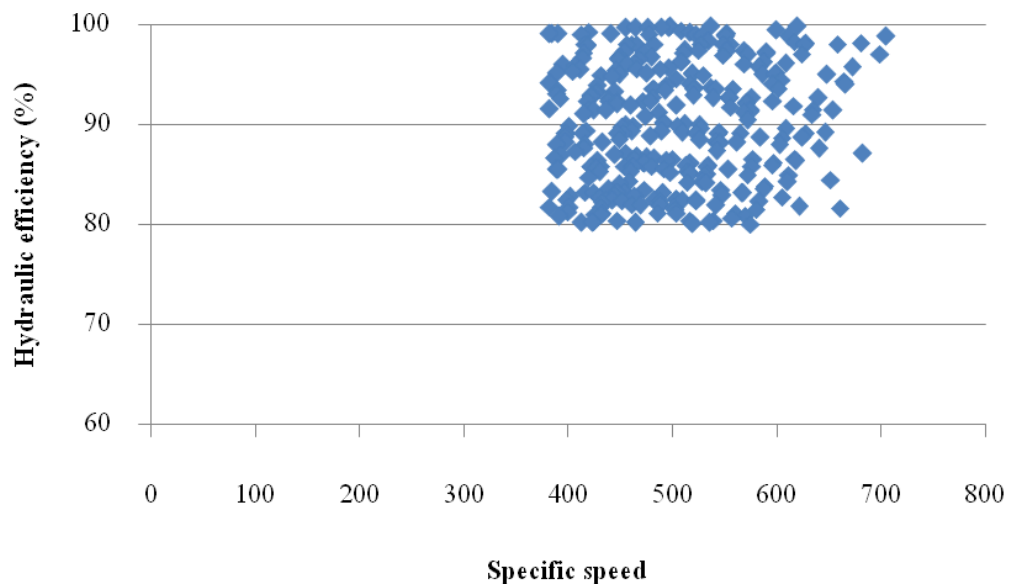
หลักการเลือกแบบกังหันน้ำ

- ในการเลือกแบบกังหันน้ำที่จะนำมาสร้างจะเลือกกังหันน้ำแบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

- เนื่องจากในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบเป็นแบบระบบหมุนวนน้ำ และจะทำการจำลองเหตุการณ์ขึ้นมา โดยใช้ปั๊มน้ำสร้างเสดจำลองขึ้นมา ดังนั้น แบบกังหันน้ำที่จะเลือกมาสร้างควรเป็นกังหันน้ำที่มีอัตราการไหลไม่สูงมากนัก เพื่อที่จะสามารถหาปั๊มน้ำมาทำการทดสอบได้ ซึ่งอัตราการไหลควรมีค่าไม่เกิน $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$

- เนื่องจากข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยีสำหรับการสร้างใบกังหันน้ำ แบบกังหันน้ำที่จะเลือกมาสร้างควรเป็นแบบที่มีความกว้างใบพัดมากๆ ซึ่งความกว้างใบพัดจะสามารถหาได้จากสมการที่ (2.65)

ซึ่งหลังจากได้พิจารณาหลักการเลือกแบบกังหันน้ำแล้วนั้น สามารถเลือกแบบกังหันน้ำที่จะนำมาสร้างได้ดังแสดงในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะกับประสิทธิภาพไฮดรอลิก

ตารางที่ 3.4 ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำที่เหมาะสมจากโปรแกรม

ตัวแปร	ค่า
รัศมีของใบพัด (m)	0.05
รัศมีของคุม (m)	0.02
เสดความสูง (m)	4
อัตราการไหล (m^3/s)	0.03
ความเร็วรอบของใบพัด (rpm)	3,300
ความเร็วเชิงเส้นของใบพัด (m/s)	12.10
ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำตามแนวแกน (m/s)	4.55
ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำที่ทางเข้า (m/s)	5.55
ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำที่ทางออก (m/s)	4.55
ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำที่ทางเข้า (m/s)	10.00
ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำที่ทางออก (m/s)	12.92

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำที่เหมาะสมจากโปรแกรม

ตัวแปร	ค่า
มุมที่น้ำไหลเข้ากังหัน (deg)	55.0
มุมที่น้ำไหลออกจากกังหัน (deg)	90.0
มุมของใบพัดที่ทางเข้า (deg)	27.0
มุมของใบพัดที่ทางออก (deg)	20.6
แรงบิด (N.m)	3.34
กำลังของน้ำที่ให้กังหันน้ำ (W)	1,177.20
กำลังทางกลของกังหันน้ำ (W)	1,155.34
ประสิทธิภาพไฮดรอลิก (%)	98.14
ความเร็วจำเพาะ	627.04
Peripheral-velocity factor	1.37

3.2.2.2 ออกแบบรูปร่างของใบกังหันน้ำ

การออกแบบรูปร่างของใบกังหันน้ำในขั้นตอนนี้ เพื่อที่จะหารูปร่างส่วนโค้งของใบกังหันน้ำที่ตำแหน่งทางเข้าไปจนถึงตำแหน่งทางออก โดยการแบ่งพื้นที่ของใบกังหันน้ำออกเป็น 5 ส่วนตามแนวรัศมี (เนื่องจากกังหันน้ำที่ได้ถูกเลือกนำมาสร้างมีความกว้างของใบพัดเพียง 0.03 m) มีความกว้างส่วนละ dr เท่ากันทุกส่วน (รูปที่ 2.14) และใบกังหันน้ำที่จะสร้างนี้เป็นใบกังหันน้ำแบบส่วนโค้งของวงกลม (รูปที่ 2.21) ที่มีความหนาคงที่เท่ากับ 3 mm เนื่องจากเป็นแบบที่มีความซับซ้อนน้อยจึงสามารถมาสร้างได้ง่าย

การออกแบบรูปร่างของใบกังหันน้ำนั้น จะทำได้โดยการนำผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในตารางที่ 3.4 มาคำนวณหารูปร่างของใบกังหันน้ำต่อไป ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการหารูปร่างของใบกึ่งหันน้ำ

- การหาจำนวนใบกึ่งหันน้ำ

การหาจำนวนใบของกึ่งหันน้ำ (z) นั้น สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะเชิงปริมาตรการไหลกับจำนวนใบกึ่งหัน ดังรูปที่ 2.22 และหาความเร็วจำเพาะเชิงปริมาตรการไหลได้จากสมการที่ (2.76)

ดังนั้น สามารถหาความเร็วจำเพาะเชิงปริมาตรการไหลได้เท่ากับ 202.08 และจำนวนใบกึ่งหันน้ำเท่ากับ 4 ใบ

- การหาความยาวคอर्डของใบกึ่งหันน้ำ

การหาความยาวคอर्डที่แต่ละส่วนของใบกึ่งหันน้ำจะขึ้นอยู่กับค่ารัศมีที่เปลี่ยนไปของตำแหน่งต่างๆ ดังนั้น จะต้องหา dr และรัศมีที่ตำแหน่งต่างๆ ก่อนจากสมการที่ (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

$$\Delta r = \frac{r_t - r_h}{5} \quad (3.2)$$

$$r_i = r_h + (i - 0.5)\Delta r \quad (3.3)$$

เมื่อ Δr คือ ความกว้างของพื้นที่วงแหวนที่ถูกแบ่งแต่ละส่วน, (m)

r_i คือ รัศมีที่ตำแหน่ง i , (m)

i คือ ตำแหน่งของการแบ่งพื้นที่ใบกึ่งหันน้ำ

ดังนั้น สามารถคำนวณหาค่า Δr ได้เท่ากับ 0.006 m และคำนวณหารัศมีที่ทั้ง 5 ส่วนได้ ดังตารางที่ 3.5

สำหรับความยาวคอร์คจะหาจากสัดส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับความยาวคอร์ค (SCR) และระยะช่องว่างระหว่างใบพัด (s) ดังสมการที่ (2.77) ซึ่งสำหรับกังหันน้ำ โดยทั่วไปค่าสัดส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับความยาวคอร์คที่แต่ละส่วนจะมีค่าไม่เท่ากัน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ตำแหน่งคูลไปยังที่ตำแหน่งปลายใบกังหันน้ำ โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนนี้มีการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นเมื่อเทียบกับรัศมีที่เปลี่ยนไป ซึ่งค่าสัดส่วนที่แนะนำที่ตำแหน่งคูลมีค่าเท่ากับ 1.00 และที่ตำแหน่งปลายใบกังหันเท่ากับ 1.30 เพราะฉะนั้น จะสามารถหาสัดส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับความยาวคอร์คที่ตำแหน่งต่างๆ ได้จากสมการที่ (3.4)

$$SCR_i = \left[\left(\frac{1.3-1}{r_t - r_h} \right) (r_i - r_h) \right] + 1 \quad (3.4)$$

เมื่อ SCR_i คือ สัดส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับความยาวคอร์คที่ตำแหน่ง i

ดังนั้น สามารถคำนวณหาสัดส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับความยาวคอร์ค ระยะช่องว่างระหว่างใบพัด และความยาวคอร์ค ได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการคำนวณหาความยาวคอร์คของใบกังหันที่ตำแหน่งต่างๆ

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
r_i (m)	0.023	0.029	0.035	0.041	0.047
SCR	1.03	1.09	1.15	1.21	1.27
s (mm)	36.1	45.6	55.0	64.4	73.8
c (mm)	35.1	41.8	47.8	53.2	58.1

- การหามุมปะทะ ระยะแคมเบอร์สูงสุด และมุมตั้งใบ

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของใบกังหันน้ำที่แต่ละตำแหน่งจากสมการที่ (2.78) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่คำนวณจากสมการนี้เป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ทำการปรับแก้ให้เหมาะสมกับกังหันน้ำแบบหลายใบแล้ว จากนั้นจะทำการเลือกค่าของมุมปะทะและเปอร์เซ็นต์แคมเบอร์ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะกับค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของใบกังหันน้ำในรูปที่ 2.24 โดยค่าของมุมปะทะและเปอร์เซ็นต์แคมเบอร์ที่เลือกนี้จะต้องให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของใบกังหันน้ำเท่ากับที่คำนวณได้ในสมการที่ (2.78) โดยมีหลักการเลือกค่าของมุมปะทะและเปอร์เซ็นต์แคมเบอร์ คือ ค่าของมุมปะทะและเปอร์เซ็นต์แคมเบอร์ที่เหมาะสมควรมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งดุมและค่อยๆ มีค่าลดลงจากที่ตำแหน่งดุมไปยังที่ตำแหน่งปลายใบ และมุมปะทะควรมีค่ามากกว่าศูนย์ด้วย

หลังจากหาค่าของมุมปะทะและเปอร์เซ็นต์แคมเบอร์ได้แล้ว จะนำค่าเหล่านี้ไปหาค่าของระยะแคมเบอร์สูงสุด และมุมตั้งใบ ได้จากสมการที่ (2.79) และ (2.80) ตามลำดับ

ดังนั้น จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของใบกังหันน้ำ มุมปะทะ เปอร์เซ็นต์แคมเบอร์ ระยะแคมเบอร์สูงสุด และมุมตั้งใบที่ส่วนต่างๆ ได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการคำนวณหามุมปะทะ ระยะแคมเบอร์สูงสุด และมุมตั้งใบที่ตำแหน่งต่างๆ

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
β_m (deg)	39.45	29.31	23.41	19.54	16.81
C_L	1.39	0.90	0.64	0.48	0.38
M	0.82	1.02	1.25	1.45	1.59
$C_{L,new}$	1.70	0.88	0.51	0.33	0.24
α (deg)	11.0	3.5	1.0	0.5	0.5
β (deg)	28.45	25.81	22.41	19.04	16.31
%cam (%)	10.0	6.0	4.0	2.8	2.2
cam_{max} (mm)	3.51	2.51	1.91	1.49	1.28

- การหารัศมีส่วนโค้งและมุมของส่วนโค้งของใบก้นน้ำ

หลังจากที่สามารถหาค่าของความยาวคอร์ดและระยะแอมเบอร์สูงสุดได้แล้ว จะสามารถหารัศมีส่วนโค้งของใบก้นน้ำและมุมของส่วนโค้งของใบก้นน้ำได้จากสมการที่ (2.81) และ (2.82) ตามลำดับ

ดังนั้น สามารถหารัศมีส่วนโค้งของใบก้นน้ำและมุมของส่วนโค้งของใบก้นน้ำที่ส่วนต่างๆ ได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณหารัศมีส่วนโค้งของใบก้นน้ำและมุมของส่วนโค้งที่ตำแหน่งต่างๆ

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
R_{arc} (mm)	45.6	88.3	150.4	238.4	330.9
θ_{arc} (deg)	45.24	27.37	18.30	12.82	10.08

- การตรวจสอบการออกแบบ

การตรวจสอบว่าค่าของตัวแปรที่หาค่าได้ทั้งหมดมีความเหมาะสมกับการออกแบบนี้หรือไม่ จะตรวจสอบจากค่า Theta ratio (γ_{the}) และ Exaggeration factor (γ_{exa}) ซึ่งถ้าผลต่างของทั้งสองค่านี้ไม่เกิน 0.1 จะถือว่าค่าของตัวแปรเหล่านี้มีความเหมาะสม โดยที่ Theta ratio จะสามารถหาได้จากสมการที่ (2.83) และ Exaggeration factor จะสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับ Exaggeration factor ดังรูปที่ 2.26

ดังนั้น สามารถหาค่า Theta ratio ค่า Exaggeration factor และผลต่างของค่า Theta ratio และค่า Exaggeration factor ที่ส่วนต่างๆ ของใบก้นน้ำได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ผลการคำนวณหาค่า Theta ratio ค่า Exaggeration factor และผลต่างระหว่างค่า Theta ratio กับค่า Exaggeration factor ที่ตำแหน่งต่างๆ

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
γ_{the}	0.57	0.44	0.35	0.30	0.25
γ_{exa}	0.48	0.40	0.32	0.27	0.22
$ \gamma_{the} - \gamma_{exa} $	0.09	0.04	0.03	0.03	0.03

ดังนั้น จากขั้นตอนการออกแบบรูปร่างของไบกั้นน้ำทั้งหมด จะสามารถสรุปรูปร่างของ ไก้กันน้ำที่แต่ละตำแหน่งได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ผลการคำนวณหารูปร่างของไบกั้นน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
r_i (m)	0.023	0.029	0.035	0.041	0.047
SCR	1.03	1.09	1.15	1.21	1.27
s (mm)	36.1	45.6	55.0	64.4	73.8
c (mm)	35.1	41.8	47.8	53.2	58.1
β_m (deg)	39.45	29.31	23.41	19.54	16.81
$C_{L,new}$	1.70	0.88	0.51	0.33	0.24
α (deg)	11.0	3.5	1.0	0.5	0.5
β (deg)	28.45	25.81	22.41	19.04	16.31
%cam (%)	10.0	6.0	4.0	2.8	2.2
cam _{max} (mm)	3.51	2.51	1.91	1.49	1.28
R _{arc} (mm)	45.6	88.3	150.4	238.4	330.9
θ_{arc} (deg)	45.24	27.37	18.30	12.82	10.08

3.2.3 ออกแบบ Spiral casing

สำหรับ Spiral casing ที่งานวิจัยนี้เลือกใช้จะเป็นแบบชนิดพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เนื่องจากเป็นชนิดที่สามารถสร้างได้ง่าย และมีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการออกแบบ Spiral casing

- การหารัศมีของตำแหน่งที่ติดตั้ง Guide vanes

สำหรับรัศมีของตำแหน่งที่ติดตั้ง Guide vanes นั้น จะกำหนดให้มีความยาวมากกว่ารัศมีของคูลอยู่ 45% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหัน ดังสมการที่ (3.12)

$$r_g = r_t + 0.45d_t \quad (3.5)$$

- การหาความสูงของ Guide vanes

สำหรับการหาความสูงของ Guide vanes นั้นจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหันตามสมการที่ (2.87) ดังนั้น จะสามารถหาความสูงของ Guide vanes ได้จากสมการที่ (3.6)

$$b_0 = 0.45d_t \quad (3.6)$$

- การหาระยะความสูงของการติดตั้งกังหันน้ำ

สำหรับการหาระยะความสูงของการติดตั้งกังหันน้ำ (λ_0) นั้น ควรมีค่าเท่ากับหนึ่งในสี่ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหันตามสมการที่ (2.88)

- การหาความกว้างของพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งใดๆ

เนื่องจากลักษณะรูปร่างของ Spiral casing จะมีลักษณะคล้ายกับก้นหอย คือ มีพื้นที่หน้าตัดลดลงจากขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็กตามแนวเส้นรอบวง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการแบ่ง

พื้นที่หน้าตัดตามแนวเส้นรอบวงออกเป็น 13 ตำแหน่ง และแต่ละส่วนอยู่ห่างกัน 30 deg ดังแสดงในรูปที่ 2.30

สามารถหาพื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งใดๆ ความกว้างของหน้าตัดที่ตำแหน่งใดๆ และรัศมีภายนอกที่ตำแหน่งใดๆ ได้จากสมการที่ (2.90), (2.91) และ (2.92) ตามลำดับ

ดังนั้น จากขั้นตอนการออกแบบ Spiral casing ทั้งหมด จะสามารถสรุปรัศมีของตำแหน่งที่ติดตั้ง Guide vanes, ความสูงของ Guide vanes และระยะความสูงของการติดตั้งกังหันน้ำได้ดังตารางที่ 3.10 และความกว้างของพื้นที่หน้าตัด, พื้นที่หน้าตัด และรัศมีจากจุดศูนย์กลางถึงขอบนอกสุดของ Spiral casing ที่แต่ละตำแหน่งได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.10 ผลการคำนวณหารัศมีของตำแหน่งที่ติดตั้ง Guide vanes ความสูงของ Guide vanes และระยะความสูงของการติดตั้งกังหันน้ำ

ตัวแปร	ค่า
r_g (m)	0.065
b_0 (mm)	45.0
λ_0 (mm)	25.0

ตารางที่ 3.11 ผลการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของ Spiral casing ที่ตำแหน่งใดๆ

ตำแหน่ง	พื้นที่หน้าตัด (mm ²)	ความสูง (mm)	ความกว้าง (mm)	รัศมีภายนอก (mm)
0°	0	45.0	0	6.00
30°	2,980	54.6	54.6	114.6
60°	5,960	77.2	77.2	137.2
90°	8,940	94.6	94.6	154.6
120°	11,920	109.2	109.2	169.2
150°	14,900	122.1	122.1	182.1
180°	17,879	133.7	133.7	193.7
210°	20,859	144.4	144.4	204.4

ตารางที่ 3.11 (ต่อ) ผลการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของ Spiral casing ที่ตำแหน่งใดๆ

ตำแหน่ง	พื้นที่หน้าตัด (mm ²)	ความสูง (mm)	ความกว้าง (mm)	รัศมีภายนอก (mm)
240°	23,839	154.4	154.4	214.4
270°	26,819	163.8	163.8	223.8
300°	29,799	172.6	172.6	232.6
330°	32,779	181.0	181.0	241.0
360°	35,759	189.1	189.1	249.1

3.2.4 ออกแบบ Guide vanes

สำหรับ Guide vanes นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายครีป (รูปที่ 2.27) และคอยทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลเข้าของน้ำให้มีทิศทางตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสร้าง Guide vanes ที่มีทั้งหมด 6 ครีป เนื่องจากเป็นจำนวนที่เหมาะสมกับขนาดของกังหันน้ำ

โดยในขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหามุมของ Guide vanes (α_w) และความกว้างของ Guide vanes (b_g) ซึ่งจะสามารถหาได้จากสมการที่ (2.84) และ (2.85) ตามลำดับ ส่วนความสูงของ Guide vanes (b_o) ได้หาไปแล้วในขั้นตอนการออกแบบของ Spiral casing โดยมีค่าเท่ากับ 4.50 cm

ดังนั้น จะสามารถหาค่ามุมของ Guide vanes และความกว้างของ Guide vanes ได้ดังตารางที่

3.12

ตารางที่ 3.12 ผลการคำนวณหามุมและความกว้างของ Guide vanes

ตัวแปร	ค่า
α_w (deg)	46.60
b_g (m)	0.015

3.2.5 จัดหาสถานที่สำหรับการทดสอบ

เนื่องจากการหาสถานที่จริงสำหรับการทดสอบที่เสถียรสูงไม่เกิน 4 m นั้นค่อนข้างหาสถานที่ทำการทดสอบยาก และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดสอบค่อนข้างสูง ดังนั้น ในการทดสอบในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบโดยใช้ระบบหมุนวนน้ำและจำลองเสถียรชาติขึ้นมา โดยอาศัยปั๊มน้ำ 3 ตัว ซึ่งประกอบด้วยขนาด 5.5 kW จำนวน 1 ตัว และ 7.5 kW จำนวน 2 ตัว โดยจะนำมาต่อแบบขนานกัน เพื่อเพิ่มอัตราการไหลให้มีค่าสูงขึ้น และจะทำการสร้าง ติดตั้ง และทดสอบที่อาคารโรงฝึกงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2.6 จัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เลือกนำมาใช้งานในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 1,000W ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm และประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 50% ดังแสดงในรูปที่ 3.4

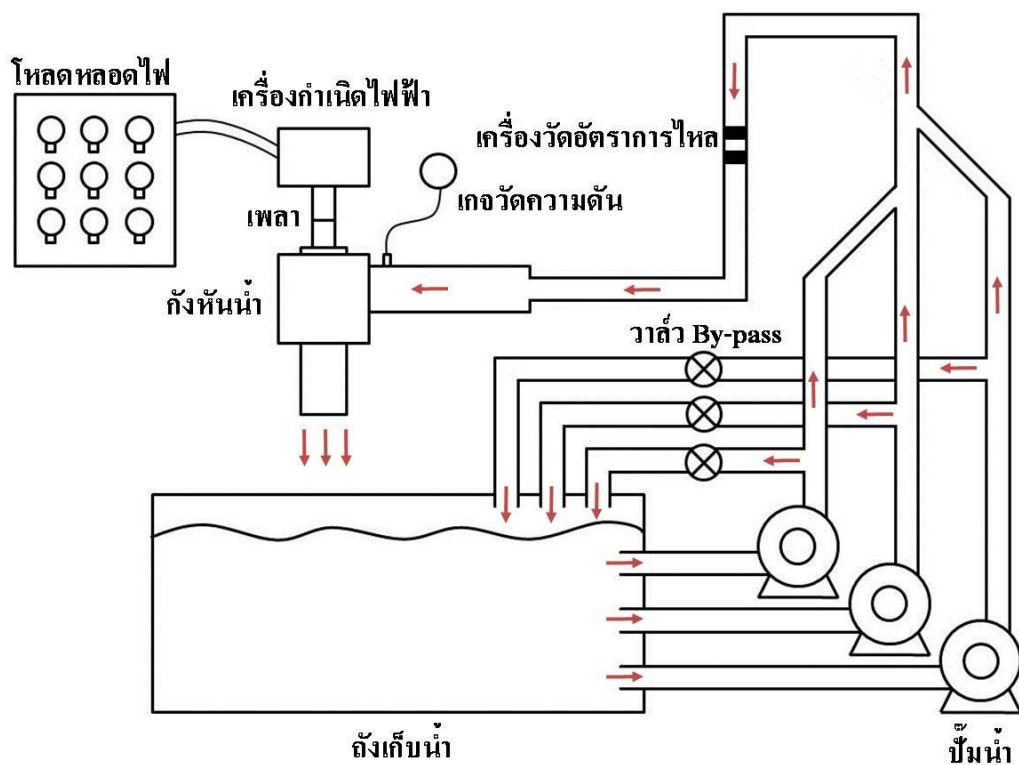


รูปที่ 3.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 1,000W

3.2.7 สร้างชุดทดสอบ

สำหรับชุดทดสอบที่จะทำการสร้างนี้ เป็นชุดทดสอบแบบระบบหมุนวนน้ำและจำลองสร้างเสถียรชาติขึ้นมาโดยใช้ปั๊มน้ำจำนวน 3 ตัว ต่อกันแบบขนาน ซึ่งจะสามารถควบคุมเสถียรสูง

ได้โดยการควบคุมความดันก่อนเข้ากังหันน้ำด้วยวิธีการปรับวาล์ว By-pass ของปั้มน้ำแต่ละตัว และเมื่อน้ำไหลออกจากกังหันน้ำแล้วก็จะไหลกลับสู่ถังเก็บน้ำเช่นเดิม ส่วนระบบส่งกำลังจะใช้เพลาคู่โดยตรงระหว่างกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจะเชื่อมต่อโหลดหลอดไฟเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกหนึ่ง ซึ่งรายละเอียดแผนผังชุดทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 และขั้นตอนการสร้างชุดทดสอบมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 แผนผังการสร้างชุดทดสอบกังหันน้ำ

ขั้นตอนการสร้างชุดทดสอบ

- สร้างโครงชุดทดสอบ

โครงสร้างชุดทดสอบนี้ทำจากเหล็กกล่องขนาด $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ in ความหนา 3.2 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งจะนำมาเชื่อมกันเป็นโครงสร้างสี่เหลี่ยมเพื่อรองรับการติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.6 เหล็กกล่องขนาด $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ in

- ติดตั้งถังเก็บน้ำ ป้อนน้ำ และท่อส่งน้ำ

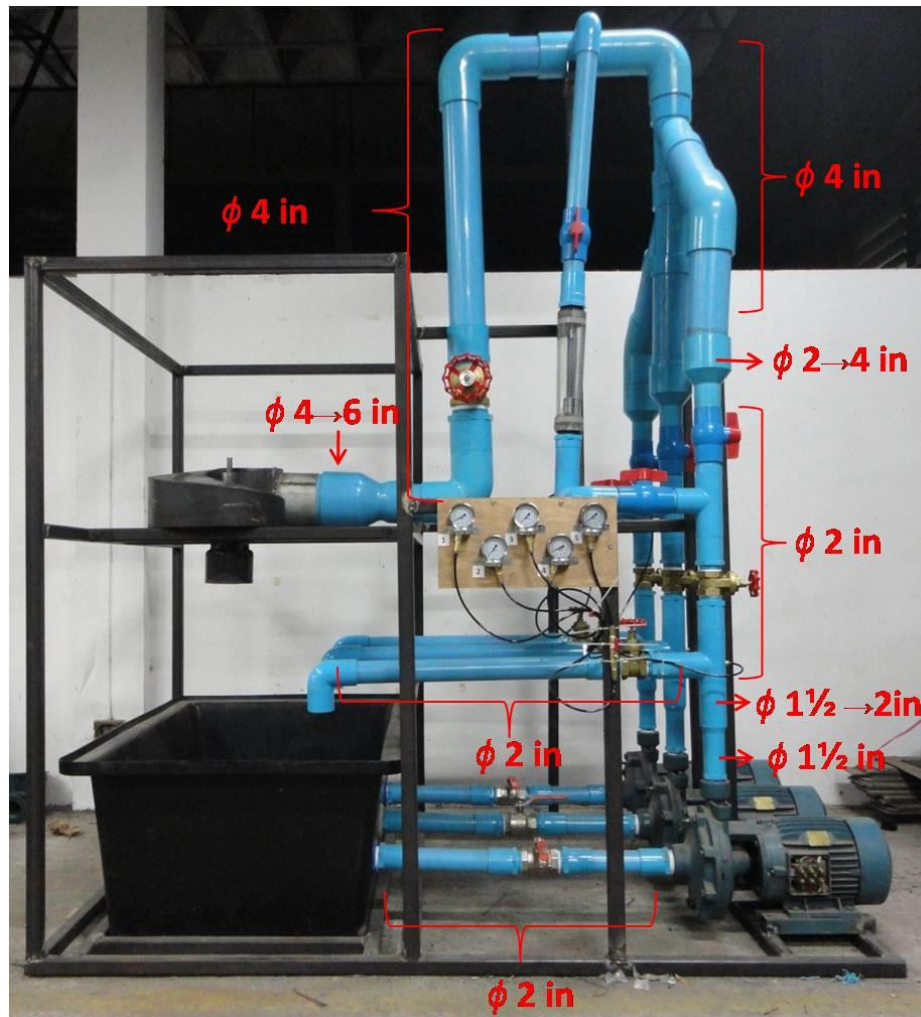
สำหรับถังเก็บน้ำที่เลือกใช้งานเป็นถังเก็บน้ำขนาด 500 liters ซึ่งได้เจาะรูขนาด 2 in จำนวน 3 รู เพื่อใช้เชื่อมต่อเข้ากับปั้มน้ำทั้ง 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.7 หลังจากนั้นจะนำมาประกอบเข้ากับ โครงชุดทดสอบดังรูปที่ 3.8

สำหรับการติดตั้งปั้มน้ำนั้นจะติดตั้งเป็นแบบขนานกัน 3 ตัว ซึ่งประกอบด้วยปั้มน้ำ 5.5 kW จำนวน 1 ตัว ปั้มน้ำ 7.5 kW จำนวน 2 ตัว โดยจะติดตั้งให้ตัว 5.5 kW อยู่ตรงกลาง ดังรูปที่ 3.9

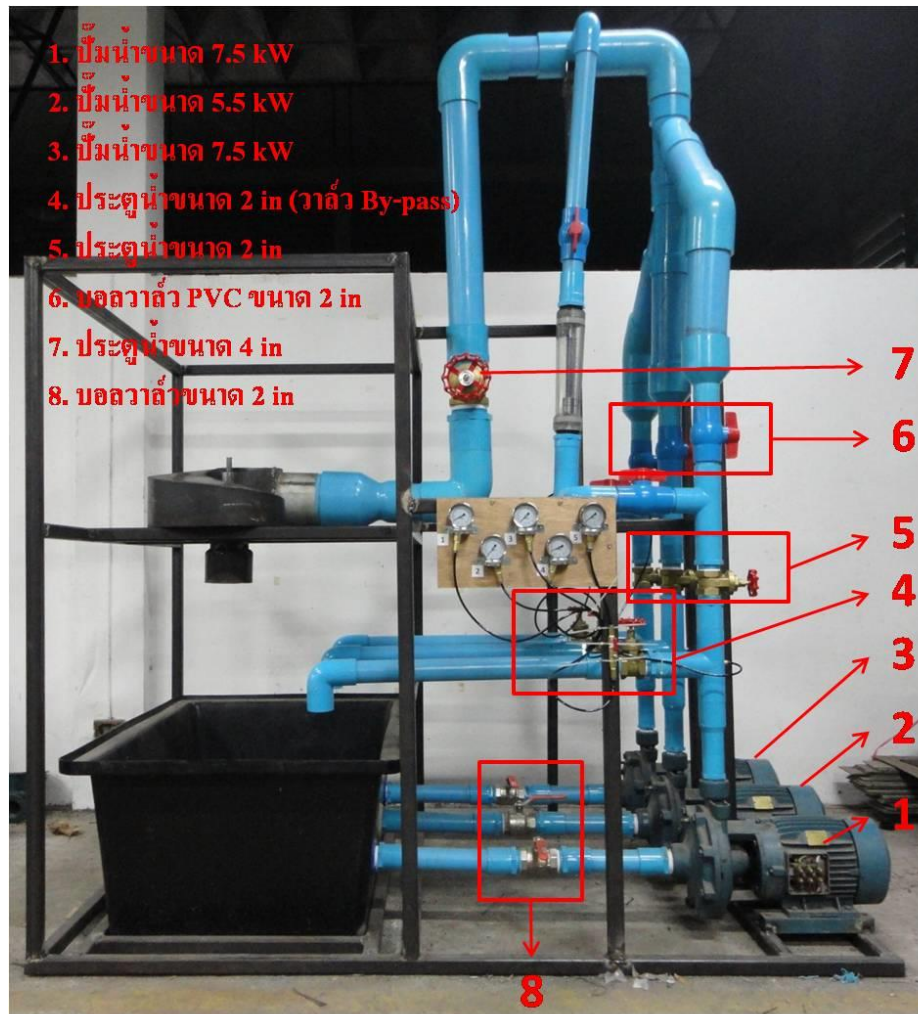
สำหรับท่อส่งน้ำนั้น ขนาดและตำแหน่งของการติดตั้ง ได้แสดงดังรูปที่ 3.8 ส่วนตำแหน่งของ วาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ ได้แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.7 ถังเก็บน้ำพลาสติกขนาด 500 liters



รูปที่ 3.8 ขนาดและตำแหน่งของท่อส่งน้ำ



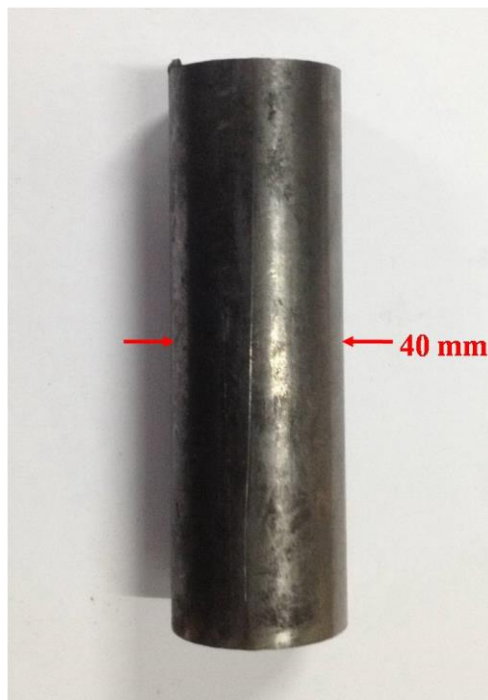
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของอุปกรณ์วาล์วต่างๆ

- สร้างใบกังหันน้ำ

สำหรับใบกังหันน้ำจะสร้างจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm จากนั้นจะตัดตามขนาดในตารางที่ 3.9 เป็นจำนวน 4 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากนั้นก็จะทำการบิดรูปให้ได้มุมและส่วนโค้งตามตารางที่ 3.9 ส่วนตัวคัมจะใช้เป็นเหล็กตันนำมากลึงให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 40 mm ดังแสดงในรูป 3.11 สุดท้ายจะนำใบกังหันมาเชื่อมติดกับคัมและฟนีสี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 เหล็กแผ่นสำหรับสร้างใบกังหันน้ำ



รูปที่ 3.11 เหล็กตันสำหรับสร้างเป็นดุม



รูปที่ 3.12 คู่มือและใบกังหันน้ำ

- สร้าง Guide vanes

สำหรับ Guide vanes นั้นจะสร้างตามแบบในตารางที่ 3.12 โดยจะใช้เหล็กแผ่นหนาขนาด 5 mm นำมาตัดดังรูปที่ 3.13 จากนั้น ตัดครึ่งจำนวน 6 ครึ่ง แล้วนำมาเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กในรูปที่ 3.13 โดยทำมุม 46.6° และเว้นระยะห่างแต่ละครึ่งเท่าๆ กัน จากนั้นกลึงส่วนที่ยื่นเกินออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แล้วเชื่อมต่อเหล็กกลึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 mm ความยาว 150 mm ติดกับด้านล่างของ Guide vanes (ท่อเหล็กส่วนนี้จะเป็นตัวเรือนของกังหันน้ำ) หลังจากนั้นเชื่อมต่อเหล็กกลึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 13 mm ความยาว 50 mm ติดกับด้านบนของ Guide vanes (ท่อเหล็กส่วนนี้จะเป็นข้อต่อสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่ด้านบนกังหันน้ำอีกทีหนึ่ง) ดังแสดงในรูปที่ 3.15 สุดท้ายติดตั้งลูกปืนแบบเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm เข้าไปในท่อเหล็กด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 3.16



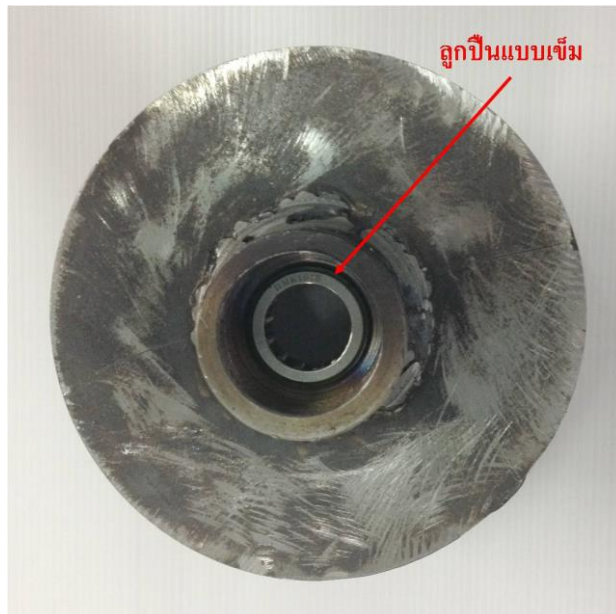
รูปที่ 3.13 เหล็กแผ่นสำหรับสร้าง Guide vanes



รูปที่ 3.14 Guide vanes



รูปที่ 3.15 Guide vanes



รูปที่ 3.16 การติดตั้งลูกปืนแบบเข็ม

- สร้าง Spiral casing

สำหรับการสร้าง Spiral casing จะใช้เหล็กแผ่นหนา 3 mm มาตัดและเชื่อมติดกันตามแบบในตารางที่ 3.10 และ 3.11 และจะเชื่อมต่อด้วยท่อกลมอลูมิเนียมขนาด 6 in ที่ทางเข้าของ Spiral casing เพื่อใช้เป็นข้อต่อสำหรับเชื่อมต่อกับชุดท่อส่งน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 Spiral casing

- เชื่อม Guide vanes ติดกับ Spiral casing

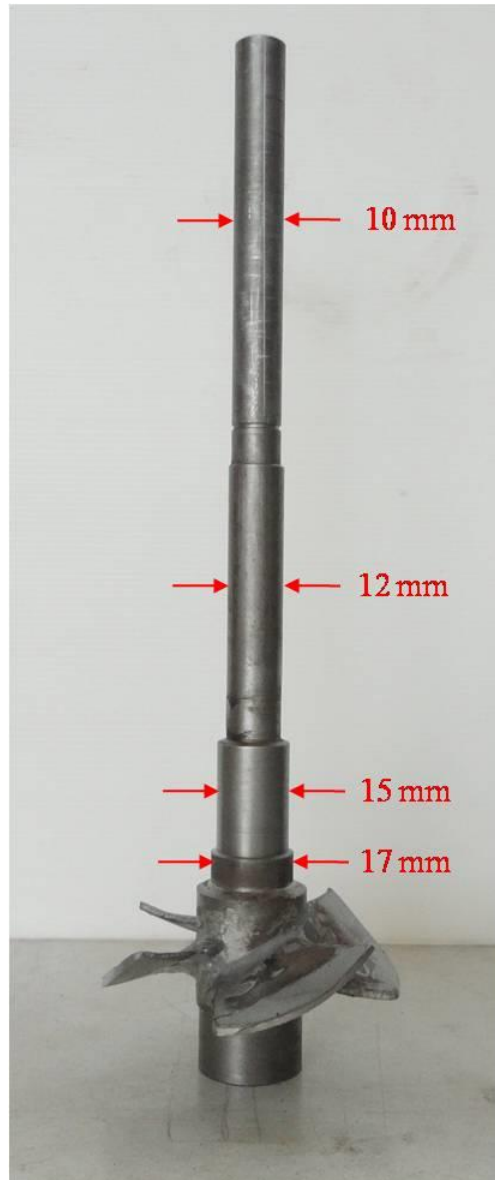
หลังจากสร้าง Guide vanes และ Spiral casing เสร็จแล้ว จากนั้นจะนำ 2 ชิ้นส่วนมาเชื่อมประกอบติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.18 หลังจากนั้นจะนำไปประกอบเชื่อมต่อกับระบบท่อส่งน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.18 การเชื่อมประกอบ Guide vanes กับ Spiral casing

- ประกอบชุดใบกังหันน้ำเข้ากับ Guide vanes

นำชุดใบกังหันน้ำมากลึงเพลาลให้มีขนาดดังรูปที่ 3.19 และนำซีลกันรั่ว (ซีลกันรั่วใช้เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในปั้มน้ำ) ประกอบเข้าไปในเพลากังหันน้ำตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 mm ดังรูปที่ 3.20 หลังจากนั้นเจาะรูขนาด 7 mm ที่ปลายเพลาล (ไว้สำหรับประกอบเข้ากับเพลาลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) แล้วนำไปประกอบติดตั้งกับ Guide vanes และติดตั้งลูกปืนแบบตลับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm ดังแสดงรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.19 เพลากังหันน้ำ



รูปที่ 3.20 การติดตั้งซีลกันรั่ว



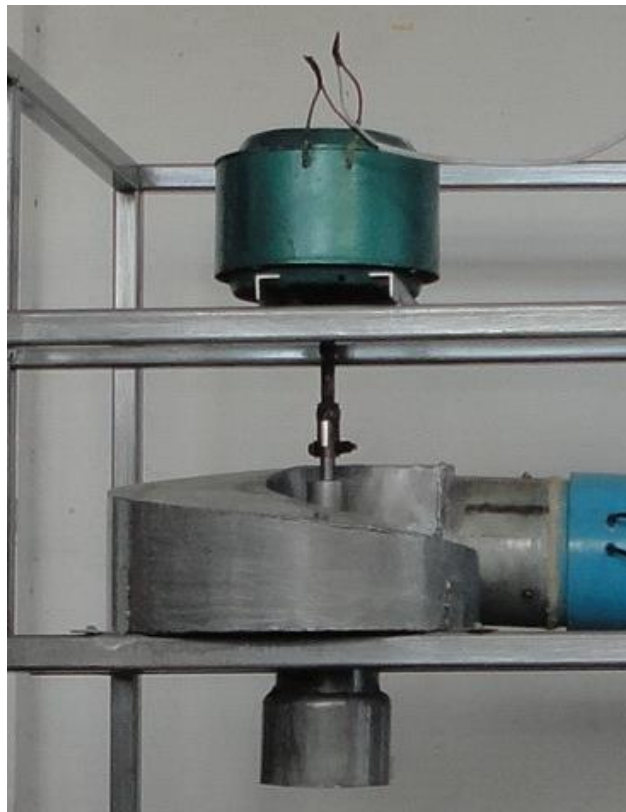
รูปที่ 3.21 การติดตั้งใบกั้นน้ำเข้ากับ Guide vanes

- ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกติดตั้งให้เชื่อมต่อกับเพลลาของกังหันน้ำ โดยการยึดด้วยสกรู ตัวผู้และตัวเมีย ดังรูปที่ 3.22 และลักษณะของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 เพลลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเพลากังหันน้ำ



รูปที่ 3.23 การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- ติดตั้งเกจวัดความดัน

ในชุดทดสอบจะวัดความดันทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ ขาออกของปั๊มทั้ง 3 ตัวๆ ละ 1 ตำแหน่ง และที่ตำแหน่งก่อนเข้า Spiral casing อีก 1 ตำแหน่ง โดยเกจวัดความดันที่ติดตั้งเป็นขนาด 1 kg/cm^2 ซึ่งการติดตั้งเกจวัดความดันนี้จะอาศัยอุปกรณ์ของระบบ Pneumatic ดังแสดงในรูปที่ 3.24 และจะขันเกลียวของอุปกรณ์ข้อต่อยึดติดกับผนังท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 เกจวัดความดันและอุปกรณ์ระบบ Pneumatic



รูปที่ 3.25 การติดตั้งสายวัดความดัน

- สร้างโหลดหลอดไฟ

โหลดหลอดไฟที่สร้างขึ้นมาสำหรับการทดสอบมีขนาด 20 หลอด ซึ่งแต่ละหลอดจะมีสวิตช์ควบคุมแยกกัน ดังรูปที่ 3.26 โดยโหลดที่เลือกมาใช้ทดสอบเป็นหลอดไฟสำหรับกระแสไฟฟ้าสลับ 1 เฟส (Incandescent lamp) ขนาด 15 W, 25 W, 40 W, 60 W และ 100 W ซึ่งหลอดไฟประเภทนี้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท Linear load มีค่า Power factor เท่ากับ 1 (Leonics Co., Ltd., 2011) โดยในการทดสอบจะทำการเชื่อมต่อโหลดหลอดไฟเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.26 แผงโหลดหลอดไฟ

3.2.8 ทดสอบ

วิธีการทดสอบนี้จะเป็นการจำลองสภาวะจริงขึ้นมา โดยการจำลองเฮดธรรมชาติขึ้นมาโดยใช้ปั้มน้ำ และจะควบคุมเฮดความสูงในการทดสอบได้โดยการควบคุมความดันก่อนเข้ากังหันน้ำ ซึ่งชุดทดสอบกังหันน้ำแสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ชุดทดสอบกังหันน้ำ

3.2.8.1 อุปกรณ์การทดสอบ

- ชุดทดสอบกังหันน้ำ
- หลอดไฟขนาด 15 W, 25 W, 40 W, 60 W และ 100 W
- เครื่องมือวัดความเร็วรอบอินฟาเรด ยี่ห้อ Digicon รุ่น DT-240P ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 2\%$ (รูปที่ 3.28)

- เครื่องมือวัด Mutimeter ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT203 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 2\%$ สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า และ $\pm 0.8\%$ สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า (รูปที่ 3.29)
- เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิด อัลตราโซนิก ยี่ห้อ Panametrics Transport รุ่น Pt868 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 2\%$ (รูปที่ 3.30) สำหรับเครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิด อัลตราโซนิกนี้ ได้รับความอนุเคราะห์ให้ยืมใช้ทดสอบจากการประสานงานภูมิภาค เขต 9



รูปที่ 3.28 เครื่องมือวัดความเร็วรอบอินฟราเรด



รูปที่ 3.29 เครื่องมือวัด Multimeter



รูปที่ 3.30 เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิด อัลตราโซนิก

3.2.8.2 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ระดับเสถียรภาพสูง 4 เมตร ซึ่งจะสามารถควบคุมเสถียรภาพสูงได้โดยการควบคุมความดันก่อนเข้าถังให้น้ำให้มีค่าเท่ากับ 0.4 kg/cm^2 รูปที่ 3.31 แสดงรูปขณะทำการทดสอบ และสำหรับขั้นตอนการทดสอบมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทดสอบถังกักน้ำ

1. ติดตั้งหัววัดอัตราการไหล (รูปที่ 3.31) และเครื่องวัดอัตราการไหล
2. เติมน้ำลงในถังเก็บน้ำให้เต็ม
3. ปิดวาล์ว By-pass ทั้งหมด (รูปที่ 3.31)
4. เปิดปั๊มน้ำทั้ง 3 ตัว
5. ปรับวาล์ว By-pass จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่ควรเกิน 290 V เนื่องจากถ้าเกิน 290 V จะทำให้หลอดไฟขาดได้
6. เริ่มเปิดโหลดหลอดไฟ 140 W

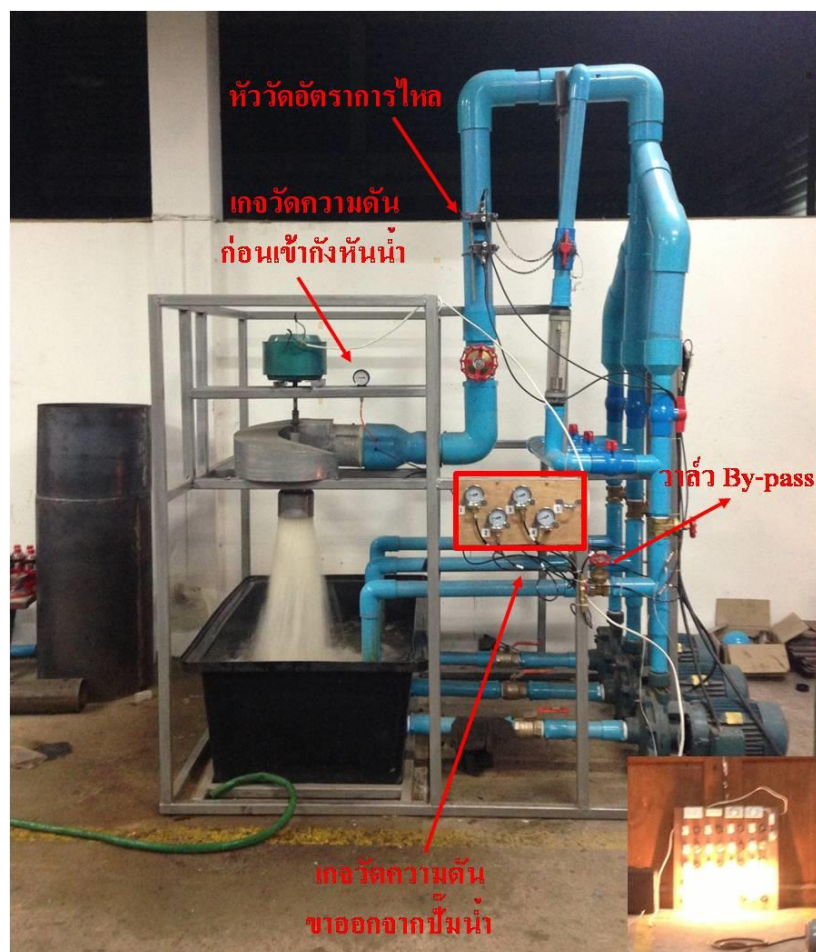
7. ปรับวาล์ว By-pass (วาล์วหมายเลข 4 ในรูปที่ 3.9) จนกระทั่งความดันก่อนเข้ากังหันน้ำมีค่าเท่ากับ $0.4 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ (เกจวัดความดันก่อนเข้ากังหันน้ำแสดงดังรูปที่ 3.31)

8. วัดความเร็วรอบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วรอบอินฟาเรด บริเวณเพลลาที่เชื่อมต่อระหว่างกังหันน้ำกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

9. วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของโหลดหลอดไฟ โดยใช้เครื่องมือวัด Multimeter

10. วัดอัตราการไหลจากเครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิด อัลตราโซนิก

11. จากนั้นทำซ้ำข้อ 5 – 10 แต่เปลี่ยนโหลดหลอดไฟในข้อ 6 เป็น 180 W, 230 W 280 W และ 330 W



รูปที่ 3.31 การทดสอบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

3.2.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะวิเคราะห์ 2 แบบ คือ วิเคราะห์ทางวิศวกรรมศาสตร์และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

3.2.9.1 วิเคราะห์ทางวิศวกรรมศาสตร์

การวิเคราะห์ทางวิศวกรรมศาสตร์จะนำผลการทดลองมาหาค่ากำลังของน้ำที่ให้แก่งกั้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ กำลังทางกลที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพทางกล และประสิทธิภาพโดยรวมของ กังหันน้ำ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

3.2.9.2 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะวิเคราะห์หาต้นทุนการผลิต มูลค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้ และ อัตราผลตอบแทนของโครงการ