

การศึกษาผลกระทบของโซลิตีและระดับการจมน้ำของใบพาย
ต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ



มุฮัมมัดคอยรี หะยีบากา

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

การศึกษาผลกระทบของโซลิตีและระดับการจมน้ำของใบพาย
ต่อสมรรถนะของกั้งหันน้ำแบบหลุกต่ำ



มุฮัมมัดคอยรี หะยีบากา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาผลกระทบของโซลิตีและระดับการจมน้ำของใบพาย
ต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

มูฮัมมัดคอยรี หนะยีบากา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัฐศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพาย ต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ
ชื่อผู้เขียน	นายมุฮัมมัดคอยรี หะยีบากา
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อคุณลักษณะการทำงานและประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายเรียบ โดยใบพายของกังหันมีความกว้าง 6 cm ยาว 30 cm และหนา 3 mm ทำการทดสอบกังหันน้ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิดที่ค่าโซลิติตีจำนวน 8 ค่า ประกอบด้วย 0.27 0.30 0.32 0.34 0.38 0.40 0.42 และ 0.43 และที่ระดับการจมน้ำของใบพายจำนวน 5 ค่า ได้แก่ 1.5 3 4.5 6 และ 6.6 cm ในระหว่างการทำทดสอบทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า คือ 0.0028 0.0034 0.0039 0.0044 และ 0.0048 m^3/s จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพาย กับ อัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ผลการศึกษาพบว่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าโซลิติตีมากขึ้นในช่วง 0.32-0.40 และลดลงที่โซลิติตี 0.42 โดยที่โซลิติตี 0.32 ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 20.08% ซึ่งมีค่าอัตราเร็วรอบ แรงบิด และสัมประสิทธิ์แรงบิดเท่ากับ 3.62 rpm 0.0081 N-m และ 16.91% ตามลำดับ ทั้งนี้สัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้น แต่กลับลดลงเมื่อระดับการจมน้ำสูงกว่าความสูงใบพาย โดยที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย หรือเท่ากับ 6 cm ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด

คำสำคัญ : กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โซลิติตี ระดับการจมน้ำของใบพาย สัมประสิทธิ์กำลัง

Title	EFFECTED STUDY OF SOLIDITY AND PADDLE SUBMERGED LEVEL ON PERFORMANCE OF UNDERSHOT WATER WHEEL
Author	Mr. Muhammadkhoiri Hayibaka
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Dr. Rotjapun Nirunsin

ABSTRACT

The objective of this thesis was to study the effect of solidity and water-submerged level on characteristics and mechanical efficiency of undershot water wheel with flat plate blade. Each blade had a surface area of 6 cm (W) x 30 cm (L) x 3 mm (T). The experiment was conducted on the open flow water tunnel at solidity of 0.27, 0.30, 0.32, 0.34, 0.38, 0.40, 0.42, and 0.43. Water-submerged levels were 1.5, 3, 4.5, 6, and 6.6 cm. The water wheel was tested at water flow rates of 0.0028, 0.0034, 0.0039, 0.0044, and 0.0048 m³/s. After which, the relationship was analyzed between solidity and water-submerged level with rotation speed, torque, power coefficient, and torque coefficient. It was found that increased power coefficient occurred when the higher solidity was 0.32-0.40 and decreased at solidity of 0.42. Solidity value at 0.32 gave the best result, resulting in maximum power coefficient of 20.08%. Rotation speed, torque, and torque coefficient were 3.62 rpm, 0.0081 N-m and 16.91%, respectively. The power coefficient increased when with water-submerged level was higher. In the other hand it decreased when water-submerged level was higher than blade height. Maximum power coefficient was achieved with water-submerged level of 100% and blade height of 6 cm.

Keyword : Undershot water wheel, Solidity, Water-submerge level, Power coefficient

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุน และได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รจพรธม นิรัญศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก พร้อมด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ ไชยชนะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูรัตน์ ธารารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา คำชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริสุข จินดารักษ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ ทำให้เกิดความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณโครงการอุโมงค์น้ำแบบเปิดสำหรับการทดสอบทางด้านชลศาสตร์และพลังงาน และสัมปสิทธิ์อิฐตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นที่สนับสนุนอุโมงค์น้ำสำหรับการทดลอง

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ วิทยาลัยพลังงานทดแทนทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

มุฮัมมัดคอยรี หะยีบาภา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาคผนวก.....	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
พลังงานน้ำ	5
1. วัฏจักรของน้ำ	5
2. ประเภทของพลังงานน้ำ	6
3. การใช้ประโยชน์จากพลังงานน้ำ.....	9
การพัฒนาไฟฟ้าพลังงานน้ำของประเทศไทย	10
โรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	11
1. องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	12

2. รูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	12
กังหันน้ำ	15
1. กังหันน้ำประเภทแรงกระแทก.....	15
2. กังหันน้ำประเภทแรงสะท้อน	17
3. กังหันน้ำแบบหลุก.....	19
ความสูงของหัวน้ำ.....	22
การไหลของน้ำทางน้ำไหลแบบเปิด.....	22
การตรวจวัดอัตราการไหลของแหล่งน้ำ.....	23
1. การวัดอัตราการไหลโดยใช้ภาชนะตวง.....	23
2. วิธีการใช้ฝายวัดน้ำ.....	24
3. วิธีประมาณจากอัตราเร็วด้านบนสุดของน้ำ.....	25
โวลิติตี	25
ความหนาแน่น.....	26
แรงและแรงบิดที่กระทำต่อใบพาย.....	27
พลังงานและกำลังของน้ำ.....	28
สัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์แรงบิด	29
อัตราส่วนความเร็วปลายใบ	30
การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน.....	30
การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ.....	31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	39
ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยเบื้องต้น	39
การออกแบบ และสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ	39
อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	42

1. อุโมงค์น้ำและส่วนประกอบต่างๆ	42
2. อุปกรณ์ที่ใช้สร้างและติดตั้งกังหันน้ำ	45
3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าต่างๆ	48
วิธีการดำเนินการทดลอง	51
1. การติดตั้งชุดการทดลอง	51
2. การทดสอบกังหันน้ำ	52
3. การตรวจวัดค่าต่างๆ	53
การวิเคราะห์ผลการทดลอง	54
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	56
ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ	56
อิทธิพลของจำนวนใบพาย	56
1. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่ออัตราเร็วรอบ	57
2. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่อแรงบิด	58
3. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่อสัมประสิทธิ์กำลัง	59
4. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด	60
อิทธิพลของรัศมีกังหัน	61
1. อิทธิพลของรัศมีกังหันต่ออัตราเร็วรอบ	61
2. อิทธิพลของรัศมีกังหันต่อแรงบิด	62
3. อิทธิพลของรัศมีกังหันต่อสัมประสิทธิ์กำลัง	62
4. อิทธิพลของรัศมีกังหันต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด	63
อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพาย	64
1. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่ออัตราเร็วรอบ	64
2. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อแรงบิด	65
3. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อสัมประสิทธิ์กำลัง	66

4. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด	67
อิทธิพลของโซลิติตี.....	68
1. อิทธิพลของโซลิติตีต่ออัตราเร็วรอบ.....	68
2. อิทธิพลของโซลิติตีต่อแรงบิด	69
3. อิทธิพลของโซลิติตีต่อสัมประสิทธิ์กำลัง	70
4. อิทธิพลของโซลิติตีต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด	70
5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับค่าต่างๆ.....	72
แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหัน.....	73
1. ระดับการจมน้ำของใบพาย 25%	73
2. ระดับการจมน้ำของใบพาย 50%	73
3. ระดับการจมน้ำของใบพาย 75%	74
4. ระดับการจมน้ำของใบพาย 100%.....	75
5. ระดับการจมน้ำของใบพาย 110%.....	75
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำ.....	76
1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราเร็วรอบ.....	78
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแรงบิด	78
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์กำลัง.....	78
4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์แรงบิด.....	78
5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกำลังที่เพลลา	80
ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ	84
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	85
สรุปผลการวิจัย.....	85
ข้อเสนอแนะ	86
บรรณานุกรม.....	87

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	92
ภาคผนวก ข แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง	98
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	102
ภาคผนวก ง ประมวลภาพการทดลองกั้นน้ำแบบหลุกต่ำ.....	108
ภาคผนวก จ ประมวลแผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกั้น.....	117
ภาคผนวก ฉ บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ.....	123
ประวัติผู้วิจัย.....	137



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วงไตรมาสแรกของปี 2561	1
2.1 วัฏจักรของน้ำ.....	6
2.2 ลักษณะการทำงานของพลังงานน้ำจากเขื่อน	7
2.3 ลักษณะการทำงานของพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง.....	8
2.4 ลักษณะของพลังงานคลื่น	9
2.5 เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก.....	10
2.6 รูปแบบการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ	13
2.7 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run of the river.....	14
2.8 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ	14
2.9 กังหันน้ำแบบแวงกี.....	16
2.10 กังหันน้ำแบบเพลตัน	16
2.11 กังหันน้ำแบบเทอร์โบ.....	17
2.12 กังหันแบบน้ำฟรานซิส.....	18
2.13 กังหันน้ำแบบคาปลาน.....	18
2.14 กังหันน้ำแบบเดเรียซ	19
2.15 (ก) กังหันน้ำแบบหลุกสูง (ข) หลักการทำงาน.....	20
2.16 (ก) กังหันน้ำแบบหลุกกลาง (ข) หลักการทำงาน.....	21
2.17 (ก) กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (ข) หลักการทำงาน.....	21
2.18 แสดงพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำผ่านฝายในรูปแบบต่างๆ	23
2.19 วิธีการใช้ฝายวัดน้ำ	24

2.20 แสดงอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพื้นที่ใบพายในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำกับพื้นที่กวาดของใบพาย.....	26
2.21 กระบวนการแปลงกำลังของน้ำเป็นกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ	31
3.1 ลักษณะใบพายแบบแผ่นเรียบและกังหันน้ำแบบหลุกต๋ำ	39
3.2 ลักษณะกังหันน้ำที่จำนวนใบพายต่างๆ	40
3.3 ลักษณะกังหันน้ำที่รัศมีกังหันต่างๆ	41
3.4 ลักษณะอุโมงค์น้ำแบบเปิด.....	42
3.5 รางน้ำ.....	42
3.6 บั๊มน้ำ	43
3.7 รังผึ้ง	43
3.8 ถังเก็บน้ำ	44
3.9 ท่อน้ำ PVC	44
3.10 วาล์วน้ำ.....	44
3.11 ฝายน้ำล้นแบบสันหนา.....	45
3.12 แผ่นพลาสติกอะคริลิกใส	45
3.13 สแตนเลส.....	46
3.14 มุ่เลย์.....	46
3.15 แบร่ริง	47
3.16 ตัวปรับระดับการจมน้ำ.....	47
3.17 โหลดเซลล์.....	48
3.18 ลูกป้อน.....	48
3.19 เชือก.....	49
3.20 เครื่องวัดอัตราเร็วรอบ	49
3.21 ดาตาลอกเกอร์	50

3.22 นาฬิกาจับเวลา.....	50
3.23 สายเทอร์โมคัปเปิล	51
3.24 แผนภาพการติดตั้งชุดวัดแรงบิด	51
3.25 การติดตั้งกังหันน้ำและชุดวัดแรงบิดในอุโมงค์น้ำแบบเปิด.....	52
3.26 การทดสอบกังหันน้ำ.....	52
3.27 แสดงระดับการจมน้ำของใบพาย	53
3.28 การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ.....	54
3.29 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	55
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	57
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	58
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	59
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	60
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	61
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	62
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	63
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	64
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ .	65
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	66
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำ ต่างๆ	67
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำ ต่างๆ	68
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	69
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	70

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	71
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ	71
4.17 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 25%	73
4.18 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 50%	74
4.19 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 75%	74
4.20 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 100%.....	75
4.21 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 110%.....	75
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์กำลัง ที่โซลิติตีและอัตราการไหลของน้ำต่างๆ	79
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์แรงบิด ที่โซลิติตีและอัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	79
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกต๋ากับอัตราการไหลของน้ำต่างๆ.....	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงสถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	2
2.1 ความสูงของหัวน้ำและประสิทธิภาพการทำงานของกังหันแต่ละชนิด	22
2.2 แสดงความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0-100 °C.....	27
4.1 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ.....	56
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพาย รัศมีกังหัน โซลิติตี และค่าต่างๆ จากการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m/s ³ และระดับการจมน้ำของใบพาย 100%.....	72
4.3 แสดงข้อมูลค่าที่ได้จากการทดลองของอัตราเร็วรอบ แรงบิด กำลังของน้ำ กำลังที่เพลาสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ที่โซลิติตีและอัตราการไหลของน้ำต่างๆ (ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย).....	76
4.4 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราเร็วรอบ แรงบิด กำลังที่เพลาสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ที่โซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำต่างๆ (ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย).....	81

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวก	หน้า
ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	92
ข แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง.....	98
ค ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	102
ง ประมวลภาพการทดลองกักกันน้ำแบบหลุกต่ำ.....	108
จ ประมวลแผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกักกัน	117
ฉ บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ	123



อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ผลรวมของพื้นที่ใบพายในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ	(m ²)
A	พื้นที่ของใบพายที่น้ำไหลมาปะทะ	(m ²)
A _B	พื้นที่กวาดของใบพาย	(m ²)
A _w	พื้นที่หน้าตัดของรางน้ำที่น้ำไหลผ่าน	(m ²)
C _d	สัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ไหลข้ามฝาย	(%)
C _p	สัมประสิทธิ์กำลัง	(%)
C _T	สัมประสิทธิ์แรงบิด	(%)
E	ค่าที่ได้จากการทดลอง	-
E _k	พลังงานจลน์ของน้ำ	(J)
F	แรงที่กระทำต่อใบพาย	(N)
h	ความสูงใบพาย	(m)
H	ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย	(m)
L	ความยาวใบพาย	(m)
m	มวลของวัตถุ	(kg)
ṁ	อัตราการไหลเชิงมวล	(kg/s)
M	ค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	-
n	จำนวนข้อมูล	-
N	อัตราเร็วรอบ	(rpm)
P _E	กำลังไฟฟ้า	(W)
P _S	กำลังที่เพลลา	(W)
P _w	กำลังของน้ำ	(W)
Q	อัตราการไหลของน้ำ	(m ³ /s)
r	รัศมีของมูเลย์	(m)
R	รัศมีกึ่งหัน	(m)
RMSE	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย	-
S	โซลิติตี	-
t	เวลา	(s)
u	อัตราเร็วของใบพาย ณ ตำแหน่งที่ลำของน้ำมากระทบใบพาย	(m/s)

v	อัตราเร็วของน้ำ	(m/s)
v_0	อัตราเร็วในทางน้ำเปิดเหนือสันฝาย	(m/s)
V	ปริมาตรของภาชนะ	(m ³)
W	ความยาวสันฝาย	(m)
θ	มุมระหว่างทิศทางการไหลของน้ำกับแนวรัศมีของกังหัน	(°)
ρ	ความหนาแน่น	(kg/m ³)
ω	ความเร็วเชิงมุม	(rad/s)
τ	แรงบิด	(N-m)
λ	อัตราส่วนความเร็วปลายใบ	-
η_B	ประสิทธิภาพของสายพาน	(%)
η_G	ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	(%)
η_T	ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ	(%)



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

บทบาทของพลังงานทดแทนในปัจจุบันเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับความมั่นคงด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจ และการดำรงชีวิตของมนุษย์ หลายประเทศทั่วโลกจึงให้ความสนใจในการคิดค้นพลังงานทางเลือกต่างๆ เพื่อนำมาทดแทนพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน รวมถึงประเทศไทยที่ได้มีการส่งเสริมและพัฒนาในด้านของพลังงานมาอย่างต่อเนื่อง แต่ในปัจจุบันประเทศไทยส่วนใหญ่มีการนำเข้าพลังงานประเภทเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เชื้อเพลิงเหล่านี้เมื่อใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าแล้วจะส่งผลกระทบต่อสภาวะบรรยากาศในรูปของมลพิษทางอากาศ ซึ่งจากข้อมูลของกระทรวงพลังงานประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วงไตรมาสแรกของปี 2561 มีปริมาณ 21,692 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันปีก่อนร้อยละ 7.8 คิดเป็นมูลค่ากว่า 318,622 ล้านบาท โดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 49.3 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ถ่านหิน/ลิกไนต์ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 18.5 9.6 8.5 7.4 และ 6.7 ตามลำดับ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561) ทั้งนี้กระทรวงพลังงานจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล



ภาพที่ 1.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วงไตรมาสแรกของปี 2561

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

จากการที่กระทรวงพลังงานได้วางกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติที่ให้ความสำคัญใน 3 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านความมั่นคงทางพลังงาน ในการตอบสนองต่อปริมาณความต้องการพลังงานที่สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราการเพิ่มของประชากร และอัตราการขยายตัวของเขตเมือง 2) ด้านเศรษฐกิจ ที่ต้องคำนึงถึงต้นทุนพลังงานที่มีความเหมาะสม 3) ด้านสิ่งแวดล้อม เพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานหมุนเวียนภายในประเทศ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน ในการบูรณาการพลังงานแห่งชาติ กระทรวงพลังงานได้ทบทวนการจัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลัก ในช่วงปี พ.ศ. 2558-2579 ได้แก่ แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015) จะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศไทยให้ได้เต็มตามศักยภาพ และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

ตารางที่ 1.1 แสดงสถานการณ์และเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

ประเภทเชื้อเพลิง	สถานการณ์สิ้นปี 2557	เป้าหมายปี 2579
	(MW)	(MW)
1. ชยะชุมชน	65.72	500.00
2. ชยะอุตสาหกรรม	-	50.00
3. ชีวมวล	2,451.82	5,570.00
4. ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย)	311.50	600.00
5. พลังน้ำขนาดเล็ก	142.01	376.00
6. ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)	-	680.00
7. พลังงานลม	224.47	3,002.00
8. พลังงานแสงอาทิตย์	1,298.51	6,000.00
9. พลังน้ำขนาดใหญ่	-	2,906.40
รวมเมกะวัตต์ติดตั้ง (MW)	4,494.03	19,684.40
รวมพลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)	17,217	65,588.07
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ (ล้านหน่วย)	174,467	326,119.00
สัดส่วนผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (%)	9.87	20.11

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นว่ามีเป้าหมายในการพัฒนาพลังงานทดแทนจากพลังงานน้ำขนาดเล็กให้ได้ในปริมาณ 376 MW ในปี พ.ศ.2579 ซึ่งพลังงานน้ำขนาดเล็กเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากประเทศไทยมีสายน้ำลำธารที่สามารถเป็นแหล่งพลังงานน้ำขนาดเล็กอยู่จำนวนมาก และเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาด ทั้งนี้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจึงได้ดำเนินงานในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กที่มีอยู่ภายในประเทศ โดยปัจจุบันโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 22 โครงการ มีกำลังการผลิตรวม 43.32 MW ผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยปีละ 124.32 ล้าน kWh (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญหลายส่วน หนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กังหันน้ำเพราะจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำไปเป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันกังหันน้ำมีหลายชนิดที่นำมาใช้งาน โดยจะเลือกใช้งานตามความเหมาะสมของแหล่งน้ำ

กังหันน้ำชนิดหนึ่งที่มีความสนใจเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและสามารถติดตั้งในลำห้วยขนาดเล็ก คือ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เพราะสามารถนำเอาพลังงานจากการไหลของลำน้ำมาใช้งานได้โดยตรง น้ำยังคงไหลไปตามลำน้ำเหมือนเดิม ไม่ต้องกักหรือปิดทางเดินของลำน้ำ ต้นไม้หรือพืชและสัตว์ก็ยังสามารถใช้ประโยชน์จากลำน้ำเดิมได้ จึงไม่เป็นการทำลายระบบนิเวศน์ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำยังสามารถติดตั้งตามสถานที่ต่างๆ ที่มีน้ำไหลได้ ซึ่งการพัฒนาาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในชุมชนชนบทได้ ควรมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย ขนย้ายสะดวก ระบบไม่ซับซ้อน คนในพื้นที่สามารถซ่อมบำรุงและดูแลรักษาได้ง่าย (อัศวิน, 2552) จึงมีหลายๆ งานวิจัยพยายามศึกษาปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ยกตัวอย่างเช่น Tevata and Inprasit (2011) ได้ศึกษาผลกระทบของจำนวนใบพัดกังหันน้ำ ซึ่งให้กำลังงานสูงสุด 0.041 W ที่จำนวนใบพัด 6 ใบ อัศวิน (2552) ได้ศึกษาลักษณะใบพายของแบบจำลองกังหันน้ำ ซึ่งให้ประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุด 35% ที่ใบพายโค้ง เป็นต้น

โดยจากการศึกษาหลายๆ งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการปรับปรุงทรงของกังหันที่มีการปรับตัวแปรเดียวเป็นหลัก เช่น จำนวนใบพาย มุมเอียงของใบพาย รูปทรงของใบพาย เป็นต้น แต่ไม่มีการกล่าวถึงความเหมาะสมของค่าโซลิติตีของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ซึ่งค่าโซลิติตีเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งในการวิเคราะห์กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เนื่องจากมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ค่าโซลิติตีเป็นค่าที่ใช้ในการปรับจำนวนใบพายหรือรัศมีของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำตามความเหมาะสมในการใช้งานจริง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อประสิทธิภาพเชิงกลและคุณลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กหรือใช้ในการสูบน้ำจากพลังงานน้ำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อคุณลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายเรียบ
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายเรียบ
3. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำให้เหมาะสมกับแหล่งน้ำ

ขอบเขตของการวิจัย

1. กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (Undershot water wheel) ที่มีลักษณะใบพายแบบแผ่นเรียบ
2. ใบพายทั้งหมดผลิตจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 3 mm ที่มีขนาดความยาว 30 cm และสูง 6 cm
3. จำนวนใบพายของกังหันน้ำที่ทำการศึกษามีจำนวน 6 ค่า ได้แก่ 6 8 10 12 14 และ 16 ใบพาย
4. รัศมีจากศูนย์กลางเพลามุมถึงปลายใบพายที่ทำการศึกษามีจำนวน 5 ค่า ได้แก่ 50% 75% 100% 125% และ 150% ของความยาวใบพาย
5. ระดับการจมน้ำของใบพายจำนวน 5 ค่า ประกอบด้วย 25% 50% 75% 100% และ 110% ของความสูงใบพาย
6. ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า
7. คัดการไหล Steady flow และแบบ Laminar flow
8. ทำการทดสอบโดยใช้อุโมงค์น้ำจำลองที่ติดตั้งที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นลักษณะอุโมงค์น้ำแบบเปิด (Open flow water tunnel) โดยใช้วัสดุชนิดอะคริลิกใสหนา 5 mm ประกอบเป็นรางน้ำขนาดทางน้ำกว้าง 40 cm สูง 40 cm และยาว 480 cm

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อคุณลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายเรียบ
2. ทราบถึงผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายเรียบ
3. ได้ข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากังหันน้ำขนาดเล็กสำหรับใช้ในพื้นที่ทางน้ำเปิดที่มีขนาดความกว้างของทางน้ำไหลน้อย เช่น คลองชลประทานขนาดเล็ก หรือลำห้วยขนาดเล็ก

บทที่ 2

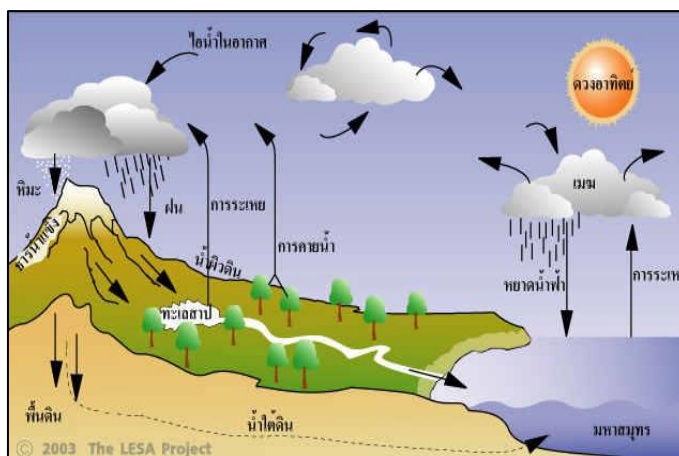
หลักการและทฤษฎี

พลังงานน้ำ

พลังงานน้ำเป็นพลังงานหมุนเวียนตามธรรมชาติที่มีให้ใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด ทั้งยังเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และการเคลื่อนที่ของน้ำเต็มไปด้วยพลังงานธรรมชาติมหาศาล ดังนั้นหากควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำและนำพลังงานเหล่านี้มาใช้จะก่อให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก มนุษย์รู้จักนำพลังงานน้ำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์มาแล้วหลายศตวรรษ การใช้พลังงานน้ำในยุคแรกๆ เป็นการแปลงพลังงานน้ำเป็นพลังงานกล เพื่อใช้ในการสีข้าวหมุนกังหันน้ำเพื่อยกน้ำเข้าไร่นา การใช้ประโยชน์เหล่านี้ ทำให้ต้องอยู่ใกล้แหล่งน้ำ (ม.ร.ว.วิพุธคณัย, 2553) ต่อมามนุษย์ได้นำพลังงานน้ำเป็นแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ ไม่ว่าจะเป็นน้ำจากแหล่งน้ำกักเก็บธรรมชาติ หรือแหล่งกักเก็บที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ฝาย เขื่อน เป็นต้น แหล่งสะสมพลังงานน้ำในรูปพลังงานศักย์ที่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ที่มนุษย์สามารถนำเอาพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นไปหมุนกังหันเป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยหลักการนี้มนุษย์จึงได้สร้างแหล่งกักเก็บน้ำดังกล่าวเพื่อใช้พลังงานจากน้ำไปผลิตกระแสไฟฟ้า (ขวลิต, 2553)

1. วัฏจักรของน้ำ

น้ำเป็นสารประกอบที่เกิดจากไฮโดรเจนและออกซิเจนมีสถานะเป็นของเหลวมีมากในทะเลและมหาสมุทร ซึ่งโลกมีบริเวณที่เป็นมหาสมุทรประกอบอยู่ถึง 3 ใน 4 ส่วน พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวัฏจักรของน้ำขึ้น เมื่อน้ำบนโลกได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะทำให้น้ำบนผิวโลกตามแหล่งต่างๆ ทั้งในห้วย หนอง คลอง บึง ทะเล และมหาสมุทรระเหยกลายเป็นไอน้ำและลอยขึ้นไปในอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็กๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้นและกระทบความเย็นจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก และจะเกิดกระบวนการเช่นนี้เป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลาเรียกว่า วัฏจักรธรรมชาติของน้ำ ซึ่งทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน, 2554)



ภาพที่ 2.1 วัฏจักรของน้ำ

ที่มา: ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (2553)

2. ประเภทของพลังงานน้ำ

ปัจจุบันมนุษย์ใช้ประโยชน์จากการเคลื่อนที่ของพลังงานน้ำจากแหล่งต่างๆ ในรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์หลักเหมือนกัน คือ การผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการแบ่งประเภทของพลังงานน้ำในที่นี้จะแบ่งตามลักษณะและรูปแบบการเกิดพลังงานจากน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. พลังงานน้ำตกหรือพลังงานน้ำจากเขื่อน

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำนี้ทำได้โดยอาศัยพลังงานของน้ำตกตามธรรมชาติ หรือน้ำตกที่เกิดจากการตัดแปลงสภาพธรรมชาติ เช่น น้ำตกที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำ น้ำตกจากทะเลสาบบนเทือกเขาสูงหุบเขา กระแสน้ำในแม่น้ำไหลตกหน้าผา เป็นต้น การสร้างเขื่อนกั้นน้ำและให้น้ำตกไหลผ่านกังหันน้ำซึ่งติดอยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังงานน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยลงมา ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำจำเป็นต้องมีบริเวณที่เหมาะสมและการสร้างเขื่อนนั้นจะต้องลงทุนอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามจากการสำรวจคาดว่าทั่วโลกสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากกำลังน้ำมากกว่าพลังงานทดแทนประเภทอื่น (สุรพร, 2556) ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.2

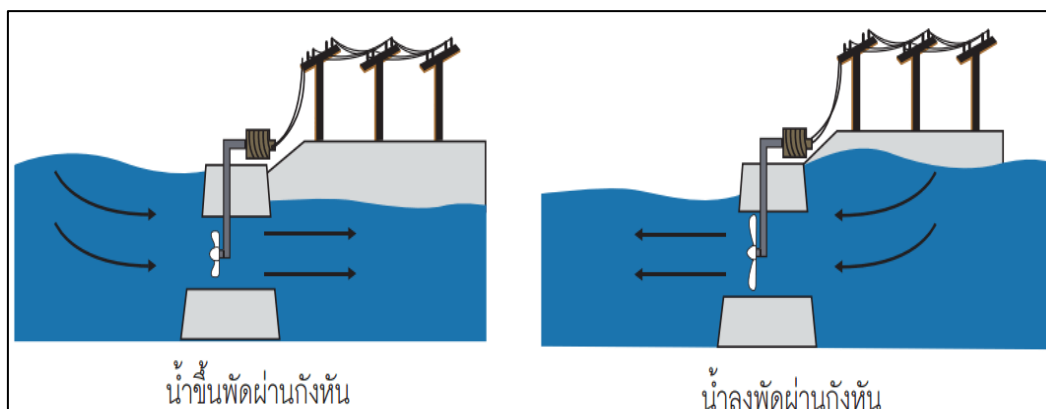


ภาพที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของพลังงานน้ำจากเขื่อน

ที่มา: ยิ่งปลิว (2553)

2. พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง

พลังงานน้ำขึ้นน้ำลงมีพื้นฐานมาจากพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบที่ประกอบด้วยดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ จึงจัดเป็นแหล่งพลังงานประเภทใช้แล้วไม่หมดไป สำหรับการเปลี่ยนพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เลือกแม่น้ำหรืออ่าวที่มีพื้นที่เก็บน้ำได้มากและพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าสูงแล้วสร้างเขื่อนที่ปากแม่น้ำหรือปากอ่าว เพื่อให้เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำขึ้นมา เมื่อน้ำขึ้นจะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ และเมื่อน้ำลงน้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ การไหลเข้าออกจากอ่างของน้ำต้องควบคุมให้ไหลผ่านกังหันน้ำที่ต่อเชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 2.3 เมื่อกังหันน้ำหมุนก็จะได้ไฟฟ้าออกมาใช้งาน หลักการผลิตไฟฟ้าจากน้ำขึ้นน้ำลงมีหลักการเช่นเดียวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำตก แต่กำลังที่ได้จากพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงจะไม่ค่อยสม่ำเสมอเปลี่ยนแปลงไปมากในช่วงขึ้นลงของน้ำ แต่อาจจัดให้มีพื้นที่กักน้ำเป็นสองบริเวณหรือบริเวณพื้นที่เดียว โดยการจัดระบบการไหลของน้ำระหว่างบริเวณบ่อสูงและบ่อต่ำ และกักบริเวณภายนอกในช่วงที่มีการขึ้นลงของน้ำอย่างเหมาะสม จะทำให้กำลังงานพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงสม่ำเสมอดีขึ้น (สุรพร, 2556)

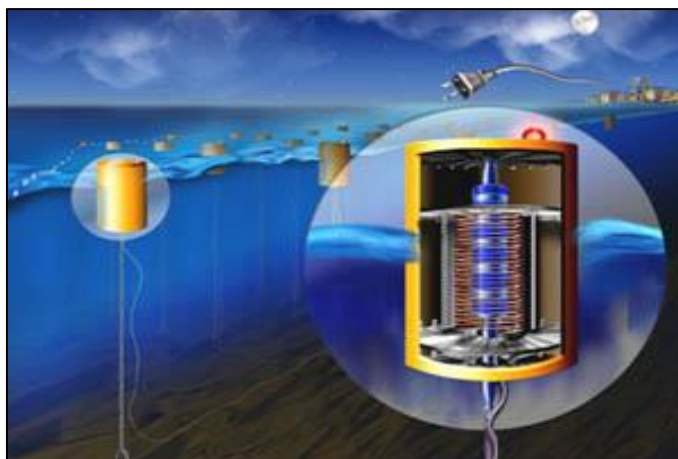


ภาพที่ 2.3 ลักษณะการทำงานของพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557)

3. พลังงานคลื่น

มหาสมุทรเป็นแหล่งพลังงานคลื่นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จำนวนมาก เพียงแต่มีขนาดความกว้างของคลื่นเล็กและไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับแรงลมที่พัดผ่าน ฉะนั้นในการจะนำพลังงานคลื่นมาใช้จึงต้องอาศัยพื้นที่ที่กว้างใหญ่มาก นั่นหมายถึงจำนวนเงินที่จะนำมาลงทุนต้องมากมายมหาศาลเช่นกัน ในประเทศไทยเองยังไม่มี การนำเอาพลังงานจากคลื่นมาใช้ แต่ในต่างประเทศมีการศึกษาและใช้พลังงานจากคลื่นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 โดยประเทศที่ริเริ่มนำพลังงานจากคลื่นมาใช้ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่นและประเทศอังกฤษ พลังงานคลื่นเป็นการเก็บเกี่ยวเอาพลังงานที่ลมถ่ายทอดให้กับผิวน้ำในมหาสมุทรเกิดเป็นคลื่นวิ่งเข้าสู่ชายฝั่งและเกาะแก่งต่างๆ เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นจะถูกออกแบบให้ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำบริเวณหน้าอ่าวด้านหน้าที่หันเข้าหาคลื่น การใช้คลื่นเพื่อผลิตไฟฟ้านั้นถ้าจะให้ได้ผลจะต้องอยู่ในโซนที่มียอดคลื่นเฉลี่ยอยู่ที่ 8 m ซึ่งบริเวณนั้นต้องมีแรงลมด้วย แต่จากการวัดความสูงของยอดคลื่นสูงสุดในประเทศไทยที่จังหวัดระนองพบว่า ยอดคลื่นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 4 m เท่านั้น ซึ่งก็แน่นอนว่าด้วยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นในปัจจุบันนั้นยังคงไม่สามารถใช้ในประเทศไทยได้ (สุรพร, 2556)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของพลังงานคลื่น

ที่มา: สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (2557)

3. การใช้ประโยชน์จากพลังงานน้ำ

นอกเหนือจากผลประโยชน์ทางด้านการผลิตไฟฟ้าแล้ว น้ำที่กักเก็บไว้ในฤดูฝนจะเกิดประโยชน์ทางด้านบรรเทาอุทกภัยได้ส่วนหนึ่ง และในฤดูแล้งสามารถปล่อยน้ำที่กักเก็บไว้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านชลประทาน เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา นอกจากนี้เขื่อนเป็นแหล่งท่องเที่ยว และประชาชนในบริเวณพื้นที่ตั้งโครงการมีความสะดวกสบายมากขึ้น ซึ่งประโยชน์หลักๆ มีดังนี้ (ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน, 2554)

1. พลังงานน้ำเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่หมดสิ้น คือ เมื่อใช้พลังงานของน้ำส่วนหนึ่งไปแล้วน้ำส่วนนั้นจะไหลลงสู่ทะเลและน้ำในทะเลเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะระเหยกลายเป็นไอน้ำ เมื่อไอน้ำรวมตัวเป็นเมฆจะตกลงมาเป็นฝนหมุนเวียนกลับมาทำให้เราสามารถนำพลังงานน้ำได้ตลอดไปไม่หมดสิ้น

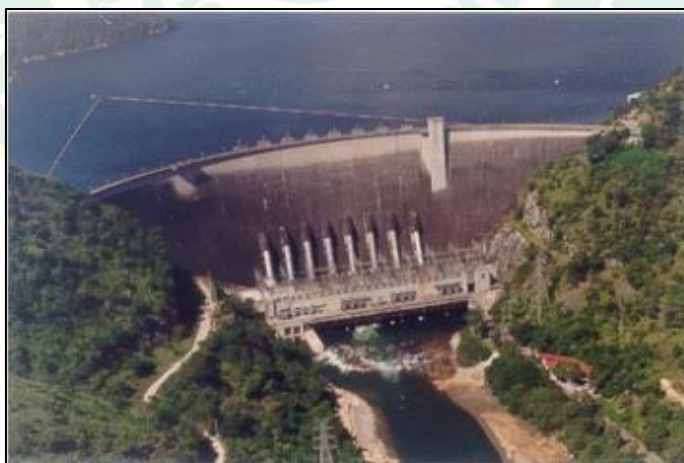
2. เครื่องกลพลังงานน้ำสามารถเริ่มดำเนินการผลิตพลังงานได้ในเวลาอันรวดเร็วและควบคุมให้ผลิตกำลังงานออกมาได้ใกล้เคียงกับความต้องการ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงมากขึ้นส่วนของเครื่องกลพลังงานน้ำส่วนใหญ่จะมีความคงทนและมีอายุการใช้งานนานกว่าเครื่องจักรกลอย่างอื่น

3. เมื่อนำพลังงานน้ำไปใช้แล้ว น้ำยังคงมีคุณภาพเหมือนเดิมทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก เช่น เพื่อการชลประทาน การรักษาระดับน้ำในแม่น้ำให้ไหลลึกพอแก่การเดินเรือ เป็นต้น

4. การสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บและทื่อน้ำให้สูงขึ้น สามารถช่วยกักน้ำเอาไว้ในช่วงที่ไม่มีฝนตก ทำให้ได้แหล่งน้ำขนาดใหญ่สามารถใช้เลี้ยงสัตว์น้ำหรือใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวได้และยังช่วยรักษาระบบนิเวศของแม่น้ำได้โดยการปล่อยน้ำจากเขื่อนเพื่อให้น้ำสกปรกในแม่น้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไล่น้ำเค็มซึ่งขึ้นมาจากทะเลได้

การพัฒนาไฟฟ้าพลังงานน้ำของประเทศไทย

การดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังน้ำ นับเป็นการดำเนินการที่เก่าแก่และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 100 ปี และจัดเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้ผลิตไฟฟ้าแทนพลังงานฟอสซิล และพลังน้ำยังถือเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับทั่วโลก เนื่องจากไฟฟ้าพลังน้ำเป็นพลังงานทางเลือกที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และมีประโยชน์ในหลายๆ ด้าน จึงได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางต่อเนื่อง โดยเฉพาะสำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก จากข้อมูลของ EIA (International energy agency) ปี 2552 ระบุว่าปัจจุบันทั่วโลกผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำขนาดเล็กรวม 16.6% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดและคิดเป็น 92% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน จึงแสดงให้เห็นว่ามีแหล่งน้ำขนาดเล็กได้กระจายอยู่ทั่วโลกจำนวนมาก จึงเป็นแนวทางให้มีการใช้พลังน้ำเพื่อไฟฟ้าได้อย่างกว้างขวางอีกด้วย (ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน, 2554)



ภาพที่ 2.5 เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก

ที่มา: วรากร (2551)

สำหรับประเทศไทย การพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้นครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ.2507 โดยการสร้างเขื่อนภูมิพลที่จังหวัดตาก ซึ่งออกแบบให้มีกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมด 535 MW มีพื้นที่อ่างเก็บน้ำ 316 km² และมีพื้นที่รับน้ำ 26,386 km² ต่อมาปี พ.ศ.2517 ได้สร้างเขื่อนสิริกิติ์ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ มีกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมด 375 MW มีพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ 259.6 km² และมีพื้นที่รับน้ำ 13,130 km² นอกจากนี้ยังมีแหล่งพลังน้ำขนาดกลาง และขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ซึ่งเป็นภูเขามีสล่าน้ำไหลผ่านตามหุบเขา ซึ่งถ้าท้องน้ำมีการเปลี่ยนระดับได้มากในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ก็จะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการที่จะพัฒนาเป็นแหล่งน้ำต่อไป โดยการพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำของประเทศไทยมาจาก 3 หน่วยงาน คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ทั้งนี้ได้แบ่งระดับของโรงไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ คือ 1) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ เป็นโรงไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้ามากกว่า 30 MW ตัวอย่างเช่น เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก มีกำลังผลิต 779.2 MW เขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีกำลังผลิต 240 MW 2) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก เป็นโรงไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิตอยู่ระหว่าง 200 kW - 30 MW ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำศิริธาร จังหวัดจันทบุรี มีกำลังผลิตไฟฟ้า 12.2 MW 3) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก เป็นโรงไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังผลิตน้อยกว่า 200 kW ตัวอย่างเช่น โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน ที่บ้านแม่กำปอง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 80 kW (ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน, 2554)

ประเทศไทยได้กำหนดนโยบายในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเพื่อช่วยประชาชนที่ห่างไกล และได้ดำเนินการโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเรื่อยมา เนื่องจากศักยภาพพลังน้ำขนาดเล็กสามารถหล่อเลี้ยงชุมชนได้เป็นอย่างดี โดยที่พลังน้ำได้ถูกวางเป้าหมายผลิตไฟฟ้าให้ได้ 165 MW ในปี 2554 และเป็นปริมาณ 281 MW ภายในปี 2559 และเป็นปริมาณ 324 MW ในปี 2565 และจากการประเมินศักยภาพผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเมื่อปี 2550 พบว่าประเทศไทยจะมีศักยภาพพลังน้ำขนาดเล็กที่สามารถพัฒนาได้ประมาณ 700 MW (ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน, 2554)

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย โรงไฟฟ้าชนิดนี้ใช้น้ำในลำน้ำธรรมชาติเป็นพลังงานในการเดินเครื่อง กำลังผลิตติดตั้งและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าชนิดนี้ จะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำ ซึ่งองค์ประกอบและรูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำจะทำหน้าที่ควบคุมพลังงานของน้ำ และใช้กลไกที่จะเปลี่ยนพลังงานน้ำไปเป็นพลังงานกล เปลี่ยนจากพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบพื้นฐานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำดังต่อไปนี้ (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2558)

1. เขื่อน (Dam) เป็นองค์ประกอบหลักที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ส่วนมากจะประกอบติดกับตัวเขื่อน เขื่อนทำหน้าที่กักเก็บน้ำจำนวนมากหลายหมื่นลูกบาศก์เมตรเหนือเขื่อนขึ้นไปจะเรียกว่า ทะเลสาบ เพื่อใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยว ทำชลประทาน ผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

2. ประตูน้ำเข้า (Intake) เป็นประตูให้น้ำไหลเข้าไปในตัวเขื่อน โดยมีแรงดึงดูดของโลกและน้ำหนักของน้ำตึงน้ำให้ไหลผ่านเข้าไปในตัวเขื่อนเมื่อทำการเปิดประตูควบคุมน้ำที่มีความดันมหาศาลวิ่งไหลผ่านช่องทางส่งน้ำไหลผ่านไปสู่อ่างกักน้ำ

3. อ่างกักน้ำ (Turbine) น้ำที่ไหลมาจากช่องทางน้ำจะไหลมาปะทะกับใบกังหัน แรงของน้ำมีมากพอที่จะทำให้กังหันน้ำขนาดใหญ่หมุน ซึ่งแกนของกังหันจะต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้หมุนตาม

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เมื่อกังหันหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหมุนตาม ภายในจะมีแม่เหล็กต่อเรียงกัน แม่เหล็กขนาดยักษ์หมุนในขดลวดทองแดงเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เกิดเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

5. หม้อแปลง (Transformer) หม้อแปลงจะอยู่ในบ้านกำลังงาน หลังจากที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้สร้างกระแสไฟฟ้าขึ้นมาแล้วแต่แรงดันไฟฟ้ายังมีไม่มากพอ หน้าที่ของหม้อแปลง คือ เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง

6. สายส่งไฟฟ้า (Power lines) หลังจากมีไฟฟ้าแรงดันสูงออกมาจะต้องมีอุปกรณ์ที่ไซ่ส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อส่งไปสถานีไฟฟ้าที่ห่างไกลออกไป สายส่งที่ออกมาจากโรงไฟฟ้ามีสี่เส้น ซึ่งเป็นกำลังงานไฟฟ้าสามเฟส เป็นสายที่มีไฟฟ้า 3 เส้น และเป็นสายกลาง หรือสายดิน 1 เส้น

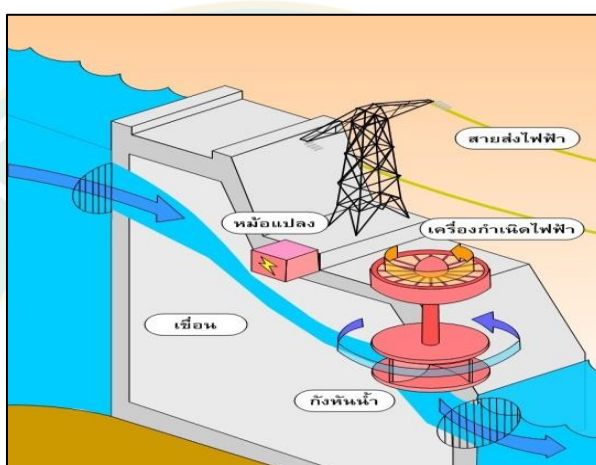
7. ทางไหลออก (Out flow) มีหน้าที่ส่งผ่านน้ำให้ออกจากเขื่อนและจะไหลลงไปสู่อ่างน้ำล้นที่อยู่อ่ระดับต่ำกว่าต่อไป

2. รูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

รูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะแบ่งตามลักษณะการบังคับน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปรูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่นิยมใช้กันแพร่หลายมี 3 ประเภท ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ อ่างเก็บน้ำจะทำหน้าที่รวบรวมและกักเก็บน้ำ เมื่อปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำลงสู่ที่ต่ำโดยแรงดึงดูดของโลก พลังน้ำที่เกิดจากการไหลจะหมุนกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีที่อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ จะทำให้สามารถ

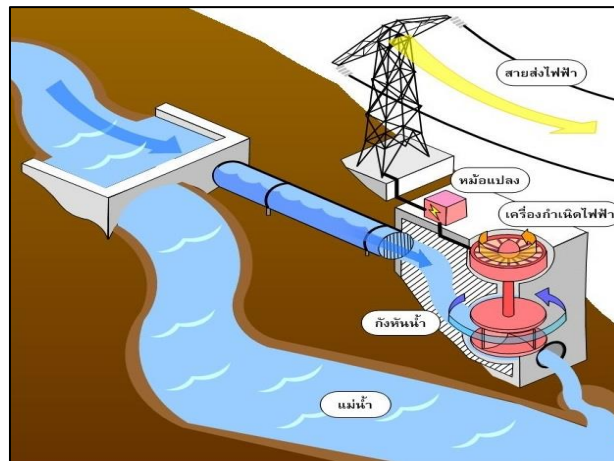
บริหารจัดการน้ำได้สะดวก ดังนั้นในเชิงเศรษฐศาสตร์ หรือธุรกิจแล้ว โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ มักผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ค่าตอบแทนสูง ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะผันแปรตามปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ และความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำที่ปล่อย โดยทั่วไปโครงการไฟฟ้าพลังน้ำส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ และโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น (ยิงปลิว, 2553)



ภาพที่ 2.6 รูปแบบการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

ที่มา: สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (2557)

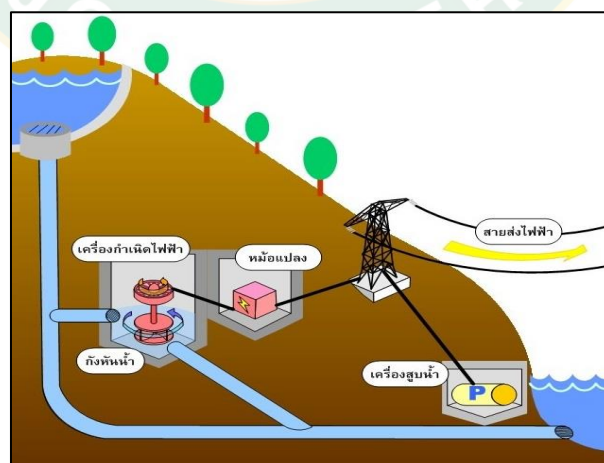
2. โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run of the river เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้นจะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ มักสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ และมีอาคารสำหรับตุน้ำให้สูงขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านภูมิประเทศ ทำให้ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่ตุน้ำกับระดับที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าจึงผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ มักก่อสร้างในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก และมีน้ำไหลตลอดปี แต่มีภูมิประเทศไม่เหมาะสมที่จะก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run of the river ในประเทศไทย ได้แก่ โรงไฟฟ้าเขื่อนปากมูล จังหวัดอุบลราชธานี (ยิงปลิว, 2553)



ภาพที่ 2.7 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run of the river

ที่มา: สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (2557)

3. โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่มีรูปแบบการผลิตไฟฟ้าที่ตอบสนองช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยการถ่ายเทน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำที่มีระดับแตกต่างกัน ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าน้อย ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินในระบบจะถูกนำมาใช้ในการสูบน้ำไปยังอ่างเก็บน้ำที่อยู่สูงกว่า เมื่อถึงช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก น้ำจะถูกปล่อยกลับลงมายังอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงผันแปรตามปริมาณน้ำ และความแตกต่างของระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำทั้งสอง ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับในประเทศไทย คือ โรงไฟฟ้าเขื่อนลำตะคองชลภา-วัฒนา โดยใช้เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา (ยิงปลิว, 2553)



ภาพที่ 2.8 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

ที่มา: สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (2557)

กังหันน้ำ

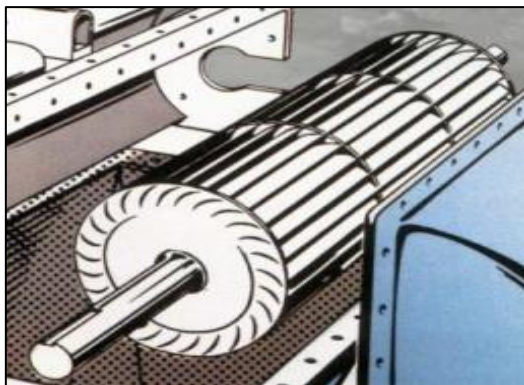
กังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาจากวงล้อน้ำซึ่งเดิมใช้สำหรับการทดน้ำ และโม่แป้ง ในปี ค.ศ. 1832 วิศวกรชาวฝรั่งเศส ชื่อเบนอยต์ ฟูเนรองซ์ (Benoit Fourneyron) ประสบความสำเร็จในการพัฒนากังหันน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยเรียกชื่อว่า กังหันน้ำของฟูเนรองซ์ (Fourneyron's Turbine) หลังจากที่วงล้อน้ำไม่เคยมีการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมากกว่า 2,000 ปีก่อนหน้านี้ จุดนี้นับเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญอย่างยิ่ง ในการพัฒนากังหันน้ำ ในปัจจุบันกังหันน้ำได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันมากมายและมีประสิทธิภาพสูง กังหันน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ เพราะจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยการทำให้ใบพายของกังหันน้ำเกิดการหมุนส่งผลให้แกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่หมุนตาม (วีระยุทธ, 2552) โดยทั่วไปกังหันน้ำแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. กังหันน้ำประเภทแรงกระแทก

กังหันน้ำประเภทแรงกระแทก (Impulse turbine) มักใช้กับเขื่อน หรืออ่างเก็บน้ำที่มีหัวน้ำสูง เพราะต้องอาศัยแรงฉุดหรือแรงกระแทกของลำน้ำที่ไหลมาจากท่อส่งน้ำที่ได้รับน้ำมาจากเขื่อน น้ำที่ได้จะไหลลงมาตามท่อส่งน้ำ จะถูกลดขนาดมายังหัวฉุดก่อนจะถูกฉุดเข้าไปที่ตัวของกังหันน้ำ ซึ่งลำน้ำที่พุ่งผ่านหัวฉุดจะมีแรงและความเร็วสูง ดังนั้นเมื่อกระแทกเข้าไปพัดหรือวงล้อของกังหันน้ำจะทำให้กังหันน้ำเกิดการหมุนได้ การควบคุมการหมุนของกังหันน้ำ สามารถทำได้โดยการปรับขนาดของหัวฉุด ซึ่งเสมือนเป็นการปรับปริมาณน้ำให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการ กังหันน้ำประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1.1 กังหันน้ำแบงกี

กังหันน้ำแบงกี (Banki turbine) เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ และต้องการกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าค่อนข้างน้อย ซึ่งปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้แล้ว กังหันน้ำชนิดนี้จะอาศัยความแรงของลำน้ำที่ออกจากหัวฉุด มากระทำต่อกลีบใบของกังหันน้ำ เพื่อส่งให้เกิดการหมุนและเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ของน้ำให้เป็นพลังงานกลสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า กังหันน้ำชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักคือ ล้อกังหันน้ำที่ติดอยู่กับเพลาส่งกำลังซึ่งถูกรองรับด้วยแบริ่ง และมีท่อเจ็ทน้ำซึ่งมีขนาดหน้าตัดของควมกว้างเท่ากับหน้าตัดของวงล้อกังหันน้ำมาประกอบเข้ากับเสื่อของวงล้อกังหันน้ำดังแสดงในภาพที่ 2.9 (วีระยุทธ, 2552)



ภาพที่ 2.9 กังหันน้ำแบบเบงกี

ที่มา: Giorgio (2014)

1.2 กังหันน้ำเพลตัน

กังหันน้ำเพลตัน (Pelton turbine) ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 โดย เลสเตอร์ เพลตัน รูปแบบของกังหันน้ำนี้ถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำซึ่งติดอยู่ในวงล้อภายในตัวกังหันเป็นแบบ ถ้วยคู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 และสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดมากกว่า 1 ช่อง โดยอาจมีจำนวน ถึง 4 ช่อง ซึ่งจะทำให้ได้รับกำลังเพิ่มขึ้นในขณะที่ขนาดของกังหันน้ำเท่าเดิม โดยทั่วไปกังหันน้ำนี้ เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีระดับของหัวน้ำสูง ซึ่งสูงกว่า 250 m หรืออาจน้อยกว่า ในกรณีที่เป็ระบบเล็ก การทำให้กังหันน้ำชนิดนี้หมุนอาจใช้ความเร็วของลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดที่ไม่ต้องมีความเร็วสูงนัก โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิดนี้จะดีที่สุด เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไป (วีระยุทธ, 2552)



ภาพที่ 2.10 กังหันน้ำแบบเพลตัน

ที่มา: Global Hydro Energy (2003)

1.3 กังหันน้ำเทอร์โบ

กังหันน้ำเทอร์โบ (Turgo turbine) เป็นกังหันน้ำที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกังหันน้ำแบบเพลตัน เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1920 โดยภายในตัวกังหันน้ำนี้จะใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยว และค่อนข้างตั้งแทนถ้วยรับน้ำแบบคู่ในกังหันน้ำแบบเพลตัน ดังแสดงในภาพที่ 2.11 กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำที่มีระดับความสูงปานกลาง เพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก และมีความสามารถในการรับปริมาณน้ำได้มากกว่ากังหันน้ำเพลตันโดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำจะดีที่สุด เมื่อความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไปเหมือนกับกรณีของกังหันน้ำแบบเพลตัน (วีระยุทธ, 2552)



ภาพที่ 2.11 กังหันน้ำแบบเทอร์โบ

ที่มา: Elbatran et al. (2015)

2. กังหันน้ำประเภทแรงสะท้อน

กังหันน้ำประเภทแรงสะท้อน (Reaction turbine) เป็นกังหันน้ำที่ต้องอาศัยแรงดันของน้ำ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของระดับน้ำที่อยู่ด้านหน้า และด้านหลังของกังหันน้ำ มาทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน น้ำที่เข้าไปในตัวกังหันจะแทรกเข้าไปในช่องระหว่างใบพัดเต็มทุกช่องพร้อมกัน ทำให้ตัวกังหันน้ำทั้งหมดจะจมอยู่ในน้ำ กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้กับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำถึงปานกลาง โดยทั่วไปที่นิยมใช้จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1 กังหันน้ำฟรานซิส

กังหันน้ำฟรานซิส (Francis turbine) เป็นกังหันน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถใช้กับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำตั้งแต่ 2-300 m หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบฟรานซิส คือ น้ำที่ถูกส่งเข้ามาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อกันหอยที่ประกอบอยู่รอบๆ ตัวกังหัน

ท่อกันหอยจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามความยาวของท่อเพื่อต้องการทำให้น้ำมีแรงดันและความเร็วในการไหลมากขึ้น ภายในท่อกันหอยจะมีน้ำเต็มอยู่ตลอดเวลา น้ำที่ไหลในท่อกันหอยจะแทรกตัวผ่านลึ้นนำน้ำเข้า เพื่อเข้าสู่ตัวกังหันน้ำทำให้วงล้อของกังหันน้ำเกิดการหมุนได้ กังหันน้ำแบบฟรานซิสมีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของโรงไฟฟ้า ลักษณะกังหันดังแสดงในภาพที่ 2.12 (จันทิมา, 2554)



ภาพที่ 2.12 กังหันแบบน้ำฟรานซิส

ที่มา: Global Hydro Energy (2003)

2.2 กังหันน้ำคาปลาน

กังหันน้ำคาปลาน (Kaplan turbine) มีลักษณะเหมือนใบพัดดังแสดงในภาพที่ 2.13 เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำต่ำตั้งแต่ 1-70 m และมีหลักการทำงานโดยให้น้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศขนานกับแกนของกังหันน้ำ โดยใบพัดของกังหันน้ำคาปลานสามารถปรับมุมเพื่อรับแรงฉุดของน้ำโดยอัตโนมัติทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของกังหันน้ำได้ (จันทิมา, 2554)



ภาพที่ 2.13 กังหันน้ำแบบคาปลาน

ที่มา: Global Hydro Energy (2003)

2.3 กังหันน้ำเตเรียบีช

กังหันน้ำเตเรียบีช (Deriaz turbine) มีลักษณะทั่วไปคล้ายกับกังหันน้ำคาปลานแต่ต่างกันในส่วนจากรูปแบบของใบพัด ซึ่งคล้ายกับใบพัดของกังหันน้ำฟรานซิส กังหันน้ำชนิดนี้จะใช้แรงดันน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุม กับแกนอ้างอิงของกังหันน้ำ และการประยุกต์ใช้จะเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำสูงๆ เพราะต้องใช้แรงดันน้ำที่มีแรงดันสูง ลักษณะกังหันน้ำเตเรียบีชดังแสดงในภาพที่ 2.14 (จันทิมา, 2554)



ภาพที่ 2.14 กังหันน้ำแบบเตเรียบีช

ที่มา: Mitsubishi Heavy Industries (2003)

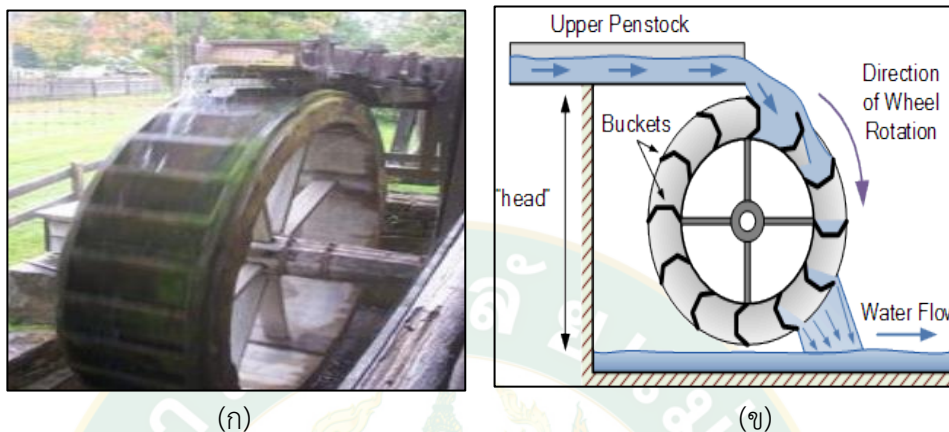
3. กังหันน้ำแบบหลุก

กังหันน้ำแบบหลุก (Water wheel) เป็นกังหันน้ำที่คล้ายกับกังหันน้ำแบบ Cross flow type ทำงานด้วยอัตราเร็วรอบต่ำ ทำให้มีข้อดี คือ สามารถออกแบบและสร้างง่ายให้แรงบิดสูง และสามารถทำความสะอาดตัวเอง โดยที่ไม่ต้องมีระบบที่ใช้ในการดัก และกำจัดสิ่งที่มาทับน้ำ เช่น กิ่งไม้ ปลา เป็นต้น โดยทั่วไปกังหันน้ำแบบหลุกมีอยู่ 3 ประเภท แบ่งตามรูปแบบของระดับน้ำที่ไหลเข้ากังหัน ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

3.1 กังหันน้ำแบบหลุกสูง

กังหันน้ำแบบหลุกสูง (Overshot water wheel) จะมีทิศทางการไหลของน้ำจะไหลจากรางน้ำแล้วตกลงมาที่ด้านบนของตัวกังหันน้ำ ด้วยน้ำหนักที่อยู่ภายในกระบะน้ำจะถ่วงให้วงล้อหมุนต่ำลงมา จนกระทั่งเหน้ำที่อยู่ภายในกระบะไหลออกไปจนหมด เมื่อมีน้ำไหลลงสู่กระบะตลอดเวลาวงล้อก็จะสามารถหมุนได้ตลอดไป กังหันน้ำชนิดนี้จะมีอัตราเร็วรอบต่ำไม่เกิน 40 rpm แต่แรงบิดค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะการที่ความเร็วน้ำรอบต่ำ โอกาสที่กระบะแต่ละอันจะบรรจุน้ำที่ไหลมาจากรางก็มี

เวลานานพอที่จะได้น้ำมาก ดังนั้นแรงบิดก็มากตามไปด้วย ถ้ารู้ความจุของกระบะน้ำแต่ละอันว่าบรรจุ น้ำได้เท่าไรก็สามารถประมาณได้ว่าที่ความเร็วรอบกำหนด อัตราการไหลสูงสุดน้ำจะเป็นเท่าไร (ทวิ พร และกวนัย, 2551) โดยกังหันน้ำแบบหลุกสูงมีลักษณะและหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.15

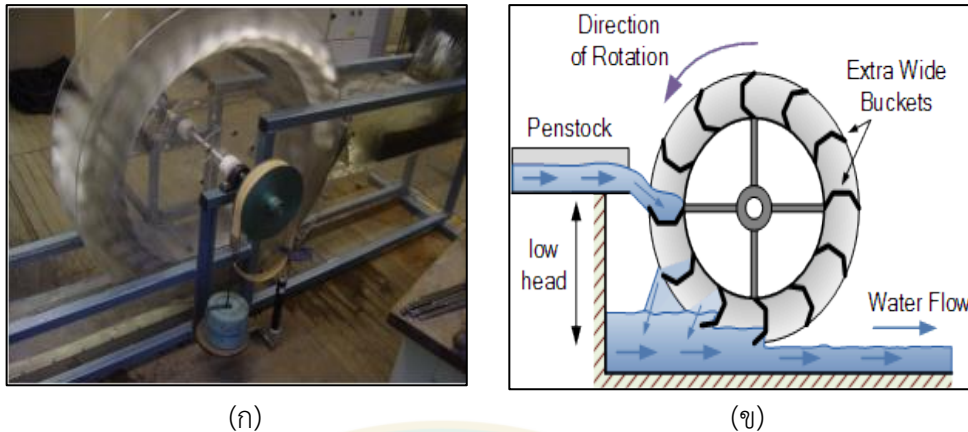


ภาพที่ 2.15 (ก) กังหันน้ำแบบหลุกสูง (ข) หลักการทำงาน

ที่มา: (ก) ทวีพร และกวนัย (2551) (ข) Alternative energy tutorials (2018)

3.2 กังหันน้ำแบบหลุกกลาง

กังหันน้ำแบบหลุกกลาง (Breastshot water wheel) น้ำจะไหลเข้าสู่กระบะน้ำในระดับกลางของตัวล้อ กำลังที่ได้จะมาจากน้ำหนักของน้ำในกระบะและแรงปะทะของน้ำกับตัวกระบะ กังหันน้ำชนิดนี้จะให้กำลังและประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบแรก มีลักษณะคล้ายกับกังหันน้ำแบบหลุกสูง เพียงแต่ตำแหน่งที่ปล่อยน้ำลงสู่กระบะรับน้ำเท่านั้น ในการก่อสร้างแล้วต้องใช้แรงงานพอๆ กับหลุกแบบแรก ในทางปฏิบัติแล้วจะเป็นการดัดแปลงจากหลุกสูงให้เป็นหลุกกลาง เพื่อให้เหมาะกับสภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่ แต่ไม่ค่อยได้ผลดีเท่าที่ควร เพราะมุมรับน้ำของกระบะรับน้ำแบบหลุกสูงไม่อาจใช้ได้ดีกับหลุกแบบกลาง (ทวีพร และกวนัย, 2551) โดยกังหันน้ำแบบหลุกกลางมีลักษณะและหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.16

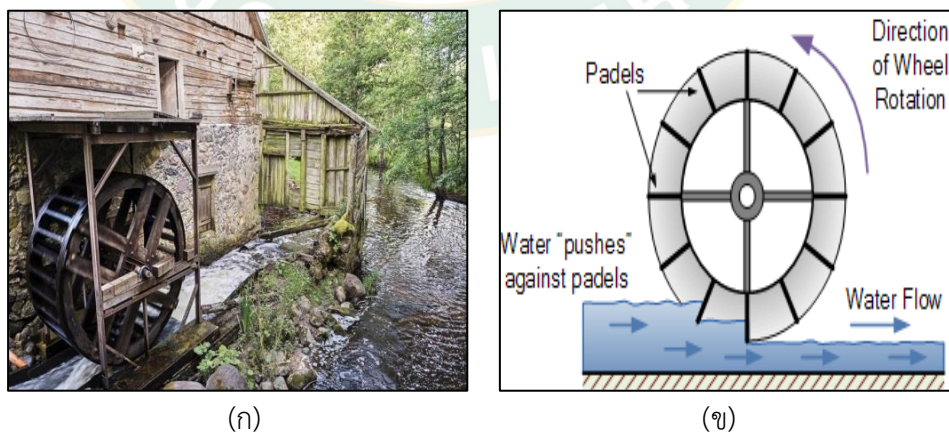


ภาพที่ 2.16 (ก) กังหันน้ำแบบหลุกกลาง (ข) หลักการทำงาน

ที่มา: (ก) Muller (no date) (ข) Alternative energy tutorials (2018)

3.3 กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (Undershot water wheel) น้ำจะไหลเข้าสู่กระบะน้ำในระดับต่ำ ความจริงแล้วไม่ควรเรียกระบะรับน้ำเพราะลักษณะคล้ายใบพายมากกว่า กังหันน้ำชนิดนี้เป็นแบบแรกเริ่มเลยทีเดียว ปัจจุบันนี้มีการปรับปรุงให้ใบพายสามารถนำพลังงานจากน้ำหนักของน้ำออกมาอีกด้วย แทนที่จะอาศัยแรงปะทะจากน้ำอย่างเดียว ซึ่งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำสามารถติดตั้งได้ทุกที่กับแม่น้ำสายต่างๆ ไม่จำเป็นต้องมีการดัดแปลงสภาพแม่น้ำ (ทวิพร และภูวนัย, 2551) โดยกังหันน้ำแบบหลุกต่ำมีลักษณะและหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 (ก) กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (ข) หลักการทำงาน

ที่มา: (ก) Lithuania Tribune (2018) (ข) Alternative energy tutorials (2018)

ความสูงของหัวน้ำ

ความสูงของหัวน้ำถือเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์พลังงานที่ได้และประสิทธิภาพการทำงานของกังหันน้ำ โดยที่ความสูงของกังหันน้ำวัดจากความสูงในแนวตั้งของแหล่งน้ำเหนือระดับอ้างอิง ทั้งนี้ความสูงของหัวน้ำที่กังหันน้ำแต่ละชนิดจะมีขอบเขตและหลักการทำงานต่างกัน พลังงานและประสิทธิภาพการทำงานที่ได้จากกังหันน้ำจะแปรผันกับความสูงของหัวน้ำเป็นหลักดังแสดงในตารางที่ 2.1

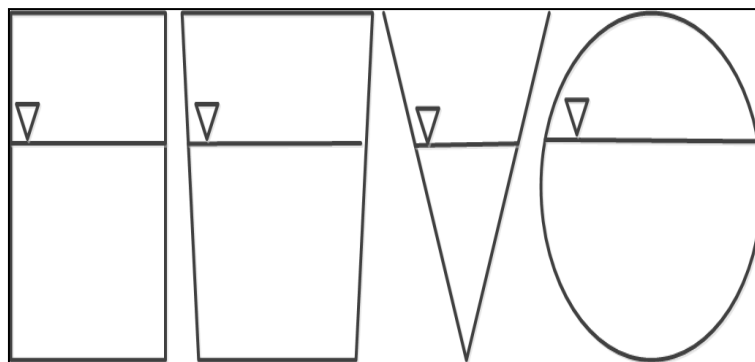
ตารางที่ 2.1 ความสูงของหัวน้ำและประสิทธิภาพการทำงานของกังหันแต่ละชนิด

ชนิดของกังหันน้ำ	ความสูงของน้ำ (m)	ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด (%)
Banki turbine	4-6	50-85
Francis turbine	15-450	90
Turgo turbine	50-150	95
Pelton turbine	150	87
Kaplan turbine	1-70	90

ที่มา: วีระยุทธ (2552)

การไหลของน้ำทางน้ำไหลแบบเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด คือ การไหลของของไหลในทางน้ำธรรมชาติ หรือการไหลในทางน้ำที่สร้างขึ้น หรือการไหลในท่อที่มีน้ำไหลไม่เต็มท่อ ผิวอิสระของการไหลจะต้องสัมผัสกับบรรยากาศ หลักการที่ทำให้เกิดการไหลประกอบด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อมวลของไหล แรงเนื่องจากความดันน้ำ และแรงเฉือนที่ต้านทานการไหลของของไหล รูปคุณสมบัติของหน้าตัดการไหลชนิดต่างๆ (ปรียาพร, 2555) ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 แสดงพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำผ่านฝายในรูปแบบต่างๆ

ที่มา: ปรียาพร (2555)

การตรวจวัดอัตราการไหลของแหล่งน้ำ

อัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลาอัตราการไหลในเทอมของปริมาตรมีหน่วยเป็น m^3/s อัตราการไหลในเทอมของมวลมีหน่วยเป็น kg/s ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้ (ปรียาพร, 2555)

$$Q = A_w v$$

สมการที่ 2.1

เมื่อ	Q	คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
	A_w	คือ พื้นที่หน้าตัดของรางน้ำที่น้ำไหลผ่าน (m^2)
	v	คือ อัตราเร็วของน้ำ (m/s)

ก่อนที่จะทำการออกแบบกั้นน้ำสำหรับใช้กับแหล่งน้ำใดนั้น ต้องทราบอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำนั้น ซึ่งทำให้เป็นการดีต้องทราบอัตราการไหลของน้ำที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นการประกันว่าเมื่อทำการติดตั้งกั้นแล้วในแหล่งน้ำนั้น จะมีน้ำให้พลังงานได้ตลอดทั้งปีและต้องทราบข้อมูลอัตราการไหลของแหล่งน้ำนั้นตลอดทั้งปี เพื่อให้ทราบถึงความหนาแน่นของพลังงานน้ำว่ามีความหนาแน่นมากในช่วงเวลาไหน และจะเป็นข้อมูลในการตัดแปลงกั้นให้เหมาะสมกับช่วงเวลาต่าง ๆ

1. การวัดอัตราการไหลโดยใช้ภาชนะตวง

เป็นวิธีการวัดอัตราการไหลที่ง่ายที่สุดเหมาะกับการวัดอัตราการไหลที่ไม่เกิน $1.7 m^3/s$ โดยการทำให้ น้ำที่ไหลทั้งหมดไหลลงสู่ภาชนะที่ทราบปริมาตร และทำการจับเวลาที่น้ำไหลลงภาชนะ จากนั้นหาอัตราการไหลได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำกับเวลาที่น้ำไหลจนเต็ม

ภาพขณะดังแสดงในสมการที่ 2.2 วิธีการนี้มีข้อจำกัด ไม่สามารถกระทำได้ในกรณีวัดอัตราการไหลในแหล่งน้ำธรรมชาติ

$$Q = \frac{V}{t}$$

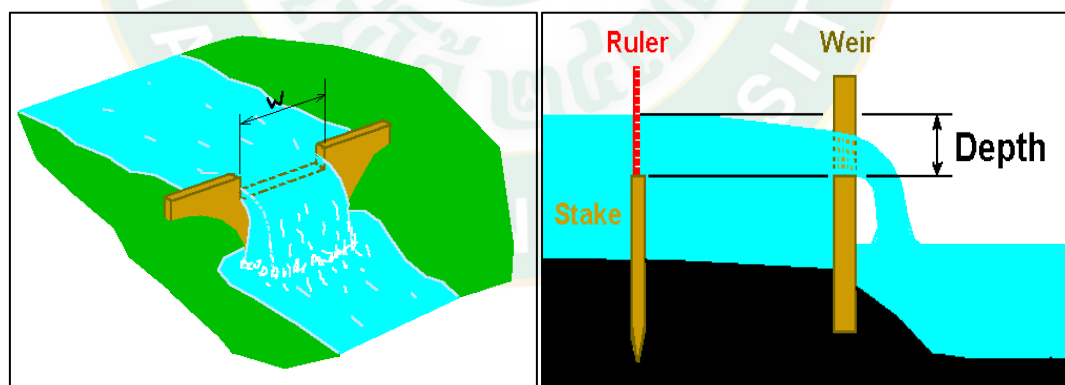
สมการที่ 2.2

เมื่อ	Q	คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
	V	คือ ปริมาตรของภาพขณะ (m^3)
	t	คือ เวลา (s)

2. วิธีการใช้ฝายวัดน้ำ

ฝายวัดน้ำมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยม ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายสันคมแบบโค้ง และฝายสันหนา ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยม

ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular weir) มีฝายวัดน้ำทางด้านเหนือน้ำอยู่ในแนวตั้ง และวางแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล โดยจะต้องมีความดันบรรยากาศบริเวณใต้แนวน้ำล้น และทางน้ำควรอยู่ในแนวเส้นตรง โดยไม่มีสิ่งกีดขวางทางการไหล โดยระดับน้ำเหนือสันฝายจะต้องวัดที่ระยะห่างจากสันฝายไปทางเหนือน้ำที่จุดที่มีระดับน้ำอยู่ในแนวราบ เพื่อเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจากการโค้งของผิวน้ำดังแสดงในภาพที่ 2.19 (Hydroelectric Information, 2016)



ภาพที่ 2.19 วิธีการใช้ฝายวัดน้ำ

ที่มา: Hydroelectric Information (2016)

สมการมาตรฐานในการคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำสันคมรูปสี่เหลี่ยม ที่ไม่มีการบีบด้านข้าง มีความสัมพันธ์กับความยาวของสันฝาย ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย และอัตราเร็วของน้ำเหนือฝายดังนี้ (ปริยาพร, 2555)

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2gW} \left[\left(h + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{3/2} \right] \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

เมื่อ	C_d	คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการไหลข้ามฝาย (%)
	W	คือ ความยาวสันฝาย (m)
	H	คือ ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย (m)
	v_0	คือ อัตราเร็วในทางน้ำเปิดเหนือสันฝาย (m/s)

3. วิธีประมาณจากอัตราเร็วด้านบนสุดของน้ำ

เหมาะสำหรับการวัดอัตราการไหลของแหล่งน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งไม่สามารถทำฝายกั้นน้ำได้ โดยการวัดอัตราเร็วของน้ำที่ผิวบนสุดของน้ำ และนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของแม่น้ำที่ตำแหน่งที่ทำการศึกษา

โซลิดิตี

โซลิดิตี (Solidity) เป็นดัชนีที่บอกความทึบของกังหัน เนื่องจากเป็นอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพื้นที่ใบพายในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ (a) กับพื้นที่กวาดของใบพาย (A_B) ดังแสดงในภาพที่ 2.20 โดยที่ค่าโซลิดิตีเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เนื่องจากจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Solidity} = \frac{a}{A_B} \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

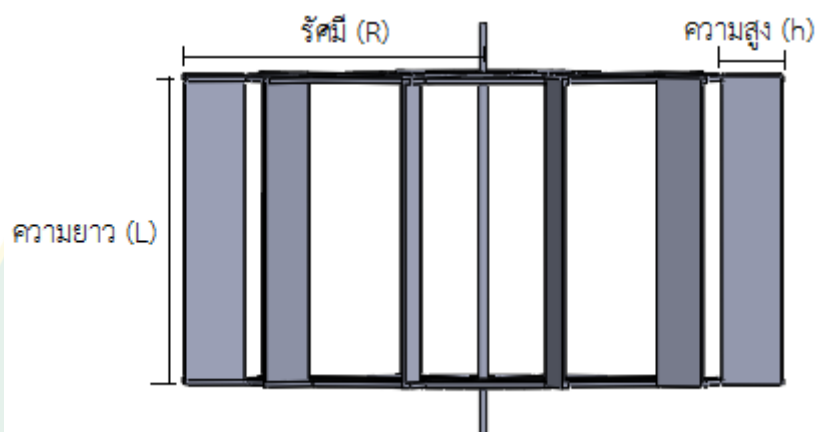
โดยที่ค่า a สามารถหาได้จากพื้นที่ของใบพายแต่ละใบที่มีความยาว ความสูง และทำมุมระหว่างทิศทางการไหลของน้ำกับแนวรัศมีของกังหันดังแสดงในสมการที่ 2.5

$$a = \sin\theta Lh \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

และค่า A_B สามารถหาได้จากพื้นที่กวาดของใบพายที่มีความยาวและรัศมีกังหันดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$A_B = 2RL \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

เมื่อ	a	คือ ผลรวมของพื้นที่ใบในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ (m^2)
	A_B	คือ พื้นที่กวาดของใบพาย (m^2)
	L	คือ ความยาวใบพาย (m)
	h	คือ ความสูงใบพาย (m)
	R	คือ รัศมีกังหัน (m)
	θ	คือ มุมระหว่างทิศทางการไหลของน้ำกับแนวรัศมีของกังหัน ($^\circ$)



ภาพที่ 2.20 แสดงอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพื้นที่ใบพายในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำกับพื้นที่กวาดของใบพาย

ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ วัตถุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น เหล็ก จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำ เช่น น้ำ ที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอของความหนาแน่นคือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งหาได้จากสมการ (ธัญดร, 2553)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

สมการที่ 2.7

เมื่อ	ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
	m	คือ มวลของวัตถุ (kg)
	V	คือ ปริมาตรของวัตถุ (m^3)

ถ้ากรณีที่ไม่สามารถหาค่ามวลหรือปริมาตรได้ แต่ทราบอุณหภูมิของวัตถุสามารถหาความหนาแน่นได้จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (ในกรณีของน้ำ)

ตารางที่ 2.2 แสดงความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0-100 °C

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
0	999.9	55	985.7
5	1000	60	983.2
10	999.7	65	980.6
15	999.1	70	977.8
20	998.2	75	974.9
25	997.1	80	971.8
30	995.7	85	968.6
35	994.1	90	965.3
40	992.2	95	961.9
45	990.2	100	958.4
50	988.1		

ที่มา: โชติไกร (2556)

แรงและแรงบิดที่กระทำต่อใบพาย

ใบพาย คือ กลไกที่หมุนโดยใช้แรงบิดเพื่อทำให้เกิดแรงดันตามแกน การเปลี่ยนจากแรงบิดเป็นแรงดันตามแกนนั้นทำได้โดยการใช้โมเมนต์เปลี่ยนแกนของของไหลที่ใบพายนั้นจมอยู่ เมื่อใบพายซึ่งจมในของไหลมีการหมุน จะทำให้เกิดแรงกระทำต่อของไหล และผลักดันให้ของไหลวิ่งกลับหลัง แรงปฏิกิริยาของแรงนี้จะทำให้เกิดแรงผลักใบพายให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยจะสามารถหาแรงที่กระทำต่อใบพายที่เกิดจากการกระทบของน้ำได้จากสมการ (ธเนศ และคณะ, 2554)

$$F = \frac{1}{2}(\rho A v)(v - u)$$

สมการที่ 2.8

เมื่อ	F	คือ แรงกระทำต่อใบพาย (N)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (m^2)
	v	คือ อัตราเร็วของน้ำ (m/s)
	u	คือ อัตราเร็วของใบพาย ณ ตำแหน่งที่ลำของน้ำมากระทบใบพาย (m/s)

เมื่อต้องการหาค่ากำลังที่เกิดจากการพุ่งกระทบของลำของไหลมากระทบใบพายสามารถหาได้จากสมการ (อัศวิน, 2552)

$$P = Fu$$

สมการที่ 2.9

เมื่อ P คือ กำลังที่เกิดจากการพุ่งกระทบของลำของไหลบนใบพาย หลังจากที่เราหาแรงที่กระทำต่อใบพายได้ ก็สามารถหาแรงบิด (Torque) ที่กระทำต่อแกนหมุนได้จากสมการ (อัศวิน, 2552)

$$\tau = Fr$$

สมการที่ 2.10

เมื่อ	τ	คือ แรงบิด (N-m)
	r	คือ รัศมีของมุขเลย์ (m)

พลังงานและกำลังของน้ำ

การนำพลังงานจากการไหลมาใช้ประโยชน์ นั้นจะต้องพิจารณาค่าพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในกระแสการไหล อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดที่ทำการพิจารณา หรืออาจกล่าวได้ว่าพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในกระแสการไหล ที่กั้นหันสามารถเก็บเกี่ยวได้ โดยพลังงานจลน์สามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

สมการที่ 2.11

เมื่อพิจารณาขณะที่น้ำเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A อัตราการไหลเชิงมวล m จะเท่ากับผลคูณระหว่างอัตราเร็วกับความหนาแน่นของของไหล ดังนั้นค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ A ในช่วงเวลาที่พิจารณาจะเป็นค่ากำลังของน้ำที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ได้จาก (ณัฐวุฒิ และจิระกานต์, 2555)

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

สมการที่ 2.12

เมื่อ	E_k	คือ พลังงานจลน์ของน้ำ (J)
	P_w	คือ กำลังของน้ำ (W)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
	v	คือ อัตราเร็วของน้ำ (m/s)
	A	คือ พื้นที่ของใบพายที่น้ำไหลมาปะทะ (m^2)
	m	คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

ในส่วนของกำลังที่ได้จากเพลลาหรือกำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหัน ซึ่งกังหันมีการเคลื่อนที่แบบวงกลม โดยความเร็วของกังหันสามารถหาได้จากสมการความเร็วเชิงมุม

$$\omega = 2\pi N$$

สมการที่ 2.13

เมื่อพิจารณาความเร็วเชิงมุมของเพลลา กำลังที่เพลลาจะเท่ากับผลคูณระหว่างผลต่างของแรงที่ใช้ดึงมวลถ่วง รัศมีของมุลเลย์ และความเร็วเชิงมุมดังแสดงในสมการที่ 2.14 ดังนั้นค่ากำลังที่วัดได้จากการหมุนของกังหัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

$$P_s = \omega Fr$$

สมการที่ 2.14

$$P_s = 2\pi N t$$

สมการที่ 2.15

เมื่อ	P_s	คือ กำลังที่เพลลา (W)
	ω	คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
	N	คือ อัตราเร็วรอบ (rpm)
	r	คือ รัศมีของมุลเลย์ (m)

สัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์แรงบิด

กระบวนการเปลี่ยนสภาพพลังงานชั้นต่างๆ จะมีความสูญเสียของพลังงานเกิดขึ้น เช่น ความสูงของหัวน้ำ อัตราเร็วของน้ำ ความฝืด การรั่วไหลของน้ำ การสั่นสะเทือน การเสียดสีระหว่างเพลลา กับแบร์ริงที่เกิดขึ้น โดยที่การแปรสภาพจากพลังงานน้ำมาเป็นพลังงานกล หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์กำลัง (Power coefficient) หาได้จากสมการที่ 2.16 และค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque

coefficient) เป็นอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบดังแสดงในสมการที่ 2.17

$$C_p = \frac{P_s}{P_w} \times 100 \quad \text{สมการที่ 2.16}$$

เมื่อ	C_p	คือ สัมประสิทธิ์กำลัง (%)
	P_s	คือ กำลังที่เพลลา (W)
	P_w	คือ กำลังของน้ำ (W)

$$C_T = \frac{C_p}{\lambda} \times 100 \quad \text{สมการที่ 2.17}$$

เมื่อ	C_T	คือ สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)
	λ	คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบ

อัตราส่วนความเร็วปลายใบ

อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip speed ratio) คือ อัตราส่วนความเร็ว ปลายใบพายเมื่อเทียบกับความเร็วน้ำ โดยที่ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งในการวิเคราะห์กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เนื่องจากจะมีผลทำให้มุมปะทะและค่าสัมประสิทธิ์กำลังเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{R2\pi N}{v} \quad \text{สมการที่ 2.18}$$

เมื่อ	λ	คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบ
	R	คือ รัศมีกังหัน (m)

การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน

ในการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถทำนายได้จากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squared error, RMSE) ดังแสดงในสมการที่ 2.19 ทั้งนี้ค่า RMSE หากยังมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น (จักรฤทธิ์ และทวีศักดิ์, 2555)

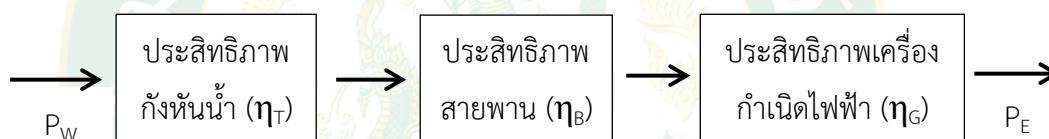
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (E - M)^2}$$

สมการที่ 2.19

เมื่อ	RMSE	คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
	n	คือ จำนวนข้อมูล
	E	คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง
	M	คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ

ในการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบลูกตุ้ม สามารถวิเคราะห์ได้จากพลังงานทั้งหมดที่ส่งไปยังกังหันน้ำสามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการของพลังงานจลน์ของน้ำ ซึ่งกระบวนการแปลงกำลังของน้ำเป็นกำลังไฟฟ้านั้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพจากอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 กระบวนการแปลงกำลังของน้ำเป็นกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ

ดังนั้นจากภาพที่ 2.21 สามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบลูกตุ้มได้จากผลคูณระหว่างกำลังของน้ำกับประสิทธิภาพโดยรวมจากกระบวนการเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งประกอบด้วยประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ประสิทธิภาพของสายพาน และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในสมการที่ 2.20

$$P_E = P_W \eta_T \eta_B \eta_G$$

สมการที่ 2.20

เมื่อ	P_E	คือ กำลังไฟฟ้า (W)
	P_W	คือ กำลังของน้ำ (W)
	η_T	คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ (%)
	η_B	คือ ประสิทธิภาพของสายพาน (%)
	η_G	คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (%)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธเนศ และคณะ (2554) ได้ออกแบบและสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก สำหรับใช้ในพื้นที่ชลประทาน โดยได้ออกแบบกังหันที่มีจำนวนใบพาย 14 ใบ ใบพายมีลักษณะแบบแผ่นเรียบยกสันขนาดความยาว 90 cm ความสูง 30 cm ยกสันสูง 15 cm และความยาวก้านใบ 95 cm เมื่อประกอบกับดุมจับยึดเพลาก็ได้รัศมี ณ ปลายของใบพายเท่ากับ 100 cm ทำการศึกษาที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 4 ค่า ประกอบด้วย 15 20 30 และ 40 cm ทำการทดลองที่อัตราเร็วน้ำ 0.55-0.60 m/s และทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับอัตราเร็วรอบ แรงบิด และกำลังที่เพล่า อีกทั้งยังทำการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ผลการดำเนินงานพบว่าอัตราเร็วรอบของกังหันจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายลดลง โดยที่อัตราเร็วรอบเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.39 rpm ที่ระดับการจมน้ำ 15 cm หรือ 50% ของความสูงใบพาย และพบว่าแรงบิดของกังหันจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้น แต่เมื่อใบพายจมน้ำมากกว่าความสูงของใบพายแรงบิดจะมีค่าลดลง โดยที่แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 31.5 N-m ที่ระดับการจมน้ำ 30 cm หรือ 100% ของความสูงใบพาย ทั้งนี้ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 30 cm ให้กำลังที่เพล่าสูงสุดเท่ากับ 6.4 W รองลงมาที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 20 cm 40 cm และ 15 cm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.0 W 4.5 W และ 4.1 W ตามลำดับ ในส่วนของระบบผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 12 V และเมื่อระบบเริ่มประจุแบตเตอรี่ พบว่าอัตราเร็วรอบของกังหันลดลงเนื่องจากแรงต้านของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่อัตราเร็วรอบ 2.9 rpm และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอัตราเร็วรอบเฉลี่ย 390 rpm สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.2 A โดยกังหันที่ออกแบบมีประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ย $11.3 \pm 2.1\%$

วัชระ (2557) ได้ทำการศึกษาและออกแบบกังหันน้ำคาบลาในในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก โดยทำการศึกษาด้วยวิธีการจำลองแบบหาค่าความปลอดภัยจากการใช้งานหาผลของแรงบิดของเพล่า ทำการทดลองแบบจำลองที่มุมใบพัด 15 30 45 60 75 และ 90° จำนวนใบพัด 3 4 และ 5 ใบ ความหนาใบพัด 3 5 และ 7 mm ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 10 15 และ 20 L/s จากการทำทดลองพบว่าผลของแรงบิดของเพล่าที่มุมใบพัด 15° จำนวน 4 ใบ อัตราการไหลของน้ำ 20 L/s ให้แรงบิดของเพล่าสูงสุด 5.1 N-m และผลที่ได้จากการจำลองแบบ เลือกใบพัด 1 แบบ นำมาสร้างต้นแบบทำการติดตั้งและทดลองจริงโดยเลือกใบพัดมุม 15° ที่จำนวน 4 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบ 10 cm จากผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย 19.4 L/s พบว่ากำลังทางน้ำเท่ากับ 2,485 W กำลังทางกลเท่ากับ 1,021 W และประสิทธิภาพกังหันเท่ากับ 40.85 %

อัศวิน (2552) ได้ศึกษาแบบจำลองกังหันน้ำที่มีใบลักษณะต่างกัน 3 แบบ คือ ใบลักษณะแบน ใบลักษณะปลายหักมุม และใบลักษณะโค้ง โดยที่กังหันมีจำนวนใบพาย 16 ใบ ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 40 cm และขนาดใบมีความกว้าง 8 cm สูง 6 cm ทำการทดลองในรางน้ำแบบเปิดที่มีความเร็วการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 0.5-2.0 m/s และได้สร้างต้นแบบกังหันน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 cm ใบพายมีขนาดความกว้าง 40 cm และสูง 30 cm และทำการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ซึ่งใช้ชุดแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ติดกับชุดขดลวดทองแดงซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรที่ออกแบบและสร้างมีความเร็วรอบที่ผลิตไฟฟ้าได้อยู่ในช่วง 100-200 rpm ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองกังหันน้ำขนาดเล็กแบบหลุกต่ำที่มีใบลักษณะโค้งให้ประสิทธิภาพเชิงกลดีที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 35% และพบว่าต้นแบบกังหันน้ำขนาดเล็กแบบหลุกต่ำที่สร้างขนาดจริงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 200 cm ที่ทำการทดลองที่ความเร็วของน้ำ 1 m/s สามารถขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 15 W

อรรถกร (2556) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กด้วยกังหันน้ำแบบเพลตัน ณ บ้านคีรีวง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งกังหันอันเดมมีประสิทธิภาพต่ำ โดยทำการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดน้ำที่ทำมุม 14° และเปรียบเทียบขนาดตั้งแต่ 5.5-11.5 mm เพื่อผลิตไฟฟ้าที่ระดับความสูงของน้ำระหว่าง 30-90 m ทั้งนี้ใบพัดผลิตมาจากสแตนเลสจำนวน 18 ลูกยึดติดกับหน้าแปลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm โดยทำการวิเคราะห์อัตราการไหลของน้ำ ระดับความสูงของน้ำ และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า คือ ระดับความสูงของน้ำและอัตราการไหลของน้ำโดยมีขนาดหัวฉีดน้ำเป็นตัวควบคุม และพบว่าช่วงระดับความสูงของน้ำที่เหมาะสมในการนำกังหันน้ำและหัวฉีดน้ำขนาดต่างๆ ไปใช้ คือ ที่ระยะความสูงในช่วงระหว่าง 70-80 m โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำสูงสุดมีค่าเท่ากับ 52% และเมื่อนำหัวฉีดที่ใช้ในการทดสอบไปใช้งานจริงพบว่ากังหันน้ำสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้งานหัวฉีดแบบเดิมประมาณ 5% เมื่อวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่ากังหันน้ำที่ใช้งานร่วมกับหัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงสามารถคืนทุนภายใน 2 ปี

อิลิฮัยะ และคณะ (2555) ได้ติดตั้งและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กอย่างง่ายที่ได้ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่จังหวัดยะลา โดยการสร้างชุดกังหันน้ำจากกรวยเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 6 cm เชื่อมต่อกันเป็นแนววงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.32 cm โดยมีจำนวนกรวยเหล็กต่างกัน คือ 9 12 15 และ 18 อัน ทำการทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแบบหัวฉีดอย่างง่ายที่มีปล่อยน้ำออกจากหัวฉีด 1 2 3 และ 4 หัว ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์จำนวนใบพัด และจำนวนหัวฉีดที่มีการปล่อยน้ำกับอัตราเร็วรอบ ความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบจำนวนใบพัดและหัวฉีดที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราเร็วรอบ ความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุดเมื่อปล่อยน้ำออกจากหัวฉีดทั้ง 4 หัว และพบว่ากังหันที่มีใบพัดจำนวน 12 ใบ มีอัตราเร็วรอบ และความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 902 rpm และ 322.8 V ตามลำดับ ในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5 mA ที่จำนวนใบพัด 15 ใบ

ณัฐวุฒิ และจิระกานต์ (2555) ได้ออกแบบและทดสอบกังหันน้ำแนวแกนตั้งแบบลดแรงเสียดทาน เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของใบพัดให้สามารถทำงานและเริ่มออกตัวเร็วขึ้นกว่าแบบเก่า โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของใบพัด กล่าวคือ เมื่อน้ำไหลผ่านใบพัด ใบพัดจะเปิดขึ้นเพื่อรับพลังงานจากการไหลเมื่ออยู่ในทิศทางตามน้ำ และจะถูกปิดลงให้ขนานกับการไหลเมื่อหมุนไปอยู่ในทิศทางทวนน้ำ ในการทดลองได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของใบพัดชนิดโค้งที่มีขนาดความกว้าง 0.1 m ความยาว 0.3 m และรัศมีความโค้ง 0.15 m โดยมีการเปรียบเทียบกับใบพัดชนิดตรงขนาดความกว้าง 0.1 m และความยาว 0.3 m และทำการทดสอบกังหันที่ความเร็วกระแสน้ำเท่ากับ 0.28 0.43 0.51 0.57 0.60 0.64 0.67 และ 0.73 m/s ตามลำดับ ทั้งนี้กังหันน้ำได้ทำการทดสอบในแบบจำลองคลองชลประทานดาดคอนกรีตมีความกว้างของกันคลอง 0.8 m และความลึกของน้ำ 0.3 m จากการทดสอบพบว่าใบพัดชนิดโค้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าใบพัดชนิดตรง โดยที่ใบพัดชนิดโค้งได้ประสิทธิภาพกังหันสูงสุดเท่ากับ 72% ที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.57 m/s เมื่อเปรียบเทียบกับใบพัดชนิดตรงได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 56% ที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.73 m/s

ทวีพร และกวนัย (2551) ได้ออกแบบและพัฒนากังหันน้ำแบบทุ่นลอย โดยออกแบบกังหันน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m ใบพายทำจากโลหะแผ่นเรียบที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูเปิดขนาด 0.15 x 0.46 x 0.126 m ความยาว 1 m และจำนวนใบพาย 14 ใบ ทุ่นลอยทำจากถังพลาสติกสำเร็จรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 m ยาว 0.8 m จำนวนทั้งหมด 4 ทุ่นลอย ทำการทดสอบในคลองส่งน้ำชลประทานที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 3 ค่า ประกอบด้วย 0.1 0.2 และ 0.3 m และความเร็วของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.25 m/s ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ห้ระดับการจมน้ำของใบพายที่มีผลต่ออัตราเร็วรอบ แรงบิด กำลังงาน และประสิทธิภาพกังหัน จากการทดสอบที่ระดับการจมน้ำทั้ง 3 ระดับ พบว่าแรงบิดและประสิทธิภาพกังหันมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้น ทั้งนี้อัตราเร็วรอบสูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.1 rpm ที่ระดับการจมน้ำ 0.3 แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 44.1 N-m ที่ระดับการจมน้ำ 0.2 m กำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 46.8 W ที่ระดับการจมน้ำ 0.3 m และประสิทธิภาพกังหันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 15.97% ที่ระดับการจมน้ำ 0.3 m

ภาสวรรณ และคณะ (2558) ได้ออกแบบและสร้างกังหันสูบน้ำแบบท่อขดเกลียว โดยทำการออกแบบชุดกังหันเพื่อใช้ทดสอบจริงในแหล่งน้ำธรรมชาติ กังหันสูบน้ำแบบท่อขดเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m ใบพายรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูเปิด ยาว 1.3 m จำนวน 14 ใบ โดยที่ทุ่นลอยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m ยาว 3 m มีจำนวนทั้งหมด 2 ทุ่นลอย ทำการศึกษาเครื่องสูบน้ำแบบท่อขดเกลียวในอ่างน้ำจำลอง และทำการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อ อัตราการไหล กำลังงาน และประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบท่อขดเกลียว จากการศึกษากังหันสูบน้ำแบบท่อขดเกลียวในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.9-1.2 m/s พบว่าความยาวของท่อขดเกลียวจะส่งผลต่ออัตราการไหลของน้ำและความดันของน้ำ และพบว่าเมื่อความเร็วของกระแสน้ำเพิ่มขึ้นมีผลให้

ความเร็วรอบของวงล้อกังหันหมุนเพิ่มขึ้น และส่งผลให้อัตราการไหล ความดันของน้ำ และค่ากำลังงานจากการไหลของน้ำที่ให้แก่กังหันมีค่าเพิ่มขึ้น ผลของความเร็วรอบของกังหันอยู่ในช่วง 6-8 rpm ผลอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 13 l/min ที่ความดันน้ำ 1 kg/cm² คิดเป็นความสูงของลำน้ำที่ประมาณ 10 m สำหรับกำลังงานที่ให้แก่กังหันสูงสุดเท่ากับ 133.16 W ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดของกังหันเท่ากับ 32%

ภัสร์ภิญช์ และคณะ (2560) ได้ออกแบบและสร้างกังหันน้ำแกนนอนแนวขวางแบบใบกังหันปรับมุมพิทช์ได้ ซึ่งถูกออกแบบให้มีระบบกลไกควบคุมการปรับมุมพิทช์ของใบกังหันซึ่งจะทำให้ใบกังหันหมุนได้รอบแกนตัวเองในขณะที่มีการเคลื่อนที่รอบแกนหลักของโรเตอร์ โดยที่ใบกังหันผลิตจากอะลูมิเนียมที่มีความหนา 1 mm ยาว 37 cm และรัศมีกังหันเท่ากับ 38 cm ทำการทดสอบในแบบจำลองคลองน้ำวนที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลเท่ากับ 100 cm x 110 cm ระดับน้ำลึก 80 cm ความเร็วของกระแส 0.25-0.6 m/s ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็วกระแส และค่าความทึบของกังหันที่มีต่อสัมประสิทธิ์กำลัง ผลการทดลองพบว่าความทึบของกังหันและระดับการจมตัวของใบพายมีผลกระทบอย่างมากต่อสัมประสิทธิ์กำลัง โดยที่สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเกิดขึ้นที่ความทึบของกังหัน 0.57 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 53% และพบว่าความเร็วของน้ำประมาณ 0.35-0.4 m/s เป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่กังหันน้ำให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด

พณัฐ และพรพิมล (2554) ได้ศึกษากังหันน้ำแบบท่อนลอยชนิดเอียงเพื่อประยุกต์การใช้พลังงานน้ำให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยกังหันน้ำสร้างจากอะลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm จำนวนใบพัด 9 ใบ แต่ละใบยาว 20 cm และสูง 15 cm ทำการศึกษามุมเอียงของใบพัด 4 ค่า ประกอบด้วย 90 60 45 และ 30° ทำการทดสอบโดยนำกังหันน้ำไปลอยในคลองระบายน้ำที่มีความเร็วกระแสเท่ากับ 0.353-0.507 m/s ระหว่างการทดสอบได้ปรับค่าระดับการจมตัวของกังหัน 3 ค่า ได้แก่ 5 10 และ 15 cm ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุม แรงบิด และกำลังงานกับมุมเอียงของใบพัดและระดับการจมตัวของกังหัน จากการทดลองพบว่าความเร็วเชิงมุม แรงบิด และกำลังงานสูงขึ้นเมื่อความเร็วของกระแสเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าสูงสุดของความเร็วเชิงมุม แรงบิด และกำลังงาน เกิดขึ้นที่ใบพัดของกังหันทำมุม 60° ระดับการจมตัวของกังหัน 15 cm โดยที่ความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับ 0.25 rps แรงบิดมีค่าเท่ากับ 0.37 N-m และกำลังงานมีค่าเท่ากับ 0.25 W

ณัฐ และรัชพล (2557) ได้ศึกษาแรงบิดและประสิทธิภาพของกังหันน้ำจากพลังงานน้ำวนอิสระ โดยศึกษากังหันน้ำที่มีใบพัดโค้ง 2 แบบ แบบที่ 1 ใบพัดมีลักษณะคล้ายมีดพริก และแบบที่ 2 ใบพัดมีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ละแบบใบพัดมีจำนวน 5 ใบ ทำการทดสอบในชุดบ่อน้ำวนอิสระ ซึ่งประกอบด้วย ถังเก็บน้ำด้านบนขนาดกว้าง 1.5 m ยาว 1.5 m และสูง 1.2 m บ่อน้ำวนอิสระขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 m และสูง 1 m ช่องน้ำทางออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 m รางน้ำ อ่าง

เก็บน้ำด้านล่าง รางน้ำ ท่อ และปั๊ม โดยที่อัตราการไหลของน้ำคงที่ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลากับ แรงบิด และประสิทธิภาพ จากการทดลองพบว่า กังหันน้ำแบบที่ 1 มีแรงบิดและประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ 50 rpm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.45 N-m และ 29.79% ตามลำดับ ส่วนกังหันน้ำแบบที่ 2 มีแรงบิดและประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ 50 rpm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.46 N-m และ 27.26% ตามลำดับ

Tevata and Inprasit (2011) ได้ศึกษาผลกระทบของจำนวนใบพัดกังหันน้ำและระดับการจมน้ำของใบพัด โดยทำการศึกษาจำนวนใบพัด 3 ค่า ประกอบด้วย 6 8 และ 12 ใบ ซึ่งใบพัดแต่ละใบมีความกว้าง 0.1 m ความสูง 0.2 m และรัศมีกังหันคงที่เท่ากับ 0.2 m ทำการทดสอบที่ระดับการจมน้ำของใบพัด 3 ค่า คือ 25% 50% และ 75% ของความสูงใบพัดในอุโมงค์น้ำที่มีเครื่องปั๊มน้ำ 3 แรงม้า รางน้ำกว้าง 0.3 m สูง 0.35 m และยาว 2.5 m โดยที่น้ำถูกพักไว้ในถังเก็บน้ำที่มีความกว้าง 0.9 m สูง 0.7 m และยาว 1.5 m เมื่อเปิดปั๊มน้ำอัตราการไหลของน้ำมีค่าเท่ากับ $1,300 \text{ L/m}$ และความเร็วของน้ำ 0.3 m/s ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนใบพัดกังหันน้ำและระดับการจมน้ำของใบพัดกับโหลดแบบแรงบิดไม่คงที่ ในการทดสอบผลกระทบของจำนวนใบพัดและระดับการจมน้ำของใบพัด พบว่ากำลังสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.041 W เกิดขึ้นเมื่อโหลดแรงบิด 0.14 N-m ที่จำนวนใบพัด 6 ใบ และระดับการจมน้ำของใบพัด 50% ของความสูงใบพัด

Allan (2008) ได้สร้างและทดสอบกังหันน้ำแบบหลุกดำ โดยกังหันน้ำแบบหลุกดำใช้วงไม้ที่ใช้ม้วนสายไฟฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 in ทำเป็นโครงกังหันยึดไว้ตรงกลางด้วยแกนเพลามีขนาดความยาว 3.5 cm โดยที่ใบพายทำจากท่อ PVC ขนาด 12 in จำนวนใบพาย 8 ใบ มีขนาดความยาวประมาณ 100 cm ในการทดลองได้ต่อกังหันน้ำเข้ากับเฟืองเกียร์เครื่องยนต์ขนาด 35 cm ที่มีอัตราทดรอบสองครั้งคือ 14:1 และ 3:1 ทำการทดสอบกังหันน้ำในสายน้ำลำธารที่มีการสร้างฝายกั้นน้ำจากคอนกรีต โดยน้ำไหลมาตีใบพายทางด้านกึ่งกลางของกังหัน ทั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดอัตราเร็วรอบของกังหัน แรงบิด ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า จากการทดสอบกังหันน้ำแบบหลุกดำพบว่าอัตราเร็วรอบของกังหันมีค่าเท่ากับ 25.5 rpm และแรงบิดมีค่าเท่ากับ 47.45 N-m ทั้งนี้จากการหมุนของกังหันผ่านชุดทดรอบทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วยอัตราเร็วรอบประมาณ 1,260 rpm ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า 48 V จากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองสามารถชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12 V 12 A

Arslan et al. (2011) ได้ออกแบบและสร้างกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อติดตั้งในลำน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ โดยออกแบบกังหันน้ำที่สามารถติดตั้งในลำน้ำที่มีความสูง 1-4 ft และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงพอสำหรับหลอดไฟแบบประหยัด 50-60 W ทำให้เกิดแสงสว่างตามความต้องการของชาวบ้านที่กระแสไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง แต่มีสายน้ำลำธารจากธรรมชาติ กังหันที่ออกแบบมีขนาดรัศมีกังหันเท่ากับ 13 cm จำนวนใบพาย 8 ใบ ใบพายแต่ละใบสร้างจากแผ่นอะลูมิเนียมมีรูปทรงครึ่ง

วงกลมยาว 10 cm และสูง 5 cm ในการทดสอบได้ต่อเข้ากับมู่เล่นี่ที่มีรัศมี 11 cm ทำการทดสอบที่ความเร็วของน้ำ 4 ค่า ประกอบด้วย 0.5 1.0 1.2 และ 1.5 m/s ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าแรงของน้ำ แรงบิด กำลังจากกระแส น้ำ โหลด และกำลังที่เพลลาที่ความเร็วของน้ำต่างๆ จากการทดลองพบว่ากังหันที่ออกแบบสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าดีที่สุดที่ความเร็วของน้ำ 1.2 m/s แรงของน้ำ 7.18 N แรงบิด 0.93 N-m กำลังจากกระแส น้ำ 9.78 W โหลด 7.18 kg และกำลังที่เพลลา 4.31 W ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 50 W

Nguyen et al. (2016) ได้ออกแบบกังหันน้ำแบบหลุกต่ำจากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์และได้จำลองการไหลของน้ำผ่านกังหัน (CFD) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากังหันน้ำแบบหลุกต่ำต่อไป โดยทำการศึกษแบบจำลองกังหันน้ำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 cm จำนวนใบพาย 3 ค่า ประกอบด้วย 10 12 และ 20 ใบ แต่ละใบพายยาว 60 cm สูง 30 cm และหนา 1 cm และทำการศึกษากังหันน้ำที่มีรูปทรงของใบพาย 3 แบบ ประกอบด้วย ใบพายตรง ใบพายโค้ง ใบพายปลายหักมุม ทำการจำลองการไหลที่ความเร็วน้ำ 1.2 m/s เปรียบเทียบอัตราส่วนความเร็วปลายใบ 5 ค่า ได้แก่ 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 และ 1.2 และกำหนดกำลังงานที่ได้ 200 W ทั้งนี้ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วปลายใบ กับสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิดที่จำนวนใบพายต่างๆ และที่รูปทรงต่างๆ ผลของการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันพบว่าสัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดเกิดขึ้นที่กังหันลักษณะใบพายตรง จำนวนใบพาย 10 ใบ อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.9 โดยสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าเท่ากับ 43% และสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าเท่ากับ 48%

Yah et al. (2018) ได้ออกแบบกังหันน้ำแบบหลุกจากโปรแกรม Solid work ในคอมพิวเตอร์และได้จำลองการไหลของน้ำผ่านกังหัน (CFD) เพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยทำการศึกษแบบจำลองกังหันน้ำที่มีรูปทรงของใบพาย 3 แบบ ประกอบด้วย ใบพายตรง ใบพายโค้งแบบที่ 1 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางความโค้ง 22.5 cm และใบพายโค้งแบบที่ 2 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางความโค้ง 28.1 cm แต่ละแบบมีรัศมีกังหัน 0.2 m จำนวนใบพาย 6 ใบ และแต่ละใบพายกว้าง 10 cm สูง 15 cm โดยแบบจำลองกังหันน้ำทำการทดสอบในรางน้ำที่มีความกว้าง 0.3 m สูง 35 cm และยาว 250 cm และทดสอบที่ระดับการการจมน้ำของใบพาย 2 ค่า คือ 50% และ 75% ของความสูงใบพาย กำหนดความเร็วของน้ำ 0.3 m/s ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบกำลังงานที่ได้จากแบบจำลองกังหันน้ำกับค่าทดลองจริง หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบกับกำลังงานที่รูปทรงแบบต่างๆ จากการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้จากแบบจำลองกังหันน้ำกับกำลังงานที่ได้จากการทดลองจริง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 9.3% โดยที่แบบจำลองกังหันน้ำมีค่าเท่ากับ 0.045 W และการทดลองจริงมีค่าเท่ากับ 0.041 W และผลของการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันพบว่าใบพายโค้งแบบที่ 2 ให้กำลังงานสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.073 W รองลงมาเป็นใบพายโค้งแบบที่ 1 และใบพายตรง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.064 W และ 0.045 W ตามลำดับ

Sule et al. (2014) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกดำที่มีลักษณะใบพาย 2 แบบ คือ ใบพายปลายหักมุมและใบพายโค้ง โดยกังหันแต่ละแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm ทำการศึกษาที่จำนวนใบพาย 3 ค่า ประกอบด้วย 6 8 และ 10 ใบ แต่ละใบพายกว้าง 20 cm สูง 15 cm ทำการทดสอบกังหันน้ำในอุโมงค์น้ำที่มีรางน้ำความยาว 400 cm กว้าง 22.5 cm และสูง 30 cm โดยใช้ปั้มน้ำขนาด 5 kW (6.7 แรงม้า) และทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำคงที่ $0.0137 \text{ m}^3/\text{s}$ ทั้งนี้ได้วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของกังหันทั้ง 2 แบบ ที่จำนวนใบพายทั้ง 3 ค่า จากการทดลองที่จำนวนใบพายทั้ง 3 ค่า พบว่าใบพายปลายหักมุมให้ประสิทธิภาพสูงกว่าใบพายโค้ง โดยที่ประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นที่จำนวนใบพาย 6 ใบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 57.20% รองลงมาเป็นจำนวนใบพาย 8 ใบ และจำนวนใบพาย 10 ใบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.39% และ 26.59% ตามลำดับ ในส่วนของใบพายโค้งประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นที่จำนวนใบพาย 6 ใบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 53.98% รองลงมาเป็นจำนวนใบพาย 8 ใบ และจำนวนใบพาย 10 ใบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.70% และ 26.59% ตามลำดับ

Date et al. (2012) ได้ศึกษาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางกังหันต่อสมรรถนะของกังหันน้ำประเภทแรงสะท้อนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ โดยทำการศึกษากังหันน้ำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกังหัน 2 ค่า ประกอบด้วย 12.2 cm และ 24.5 cm กังหันแต่ละตัวมีความกว้าง 12 cm ทำการทดสอบกังหันน้ำในอุโมงค์น้ำที่มีความสูงของหัวน้ำ 1-4 m และทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ที่มีความดันของแรงน้ำที่หมุนกังหัน 2 ค่า คือ 20 และ 40 kPa จากการทดสอบกังหันน้ำ พบว่าที่หัวน้ำคงที่อัตราเร็วรอบสูงขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันลดลง และพบว่าประสิทธิภาพกังหันสูงขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันลดลง โดยที่ประสิทธิภาพกังหันสูงสุดเกิดขึ้นเมื่ออัตราเร็วรอบเท่ากับ 800 rpm และมีค่าลดลงเมื่ออัตราเร็วรอบสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้ประสิทธิภาพกังหันสูงสุดเกิดขึ้นที่กังหันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.2 cm ความดันของแรงน้ำ 20 kPa ซึ่งมีค่าเท่ากับ 70%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

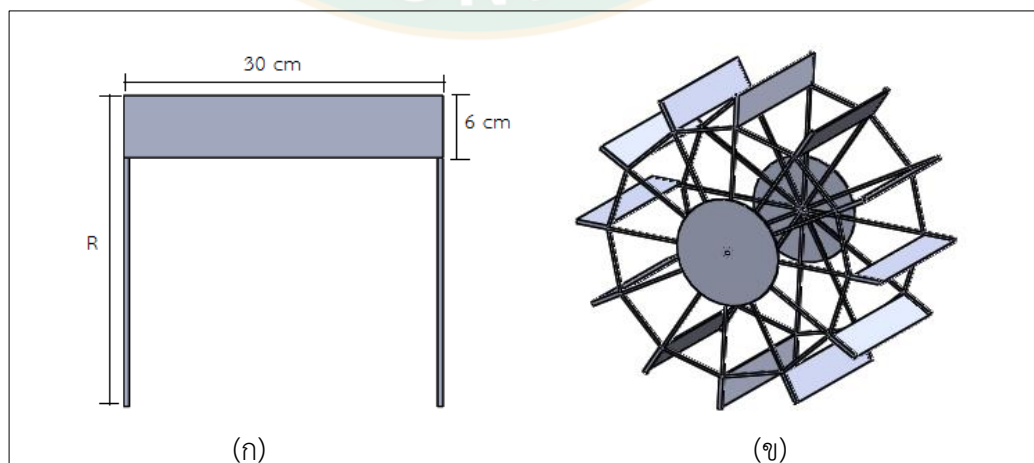
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง การติดตั้งชุดการทดลอง การทดสอบกังหันน้ำ และการตรวจวัดค่าต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยเบื้องต้น

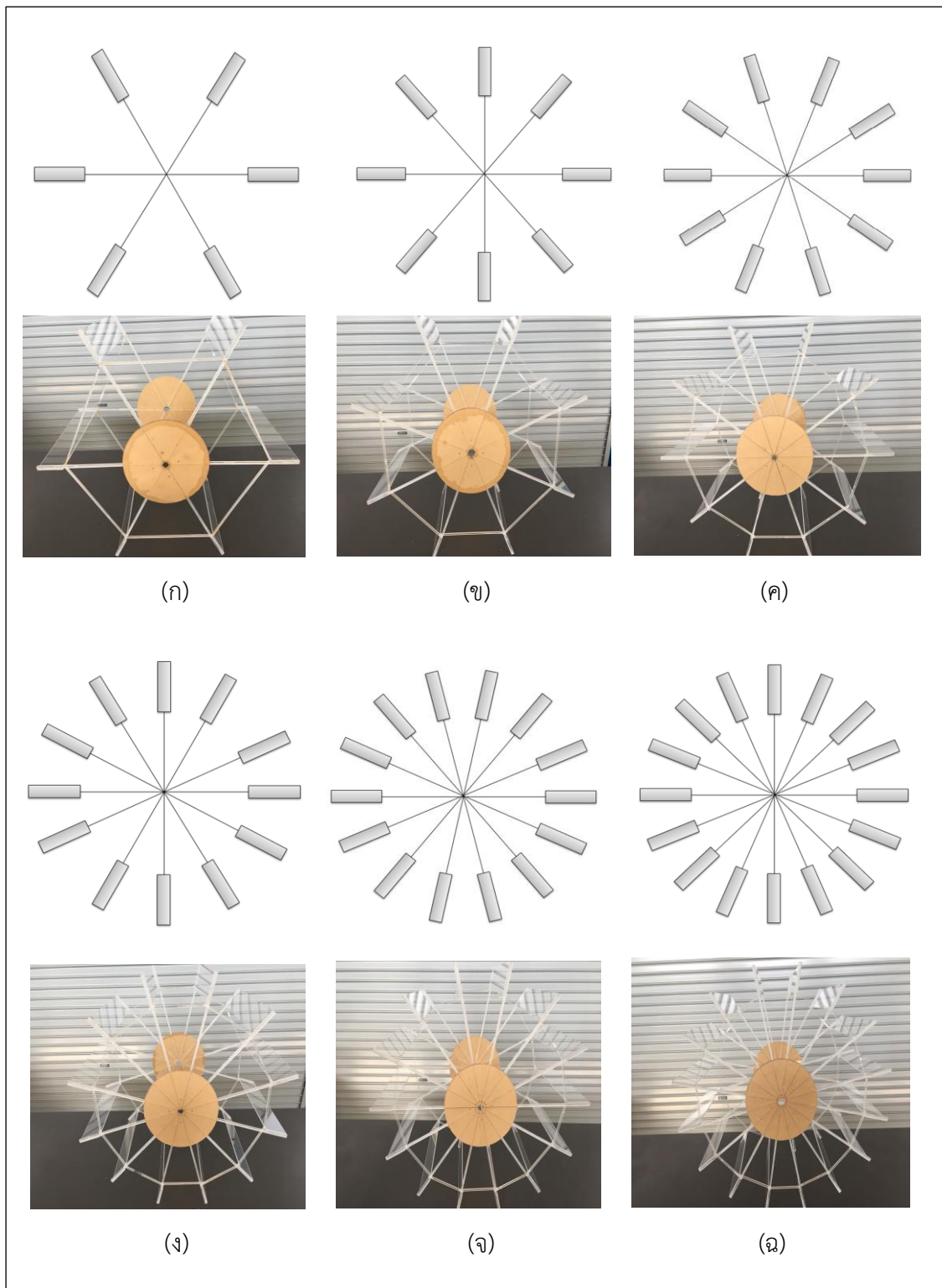
ทำการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาวิธีการออกแบบกังหัน วิธีการทดลอง การตรวจวัดค่าต่างๆ ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การออกแบบ และสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

ออกแบบกังหันน้ำที่มีใบพายแบบแผ่นเรียบ ซึ่งผลิตจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 3 mm ยาว 30 cm และ สูง 6 cm ดังแสดงในภาพที่ 3.1 จากนั้นสร้างกังหันน้ำที่มีจำนวนใบพาย 6 ค่า ประกอบด้วย 6 8 10 12 14 และ 16 ใบพาย ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยกังหันน้ำจะมีรัศมี 30 cm และสร้างกังหันที่มีรัศมีกังหัน 5 ค่า ประกอบด้วย 50% (15 cm) 75% (22.5 cm) 100% (30 cm) 125% (37.5 cm) และ 150% (45 cm) ของความยาวใบพาย ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ทั้งนี้กังหันที่รัศมีต่างๆ จะสร้างหลังจากทดลองกังหันน้ำที่จำนวนใบพายต่างๆ เพื่อหาจำนวนใบพายที่มีสัมประสิทธิ์กำลังดีที่สุด

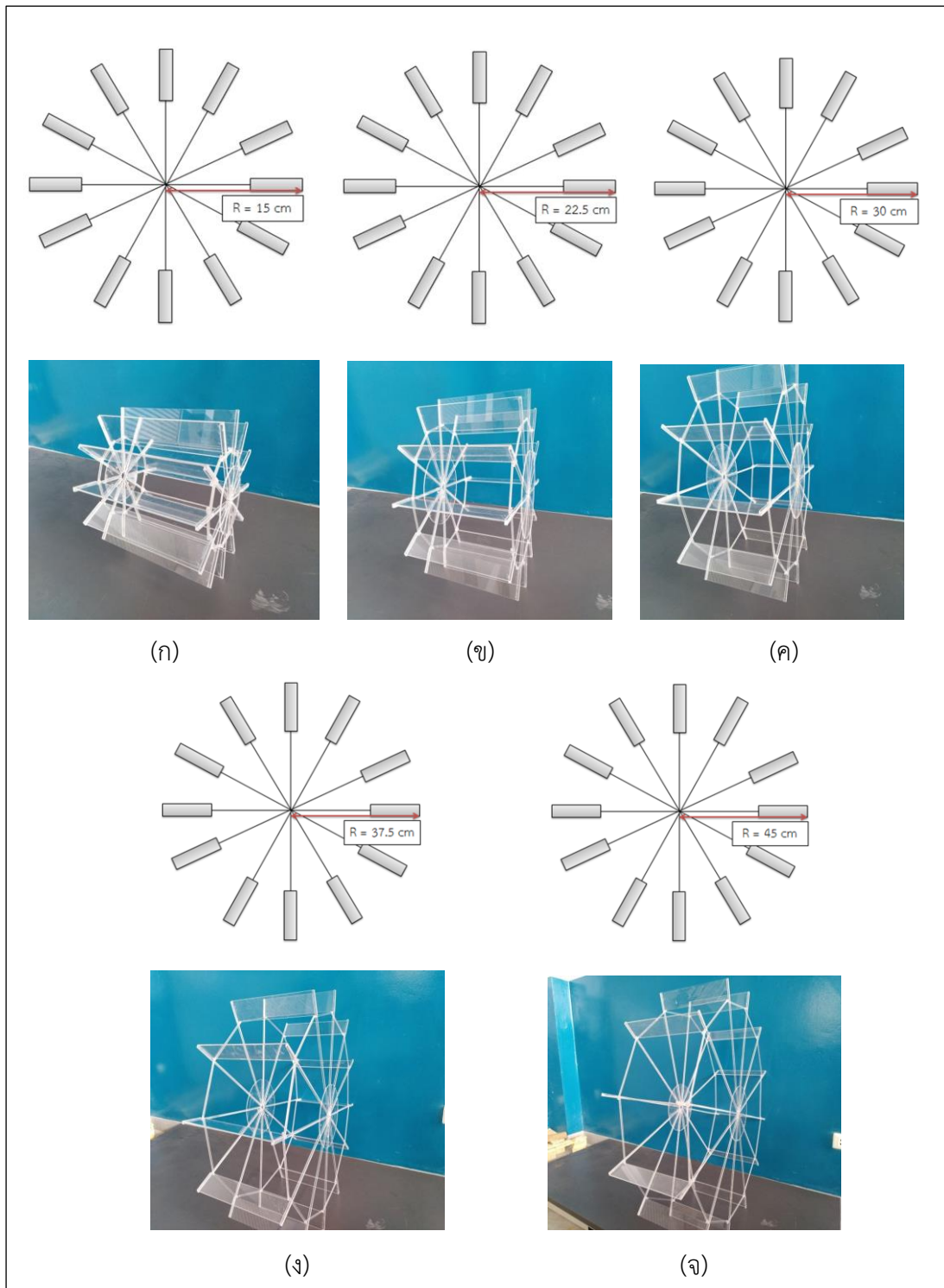


ภาพที่ 3.1 ลักษณะใบพายแบบแผ่นเรียบและกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ



ภาพที่ 3.2 ลักษณะกังหันน้ำที่จำนวนใบพายต่างๆ

(ก) 6 ใบพาย (ข) 8 ใบพาย (ค) 10 ใบพาย (ง) 12 ใบพาย (จ) 14 ใบพาย (ฉ) 16 ใบพาย



ภาพที่ 3.3 ลักษณะกังหันน้ำที่รัศมีกังหันต่างๆ

(ก) 50% (15 cm) (ข) 75% (22.5 cm) (ค) 100% (30 cm) (ง) 125% (37.5 cm)

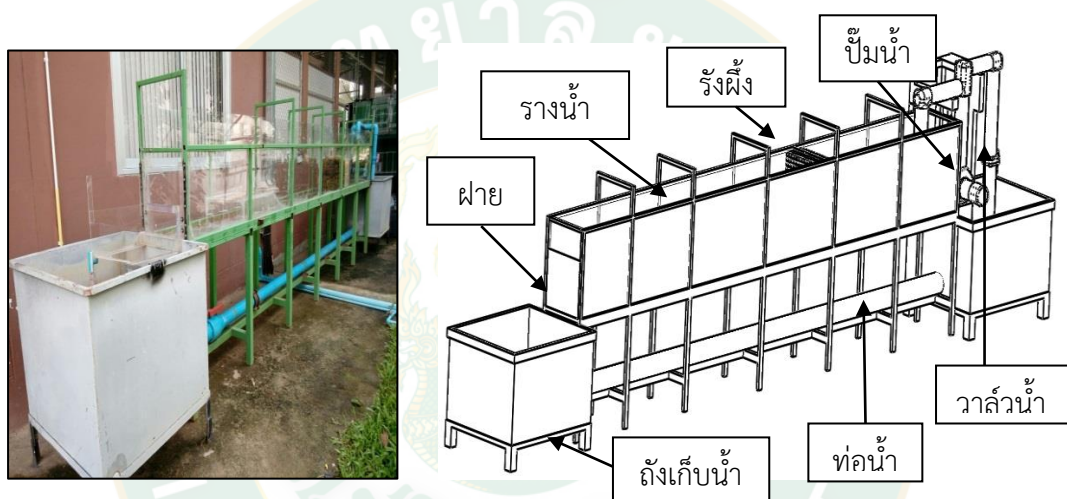
(จ) 150% (45 cm)

อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ อุโมงค์น้ำและส่วนประกอบต่างๆ อุปกรณ์ที่ใช้สร้างและติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ และอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าต่างๆ โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

1. อุโมงค์น้ำและส่วนประกอบต่างๆ

อุโมงค์น้ำจำลองที่ติดตั้งที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นลักษณะอุโมงค์น้ำแบบเปิดดังแสดงในภาพที่ 3.4 โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.4 ลักษณะอุโมงค์น้ำแบบเปิด

1. รางน้ำ

รางน้ำมีลักษณะรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้วัสดุชนิดอะคริลิกใสหนา 5 mm ประกอบเป็นรางน้ำขนาดทางน้ำกว้าง 40 cm สูง 40 cm และยาว 480 cm ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 รางน้ำ

2. ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำ (Pump) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือ หมุนเวียนน้ำใหวนอยู่ตามที่เรากำหนดไว้ในบริเวณที่จำกัด ปั๊มน้ำที่ใช้มีกำลัง 1 แรงม้า ดังแสดงใน ภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ปั๊มน้ำ

3. รั้งผึ้ง

รั้งผึ้งเป็นวัสดุที่ทำมาจากหลอดเรียงตั้งต่อๆ กันเพื่อช่วยลดความแปรปรวนของน้ำที่ไหลมาแรงๆ ให้ช่วยในการไหลแบบราบเรียบมากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 รั้งผึ้ง

4. ถังเก็บน้ำ

ถังเก็บน้ำมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 80 cm ยาว 80 cm และสูง 80 cm ทำมาจากสแตนเลส โดยถังเก็บน้ำมี 2 ใบ ซึ่งวางไว้บริเวณส่วนหน้าและส่วนท้ายของอุโมงค์น้ำดังแสดงใน ภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ถังเก็บน้ำ

5. ท่อน้ำ

ท่อน้ำ PVC ขนาด 4 in ยาว 480 cm เชื่อมต่อถังเก็บน้ำทั้ง 2 ใบ เพื่อใช้หมุนเวียนน้ำให้วน
ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ท่อน้ำ PVC

6. วาล์วน้ำ

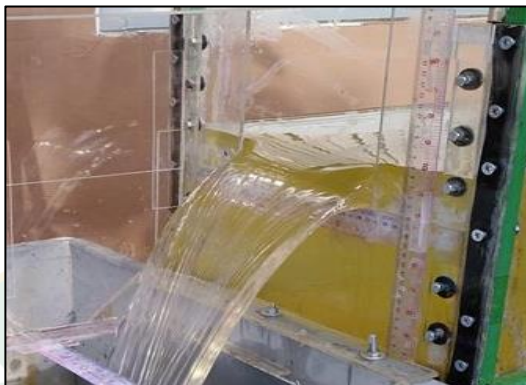
เป็นวาล์วน้ำชนิดสวมขนาด 2 in ใช้ปรับและควบคุมอัตราการไหลของน้ำตามที่ต้องการดัง
แสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 วาล์วน้ำ

7. ฝ่าย

เป็นฝายน้ำล้นแบบสันหนา มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผลิตจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 5 mm กว้าง 40 cm และสูง 20 cm ดังแสดงในภาพที่ 3.11

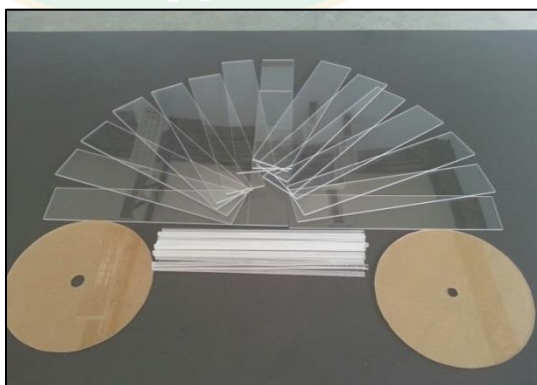


ภาพที่ 3.11 ฝายน้ำล้นแบบสันหนา

2. อุปกรณ์ที่ใช้สร้างและติดตั้งกังหันน้ำ

1. แผ่นพลาสติกอะคริลิก

แผ่นพลาสติกอะคริลิกนี้ เป็นอะคริลิกใสความหนา 3 mm ใช้สร้างกังหันน้ำแบบหลุกดำ มีคุณสมบัติสามารถตัดเป็นรูปร่างแบบต่างๆ ได้ตามความต้องการด้วยความร้อน และทำด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเบา โดยมีน้ำหนักเพียงครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแผ่นกระจกขนาดเดียวกัน สามารถต้านแรงกระแทกได้มากกว่ากระจกถึง 15 เท่า ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย เกลือ น้ำมัน น้ำมันเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซโซลีน สารเคมีและต่าง เป็นฉนวนกันความร้อนและกันไฟฟ้าได้ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แผ่นพลาสติกอะคริลิกใส

2. สแตนเลส

สแตนเลส (Stainless steel) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเพลลาของกังหันน้ำแบบหลุกดำมีขนาด 2 หุน (6.35 mm) ความยาว 60 cm ซึ่งมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนดีเยี่ยม ทนต่อสารคลอไรด์ทำให้ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูงได้ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 สแตนเลส

3. มุ่เลย์

มุ่เลย์ (Pulley) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเพลลา ใช้ในการเปลี่ยนจากการหมุนของกังหันน้ำเป็นแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโพลีเอสเตอร์ที่มีรัศมีเท่ากับ 2.5 cm ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยให้มีการหมุนที่เที่ยงตรงแม่นยำ แม้ในสภาวะใช้งานรอบจัดดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 มุ่เลย์

4. แบริ่ง

แบริ่ง (Bearing) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้รองรับเพลลาให้เที่ยงตรงทั้งแนวรัศมีและแนวแกน มีหน้าที่หลักในการรับน้ำหนัก และถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นจากเพลาลงไปสู่ก้านที่มีการหมุน ช่วยลดแรงเสียดทานหรือลดความฝืดระหว่างการหมุน ดังแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 แบริ่ง

5. ตัวปรับระดับการจมน้ำ

ตัวปรับระดับการจมน้ำเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ปรับใบพายขึ้นลงระดับการจมน้ำของใบพายตามที่ต้องการ โดยประกอบด้วย แผ่นอะคริลิก สกรู และแบริ่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.16

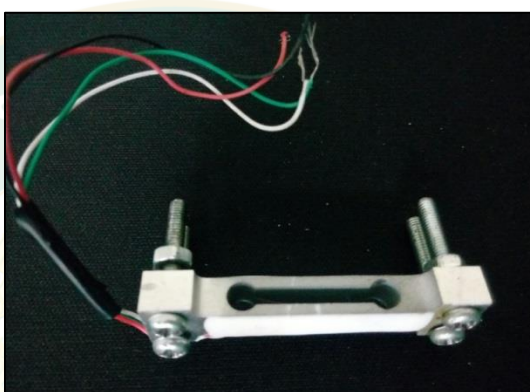


ภาพที่ 3.16 ตัวปรับระดับการจมน้ำ

3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าต่างๆ

1. โหลดเซลล์

โหลดเซลล์ (Load cell) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรง หรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัว โหลดเซลล์ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า สามารถนำสัญญาณทางไฟฟ้านี้ไปจ่ายเข้าจอแสดงผล Display แสดงค่าเป็นน้ำหนักหรือแรงที่กระทำ ซึ่งเป็นโหลดเซลล์ที่รับน้ำหนักได้ 200 g ดังแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 โหลดเซลล์

2. ลูกปืน

ลูกปืน (Ball bearings) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมวลในการถ่วงแรง หรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัว โหลดเซลล์ ซึ่งในการทดสอบใช้ 40 ลูก หนึ่งลูกหนัก 3.5 g ดังแสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 ลูกปืน

3. เชือก

เชือกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโหนดเซลล์กับลูกปืนที่เป็นมวลในการถ่วงแรง โดยนำมาแขวงที่มุมซ้าย ซึ่งเชือกมีความยาวตามความเหมาะสมของรัศมีกังหัน ดังแสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 เชือก

4. เครื่องวัดอัตราเร็วรอบ

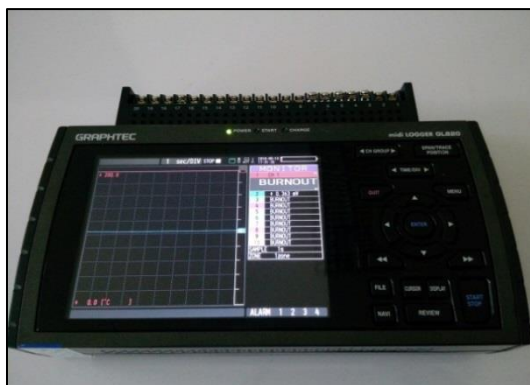
เครื่องวัดอัตราเร็วรอบ (Tachometer) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราเร็วในแต่ละรอบการหมุนของกังหัน โดยจะแสดงผลในหน่วย rpm บนหน้าจอของเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 เครื่องวัดอัตราเร็วรอบ

5. ดาตาล็อกเกอร์

ดาตาล็อกเกอร์ (Data logger) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณชนิดต่างๆ โดยจะมี Memory สำหรับเก็บค่าที่วัดได้ของสัญญาณตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนดไว้ โดยอัตโนมัติ สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจาก Memory ของดาตาล็อกเกอร์มา นำเสนอบนหน้าจอได้ดังแสดงในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ดาตาลอกเกอร์

6. นาฬิกาจับเวลา

นาฬิกาจับเวลาสามารถจับเวลาได้ละเอียด 1/100 s จับเวลาได้ 2 ลำดับต่อกัน และสามารถจับเวลาแบบต่อเนื่องได้ทั้งแบบ SPLIT และ LAB สามารถจับเวลาในความละเอียดนี้ได้ ถึงสิบชั่วโมง และเปลี่ยนเป็นความละเอียดใน 1 s ต่อไปถึง 1,000 hr ดังแสดงในรูปที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 นาฬิกาจับเวลา

7. สายเทอร์โมคัปเปิล

สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ หรือเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในขนาดทำการทดลอง โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความร้อน หรืออุณหภูมิให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ประกอบด้วย สวดโลหะตัวนำ 2 ชนิดที่แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม นำมาเชื่อมปลายทั้ง 2 เข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นสายเทอร์โมคัปเปิล Type K ดังแสดงในภาพที่ 3.23



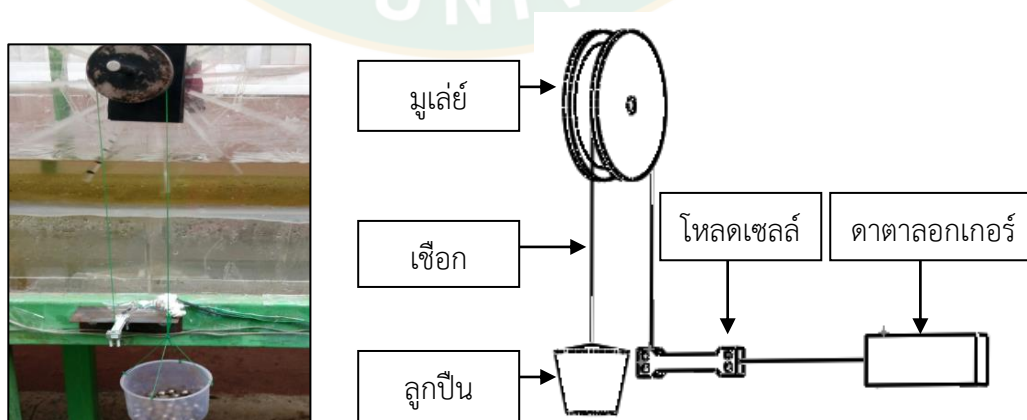
ภาพที่ 3.23 สายเทอร์โมคัปเปิล

วิธีการดำเนินการทดลอง

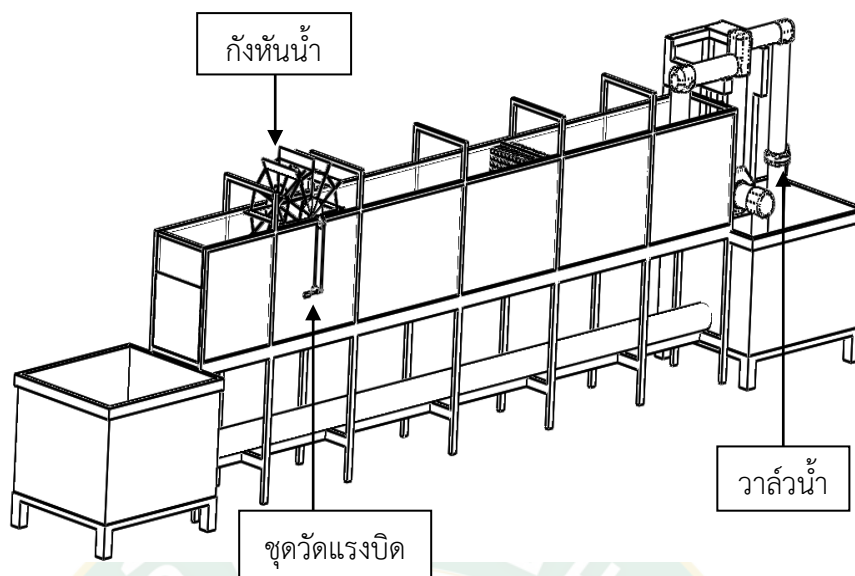
สำหรับวิธีการดำเนินการทดลอง จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การติดตั้งชุดการทดลอง 2) การทดสอบกักกันน้ำ และ 3) การตรวจวัดค่าต่างๆ โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การติดตั้งชุดการทดลอง

ทำการติดตั้งกักกันน้ำแบบหลุกต่ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิด และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่างๆ ได้แก่ 1) ปรับวาล์วเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำ 2) ติดตั้งชุดวัดแรงบิดประกอบด้วย มุเลย์ย์ เชือก โหลดเซลล์ ลูกปืน และดาตาล็อกเกอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.24 3) ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล 5 จุด ได้แก่ ถึงเก็บน้ำที่ 1 และ 2 ก่อนถึงกักกัน หลังจากกักกัน และข้างนอกอุโมงค์ 4) เตรียมนาฬิกาจับเวลาและเครื่องวัดอัตราเร็วรอบ โดยระบบการติดตั้งการทดลองจะแสดงในภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.24 แผนภาพการติดตั้งชุดวัดแรงบิด

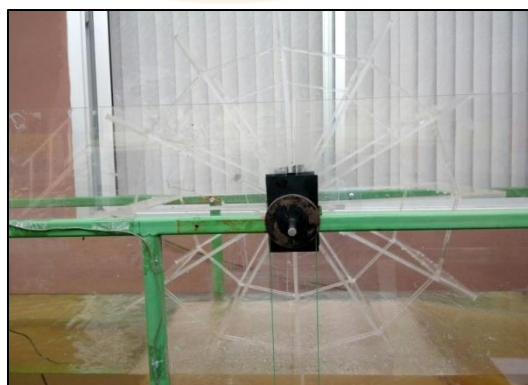


ภาพที่ 3.25 การติดตั้งกั้นน้ำและชุดวัดแรงบิดในอุโมงค์น้ำแบบเปิด

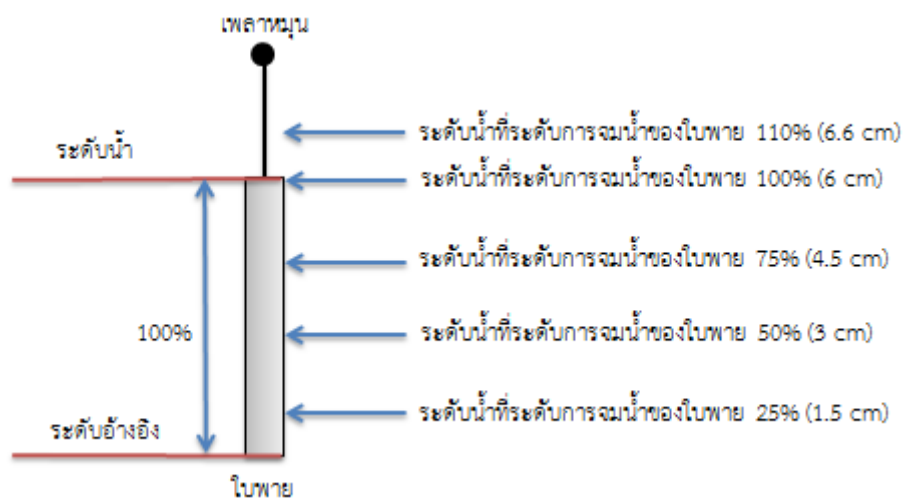
2. การทดสอบกั้นน้ำ

ทำการทดสอบกั้นน้ำดังแสดงในภาพที่ 3.26 โดยมีขั้นตอนในการทดสอบต่างๆ ดังนี้

1. ทำการทดสอบที่จำนวนใบพายจำนวน 6 ค่า ได้แก่ 6 8 10 12 14 และ 16 ใบพาย
2. นำจำนวนใบพายที่มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังดีที่สุดมาทำการทดสอบที่รัศมีกั้น 5 ค่า ได้แก่ 50% 75% 100% 125% และ 150% ของความยาวใบพาย
3. นำรัศมีกั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังดีที่สุดมาทำการทดสอบที่ระดับการจมน้ำของใบพายจำนวน 5 ค่า ได้แก่ 25% 50% 75% 100% และ 110% ของความสูงใบพายดังแสดงในภาพที่ 3.27
4. ทุกๆ ขั้นตอนทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า และในระหว่างการทดสอบทำการตรวจวัดอัตราเร็วรอบการหมุนของกั้น



ภาพที่ 3.26 การทดสอบกั้นน้ำ



ภาพที่ 3.27 แสดงระดับการจมน้ำของโบริพาย

3. การตรวจวัดค่าต่างๆ

ทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ระหว่างการทดลองที่ทุกๆ ขั้นตอนที่ทำกรทดสอบ ประกอบด้วย

- อัตราการไหลของน้ำ โดยทำการจับเวลาขณะปล่อยน้ำลงถึงเก็บน้ำดังแสดงในภาพที่ 3.28 แล้ววัดระดับน้ำในถังเก็บน้ำขนาดความกว้าง 80 cm ความยาว 80 cm และความสูง 80 cm และคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำจากอัตราส่วนของปริมาตรของถังเก็บน้ำกับเวลาดังแสดงในสมการที่ 2.2 ทั้งนี้ทำการหาอัตราการไหลของน้ำที่มีการปล่อยน้ำลงอุโมงค์ 5 ค่า คือ 100% 85% 70% 55% และ 40%
- อัตราเร็วรอบของกังหัน โดยการใช้เครื่องวัดอัตราเร็วรอบยิงเลเซอร์ไปที่มูเลย์ บางกรณีที่กังหันหมุนช้าเกินไปเครื่องวัดอัตราเร็วรอบไม่สามารถอ่านค่าได้ จะใช้การนับจำนวนรอบแล้วจับเวลา
- ผลต่างของแรงที่กระทำต่อเพลากังหัน โดยในส่วนนี้ดาตาล็อกเกอร์จะบันทึกค่าอัตโนมัติที่มีผลมาจากการทำงานของชุดวัดแรงบิด
- อุณหภูมิจ โดยการใช้สายเทอร์โมคัปเปิลที่เชื่อมต่อกับดาตาล็อกเกอร์วัดอุณหภูมิ 5 จุด ได้แก่ น้ำในถังเก็บน้ำที่ 1 และ 2 น้ำก่อนถึงกังหันและหลังจากกังหัน และรอบอุโมงค์น้ำ ทั้งนี้ อุณหภูมิที่ได้นำไปหาความหนาแน่นของน้ำจากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ต่อไป



ภาพที่ 3.28 การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

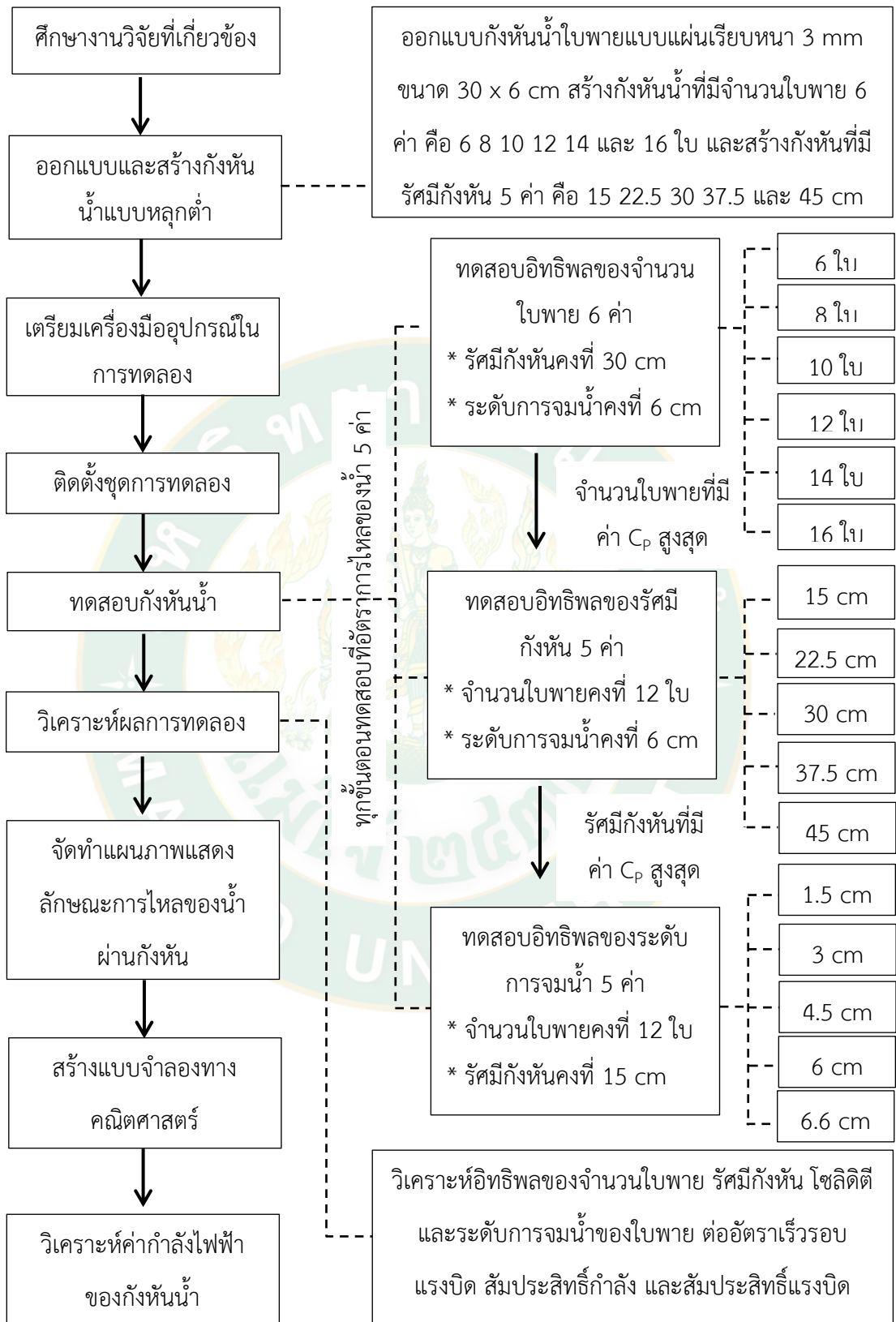
ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพาย รัศมี กังหัน ระดับการจมน้ำของใบพาย และโซลิตีตีซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.4 กับค่าต่างๆ ดังนี้

1. อัตราเร็วรอบ
2. แรงบิดที่เพลลา โดยการคำนวณจากสมการที่ 2.10
3. สัมประสิทธิ์กำลัง โดยการคำนวณจากสมการที่ 2.16
4. สัมประสิทธิ์แรงบิด โดยการคำนวณจากสมการที่ 2.17
5. จัดทำแผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหัน (CFD) ที่มีสัมประสิทธิ์กำลังดีที่สุด

ซึ่งจำลองการไหลของน้ำเบื้องต้นในโปรแกรม Solid work (Flow simulation) โดยการจำลองและวิเคราะห์ค่าอัตราเร็วของน้ำที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 5 ค่า ประกอบด้วย 25% 50% 75% 100% และ 110% ของความสูงใบพาย

6. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองของโซลิตีตีทั้งหมด มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Excel โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design และ Regression

7. วิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โดยการวิเคราะห์และคำนวณได้จากสมการที่ 2.20



ภาพที่ 3.29 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของโซลิตีและระดับการจมน้ำของใบพายต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โดยแบ่งผลและวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็น 8 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1) ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ 2) อิทธิพลของจำนวนใบพาย 3) อิทธิพลของรัศมีกังหัน 4) อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพาย 5) อิทธิพลของโซลิตี 6) แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหัน 7) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำ (Mathematical model) และ 8) ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ

ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ

ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิดที่ไหลลงถึงน้ำขนาดกว้าง 80 cm ยาว 80 cm และสูง 80 cm ทำการปล่อยน้ำลงอุโมงค์ 5 ค่า โดยการวัดระดับน้ำในถัง จับเวลา และคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ

อัตราการไหล ที่	ปล่อยน้ำลง อุโมงค์ (%)	ผลการวัด (m^3/s)			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
Q_1	100	0.0047	0.0049	0.0048	0.0048
Q_2	85	0.0046	0.0045	0.0042	0.0044
Q_3	70	0.0039	0.0040	0.0038	0.0039
Q_4	55	0.0033	0.0035	0.0034	0.0034
Q_5	40	0.0028	0.0027	0.0029	0.0028

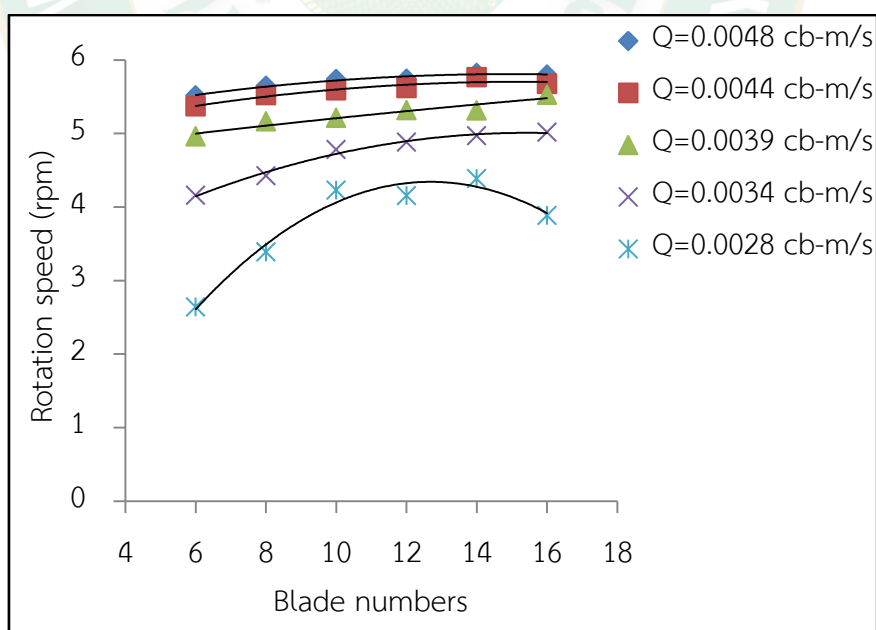
อิทธิพลของจำนวนใบพาย

ผลการทดลองอิทธิพลของจำนวนใบพายต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ทำการศึกษาจำนวนใบพาย 6 ค่า ประกอบด้วย 6 8 10 12 14 และ 16 ใบ รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm) ทดสอบในอุโมงค์น้ำแบบเปิดที่ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย โดยมีค่า

อัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า ได้แก่ 0.0028 0.0034 0.0039 0.0044 และ 0.0048 m^3/s ได้ทำการวิเคราะห์ที่อัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ซึ่งมีรายละเอียดผลและวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่ออัตราเร็วรอบ

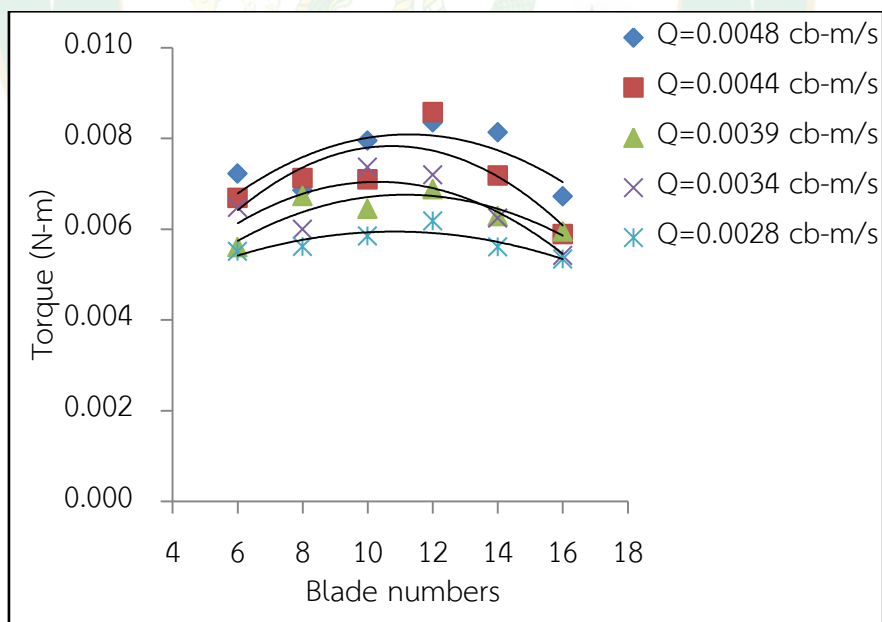
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของอัตราเร็วรอบ พบว่าที่ทุกจำนวนใบพายอัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น (ภาสวรรณ และคณะ, 2558) และที่ทุกจำนวนใบพายอัตราเร็วรอบมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงอัตราการไหลของน้ำ 0.0039-0.0048 m^3/s เนื่องจากอยู่ในช่วงที่อัตราเร็วของน้ำมีค่าสูงและการไหลสม่ำเสมอ สามารถขับเคลื่อนการหมุนของกังหันที่ทุกจำนวนใบพายให้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าอัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่งเนื่องจากจำนวนใบพายมากขึ้นช่องว่างระหว่างใบพายจะลดลงทำให้การรับแรงน้ำในแต่ละใบพายเร็วขึ้น และที่จำนวนใบพายดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ช่องว่างระหว่างใบพายแต่ละใบพอดีกับขนาดและน้ำหนัก (อิลิฮัยะ และคณะ, 2555) แต่อัตราเร็วรอบมีแนวโน้มลดลงที่จำนวนใบพาย 16 ใบ เนื่องจากมีใบพายที่มาปิดกั้นการไหลของน้ำก่อนที่น้ำจะปะทะใบล่างสุด ทั้งนี้ค่าอัตราเร็วรอบสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.82 rpm ที่จำนวนใบพาย 14 ใบ อัตราการไหลของน้ำ 0.0048 m^3/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

2. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่อแรงบิด

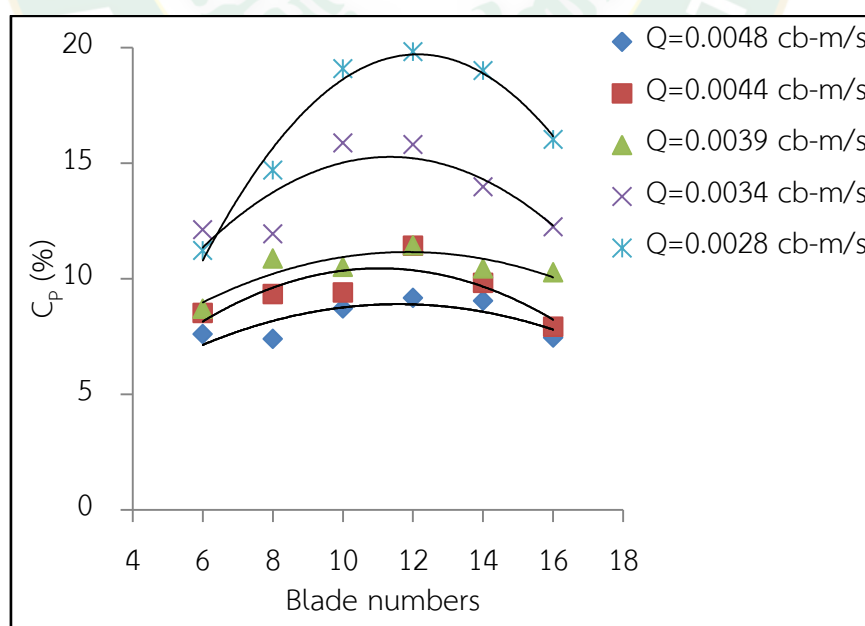
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงบิด พบว่าที่ทุกจำนวนใบพายแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น (อัศวิน, 2552) โดยที่ค่าเฉลี่ยแรงบิดสูงสุดของทุกจำนวนใบพายมีค่าเท่ากับ 0.0075 N-m ที่อัตราการไหล 0.0048 m³/s และพบว่าแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง และแรงบิดจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนใบพายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เริ่มตั้งแต่จำนวนใบพาย 14 ใบ ซึ่งที่จำนวนใบพาย 14 ใบ แรงบิดจะมีค่าแปรผกผันกับอัตราเร็วรอบ กล่าวคือ เมื่อค่าอัตราเร็วรอบสูงแรงบิดจะมีค่าต่ำ (ณัฐ และรัชพล, 2557) เนื่องจากที่จำนวนใบพายดังกล่าวมีค่าอัตราเร็วรอบใกล้เคียงกับจำนวนใบพาย 12 ใบ ในขณะที่ช่องว่างระหว่างใบพายอยู่ในช่วงที่สามารถขับเคลื่อนการหมุนของกังหันได้ดีกว่า ทำให้การรับแรงน้ำในแต่ละใบพายมีค่าลดลง ทั้งนี้ที่ทุกจำนวนใบพายแรงบิดมีค่าค่อนข้างที่ใกล้เคียงกัน เพราะการทดลองในขั้นตอนนี้รัศมีกังหันมีค่าคงที่ซึ่งตรงตามทฤษฎี กล่าวคือ แรงบิดหาได้จากผลคูณระหว่างแรงกับรัศมีกังหัน (Tevata and Inprasit, 2011) โดยที่ค่าแรงบิดต่ำสุดเท่ากับ 0.0053 N-m ที่จำนวนใบพาย 16 ใบ อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s และค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.0086 N-m ที่จำนวนใบพาย 12 ใบ อัตราการไหลของน้ำ 0.0044 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

3. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่อสัมประสิทธิ์กำลัง

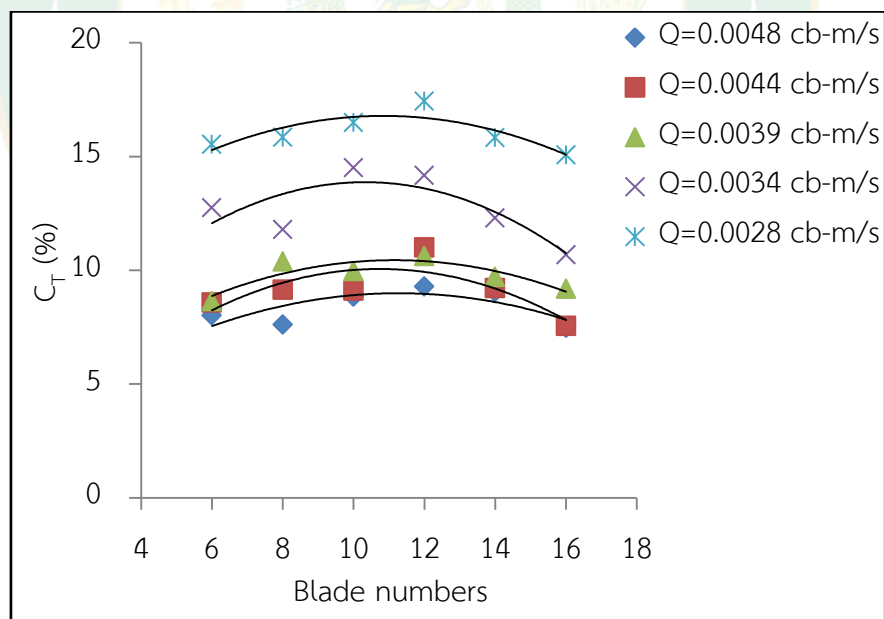
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์กำลัง พบว่าที่ทุกจำนวนใบพาย สัมประสิทธิ์กำลังมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น (สมาน และภาสวรรณ, 2556) เนื่องจากที่อัตราการไหลของน้ำสูงน้ำได้ไหลมาสมทบกันเป็นปริมาณมากไม่สามารถขับเคลื่อนการหมุนของกังหันได้ทันและเกิดการเสียดลุดออกทางช่องว่างทางด้านบนและด้านข้างของใบพายล่างสุด จึงทำให้กำลังกลที่ได้ลดลง (อัศวิน, 2552) ซึ่งเมื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างกำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันกับกำลังที่ได้จากการไหลของกระแสน้ำมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่ำ โดยที่ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดของทุกจำนวนใบพายมีค่าเท่ากับ 16.64% ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ทั้งนี้อัตราการไหลของน้ำในช่วง 0.0039-0.0048 m³/s สัมประสิทธิ์กำลังที่ทุกจำนวนใบพายมีค่าค่อนข้างที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในช่วงอัตราการไหลของน้ำดังกล่าว อัตราเร็วรอบมีค่าสม่ำเสมอ และพบว่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง เนื่องจากอัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันมีค่ามากขึ้น แต่สัมประสิทธิ์กำลังมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนใบพายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เริ่มตั้งแต่จำนวนใบพาย 14 ใบ เนื่องจากอัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าลดลงทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันมีค่าต่ำลง โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดมีค่าเท่ากับ 19.82% ที่จำนวนใบพาย 12 ใบ อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

4. อิทธิพลของจำนวนใบพายต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์แรงบิด พบว่าที่ทุกจำนวนใบพาย สัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำสูง ทั้งนี้ในแต่ละอัตราการไหลของน้ำของสัมประสิทธิ์แรงบิดที่ทุกจำนวนใบพายมีค่าค่อนข้างที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากรัศมีกึ่งหันมีค่าคงที่ทำให้อัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่าสม่ำเสมอ โดยที่สัมประสิทธิ์แรงบิดเฉลี่ยสูงสุดของทุกจำนวนใบพายมีค่าเท่ากับ 16.04% ที่อัตราการไหล 0.0028 m^3/s และพบว่าสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง เนื่องจากที่จำนวนใบพายดังกล่าวสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูง แต่สัมประสิทธิ์แรงบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนใบพายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เริ่มตั้งแต่จำนวนใบพาย 14 ใบ เนื่องจากที่จำนวนใบพายมากอัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่าสูง ซึ่งเมื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนใบพายน้อย โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 17.43% ที่จำนวนใบพาย 12 ใบ อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m^3/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.4



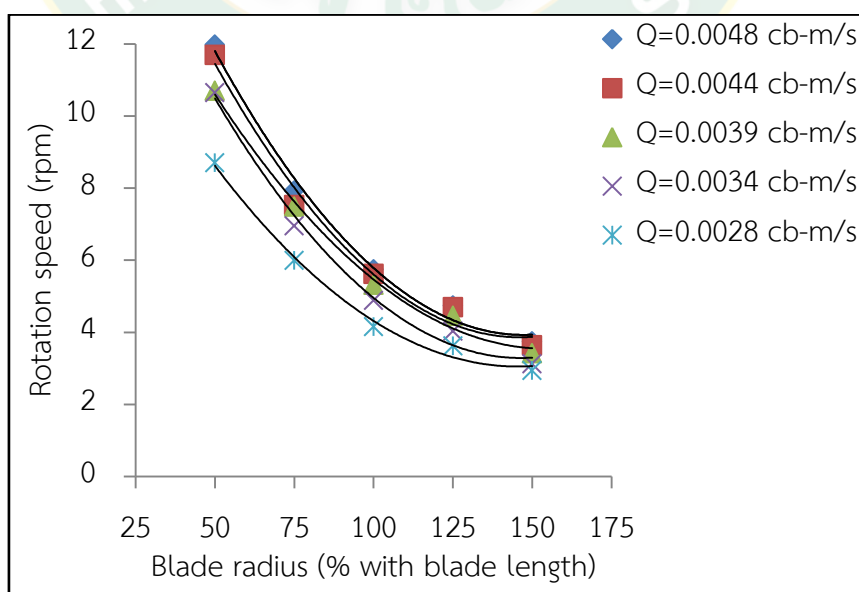
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพายกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

อิทธิพลของรัศมีกังหัน

ผลการทดลองอิทธิพลของรัศมีกังหันต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ทำการศึกษา รัศมีกังหัน 5 ค่า ประกอบด้วย 50% 75% 100% 125% และ 150% ของความยาวใบพาย โดยที่มี ค่า R เท่ากับ 15 22.5 30 37.5 และ 45 cm ตามลำดับ จำนวนใบพาย 12 ใบ ทดสอบในอุโมงค์น้ำ แบบเปิดที่ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย โดยมีค่าอัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า ได้แก่ 0.0028 0.0034 0.0039 0.0044 และ 0.0048 m^3/s ได้ทำการวิเคราะห์ห้อตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ซึ่งมีรายละเอียดผลและวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของรัศมีกังหันต่ออัตราเร็วรอบ

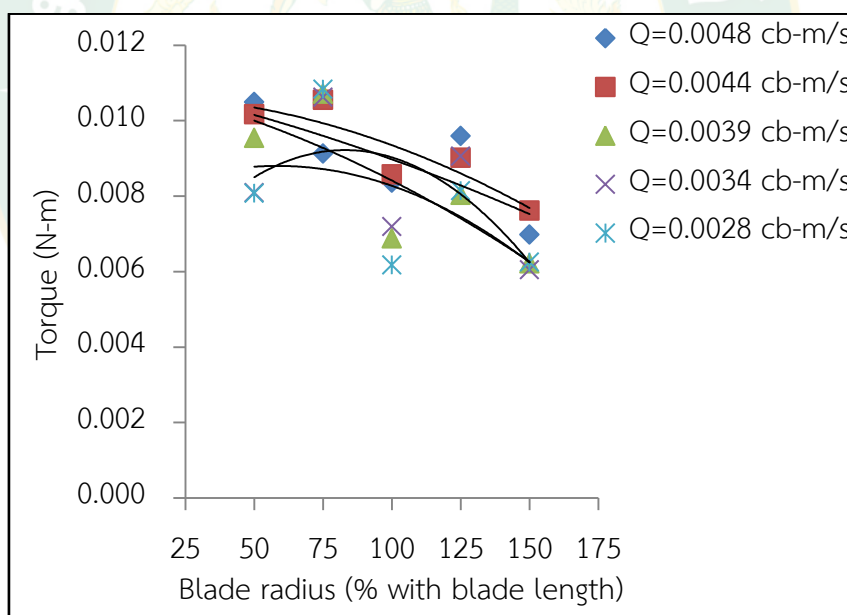
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของอัตราเร็วรอบ พบว่าที่ทุกรัศมีกังหันอัตราเร็วรอบมีค่า สูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น และในแต่ละรัศมีกังหันอัตราเร็วรอบมีค่าค่อนข้างไม่ห่างกันที่ ทุกอัตราการไหลของน้ำ เนื่องจากจำนวนใบพายมีค่าคงที่ ทำให้อัตราการไหลของน้ำมีอิทธิพลน้อย มากเมื่อเทียบกับรัศมีกังหัน และพบว่าอัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อรัศมีกังหันลดลง (Date, 2012) เนื่องจากเมื่อรัศมีกังหันลดลงช่องว่างระหว่างใบพายลดลง ทำให้การรับแรงน้ำในแต่ละใบพายเร็วขึ้น ขณะที่รัศมีกังหันมากขึ้นช่องว่างระหว่างใบพายมากขึ้น ทำให้การรับแรงน้ำในแต่ละใบพายช้าลง ทั้งนี้ อัตราเร็วรอบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.98 rpm ที่รัศมีกังหัน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm) อัตรา การไหลของน้ำ 0.0048 m^3/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกังหันกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการ ไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกังหันกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

2. อิทธิพลของรัศมีกึ่งหันต่อแรงบิด

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงบิด พบว่าค่าเฉลี่ยแรงบิดสูงสุดของทุกรัศมีกึ่งหันมีค่าเท่ากับ 0.0092 N-m ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0044 m³/s และค่าเฉลี่ยแรงบิดต่ำสุดของทุกรัศมีกึ่งหันมีค่าเท่ากับ 0.0079 N-m ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s จากค่าเฉลี่ยข้างต้นจะเห็นว่าอัตราการไหลของน้ำส่งผลน้อยมากต่อแรงบิดในการทดลองอิทธิพลของรัศมีกึ่งหัน เนื่องด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับอัตราเร็วรอบ กล่าวคือ จำนวนใบพายมีค่าคงที่ และพบว่าแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อรัศมีกึ่งหันลดลงในช่วงค่าหนึ่ง เนื่องจากในช่วงดังกล่าวอัตราเร็วรอบสูง และแรงบิดจะมีค่าต่ำลงเมื่อรัศมีกึ่งหันลดลงเรื่อยๆ ที่รัศมีกึ่งหัน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm) แรงบิดจะมีค่าแปรผกผันกับอัตราเร็วรอบ (พณภูมิ และพรพิมล, 2554) เนื่องจากที่รัศมีกึ่งหันดังกล่าวมีค่าอัตราเร็วรอบใกล้เคียงกับรัศมีกึ่งหัน 75% ของความยาวใบพาย (22.5 cm) ในขณะที่รัศมีกึ่งหันมีค่าน้อยกว่าแต่แรงน้ำมีค่าเท่าเดิม ทำให้แรงบิดมีค่าลดลง ทั้งนี้แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.0108 N-m ที่รัศมีกึ่งหัน 75% ของความยาวใบพาย อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

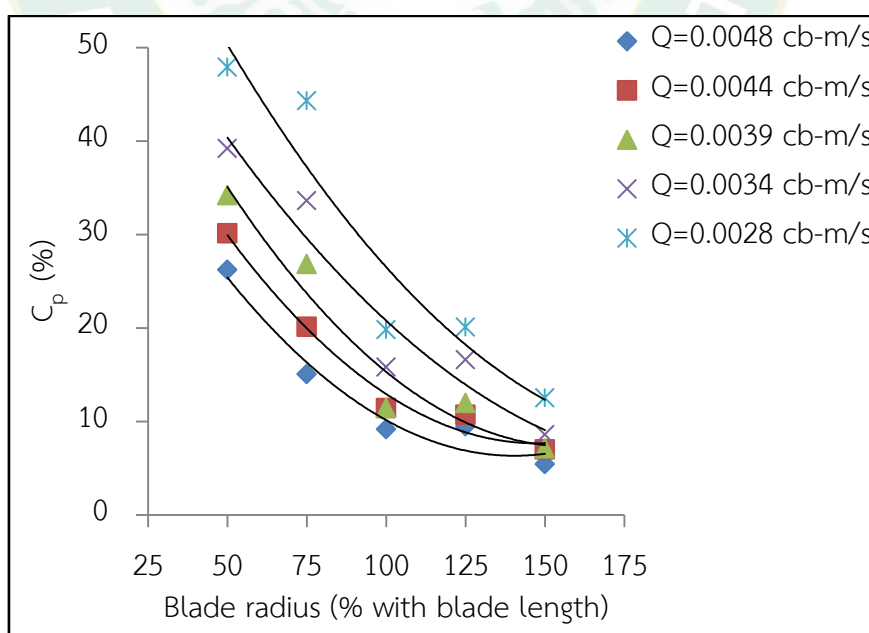
3. อิทธิพลของรัศมีกึ่งหันต่อสัมประสิทธิ์กำลัง

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์กำลัง พบว่าที่ทุกรัศมีกึ่งหันสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างกำลังกลที่ได้จากการหมุนของกึ่งหันกับกำลังที่ได้จากการไหลของกระแสน้ำมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตรา

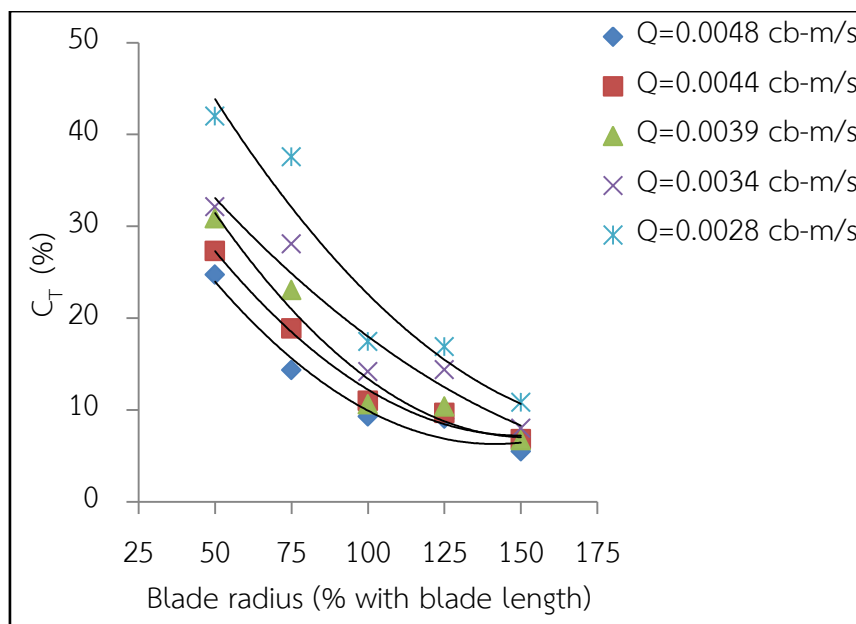
การไหลของน้ำสูง โดยที่สัมประสิทธิ์กำลังเฉลี่ยสูงสุดของทุกรศมีก้านมีค่าเท่ากับ 28.92% ที่อัตราการไหล 0.0028 m^3/s และพบว่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่อรัศมีก้านลดลง เนื่องจากที่รัศมีก้านน้อยอัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงขึ้นทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของก้านมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดมีค่าเท่ากับ 47.90% ที่รัศมีก้าน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm) อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m^3/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีก้านกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.7

4. อิทธิพลของรัศมีก้านต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์แรงบิด พบว่าที่ทุกรศมีก้านสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำสูง โดยที่สัมประสิทธิ์แรงบิดเฉลี่ยสูงสุดของทุกรศมีก้านมีค่าเท่ากับ 24.94% ที่อัตราการไหล 0.0028 m^3/s และพบว่าสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อรัศมีก้านลดลง เนื่องจากที่รัศมีก้านน้อยสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 41.97% ที่รัศมีก้าน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm) อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m^3/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีก้านกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีก้านกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกึ่งหันกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

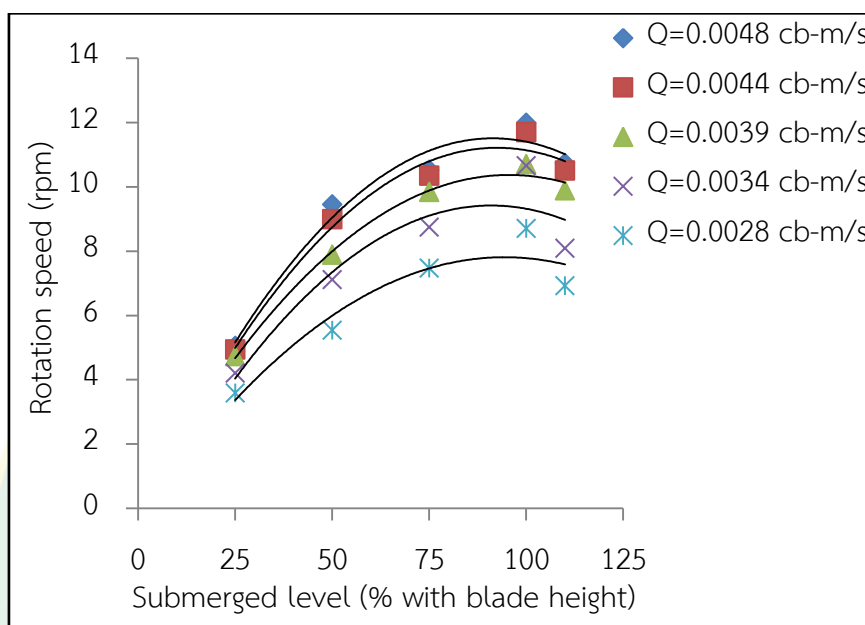
อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพาย

ผลการทดลองอิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่มีจำนวนใบพาย 12 ใบ รัศมีกึ่งหัน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm) ทำการศึกษาที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 5 ค่า ประกอบด้วย 25% 50% 75% 100% และ 110% ของความสูงใบพาย โดยมีค่าอัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า ได้แก่ 0.0028 0.0034 0.0039 0.0044 และ 0.0048 m^3/s ได้ทำการวิเคราะห์อัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ซึ่งมีรายละเอียดผลและวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่ออัตราเร็วรอบ

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของอัตราเร็วรอบ พบว่าที่ทุกระดับการจมน้ำของใบพาย อัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น โดยที่อัตราเร็วรอบเฉลี่ยสูงสุดของทุกระดับการจมน้ำของใบพายมีค่าเท่ากับ 9.55 rpm ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0048 m^3/s และพบว่าอัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง เนื่องจากระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้นพื้นที่รับแรงน้ำของใบพายมีค่ามากกว่าทำให้รับแรงจากการไหลของน้ำที่มาปะทะใบพายได้ดีกว่า แต่อัตราเร็วรอบมีค่าลดลงเมื่อระดับการจมน้ำของใบพาย 110% ของความสูงใบพาย เนื่องจากระดับการจมน้ำของใบพายมีค่ามากกว่าความสูงใบพายทำให้น้ำที่ไหลผ่านใบพายล่างสุดทำ

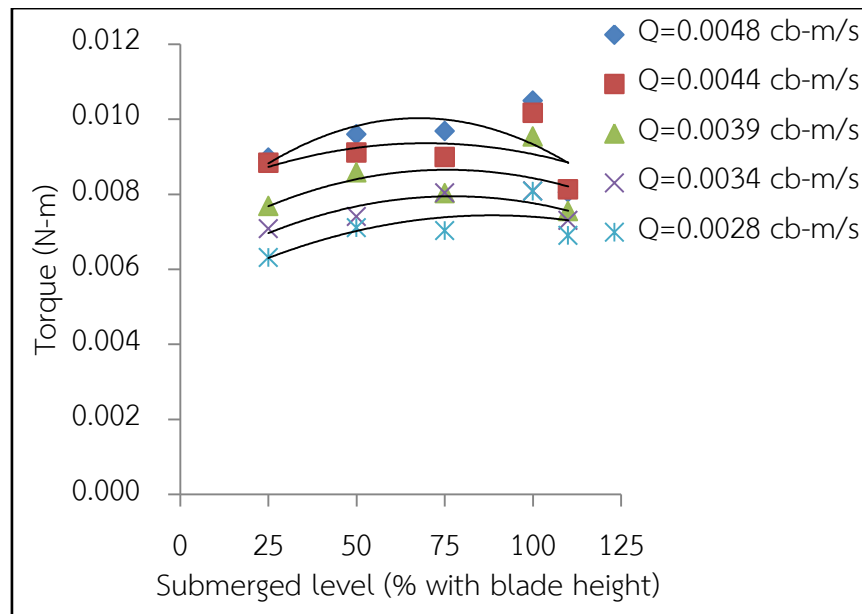
เสมือนด้านการหมุนของใบพาย และจะทำให้เพิ่มความปั่นป่วนในการไหล (ภัสส์กฤษณ์ และคณะ, 2560) ทั้งนี้ค่าอัตราเร็วรอบสูงสุดมีค่าเท่ากับ 11.98 rpm ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

2. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อแรงบิด

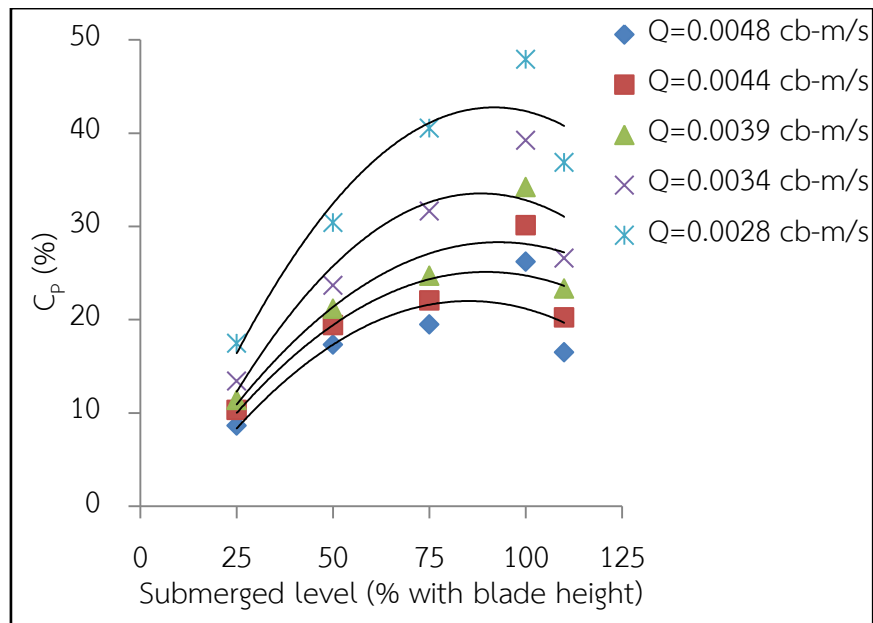
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงบิด พบว่าที่ทุกระดับการจมน้ำของใบพาย อัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น โดยที่แรงบิดเฉลี่ยสูงสุดของทุกระดับการจมน้ำของใบพายมีค่าเท่ากับ $0.0094 \text{ N}\cdot\text{m}$ ที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ และพบว่าแรงบิดมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อระดับการจมน้ำของใบพายในช่วง 25-75% และมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้น แต่เมื่อใบพายจมน้ำมากกว่าความสูงใบพายแรงบิดจะมีค่าลดลง ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 110% ของความสูงใบพาย เนื่องจากอัตราเร็วรอบลดลงในขณะที่พื้นที่รับแรงจากการไหลมาปะทะใบพายของน้ำมีค่าเท่าเดิม (ธเนศ และคณะ, 2554) ทั้งนี้ค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ $0.0105 \text{ N}\cdot\text{m}$ ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความยาวใบพาย อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

3. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อสัมประสิทธิ์กำลัง

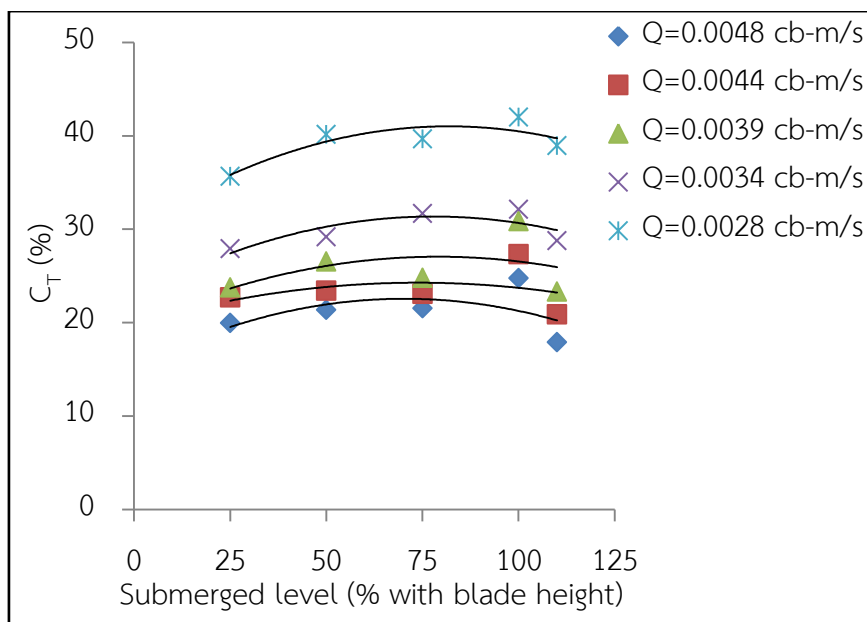
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์กำลัง พบว่าที่ทุกระดับการจมน้ำของใบพายสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างกำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันกับกำลังที่ได้จากการไหลของกระแสน้ำมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำสูง โดยที่สัมประสิทธิ์กำลังเฉลี่ยสูงสุดของทุกระดับการจมน้ำของใบพายมีค่าเท่ากับ 34.62% ที่อัตราการไหล 0.0028 m³/s และพบว่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง (ทวิพร และภวนัย, 2551) เนื่องจากที่ระดับการจมน้ำของใบพายมากในช่วงค่าหนึ่งอัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงขึ้นทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันมีค่ามากขึ้น แต่สัมประสิทธิ์กำลังมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากกว่าความสูงใบพาย เนื่องจากที่ระดับการจมน้ำของใบพายมากกว่าความสูงใบพาย อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าลดลงทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันมีค่าต่ำลง ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดมีค่าเท่ากับ 47.90% ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

4. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพายต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์แรงบิด พบว่าที่ทุกระดับการจมน้ำของใบพายสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำสูง ทั้งนี้ในแต่ละอัตราการไหลของน้ำของสัมประสิทธิ์แรงบิดที่ทุกระดับการจมน้ำของใบพายมีค่าค่อนข้างที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากรัศมีกึ่งหันมีค่าคงที่ทำให้อัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่าสม่ำเสมอ โดยที่สัมประสิทธิ์แรงบิดเฉลี่ยสูงสุดของทุกระดับการจมน้ำของใบพายมีค่าเท่ากับ 39.27% ที่อัตราการไหล 0.0028 m³/s และพบว่าสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง เนื่องจากที่ระดับการจมน้ำของใบพายมากในช่วงค่าหนึ่งสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้น แต่สัมประสิทธิ์แรงบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากกว่าความสูงของใบพาย เนื่องด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์กำลัง ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 41.97% ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการจมน้ำของใบพายกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

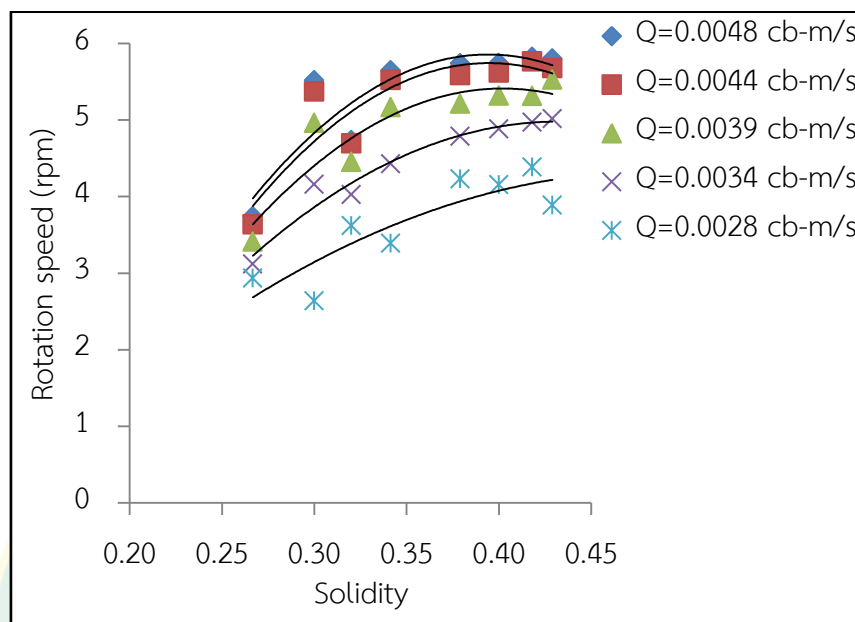
อิทธิพลของโซลิติตี

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของโซลิติตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่มีจำนวนใบพาย 6-16 ใบ และรัศมีกังหันตั้งแต่ 30-45 cm โดยทำการศึกษาโซลิติตี 8 ค่า ประกอบด้วย 0.27 0.30 0.32 0.34 0.38 0.40 0.42 และ 0.43 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย อัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า ได้แก่ 0.0028 0.0034 0.0039 0.0044 และ 0.0048 m^3/s ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์อัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของโซลิติตีต่ออัตราเร็วรอบ

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของอัตราเร็วรอบ พบว่าที่ทุกโซลิติตีอัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น โดยที่อัตราเร็วรอบเฉลี่ยสูงสุดของทุกโซลิติตีมีค่าเท่ากับ 5.34 rpm ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0048 m^3/s และพบว่าอัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อโซลิติตีมากขึ้น เนื่องจากโซลิติตีสูงขึ้นความทึบของกังหันมากขึ้น ทำให้การรับแรงน้ำในแต่ละใบพายเร็วขึ้น แต่อัตราเร็วรอบมีแนวโน้มลดลงที่โซลิติตี 0.43 เนื่องจากกังหันที่มีความทึบมากเกินไปจะมีใบพายที่มาปิดกั้นทางการไหลของน้ำก่อนที่จะปะทะใบล่างสุด ทั้งนี้ค่าอัตราเร็วรอบสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.82

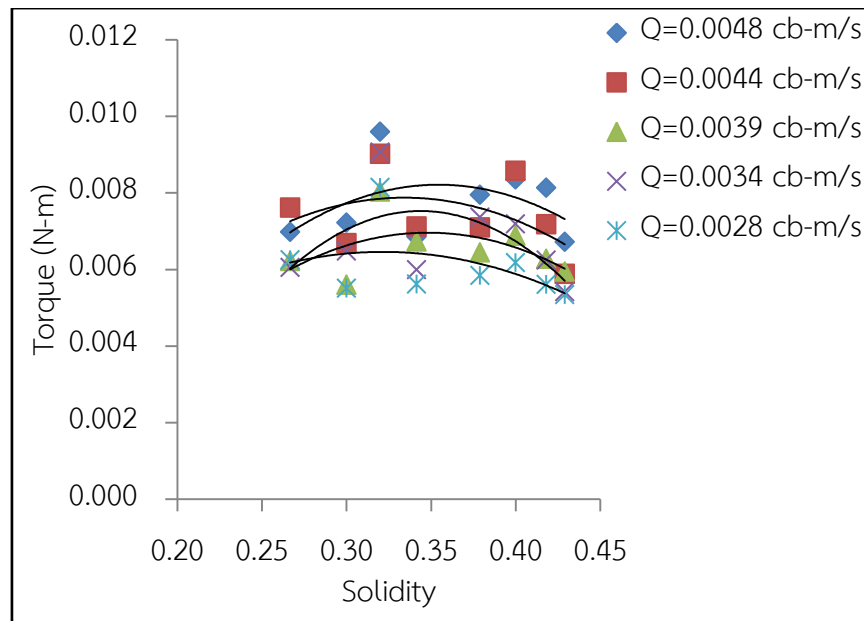
rpm ที่โซลิติตี 0.42 อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับอัตราเร็วรอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

2. อิทธิพลของโซลิติตีต่อแรงบิด

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงบิด พบว่าที่ทุกโซลิติตีแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น โดยที่ค่าเฉลี่ยแรงบิดสูงสุดของทุกโซลิติตีมีค่าเท่ากับ 0.0077 N-m ที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ และพบว่าแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อโซลิติตีมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่งที่โซลิติตี 0.32 และแรงบิดจะมีค่าลดลงเมื่อโซลิติตีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากที่โซลิติตีสูงขึ้นความทึบมากขึ้นทำให้สามารถขับเคลื่อนการหมุนของกังหันได้ดีกว่า แต่อัตราเร็วรอบมีค่าใกล้เคียงกัน แรงบิดจึงมีค่าแปรผกผันกับอัตราเร็วรอบ ทั้งนี้ค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.0096 N-m ที่โซลิติตี 0.32 อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิดิตีกับแรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

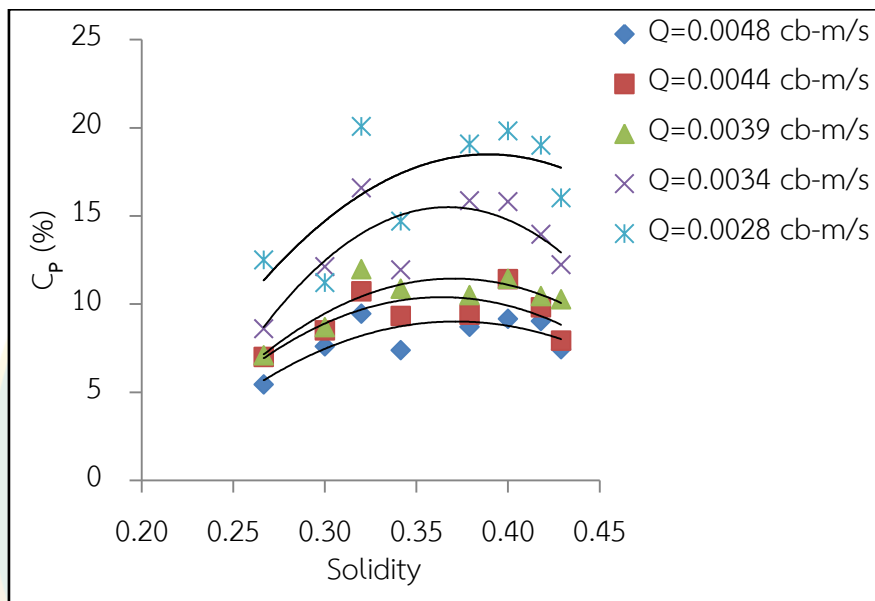
3. อิทธิพลของโซลิดิตีต่อสัมประสิทธิ์กำลัง

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์กำลัง พบว่าที่ทุกโซลิดิตีสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างกำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันกับกำลังที่ได้จากการไหลของกระแสน้ำมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำสูง โดยที่ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดของทุกโซลิดิตีมีค่าเท่ากับ 16.55% ที่อัตราการไหล 0.0028 m³/s และพบว่าสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้นเมื่อโซลิดิตีมากขึ้นในช่วง 0.32-0.42 (ภัสส์ กฤษ และคณะ, 2560) เนื่องจากที่โซลิดิตีดังกล่าวอัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงขึ้นทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันมีค่ามากขึ้น แต่สัมประสิทธิ์กำลังมีแนวโน้มลดลงเมื่อโซลิดิตีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากที่โซลิดิตีสูงขึ้นอัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าลดลงทำให้กำลังกลที่ได้จากการหมุนของกังหันมีค่าต่ำลง โดยที่สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดมีค่า 20.08% ที่โซลิดิตี 0.32 อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซลิดิตีกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.15

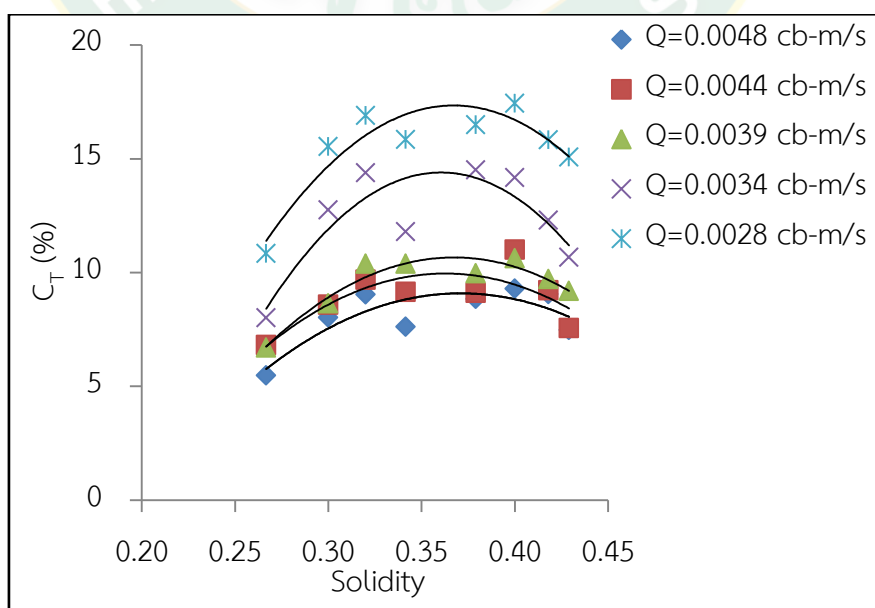
4. อิทธิพลของโซลิดิตีต่อสัมประสิทธิ์แรงบิด

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองของสัมประสิทธิ์แรงบิด พบว่าที่ทุกโซลิดิตีสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำสูง

โดยที่สัมประสิทธิ์แรงบิดเฉลี่ยสูงสุดของทุกโซลิติตีมีค่าเท่ากับ 15.50% ที่อัตราการไหล 0.0028 m³/s และพบว่าสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อโซลิติตีมากขึ้นในช่วง 0.32-0.40 เนื่องจากที่โซลิติตีมากในช่วงค่าหนึ่งสัมประสิทธิ์กำลังมีค่าสูงขึ้น แต่สัมประสิทธิ์แรงบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อโซลิติตีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์กำลัง โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดมีค่า 16.50% ที่โซลิติตี 0.40 อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m³/s ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ ในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับสัมประสิทธิ์แรงบิดที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับค่าต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของโซลิติตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกด้า โดยทำการศึกษาโซลิติตี 8 ค่า ประกอบด้วย 0.27 0.30 0.32 0.34 0.38 0.40 0.42 และ 0.43 ซึ่งค่าโซลิติตีทั้ง 8 ค่า คำนวณได้จากจำนวนใบพาย 6-16 ใบ และรัศมีกังหัน 30-45 cm ทั้งนี้ได้ทำการสรุปความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพาย รัศมีกังหัน โซลิติตี อัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิดดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยทำการสรุปเฉพาะการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m/s^3 และระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย เนื่องจากที่อัตราการไหลของน้ำ และระดับการจมน้ำของใบพายดังกล่าวให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพาย รัศมีกังหัน โซลิติตี และค่าต่างๆ จากการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m/s^3 และระดับการจมน้ำของใบพาย 100%

จำนวนใบพาย	รัศมีกังหัน (cm)	โซลิติตี	อัตราเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (N-m)	สัมประสิทธิ์กำลัง (%)	สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)
6	30	0.30	2.64	0.0055	11.21	15.54
8	30	0.34	3.39	0.0056	14.70	15.58
10	30	0.38	4.23	0.0058	19.08	16.50
	30	0.40	4.15	0.0062	19.82	17.43
12	37.5	0.32	3.62	0.0081	20.08	16.91
	45	0.27	2.93	0.0063	12.51	10.83
14	30	0.42	4.39	0.0056	19.00	15.84
16	30	0.43	3.89	0.0053	16.03	15.07

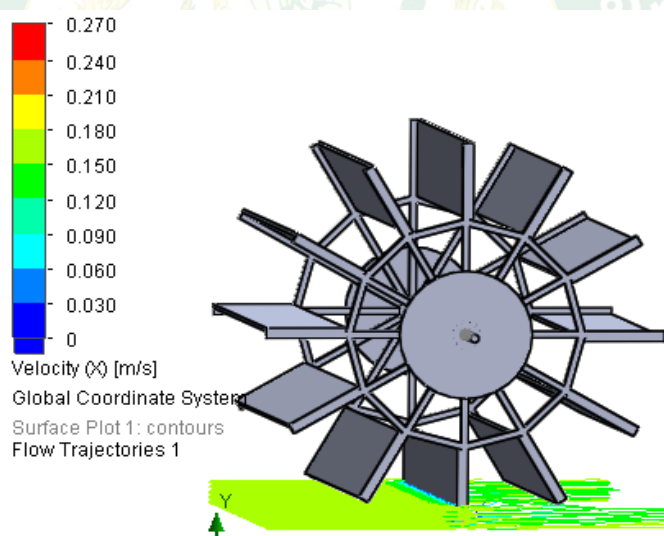
จากตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพาย รัศมีกังหัน โซลิติตี อัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด พบว่ากังหันน้ำแบบหลุกด้าที่มีจำนวนใบพาย 12 ใบ รัศมีกังหัน 37.5 cm และมีค่าโซลิติตี 0.32 ทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0028 m/s^3 และระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย หรือเท่ากับ 6 cm ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 20.08% ซึ่งมีค่าอัตราเร็วรอบ แรงบิด และสัมประสิทธิ์แรงบิดเท่ากับ 3.62 rpm 0.0081 N-m และ 16.91% ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้อ้างมาข้างต้น เป็นข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างกังหันน้ำแบบหลุกด้าเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็ก หรือใช้ในการสูบน้ำจากพลังงานน้ำต่อไป

แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหัน

ผลการจัดทำแผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันแบบหลุกต๋ำที่มีสัมประสิทธิ์กำลังดีที่สุดในรูปของจำนวนใบพาย 12 และรัศมีกังหัน 15 cm โดยการจำลองและวิเคราะห์ค่าอัตราเร็วของน้ำที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 5 ค่า ประกอบด้วย 25% 50% 75% 100% และ 110% ของความสูงใบพาย ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์อัตราเร็วรอบและแรงบิด ซึ่งมีรายละเอียดการจำลองและการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ระดับการจมน้ำของใบพาย 25%

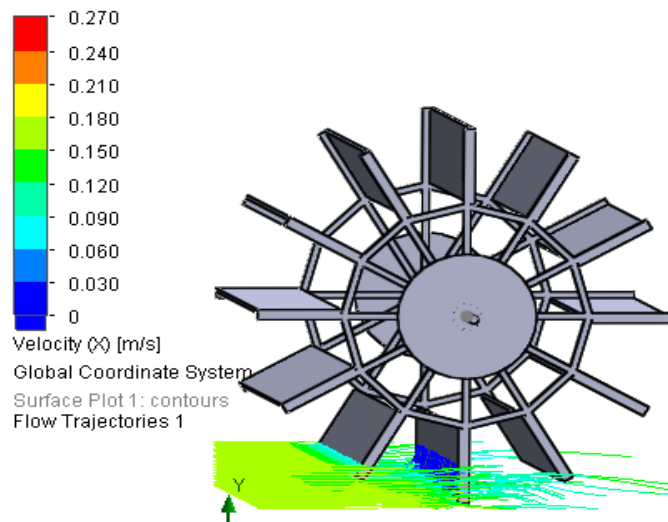
จากผลการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันแบบหลุกต๋ำที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 25% พบว่าอัตราเร็วของน้ำไหลมาปะทะเฉพาะใบพายล่างสุด และความสูงของน้ำที่ไหลมาตีใบพายอยู่ในระดับที่ต่ำทำให้อัตราเร็วรอบและแรงบิดต่ำ ดังแสดงแผนภาพจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันในภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 25%

2. ระดับการจมน้ำของใบพาย 50%

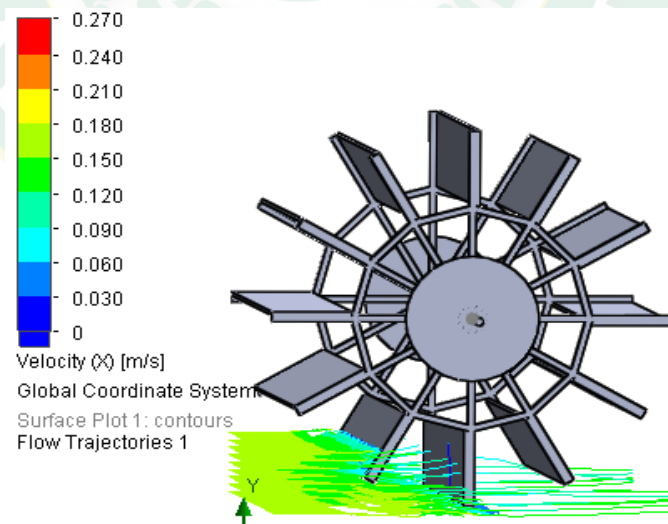
จากผลการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต๋ำที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 50% พบว่าอัตราเร็วของน้ำที่ไหลมาปะทะใบพายก่อนและถัดจากใบพายล่างสุด ความสูงของน้ำที่ไหลมาตีใบพายอยู่ในระดับที่ต่ำ ทำให้อัตราเร็วรอบและแรงบิดต่ำ ดังแสดงแผนภาพจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 50%

3. ระดับการจมน้ำของใบพาย 75%

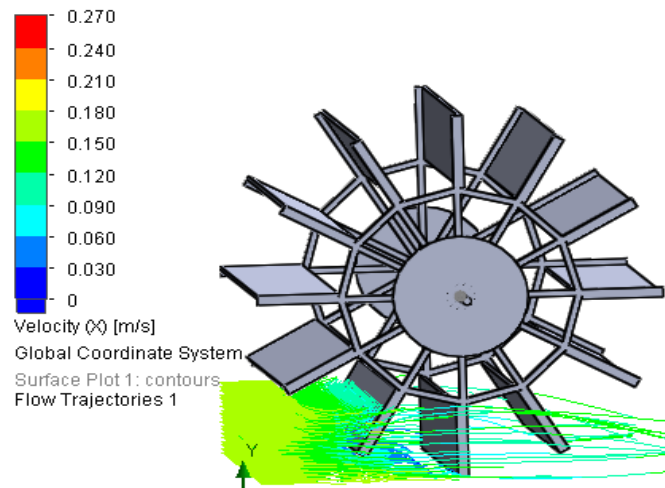
จากผลการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 75% พบว่าอัตราเร็วของน้ำที่ไหลมาปะทะใบพายก่อนและถัดจากใบพายล่างสุดความสูงของน้ำที่ไหลมาตีใบพายอยู่ในระดับที่สูง ทำให้อัตราเร็วรอบสูง แต่แรงบิดต่ำ ดังแสดงแผนภาพจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 75%

4. ระดับการจมน้ำของใบพาย 100%

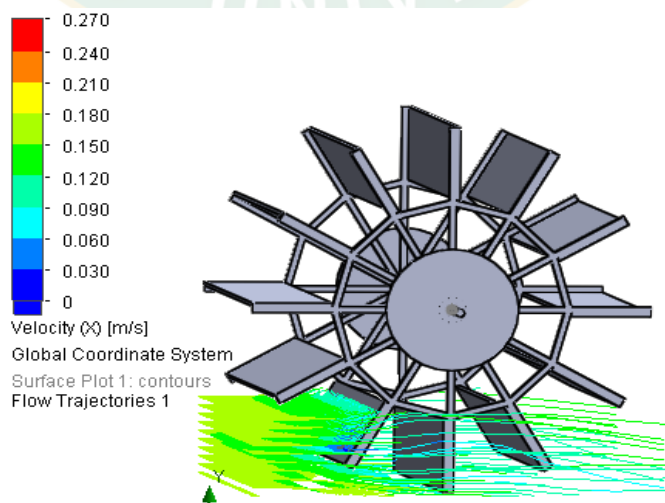
จากผลการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% พบว่าอัตราเร็วของน้ำที่ไหลมาปะทะใบพายล่างสุดความสูงของน้ำที่ไหลมาตีใบพายเท่ากับ ความสูงใบพาย ทำให้อัตราเร็วรอบและแรงบิดสูง ดังแสดงแผนภาพจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหัน ในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 100%

5. ระดับการจมน้ำของใบพาย 110%

จากผลการจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 110% พบว่าอัตราเร็วของน้ำที่ไหลมาปะทะใบพายล่างสุดความสูงของน้ำที่ไหลมาตีใบพายอยู่ในระดับที่สูงกว่าความสูงใบพายทำให้อัตราเร็วรอบสูง แต่แรงบิดต่ำ ดังแสดงแผนภาพจำลองการไหลของน้ำผ่านกังหันในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 แผนภาพจำลองการไหลของน้ำที่ระดับการจมน้ำ 110%

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำ

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โดยได้ดำเนินการนำข้อมูลจากการทดลองระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย ดังแสดงในตารางที่ 4.3 มาวิเคราะห์สมการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์แรงบิด และสัมประสิทธิ์กำลัง กับโซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำ อีกทั้งยังวิเคราะห์สมการระหว่างกำลังที่เพลลา กับโซลิติตี และกำลังของน้ำ ทั้งนี้ได้ทำการทำนายค่าารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จากค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง สัมประสิทธิ์แรงบิด และกำลังที่เพลลาดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์สมการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าที่ได้จากการทดลองของอัตราเร็วรอบ แรงบิด กำลังของน้ำ กำลังที่เพลลา สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ที่โซลิติตีและอัตราการไหลของน้ำต่างๆ (ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย)

โซลิติตี	อัตรา การไหล (m^3/s)	อัตราเร็ว รอบ (rpm)	แรงบิด (N-m)	กำลัง ของน้ำ (W)	กำลังที่ เพลลา (W)	สัมประสิทธิ์ กำลัง (%)	สัมประสิทธิ์ แรงบิด (%)
0.27	0.0048	3.74	0.0070	0.050	0.0027	5.44	5.48
	0.0044	3.64	0.0076	0.041	0.0029	7.01	6.81
	0.0039	3.41	0.0062	0.031	0.0022	7.10	6.70
	0.0034	3.12	0.0060	0.023	0.0020	8.59	8.01
	0.0028	2.93	0.0063	0.015	0.0019	12.51	10.83
0.30	0.0048	5.52	0.0072	0.055	0.0042	7.60	8.02
	0.0044	5.37	0.0067	0.044	0.0038	8.51	8.58
	0.0039	4.96	0.0056	0.033	0.0029	8.69	8.65
	0.0034	4.16	0.0065	0.023	0.0028	12.12	12.75
	0.0028	2.64	0.0055	0.014	0.0015	11.21	15.54
0.32	0.0048	4.74	0.0096	0.050	0.0048	9.46	9.04
	0.0044	4.70	0.0090	0.041	0.0044	10.72	9.68
	0.0039	4.45	0.0080	0.031	0.0037	11.97	10.39
	0.0034	4.02	0.0091	0.023	0.0038	16.59	14.38
	0.0028	3.62	0.0081	0.015	0.0031	20.08	16.91

โซลิติตี	อัตรา	อัตราเร็ว	แรงบิด (N-m)	กำลัง	กำลังที่	สัมประสิทธิ์	สัมประสิทธิ์
	การไหล (m ³ /s)	รอบ (rpm)		ของน้ำ (W)	เพลลา (W)	กำลัง (%)	แรงบิด (%)
0.34	0.0048	5.65	0.0069	0.055	0.0041	7.39	7.62
	0.0044	5.52	0.0071	0.044	0.0041	9.32	9.15
	0.0039	5.17	0.0067	0.033	0.0036	10.87	10.39
	0.0034	4.42	0.0060	0.023	0.0028	11.93	11.80
	0.0028	3.39	0.0056	0.014	0.0020	14.70	15.85
0.38	0.0048	5.74	0.0079	0.055	0.0048	8.71	8.84
	0.0044	5.59	0.0071	0.044	0.0041	9.40	9.11
	0.0039	5.21	0.0064	0.033	0.0035	10.51	9.96
	0.0034	4.78	0.0074	0.023	0.0037	15.86	14.51
	0.0028	4.23	0.0058	0.014	0.0026	19.08	16.50
0.40	0.0048	5.74	0.0084	0.055	0.0050	9.16	9.29
	0.0044	5.62	0.0086	0.044	0.0050	11.42	11.01
	0.0039	5.32	0.0069	0.033	0.0038	11.43	10.62
	0.0034	4.88	0.0072	0.023	0.0037	15.81	14.17
	0.0028	4.15	0.0062	0.014	0.0027	19.82	17.43
0.42	0.0048	5.82	0.0081	0.055	0.0050	9.04	9.04
	0.0044	5.76	0.0072	0.044	0.0043	9.81	9.22
	0.0039	5.31	0.0063	0.033	0.0035	10.45	9.71
	0.0034	4.97	0.0062	0.023	0.0032	13.97	12.30
	0.0028	4.39	0.0056	0.014	0.0026	19.00	15.84
0.43	0.0048	5.80	0.0067	0.055	0.0041	7.44	7.47
	0.0044	5.68	0.0059	0.044	0.0035	7.92	7.56
	0.0039	5.53	0.0059	0.033	0.0034	10.28	9.19
	0.0034	5.02	0.0054	0.023	0.0028	12.24	10.68
	0.0028	3.89	0.0053	0.014	0.0022	16.03	15.07

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราเร็วรอบ

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ กับโซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design ได้สมการที่ 4.1 และพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 0.31

$$\text{RPM} = (29,620S - 41,750S^2 - 4,275.9)Q + (70.41S^2 - 40.44S + 6.67) \quad \text{สมการที่ 4.1}$$

$$\text{RMSE} = 0.31$$

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแรงบิด

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับโซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design ได้สมการที่ 4.2 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 0.00096

$$\tau = (8.07S - 8.01S^2 - 1.04)Q + (0.08S - 0.14S^2 - 0.008) \quad \text{สมการที่ 4.2}$$

$$\text{RMSE} = 0.00096$$

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์กำลัง

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับโซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design ได้สมการที่ 4.3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 1.52 โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.85 ดังแสดงในภาพที่ 4.22

$$C_p = (143,924S^2 - 114,071S + 17,673)Q + (792.45S - 1,027.6S^2 - 120.87) \quad \text{สมการที่ 4.3}$$

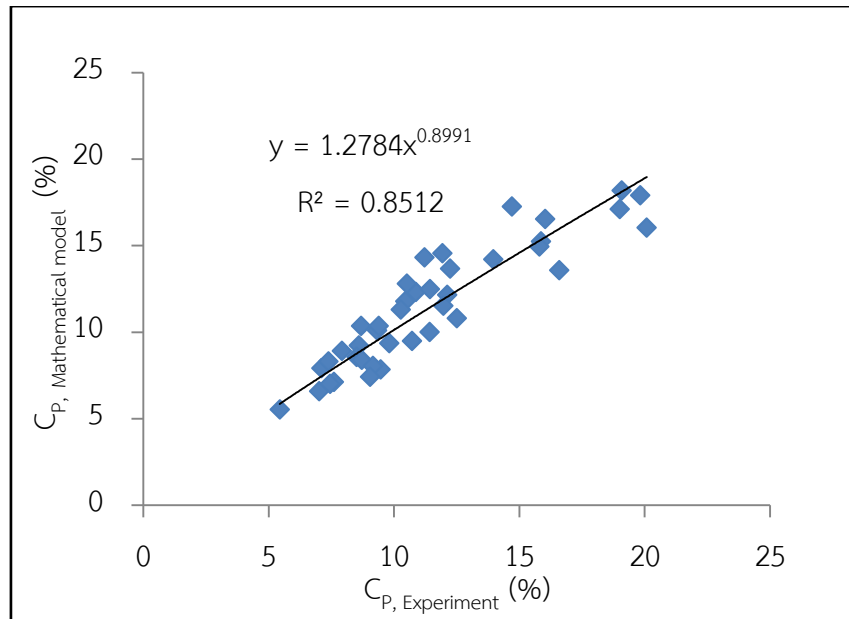
$$\text{RMSE} = 1.52$$

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์แรงบิด

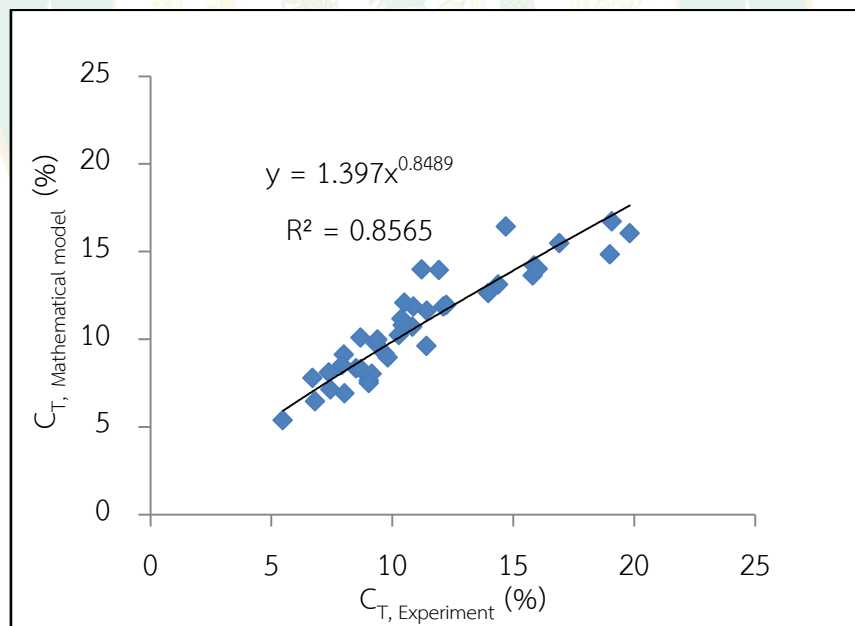
จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงบิด กับโซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design ได้สมการที่ 4.4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 1.50 โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.86 ดังแสดงในภาพที่ 4.23

$$C_T = (184,193S^2 - 133,780S + 20,027)Q + (869.96S - 1,193.9S^2 - 129.68) \quad \text{สมการที่ 4.4}$$

$$\text{RMSE} = 1.50$$



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์กำลัง ที่โซลิติตีและอัตราการไหลของน้ำต่างๆ



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์แรงบิด ที่โซลิติตีและอัตราการไหลของน้ำต่างๆ

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกำลังที่เพลลา

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่เพลลา กับโซลิติตี และกำลังของน้ำ โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Regression ได้สมการที่ 4.5 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 0.0005 โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.74

$$P_S = 0.0002 + 0.0042S + 0.0522P_W$$

สมการที่ 4.5

$$RMSE = 0.0005$$

จากผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำแบบลูกตุ้ม ดังแสดงในสมการที่ 4.1-4.5 สามารถสรุปตัวแปรต่างๆ ที่แสดงในสมการได้ดังต่อไปนี้

เมื่อ	RPM	คือ อัตราเร็วรอบ (rpm)
	τ	คือ แรงบิด (N-m)
	C_p	คือ สัมประสิทธิ์กำลัง (%)
	C_T	คือ สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)
	Q	คือ อัตราการไหล (m^3/s)
	S	คือ โซลิติตี
	P_W	คือ กำลังของน้ำ (W)
	P_S	คือ กำลังที่เพลลา (W)
	RMSE	คือ รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

ทั้งนี้จากสมการที่ 4.1-4.5 ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำแบบลูกตุ้ม เป็นสมการที่ใช้ในการทำนายหาค่าอัตราเร็วรอบ แรงบิด สัมประสิทธิ์แรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และกำลังที่เพลลา ในกรณีที่ทราบค่าโซลิติตี อัตราการไหลของน้ำ และกำลังของน้ำ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์มาข้างต้น เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับหาค่าต่างๆ และอธิบายการทำงานของกังหันน้ำแบบลูกตุ้มเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็ก หรือใช้ในการสูบน้ำจากพลังงานน้ำต่อไป

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราเร็วรอบ แรงบิด กำลังที่เพลลา สัมประสิทธิ์กำลัง และสัมประสิทธิ์แรงบิด ที่โซลิติตี และอัตราการไหลของน้ำต่างๆ (ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย)

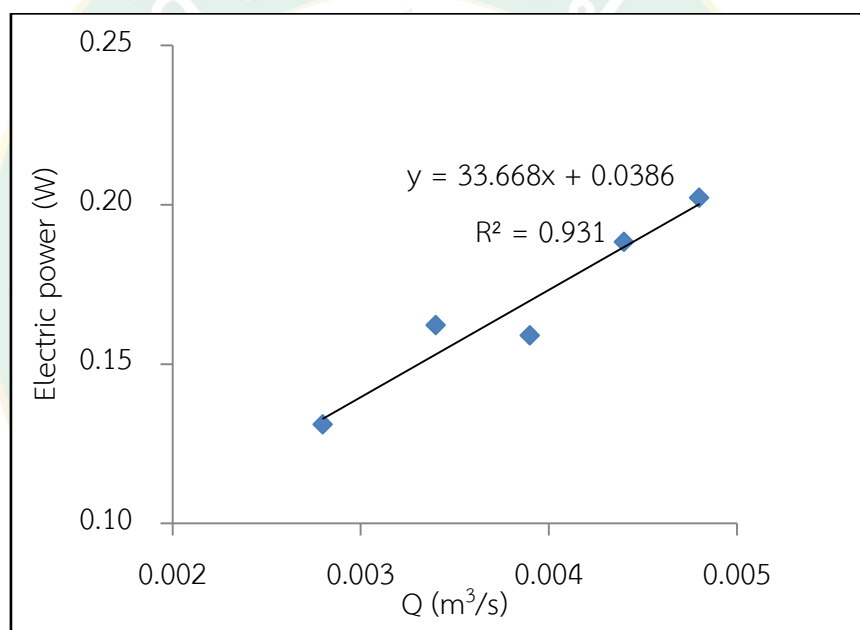
โซลิติตี	อัตราการไหล		อัตราเร็วรอบ (rpm)		แรงบิด (N-m)		กำลังที่เพลลา (W)		สัมประสิทธิ์กำลัง (%)		สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)		
	(m ³ /s)	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ
0.27	0.0048	3.74	10.38	0.0070	0.0067	0.0027	0.0040	5.44	5.54	5.48	5.38		
	0.0044	3.64	8.53	0.0076	0.0065	0.0029	0.0035	7.01	6.59	6.81	6.44		
	0.0039	3.41	6.69	0.0062	0.0062	0.0022	0.0030	7.10	7.91	6.70	7.78		
	0.0034	3.12	4.84	0.0060	0.0059	0.0020	0.0025	8.59	9.22	8.01	9.11		
0.30	0.0028	2.93	3.00	0.0063	0.0056	0.0019	0.0021	12.51	10.80	10.83	10.71		
	0.0048	5.52	9.93	0.0072	0.0074	0.0042	0.0043	7.60	7.12	8.02	6.91		
	0.0044	5.37	8.09	0.0067	0.0071	0.0038	0.0038	8.51	8.56	8.51	8.33		
	0.0039	4.96	6.24	0.0056	0.0068	0.0029	0.0032	8.69	10.36	8.69	10.09		
0.32	0.0034	4.16	4.40	0.0065	0.0064	0.0028	0.0027	12.12	12.16	12.12	11.86		
	0.0028	2.64	2.55	0.0055	0.0060	0.0015	0.0022	11.21	14.31	11.21	13.97		
	0.0048	4.74	9.38	0.0096	0.0076	0.0048	0.0042	9.46	7.85	9.04	7.63		
	0.0044	4.70	7.53	0.0090	0.0073	0.0044	0.0037	10.72	9.48	9.68	9.20		
0.32	0.0039	4.45	5.69	0.0080	0.0070	0.0037	0.0032	11.97	11.53	10.39	11.16		
	0.0034	4.02	3.84	0.0091	0.0066	0.0038	0.0027	16.59	13.58	14.38	13.12		
	0.0028	3.62	2.00	0.0081	0.0062	0.0031	0.0023	20.08	16.03	16.91	15.47		

โพธิ์ติเต	อัตราการไหล		อัตราเร็วรอบ (rpm)		แรงบิด (N-m)		กำลังที่เพล (W)		สัมประสิทธิ์กำลัง (%)		สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)		
	(m ³ /s)	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ
0.34	0.0048	5.65	8.82	0.0069	0.0077	0.0041	0.0045	7.39	8.30	7.39	8.10	7.39	8.10
	0.0044	5.52	6.97	0.0071	0.0074	0.0041	0.0039	9.32	10.09	9.32	9.76	9.32	9.76
	0.0039	5.17	5.13	0.0067	0.0070	0.0036	0.0034	10.87	12.33	10.87	11.85	10.87	11.85
0.38	0.0034	4.42	3.28	0.0060	0.0066	0.0028	0.0028	11.93	14.56	11.93	13.93	11.93	13.93
	0.0028	3.39	1.44	0.0056	0.0062	0.0020	0.0023	14.70	17.25	14.70	16.43	14.70	16.43
	0.0048	5.74	8.15	0.0079	0.0075	0.0048	0.0047	8.71	8.40	8.71	8.29	8.71	8.29
0.40	0.0044	5.59	6.31	0.0071	0.0072	0.0041	0.0041	9.40	10.35	9.40	9.97	9.40	9.97
	0.0039	5.21	4.46	0.0064	0.0067	0.0035	0.0035	10.51	12.80	10.51	12.08	10.51	12.08
	0.0034	4.78	2.62	0.0074	0.0063	0.0037	0.0030	15.86	15.24	15.86	14.19	15.86	14.19
0.40	0.0028	4.23	0.77	0.0058	0.0058	0.0026	0.0025	19.08	18.18	19.08	16.71	19.08	16.71
	0.0048	5.74	4.14	0.0084	0.0072	0.0050	0.0048	9.16	8.04	9.16	8.01	9.16	8.01
	0.0044	5.62	3.87	0.0086	0.0068	0.0050	0.0042	11.42	10.01	11.42	9.62	11.42	9.62
0.40	0.0039	5.32	3.53	0.0069	0.0064	0.0038	0.0036	11.43	12.48	11.43	11.62	11.43	11.62
	0.0034	4.88	3.19	0.0072	0.0059	0.0037	0.0031	15.81	14.94	15.81	13.63	15.81	13.63
	0.0028	4.15	2.79	0.0062	0.0054	0.0027	0.0026	19.82	17.90	19.82	16.04	19.82	16.04

โพสิที	อัตราการไหล (m ³ /s)		อัตราเร็วรอบ (rpm)		แรงบิด (N-m)		กำลังที่เพล (W)		สัมประสิทธิ์กำลัง (%)		สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)	
	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ	ทดลอง	สมการ
0.42	0.0048	4.97	5.82	0.0081	0.0067	0.0050	0.0048	9.04	7.42	9.04	7.49	
	0.0044	4.63	5.76	0.0072	0.0063	0.0043	0.0043	9.81	9.36	9.81	8.96	
	0.0039	4.20	5.31	0.0063	0.0059	0.0035	0.0037	10.45	11.78	10.45	10.79	
	0.0034	3.78	4.97	0.0062	0.0054	0.0032	0.0032	13.97	14.21	13.97	12.62	
0.43	0.0028	3.27	4.39	0.0056	0.0048	0.0026	0.0027	19.00	17.11	19.00	14.83	
	0.0048	5.39	5.80	0.0067	0.0064	0.0041	0.0049	7.44	7.00	7.44	7.13	
	0.0044	5.02	5.68	0.0059	0.0061	0.0035	0.0043	7.92	8.91	7.92	8.51	
	0.0039	4.56	5.53	0.0059	0.0056	0.0034	0.0038	10.28	11.29	10.28	10.23	
0.0034	4.10	3.54	5.02	0.0054	0.0051	0.0028	0.0032	12.24	13.68	12.24	11.95	
	0.0028	3.89	3.89	0.0053	0.0045	0.0022	0.0027	16.03	16.54	16.03	14.02	

ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ

การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยกระบวนการแปลงกำลังของน้ำเป็นกำลังไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้จึงมีการกำหนดเงื่อนไขในกรณีศึกษา กังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่มีจำนวนใบพาย 12 ใบ รัศมีกังหัน 37.5 cm และมีค่าโซลิติตี 0.32 เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด โดยเลือกใช้ระบบถ่ายเทกำลังแบบสายพานจากมูเลย์ของเพลากังหันไปยังมูเลย์ของเพลาคู่มือกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสายพานและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำหนดให้มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 85% และ 90% ตามลำดับ ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำกับอัตราการไหลของน้ำต่างๆ ที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย หรือเท่ากับ 6 cm



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำกับอัตราการไหลของน้ำต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำดังแสดงในภาพที่ 4.24 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.2 W ทั้งนี้จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ค่าอัตราเร็วของน้ำต่ำ อีกทั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำเป็นกังหันน้ำที่มีอัตราเร็วรอบต่ำ แต่แรงบิดสูง ดังนั้นหากจะนำกังหันน้ำแบบหลุกต่ำไปผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็ก ควรมีการสร้างชุดทดรอบระหว่างกังหันน้ำกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเพิ่มค่ากำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของโซลิติตีและระดับการจมน้ำของใบพาย ต่อคุณลักษณะการทำงาน และประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายเรียบ จากการศึกษาอัตราการไหลของน้ำ อิทธิพลของจำนวนใบพาย อิทธิพลของรัศมีกังหัน อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพาย อิทธิพลของโซลิติตี และความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับค่าต่างๆ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. อัตราการไหลของน้ำ

อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น โดยที่อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ แต่สัมพันธ์กำลังและสัมพันธ์แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง โดยที่สัมพันธ์กำลังและสัมพันธ์แรงบิดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0028 \text{ m}^3/\text{s}$

2. อิทธิพลของจำนวนใบพาย

อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง แต่อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนใบพายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่อัตราเร็วรอบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.82 rpm ที่จำนวนใบพาย 14 ใบ และแรงบิดสูงสุดเท่ากับ 0.0086 N-m ที่จำนวนใบพาย 12 ใบ ทั้งนี้สัมพันธ์กำลังและสัมพันธ์แรงบิดมีค่าสูงสุดที่จำนวนใบพาย 12 ใบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.82% และ 17.43% ตามลำดับ

3. อิทธิพลของรัศมีกังหัน

อัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อรัศมีกังหันลดลง แต่กรณีของแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อรัศมีกังหันลดลงในช่วงค่าหนึ่ง และแรงบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อรัศมีกังหันลดลงเรื่อยๆ โดยที่อัตราเร็วรอบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.98 rpm ที่รัศมีกังหัน 15 cm และแรงบิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0108 N-m ที่รัศมีกังหัน 22.5 cm ทั้งนี้สัมพันธ์กำลังและสัมพันธ์แรงบิดมีค่าสูงสุดที่รัศมีกังหัน 15 cm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47.90% และ 41.97% ตามลำดับ

4. อิทธิพลของระดับการจมน้ำของใบพาย

อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับการจมน้ำของใบพายมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง แต่อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าลดลงเมื่อระดับการจมน้ำสูงกว่าความสูงใบพาย โดยที่อัตราเร็วรอบและแรงบิดมีค่าสูงสุดที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 6 cm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.98 rpm และ 0.0105 N-m ตามลำดับ ทั้งนี้สัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าสูงสุดที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 6 cm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47.90% และ 41.97% ตามลำดับ

5. อิทธิพลของโซลิติตี

อัตราเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นเมื่อโซลิติตีมากขึ้นในช่วงค่าหนึ่ง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อโซลิติตีมากขึ้นเรื่อยๆ แต่แรงบิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อโซลิติตีลดลงในช่วงค่าหนึ่ง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อโซลิติตีลดลงเรื่อยๆ โดยที่อัตราเร็วรอบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.82 rpm ที่โซลิติตี 0.42 และแรงบิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0096 N-m ที่โซลิติตี 0.32 ทั้งนี้สัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดมีค่าเท่ากับ 20.08% ที่โซลิติตี 0.32 และสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 16.50% ที่โซลิติตี 0.40

6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับค่าต่างๆ

กังหันน้ำแบบหลุกดำที่มีค่าโซลิติตี 0.32 ทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0028 \text{ m}^3/\text{s}$ และระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย หรือเท่ากับ 6 cm ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 20.08% ซึ่งมีค่าอัตราเร็วรอบ แรงบิด และสัมประสิทธิ์แรงบิดเท่ากับ 3.62 rpm 0.0081 N-m และ 16.91% ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. กังหันน้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นกังหันน้ำใบพายเรียบที่มีการกำหนดความหนา ความสูง และความยาวของใบพาย หากมีการวิจัยในอนาคต ควรจะมีการศึกษาอิทธิพลของขนาดใบพาย
2. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากังหันน้ำแบบหลุกดำ ทั้งนี้เพื่อให้มีตัวเลือกในการเลือกใช้งานจริงตามความเหมาะสมของแหล่งน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรมีการศึกษาที่กังหันน้ำแบบหลุกในรูปแบบต่างๆ เช่น กังหันน้ำแบบหลุกสูง กังหันน้ำแบบหลุกกลาง เป็นต้น
3. การทดลองนี้เป็นการทดสอบการใช้กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก โดยใช้กังหันน้ำที่สร้างจากแผ่นอะคริลิก หากมีการขยายสเกลที่ใหญ่กว่าเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้ต้นทุนในการผลิตสูง ควรมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ระยะเวลาคืนทุน พลังงานไฟฟ้าที่ได้กับต้นทุนในการสร้างระบบทั้งหมด เป็นต้น

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. ไฟฟ้าพลังน้ำ. **สารานุกรมพลังงานทดแทน**. กรุงเทพฯ: มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล (ประเทศไทย).
- _____. 2558. **เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทน**. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015) กระทรวงพลังงาน.
- _____. 2561. **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ไตรมาส 1/2561**. รายงานสรุปสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย กระทรวงพลังงาน.
- จักรฤทธิ์ ตรีนาง และทวีศักดิ์ วังไพศาล. 2555. การพยากรณ์ระดับน้ำหลากที่สถานีวัดระดับน้ำ M.7 โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม. **การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**.
- จันทิมา เจริญยิ่ง. 2554. **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรตามแนวแกน สำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก**. โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ชวลิต จันทรัตน. 2553. **Hydro power: พลังน้ำกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: กลุ่มบริษัททีเอ็ม.
- โชติไกร ไชยวิจารณ์. 2556. **วิศวกรรมชลศาสตร์**. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐ โพธิ์วาระ และรัชพล สันติวารากร. 2557. การศึกษาแรงบิดและประสิทธิภาพกังหันน้ำจากพลังงานน้ำวนอิสระ. **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15 มหาวิทยาลัยขอนแก่น**.
- ณัฐวุฒิ จันเลิศ และจิระกานต์ ศิริวิชัยเมตรี. 2555. การทดสอบประสิทธิภาพของใบพายกังหันน้ำแนวตั้งแบบลดแรงเสียดทาน: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพใบพาย. **การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.
- ทวีพร พยาเทพ และภูวนัย ไชยเรือน. 2551. **การออกแบบและพัฒนากังหันน้ำลูกตุ้มแบบทุ่นลอย**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ธัญดร ออกวะลา. 2553. **กลศาสตร์ของไหล**. นครปฐม: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ธเนศ ไชยชนะ, อาณัฐ พริกเล็ก และไกรสร เอียดเนตร. 2554. **ภูมิปัญญาท้องถิ่นสู่นวัตกรรม**

พลังงานทางเลือกด้านระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแบบน้ำไหลสำหรับทางน้ำไหลแบบเปิด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ปรียาพร โภษา. 2555. **ชลศาสตร์**. นครราชสีมา: คลังปัญญา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พนัญญ์ พัฒนันทพันธ์ และพรพิมล คำแก้ว. 2554. **การศึกษากังหันน้ำแบบทุ่นลอยชนิดใบเอียง**. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ภัสส์กฤษฏ์ ฐิติมหัทธนกุล, ปรีชา ขันดีโกมล และไมตรี พลสงคราม. 2560. **สมรรถนะกังหันน้ำแกนนอนแนวขวางใบกังหันปรับมุมพิทช์ได้. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31.**

ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์, สมาน ดาวเวียงกัน และสุรสิทธิ์ เทียงจันตา. 2558. **การออกแบบและพัฒนาร่างกังหันน้ำไหลแบบท่อขดเกลียว. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.**

ม.ร.ว.วิชุดนัย เทวกุล. 2553. **Hydro power: พลังน้ำกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: กลุ่มบริษัททีเอ็ม.

ยิ่งปลิว ศุภกิตติวงศ์. 2553. **ไฟฟ้าพลังน้ำ. วิศวกรรมสารภูมิปัญญาวิศวกรไทยร่วมใจเพื่อสังคม, 63(1).**

วรากร ไม้เรียง. 2551. **ดงตาลสัมพันธ์**. กรุงเทพฯ: สมาคมนิสิตเก่าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัชรระ ยาวีไชย. 2557. **การเพิ่มประสิทธิภาพใบพัดกังหันน้ำสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. 2552. **การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเฮดต่ำด้วยวิธีการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. 2553. **วัฏจักรน้ำ**. ชุดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทน. 2554. **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 3 ไฟฟ้าพลังน้ำ**. กรุงเทพฯ: เอเบิล คอนซัลแตนท์.

- สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย. 2557. **รูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.reca.or.th/library-hydro-power.aspx> (13 กรกฎาคม 2561).
- สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น. 2558. ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ. **บทความพลังงาน: โรงไฟฟ้าพลังน้ำ**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น.
- สมาน ดาวเดียวกัน และภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์. 2556. **การออกแบบและถ่ายทอดเทคโนโลยี กังหันสูบน้ำสำหรับเทศบาลตำบลแม่ปิ้ง**. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา.
- สุรพร อนันตากรณ์. 2556. **การพัฒนากังหันน้ำขนาดจิ๋วสำหรับผลิตไฟฟ้าจากน้ำทิ้งอาคารจำลอง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อดรรถการ จันท์ศิริธร. 2556. **การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กมาก ด้วยกังหันน้ำแบบเพลตัน**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี พลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อัศวิน ปศุศฤทธากร. 2552. **การประเมินสมรรถนะของกังหันน้ำขนาดเล็กแบบลูกต๋าเพื่อใช้ผลิต กระแสไฟฟ้า**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะ วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อิลีหัยะ สนิโซ, มุฮัมหมัดนุร ยูนิ, อิสมาแอล เจ๊ะเต๊ะ, รอมซี มาหะ และลูตฟี สือนิ. 2555. เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กอย่างง่าย: นวัตกรรมสำหรับชนบท. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**, 3(1).
- A. H. Elbatran, Mohamed Walid Abdel-Hamed, O. B. Yaakob, Yasser M. Ahmed and M. Arif. 2015. Hydro Power and Turbine Systems Reviews. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, 74(5), 83–90.
- Abhijit Date, Ashwin Date and Aliakbar Akbarzadeh. 2012. Performance investigation of a simple reaction water turbine for power generation from low head micro hydro resources. **Smart Grid and Renewable Energy**, 3, 239-245.
- Ali Arslan, Rizwan Khalid, Zohaib Hassan and Irfan A. Manarvi. 2011. Design and Manufacture of a Micro Zero Head Turbine for Power Generation. **International journal of multidisciplinary sciences and engineering**, 2(7).

- Allan. 2008. **Building an Undershot Water Wheel**. [Online]. Available <http://www.builditsolar.com/Projects/Hydro/UnderShot/WaterWheel.htm> (20 July 2018).
- Alternative energy tutorials. 2018. **Water wheel design**. [Online]. Available <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html> (25 July 2018).
- Anurat Tevata and Chainarong Inprasit. 2011. The Effect of Paddle Number and Immersed Radius Ratio on Water Wheel Performance. **Energy Procedia**, 9, 359-365.
- Giorgio, Pavesi. 2014. **The Cross-Flow Banki Water Turbine Banki Mitchell**. Padova: University of Padova.
- Global Hydro Energy. 2003. **Hydro power turbine Manufacturer Offering Package Solutions**. [Online]. Available <https://global-hydro.eu/en/> (11 May 2018).
- Hydroelectric Information. 2016. **Measuring Head & Flow**. [Online]. Available <http://www.nooutage.com/hydroele.htm#Micro-HydroelectricPower> (9 May 2018).
- The Lithuania Tribune. 2018. **Slyninkos Water Mill**. [Online]. Available <https://en.delfi.lt/lithuania/freetime/slyninkos-water-mill-a-unique-lithuanian-legacy.d?id=75575553> (5 August 2018).
- Luther Sule, I.N.G. Wardana, Rudy Soenoko and Slamet Wahyudi. 2014. Angled and Curved Blades of Deep-Water Wheel Efficiency. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 8(6), 186-192.
- Manh Hung Nguyen, Haechang Jeong, Sung-su Jhang, Bu-gi Kim and Changjo Yang. 2016. A Parametric Study about Blade Shapes and Blade Numbers of Water Wheel Type Tidal Turbine by Numerical Method. **Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety**, 22(3), 296-303.
- Mitsubishi Heavy Industries. 2003. **Water Turbine Plant**. [Online]. Available https://www.mhi.com/products/energy/water_turbine_plant.html (11 August 2018).

Muller, Gerald. no date. Water wheels as a power source. **Renewable energy - Muller.**

N F Yah, A N Oumer, A A Aziz, and I M Sahat. 2018. Numerical investigation on effect of blade shape for stream water wheel performance. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.**





ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณนี้เป็นการยกตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่างๆ ในกรณีการทดลองที่จำนวนใบพาย 12 ใบ รัศมีก้าน 30 cm ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย และอัตราการไหลของน้ำ 0.0048 m³/s โดยที่ยกตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ อัตราเร็วของน้ำ แรงบิด อัตราส่วนความเร็วปลายใบ ก้านของน้ำ ก้านที่เพลลา สัมประสิทธิ์ก้าน สัมประสิทธิ์แรงบิด ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โขลิติตี และกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณแต่ละค่าดังต่อไปนี้

1. การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ

การคำนวณอัตราการไหลของน้ำ เมื่อทราบปริมาตรของถังเก็บน้ำเท่ากับ 0.064 m³ และเวลาที่จับได้เท่ากับ 13.2 s สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} Q &= \frac{V}{t} \\ &= \frac{0.064}{13.2} \\ &= 0.0048 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. การคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำ

การคำนวณอัตราเร็วของน้ำ เมื่อทราบอัตราการไหลของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0048 m³/s และพื้นที่หน้าตัดของรางน้ำที่น้ำไหลผ่านเท่ากับ 0.39 m x 0.068 m สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A_w} \\ &= \frac{0.0048}{0.026} \\ &= 0.18 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. การคำนวณหาแรงบิด

การคำนวณแรงบิด เมื่อทราบแรงที่กระทำต่อใบพายซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.33 N และรัศมีของมูเลย์มีค่าเท่ากับ 0.025 m สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \tau &= Fr \\ &= 0.33 \times 0.025 \\ &= 0.0084 \text{ N-m} \end{aligned}$$

4. การคำนวณหาอัตราส่วนความเร็วปลายใบ

การคำนวณอัตราส่วนความเร็วปลายใบ เมื่อทราบอัตราเร็วรอบเท่ากับ 5.74 rpm รัศมีกึ่งตันเท่ากับ 0.3 m และอัตราเร็วของน้ำเท่ากับ 0.18 m/s สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{R2\pi N}{v} \\ &= \frac{0.3 \times 2 \times 3.14 \times (5.74/60)}{0.18} \\ &= 0.99\end{aligned}$$

5. การคำนวณหากำลังของน้ำ

การคำนวณกำลังของน้ำ เมื่อทราบความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 996.82 kg/m³ พื้นที่ของใบพายที่น้ำไหลมาปะทะเท่ากับ 0.018 m และอัตราเร็วของน้ำเท่ากับ 0.18 m/s สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}P_w &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 996.82 \times 0.018 \times 0.18^3 \\ &= 0.055 \text{ W}\end{aligned}$$

6. การคำนวณหากำลังที่เพลลา

การคำนวณกำลังที่เพลลา เมื่อทราบอัตราเร็วรอบเท่ากับ 5.74 rpm และแรงบิดเท่ากับ 0.0084 N-m สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}P_s &= 2\pi N\tau \\ &= 2 \times 3.14 \times (5.74/60) \times 0.0084 \\ &= 0.005 \text{ W}\end{aligned}$$

7. การคำนวณหาสัมประสิทธิ์กำลัง

การคำนวณสัมประสิทธิ์กำลัง เมื่อทราบกำลังของน้ำเท่ากับ 0.055 W และกำลังที่เพลลาเท่ากับ 0.005 W สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 C_p &= \frac{P_s}{P_w} \times 100 \\
 &= \frac{0.005}{0.055} \times 100 \\
 &= 9.09\%
 \end{aligned}$$

8. การคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงบิด

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงบิด เมื่อทราบสัมประสิทธิ์กำลังเท่ากับ 9.09% และอัตราส่วนความเร็วปลายใบเท่ากับ 0.99 สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 C_T &= \frac{C_p}{\lambda} \times 100 \\
 &= \frac{0.091}{0.99} \times 100 \\
 &= 9.19\%
 \end{aligned}$$

9. การคำนวณหาค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (กรณีสัมประสิทธิ์กำลัง)

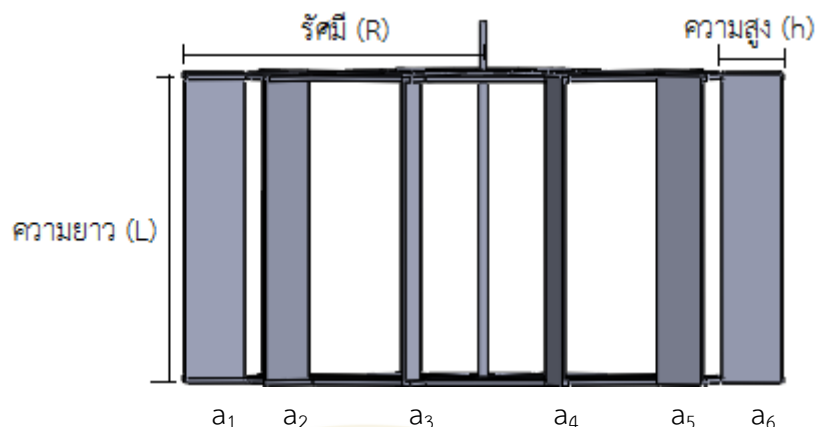
การคำนวณค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เมื่อทราบผลรวมของค่าค่าที่ได้จากการทดลองลบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยกกำลังสองเท่ากับ 92.57 และจำนวนข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 40 สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{RMSE} &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum (E - M)^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{40} \times 92.57} \\
 &= 1.52
 \end{aligned}$$

10. การคำนวณหาค่าโซลิดิตี

การคำนวณค่าโซลิดิตี เมื่อทราบขนาดของใบพายแต่ละใบเท่ากับ 6 x 30 cm ทิศทางระหว่างการไหลของน้ำกับแนวรัศมีของกังหันทำมุม 30° และ 90° รัศมีกังหันเท่ากับ 30 cm และจำนวนใบพาย 12 ใบ สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Solidity} = \frac{a}{A_B}$$



จากรูปสามารถหาผลรวมของพื้นที่ใบพายในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ (a) จากพื้นที่ใบพายแต่ละใบ โดยที่ a_1 และ a_6 หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} a &= \sin\theta Lh \\ &= \sin 90 \times 6 \times 30 \\ &= 180 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ในขณะที่ a_2 a_3 a_4 และ a_5 หาได้จาก

$$\begin{aligned} a &= \sin\theta Lh \\ &= \sin 30 \times 6 \times 30 \\ &= 90 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นผลรวมของพื้นที่ใบพายในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำหาได้จาก

$$\begin{aligned} a &= a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 \\ &= 180 + 90 + 90 + 90 + 90 + 180 \\ &= 720 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

และพื้นที่กวาดของใบพาย (A_B) สามารถหาได้จากสมการ

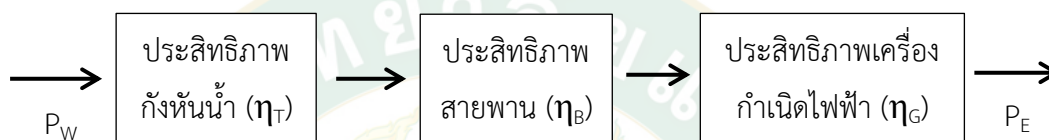
$$\begin{aligned} A_B &= 2RL \\ &= 2 \times 30 \times 30 \\ &= 1,800 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าโซลิติตีหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Solidity} &= \frac{720}{1,800} \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

11. การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำ

การคำนวณนี้เป็นการยกตัวอย่างการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำแบบหลุกดำที่มีจำนวนใบพาย 12 ใบ รัศมีกังหัน 37.5 cm ค่าโซลิติตี 0.32 และมีค่าประสิทธิภาพกังหันเท่ากับ 9.46% ทำการทดลองที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย และอัตราการไหลของน้ำ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่มีค่าความหนาแน่นของน้ำ พื้นที่หน้าตัดที่กำหนด และอัตราเร็วของน้ำเท่ากับ 997.04 kg/m^3 1 m^2 และ 0.18 m/s ตามลำดับ โดยเลือกใช้ระบบถ่ายทอดกำลังแบบสายพานจากมูลี่ของเพลากังหันไปยังมูลี่ของเพลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสายพานและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำหนดให้มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 85% และ 90% ตามลำดับ



จากรูปสามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำได้จากผลคูณระหว่างกำลังของน้ำกับประสิทธิภาพโดยรวมจากระบวนการเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ประสิทธิภาพของสายพาน และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_E = P_W \eta_T \eta_B \eta_G$$

โดยที่กำลังของน้ำหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} P_W &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 997.04 \times 1 \times 0.18^3 \\ &= 2.91 \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำหาได้จาก

$$\begin{aligned} P_E &= 2.91 \times 0.09 \times 0.85 \times 0.90 \\ &= 0.2 \text{ W} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข
แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ข-1 แสดงผลที่ได้จากการทดลองและคำนวณของจำนวนใบพายที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

จำนวน ใบพาย	อัตราการ ไหล (m ³ /s)	อัตราเร็ว รอบ (rpm)	แรงบิด (N-m)	กำลังของ น้ำ (W)	กำลังที่ เพลลา (W)	สัมประสิทธิ์ กำลัง (%)	สัมประสิทธิ์ แรงบิด (%)
6	0.0048	5.52	0.0072	0.055	0.0042	7.60	8.02
	0.0044	5.37	0.0067	0.044	0.0038	8.51	8.58
	0.0039	4.96	0.0056	0.033	0.0029	8.69	8.65
	0.0034	4.16	0.0065	0.023	0.0028	12.12	12.75
	0.0028	2.64	0.0055	0.014	0.0015	11.21	15.54
8	0.0048	5.65	0.0069	0.055	0.0041	7.39	7.62
	0.0044	5.52	0.0071	0.044	0.0041	9.32	9.15
	0.0039	5.17	0.0067	0.033	0.0036	10.87	10.39
	0.0034	4.42	0.0060	0.023	0.0028	11.93	11.80
	0.0028	3.39	0.0056	0.014	0.0020	14.70	15.85
10	0.0048	5.74	0.0079	0.055	0.0048	8.71	8.84
	0.0044	5.59	0.0071	0.044	0.0041	9.40	9.11
	0.0039	5.21	0.0064	0.033	0.0035	10.51	9.96
	0.0034	4.78	0.0074	0.023	0.0037	15.86	14.51
	0.0028	4.23	0.0058	0.014	0.0026	19.08	16.50
12	0.0048	5.74	0.0084	0.055	0.0050	9.16	9.29
	0.0044	5.62	0.0086	0.044	0.0050	11.42	11.01
	0.0039	5.32	0.0069	0.033	0.0038	11.43	10.62
	0.0034	4.88	0.0072	0.023	0.0037	15.81	14.17
	0.0028	4.15	0.0062	0.014	0.0027	19.82	17.43
14	0.0048	5.82	0.0081	0.055	0.0050	9.04	9.04
	0.0044	5.76	0.0072	0.044	0.0043	9.81	9.22
	0.0039	5.31	0.0063	0.033	0.0035	10.45	9.71
	0.0034	4.97	0.0062	0.023	0.0032	13.97	12.30
	0.0028	4.39	0.0056	0.014	0.0026	19.00	15.84
16	0.0048	5.80	0.0067	0.055	0.0041	7.44	7.47
	0.0044	5.68	0.0059	0.044	0.0035	7.92	7.56
	0.0039	5.53	0.0059	0.033	0.0034	10.28	9.19
	0.0034	5.02	0.0054	0.023	0.0028	12.24	10.68
	0.0028	3.89	0.0053	0.014	0.0022	16.03	15.07

ตารางที่ ข-2 แสดงผลที่ได้จากการทดลองและคำนวณของรัศมีกึ่งตันที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

รัศมีกึ่งตัน (cm)	อัตราการไหล (m^3/s)	อัตราเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (N-m)	กำลังของน้ำ (W)	กำลังที่เพลา (W)	สัมประสิทธิ์กำลัง (%)	สัมประสิทธิ์แรงบิด (%)
15	0.0048	11.98	0.0105	0.050	0.0132	26.20	24.74
	0.0044	11.69	0.0102	0.041	0.0124	30.12	27.30
	0.0039	10.70	0.0095	0.031	0.0107	34.19	30.87
	0.0034	10.65	0.0081	0.023	0.0090	39.21	32.11
	0.0028	8.69	0.0081	0.015	0.0073	47.90	41.97
22.5	0.0048	7.93	0.0091	0.050	0.0076	15.07	14.34
	0.0044	7.53	0.0106	0.041	0.0083	20.12	18.89
	0.0039	7.48	0.0107	0.031	0.0084	26.82	23.08
	0.0034	6.95	0.0106	0.023	0.0077	33.60	28.09
	0.0028	5.99	0.0108	0.015	0.0068	44.29	37.55
30	0.0048	5.74	0.0084	0.055	0.0050	9.16	9.29
	0.0044	5.62	0.0086	0.044	0.0050	11.42	11.01
	0.0039	5.32	0.0069	0.033	0.0038	11.43	10.62
	0.0034	4.88	0.0072	0.023	0.0037	15.81	14.17
	0.0028	4.15	0.0062	0.014	0.0027	19.82	17.43
37.5	0.0048	4.74	0.0096	0.050	0.0048	9.46	9.04
	0.0044	4.70	0.0090	0.041	0.0044	10.72	9.68
	0.0039	4.45	0.0080	0.031	0.0037	11.97	10.39
	0.0034	4.02	0.0091	0.023	0.0038	16.59	14.38
	0.0028	3.62	0.0081	0.015	0.0031	20.08	16.91
45	0.0048	3.74	0.0070	0.050	0.0027	5.44	5.48
	0.0044	3.64	0.0076	0.041	0.0029	7.01	6.81
	0.0039	3.41	0.0062	0.031	0.0022	7.10	6.70
	0.0034	3.12	0.0060	0.023	0.0020	8.59	8.01
	0.0028	2.93	0.0063	0.015	0.0019	12.51	10.83

ตารางที่ ข-3 แสดงผลที่ได้จากการทดลองและคำนวณของระดับการจมน้ำของใบพายที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

ระดับการ จมน้ำ (cm)	อัตราการ ไหล (m ³ /s)	อัตราเร็ว รอบ (rpm)	แรงบิด (N-m)	กำลังของ น้ำ (W)	กำลังที่ เพลลา (W)	สัมประสิทธิ์ กำลัง (%)	สัมประสิทธิ์ แรงบิด (%)
1.5	0.0048	5.05	0.0090	0.055	0.0047	8.65	19.95
	0.0044	4.93	0.0088	0.044	0.0046	10.33	22.70
	0.0039	4.73	0.0077	0.033	0.0038	11.37	23.75
	0.0034	4.20	0.0071	0.023	0.0031	13.39	27.89
	0.0028	3.58	0.0063	0.014	0.0024	17.46	35.63
3	0.0048	9.45	0.0096	0.055	0.0095	17.32	21.35
	0.0044	8.99	0.0091	0.044	0.0086	19.42	23.41
	0.0039	7.88	0.0086	0.033	0.0071	21.15	26.52
	0.0034	7.10	0.0074	0.023	0.0055	23.68	29.18
	0.0028	5.53	0.0071	0.014	0.0041	30.38	40.12
4.5	0.0048	10.52	0.0097	0.055	0.0107	19.46	21.54
	0.0044	10.34	0.0090	0.044	0.0097	22.05	23.09
	0.0039	9.83	0.0080	0.033	0.0083	24.68	24.80
	0.0034	8.74	0.0080	0.023	0.0074	31.62	31.66
	0.0028	7.46	0.0070	0.014	0.0055	40.50	39.66
6	0.0048	11.98	0.0105	0.050	0.0132	26.20	24.74
	0.0044	11.69	0.0102	0.041	0.0124	30.12	27.30
	0.0039	10.70	0.0095	0.031	0.0107	34.19	30.87
	0.0034	10.65	0.0081	0.023	0.0090	39.21	32.11
	0.0028	8.69	0.0081	0.015	0.0073	47.90	41.97
6.6	0.0048	10.73	0.0081	0.055	0.0090	16.51	17.91
	0.0044	10.50	0.0081	0.044	0.0089	20.23	20.88
	0.0039	9.89	0.0075	0.033	0.0078	23.34	23.32
	0.0034	8.08	0.0073	0.023	0.0062	26.57	28.76
	0.0028	6.91	0.0069	0.014	0.0050	36.85	38.95



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1. การวิเคราะห์ที่ใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design

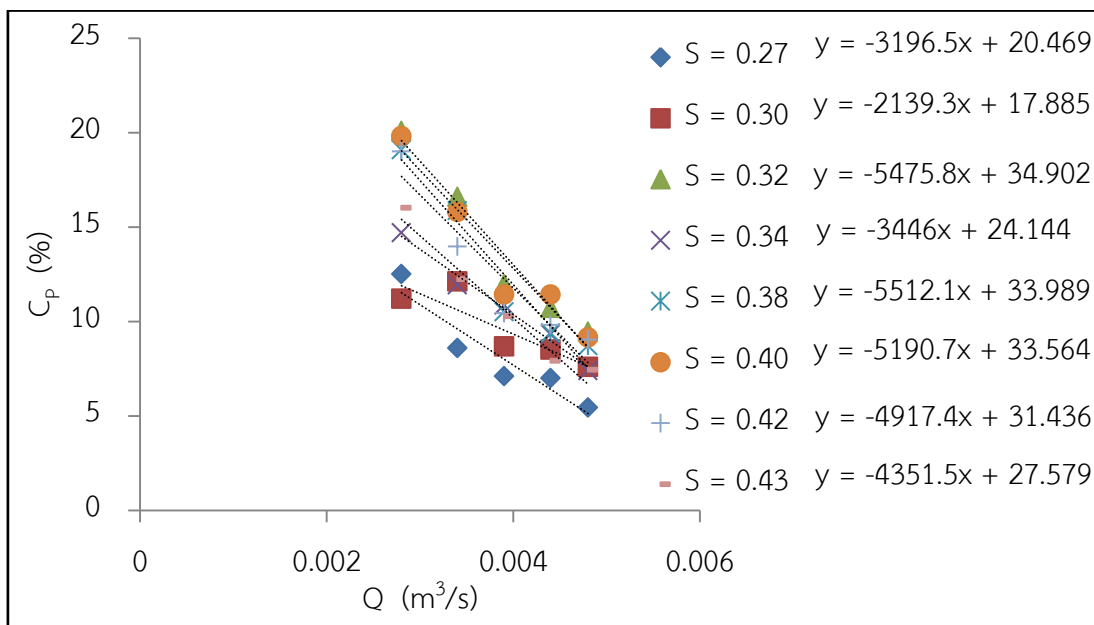
การวิเคราะห์นี้เป็นการยกตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โดยได้ดำเนินการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับโซลิดิตี และอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Thermal design ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ดำเนินการนำข้อมูลจากตารางที่ ค-1 มาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับอัตราการไหลของน้ำที่โซลิดิตีต่างๆ

ตารางที่ ค-1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ได้จากการทดลองของโซลิดิตีที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆ

โซลิดิตี		สัมประสิทธิ์กำลัง (%) / อัตราการไหล (m^3/s)				
0.27	C_p	5.44	7.01	7.10	8.59	12.51
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.30	C_p	7.60	8.51	8.69	12.12	11.21
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.32	C_p	9.46	10.72	11.97	16.59	20.08
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.34	C_p	7.39	9.32	10.87	11.93	14.70
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.38	C_p	8.71	9.40	10.51	15.86	19.08
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.40	C_p	9.16	11.42	11.43	15.81	19.82
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.42	C_p	9.0	9.8	10.4	14.0	19.0
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028
0.43	C_p	7.44	7.92	10.28	12.24	16.03
	Q	0.0048	0.0044	0.0039	0.0034	0.0028

2. จากภาพที่ ค-1 ทำการนำสัมประสิทธิ์ทั้ง 2 พจน์ ของการสมการเส้นตรงทั้ง 8 สมการ มาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างโซลิติตีกับสัมประสิทธิ์ที่ 1 และ 2 โดยที่นำข้อมูลที่แสดงใน ตาราง ค-2

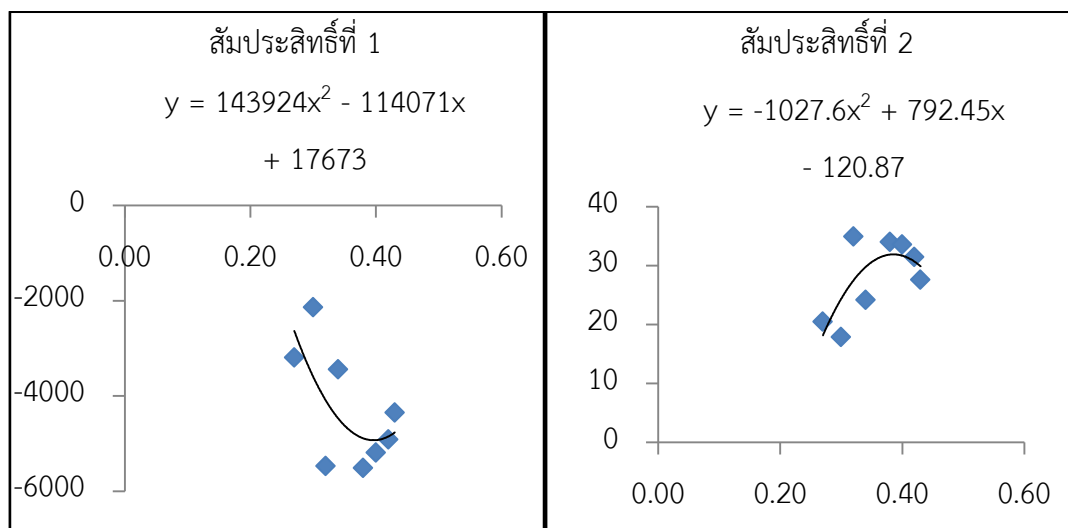


ภาพที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับอัตราการไหลของน้ำที่โซลิติตีต่างๆ

ตารางที่ ค-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ 1 และ 2 ที่ได้จากการพล็อตกราฟของโซลิติตีต่างๆ

โซลิติตี	สัมประสิทธิ์ที่ 1	สัมประสิทธิ์ที่ 2
0.27	-3196.5	20.469
0.30	-2139.3	17.885
0.32	-5475.8	34.902
0.34	-3446	24.144
0.38	-5512.1	33.989
0.40	-5190.7	33.564
0.42	-4917.4	31.436
0.43	-4351.5	27.579

3. จากภาพที่ ค-2 ทำการนำสมการโพลีโนเมียลของสัมประสิทธิ์ที่ 1 และ 2 มาแทนในสมการเส้นตรง $y = mx + b$ โดยที่ m คือสัมประสิทธิ์ที่ 1 และ b คือสัมประสิทธิ์ที่ 2



ภาพที่ ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่างโซลิตีกับสัมประสิทธิ์ที่ 1 และ 2

4. จากสมการที่ ค-1 ทำการเปลี่ยนตัวแปรของสมการ โดยที่ y คือสัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) \times ของสมการเส้นตรง คืออัตราการไหล (Q) และ x ของสมการโพลีโนเมียล คือโซลิตี (s) ดังแสดงในสมการที่ ค-2

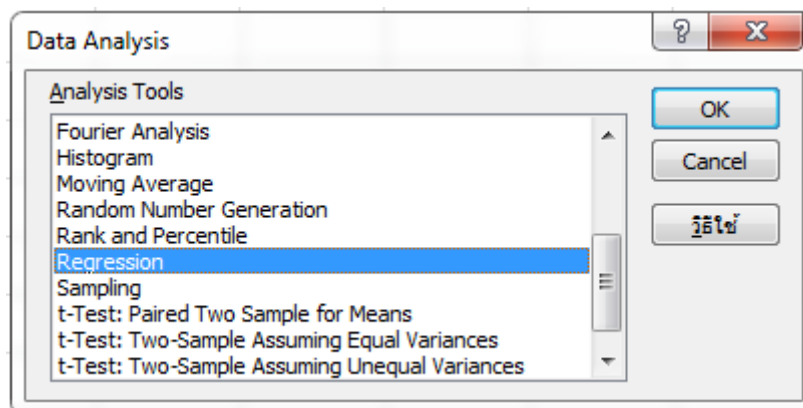
$$y = (143,924x^2 - 114,071x + 17,673)Q + (-1,027.6x^2 + 792.45x - 120.87) \quad \text{สมการที่ ค-1}$$

$$C_p = (143,924s^2 - 114,071s + 17,673)Q + (-1,027.6s^2 + 792.45s - 120.87) \quad \text{สมการที่ ค-2}$$

2. การวิเคราะห์โดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Regression

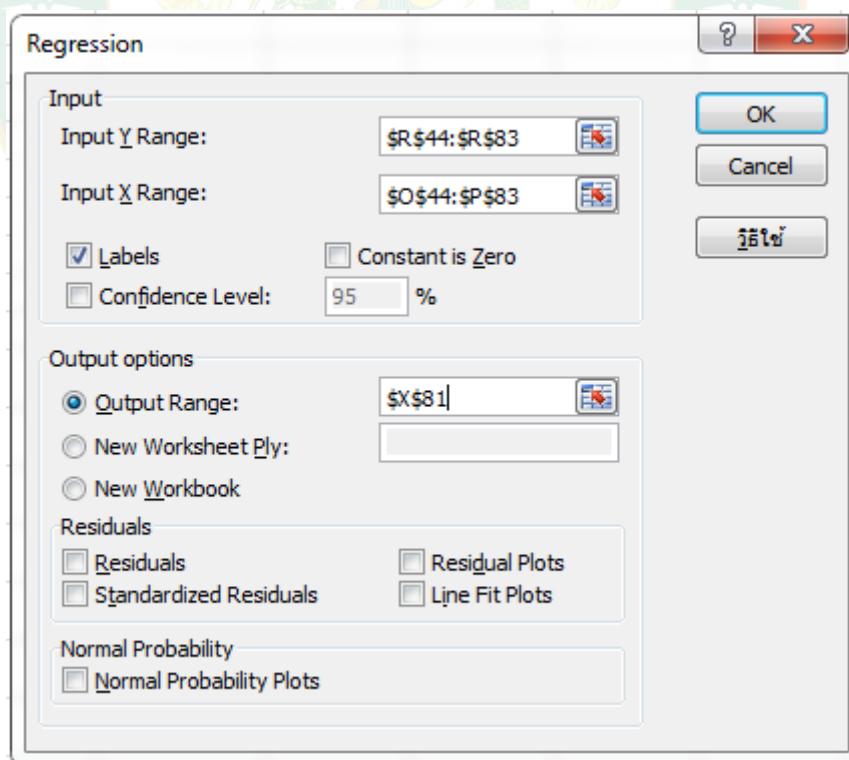
การวิเคราะห์นี้เป็นการยกตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายการทำงานของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โดยได้ดำเนินการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่เพลากับโซลิตีและกำลังของน้ำโดยใช้วิธีการหาสมการแบบ Regression ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์สมการจะใช้ฟังก์ชัน Data Analysis ในการเริ่มต้นการตั้งค่า โดยทำการเลือกการวิเคราะห์แบบ Regression ดังแสดงในภาพที่ ค-3



ภาพที่ ค-3 หน้าต่างการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Regression

2. ดำเนินการเลือกข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดค่าแกน Y เป็นกำลังที่เพลลา และค่าแกน X เป็นโซลิตีดี และกำลังของน้ำ ดังแสดงในภาพที่ ค-4



ภาพที่ ค-4 หน้าต่างการกำหนดค่าแกน Y และค่าแกน X ของการวิเคราะห์แบบ Regression

3. โปรแกรมดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ ค-5

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.857476							
R Square	0.735265							
Adjusted R	0.720557							
Standard Error	0.000492							
Observations	39							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	2	2.42E-05	1.2E-05	49.99249	4.08E-11			
Residual	36	8.71E-06	2.4E-07					
Total	38	3.29E-05						
<i>Coefficients</i>								
	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	0.000187	0.000551	0.33885	0.736691	-0.00093	0.0013	-0.00093	0.0013
0.27	0.004252	0.001469	2.89375	0.006426	0.001272	0.00723	0.001272	0.00723
0.050224	0.052232	0.005622	9.29104	4.27E-11	0.040831	0.06363	0.040831	0.06363

ภาพที่ ค-5 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์

4. ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำข้อมูลจากภาพที่ ค-5 มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกำลังที่เพลลา ดังแสดงในสมการที่ ค-3

$$P_s = 0.0002 + 0.0042S + 0.0522P_w$$

สมการที่ ค-3



ภาคผนวก ง
ประมวลภาพการทดลองกั้นน้ำแบบหลุกต่ำ

1. ประมวลผลการทดลองกักน้ำแบบหลุกด้าที่จำนวนใบพายต่างๆ รัศมีกักน้ำ 100% ของความยาวใบพาย (30 cm) และระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย



ภาพที่ ง-1 การทดลองกักน้ำแบบหลุกด้าที่จำนวนใบพาย 6 ใบ



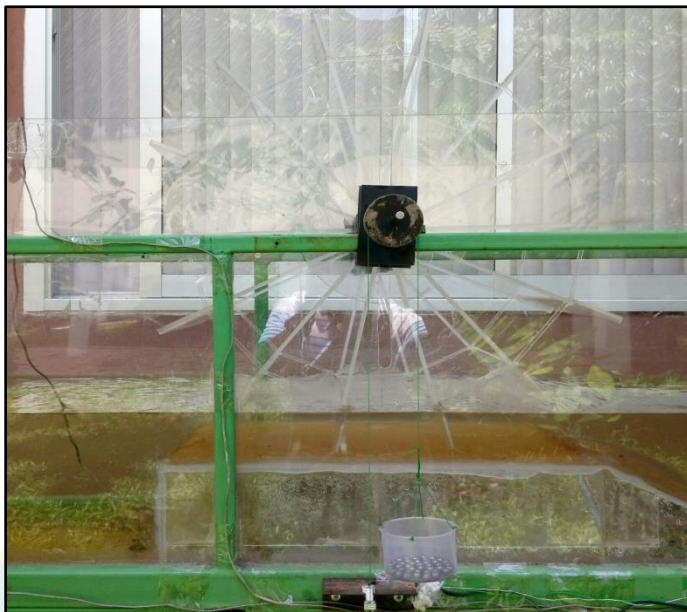
ภาพที่ ง-2 การทดลองกักน้ำแบบหลุกด้าที่จำนวนใบพาย 8 ใบ



ภาพที่ ง-3 การทดลองกักน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 10 ใบ



ภาพที่ ง-4 การทดลองกักน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 12 ใบ

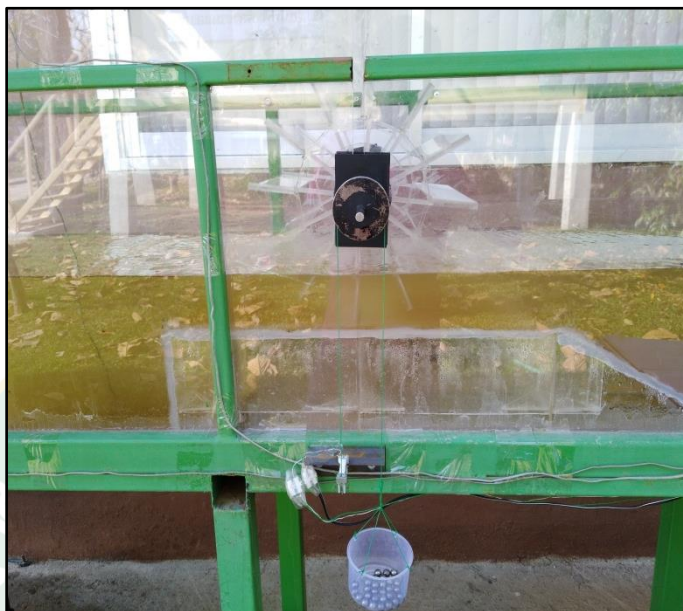


ภาพที่ ง-5 การทดลองกั้นน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 14 ใบ



ภาพที่ ง-6 การทดลองกั้นน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 16 ใบ

2. ประมวลภาพการทดลองกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่รัศมีกังหันต่างๆ จำนวนใบพาย 12 ใบ และระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย



ภาพที่ ง-7 การทดลองกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่รัศมีกังหัน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm)



ภาพที่ ง-8 การทดลองกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่รัศมีกังหัน 75% ของความยาวใบพาย (22.5 cm)



ภาพที่ ง-9 การทดลองกักน้ำแบบหลุกต่ำที่รัศมีกักน้ำ 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



ภาพที่ ง-10 การทดลองกักน้ำแบบหลุกต่ำที่รัศมีกักน้ำ 125% ของความยาวใบพาย (37.5 cm)



ภาพที่ ง-11 การทดลองกังหันน้ำแบบหลุกต๋ำที่รัศมีกังหัน 150% ของความยาวใบพาย (45 cm)

3. ประมวลผลการทดลองกังหันน้ำแบบหลุกต๋ำที่ระดับการจมน้ำของใบพายต่างๆ จำนวน ใบพาย 12 ใบ และรัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



ภาพที่ ง-12 การทดลองกังหันน้ำแบบหลุกต๋ำที่ระดับการจมน้ำ 25% ของความสูงใบพาย



ภาพที่ ง-13 การทดลองกักหน้แบบหลุกต่ำที่ระดับการจมน้ำ 50% ของความสูงใบพาย



ภาพที่ ง-14 การทดลองกักหน้แบบหลุกต่ำที่ระดับการจมน้ำ 75% ของความสูงใบพาย



ภาพที่ ง-15 การทดลองกังหันน้ำแบบหลุกด้าที่ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย

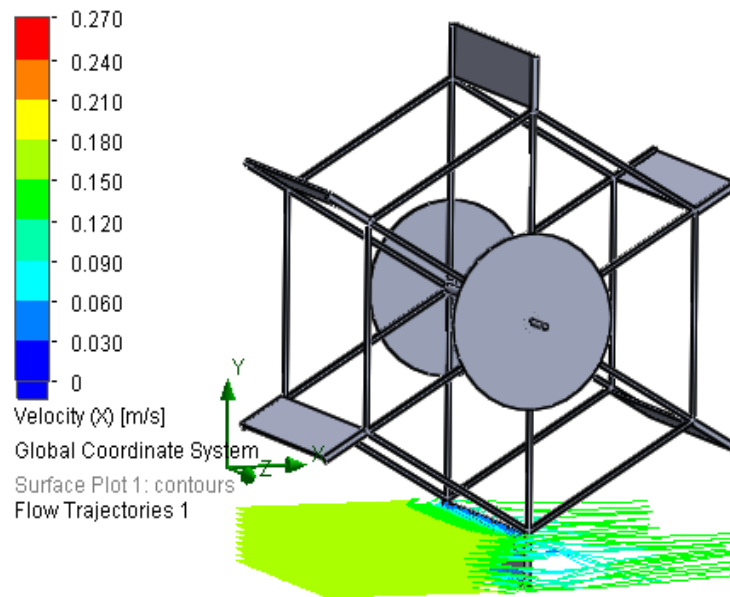


ภาพที่ ง-16 การทดลองกังหันน้ำแบบหลุกด้าที่ระดับการจมน้ำ 110% ของความสูงใบพาย

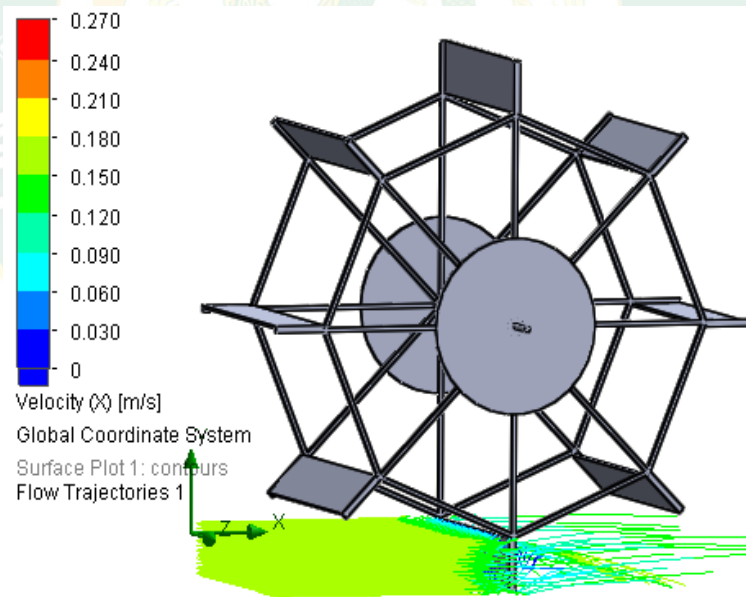


ภาคผนวก จ

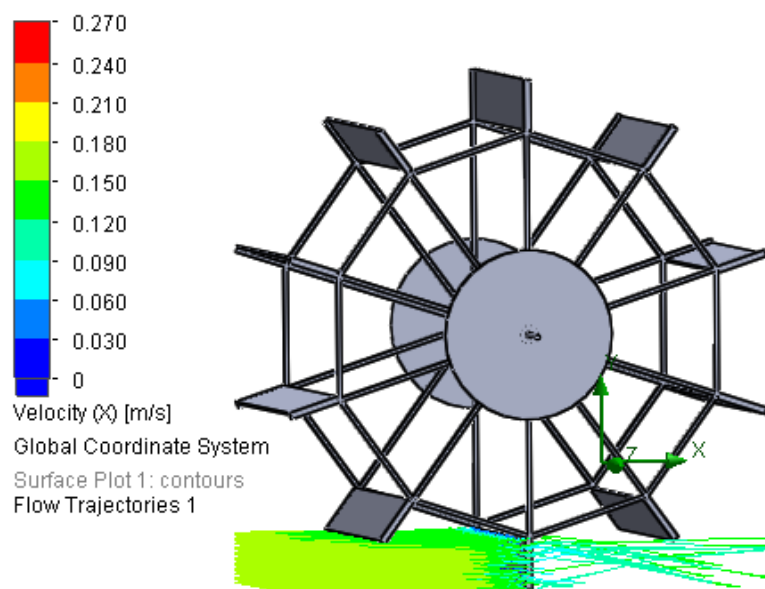
ประมวลแผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกั้น



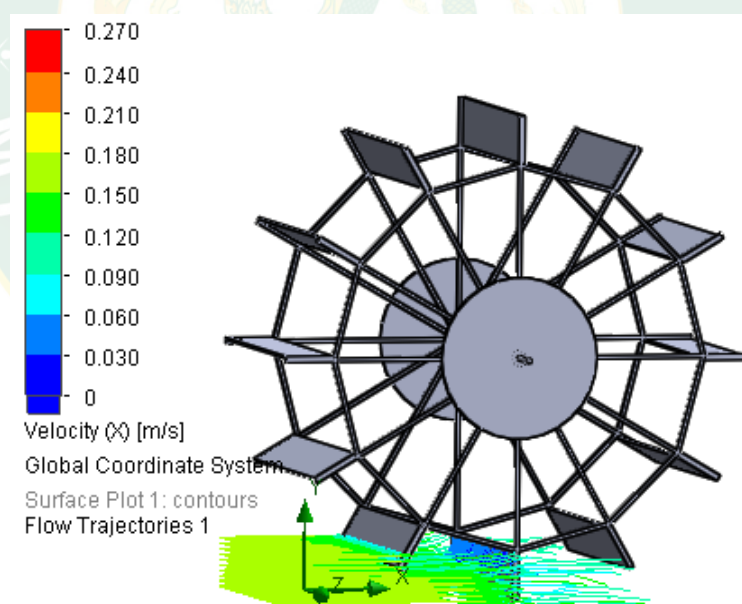
ภาพที่ จ-1 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่จำนวนใบพาย 6 ใบ
รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



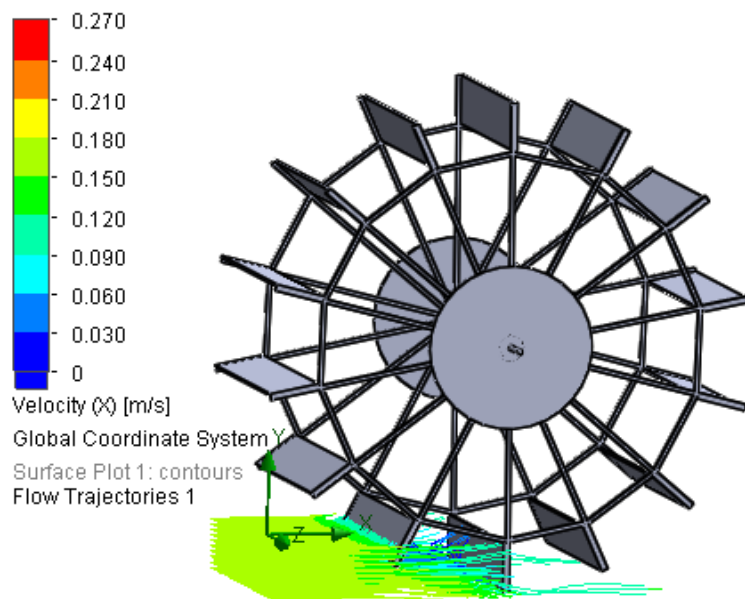
ภาพที่ จ-2 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่จำนวนใบพาย 8 ใบ
รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



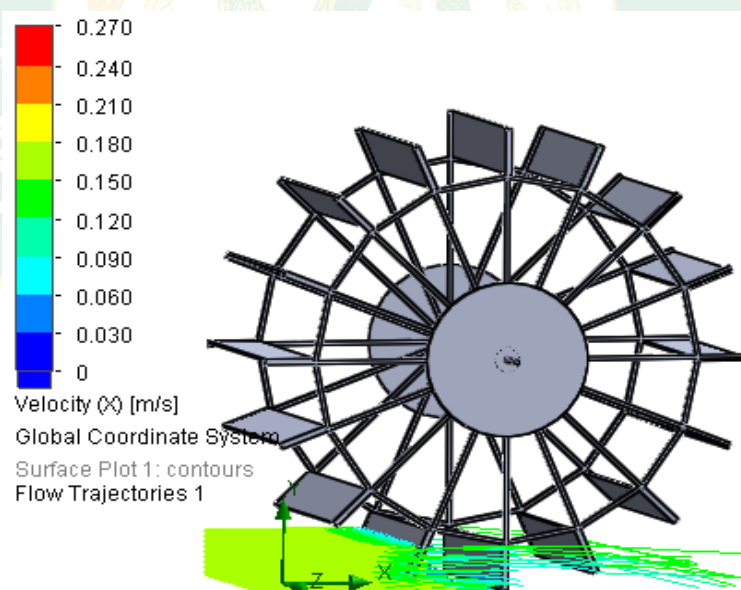
ภาพที่ จ-3 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 10 ใบ
รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



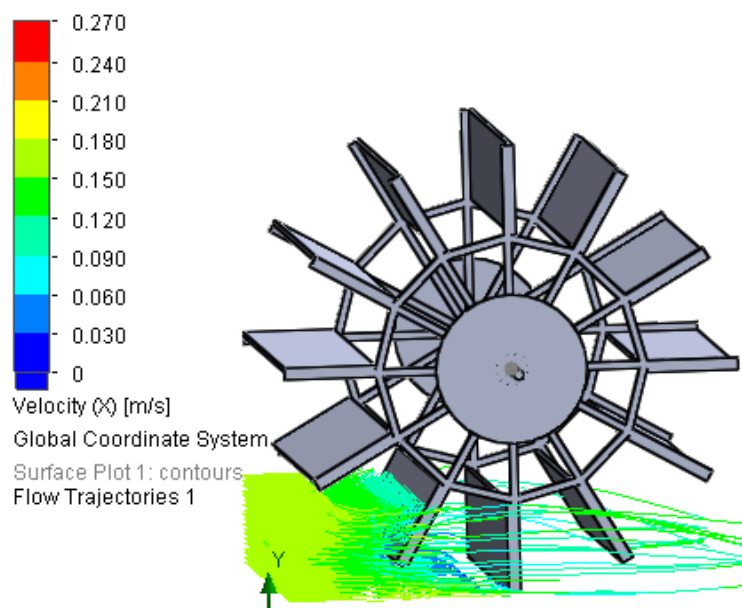
ภาพที่ จ-4 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 12 ใบ
รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



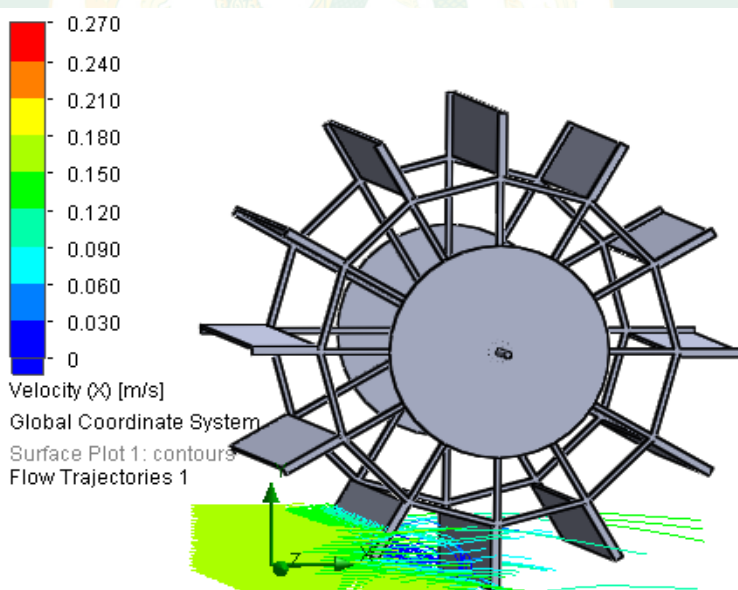
ภาพที่ จ-5 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 14 ใบ
รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



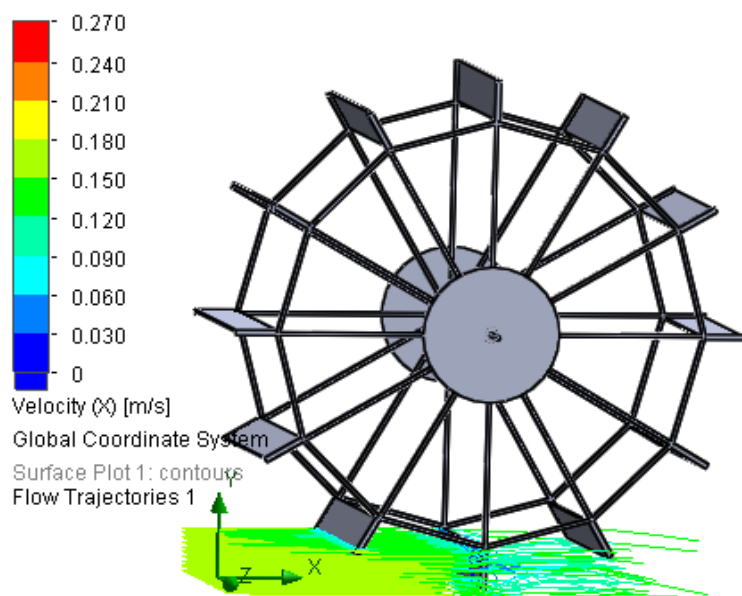
ภาพที่ จ-6 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกดำที่จำนวนใบพาย 16 ใบ
รัศมีกังหัน 100% ของความยาวใบพาย (30 cm)



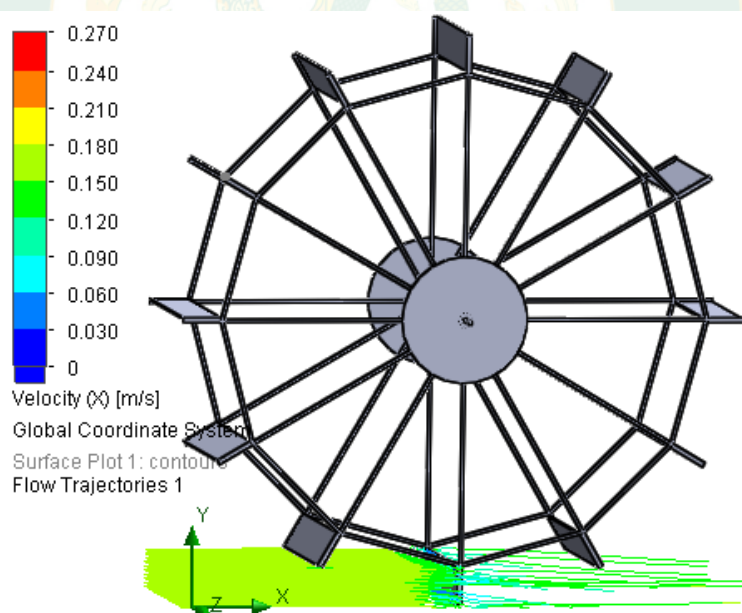
ภาพที่ จ-7 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่รัศมีกั้งหัน 50% ของความยาวใบพาย (15 cm) จำนวนใบพาย 12 ใบ



ภาพที่ จ-8 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่รัศมีกั้งหัน 75% ของความยาวใบพาย (22.5 cm) จำนวนใบพาย 12 ใบ



ภาพที่ จ-9 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่รัศมีกักัน 125% ของความยาวใบพาย (37.5 cm) จำนวนใบพาย 12 ใบ



ภาพที่ จ-10 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบลูกตุ้มที่รัศมีกักัน 150% ของความยาวใบพาย (45 cm) จำนวนใบพาย 12 ใบ



ภาคผนวก ฉ

บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน

เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน

New Era of Community Energy



ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ร่วมจัดโดย





การศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ
 Effected Study of Solidity on Performance of Undershot Water Wheel

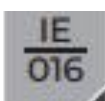
บุญศักดิ์ ¹ ตรีวิภากร ¹ จงพรรณ ¹ นิวิญศิลป์ ¹ ชูวิทย์ ¹ อารารักษ์ ¹ และเชนศ ¹ ไชยชนะ ¹
¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

พลังงานน้ำขนาดเล็กเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญตามแผน AEDP 2015 โดยกังหันน้ำที่ได้รับควมนิยมในการผลิตกระแสไฟฟ้าก็คือ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (Undershot Water Wheel) เพราะสามารถเอาพลังงานจากการไหลของน้ำมาใช้งานโดยตรง โดยที่ไม่ต้องกักเก็บน้ำ และไม่เป็นการทำลายระบบนิเวศน์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายแบบแผ่นเรียบที่ผลิตจากแผ่นอะคริลิกใส ขนาดใบพายยาว 30 cm สูง 6 cm และหนา 3 mm รัศมีจากศูนย์กลางเพลาหมุนถึงปลายใบพาย 25 cm และมีจำนวนใบพาย 4 ค่า ประกอบด้วย 8 12 14 และ 16 ใบพาย ทำการทดสอบในอุโมงค์น้ำแบบเปิดที่ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย โดยมีค่าอัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า คือ 0.0027 0.0025 และ 0.0018 m^3/s จากการศึกษาพบว่า ค่าโซลิดิตีที่ต่ำจะให้ค่ารอบการหมุนสูงและจะให้ค่าแรงบิดต่ำ โดยรอบการหมุนของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 7.69 RPM ที่ค่าโซลิดิตี 0.46 และแรงบิดของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 0.021 N-m ที่ค่าโซลิดิตี 0.52 ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 18.07% โดยประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดมีค่า 27.21% ที่ค่าโซลิดิตี 0.46

คำสำคัญ: สมรรถนะ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โซลิดิตี

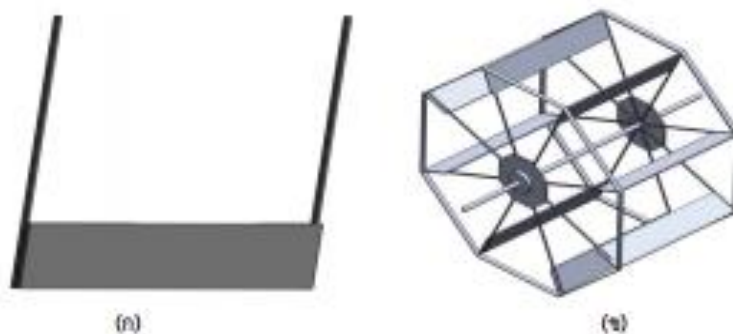
¹Corresponding author: Tel: 081-5306768, E-mail address: Tanatecha@hotmail.com



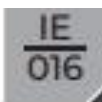
บทนำ

ประเทศไทยมีการส่งเสริมและพัฒนาทางด้านพลังงานมาอย่างต่อเนื่อง เป็นประเทศที่มีพื้นที่แหล่งทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ จึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน เพื่อลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล โดยมีกระทรวงพลังงานเป็นผู้ขับเคลื่อนนโยบาย กระทรวงพลังงานจึงได้ทบทวนการจัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลัก ได้แก่ แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยในการจัดทำแผนจะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานความมั่นคงทางด้านพลังงาน คู่ค้าในทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อลดประโยชน์ในด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากแผนเป้าหมายที่ตรงตามวัตถุประสงค์จะมีอยู่ 3 แผน ในกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ และหนึ่งในนั้น ได้แก่ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015)

จากสถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน ประเทศไทยต้องหาพลังงานทดแทนมาใช้อีกเท่าตัว ตามเป้าหมายในปี 2579 ของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก AEDP2015 ทั้งนี้เมื่อกลับมาดูทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทยมีแหล่งน้ำมากพอที่จะเป็นต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็ก โดยเป้าหมายในการพัฒนาพลังงานทดแทนจากพลังงานทดแทนขนาดเล็กให้ได้ในปริมาณ 376 MW ในปี 2579 [2] สำหรับรูปแบบของกังหันน้ำที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เพราะสามารถเอาพลังงานจากการไหลของน้ำมาใช้งานโดยตรง โดยที่ไม่ต้องยกน้ำขึ้นอีกทั้งพืชและสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้ และไม่เป็นการทำลายระบบนิเวศน์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของโซลิตีตต่อคุณลักษณะการทำงานและประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ให้เหมาะสมกับแหล่งน้ำ



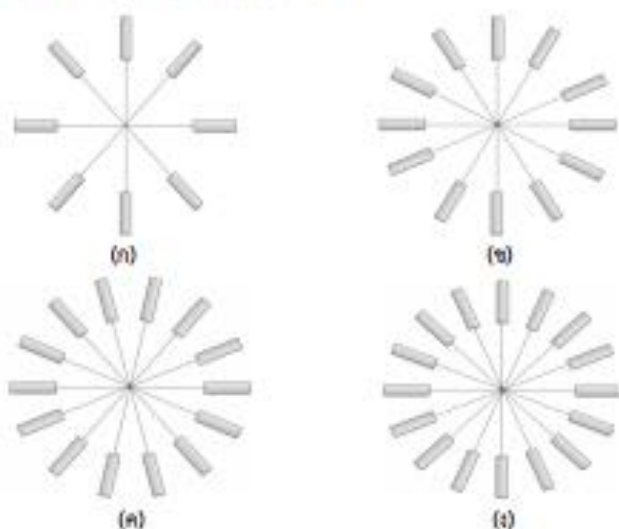
ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะใบพายแบบแผ่นเรียบ (ข) ลักษณะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (กรณี 8 ใบพาย)



วิธีการวิจัย

1. ออกแบบ และสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

- ออกแบบกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายแบบแผ่นเรียบ สกัดจากแผ่นอะคริลิกใสที่มีขนาดใบพายยาว 30 cm สูง 6 cm และหนา 3 mm ดังแสดงในภาพที่ 1
- จำนวนใบพายของกังหันน้ำจำนวน 4 ค่า ประกอบด้วย 8 12 14 และ 16 ใบพาย ดังแสดงในภาพที่ 2
- รัศมีจากศูนย์กลางเพลาหมุนถึงปลายใบพาย 25 cm



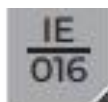
ภาพที่ 2 ลักษณะจำนวนใบพายต่างๆ

(ก) 8 ใบพาย (ข) 12 ใบพาย (ค) 14 ใบพาย (ง) 16 ใบพาย

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

ทำการติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ และอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ประกอบด้วย

- ติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำในอุโมงค์น้ำแบบเบ็ด ที่มีขนาดทางน้ำกว้าง 40 cm สูง 40 cm และยาว 480 cm ดังแสดงในภาพที่ 3
- ติดตั้งชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำแบบสายน้ำสั้น
- ติดตั้งชุดวัดแรงบิด
- ติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร็วรอบ โดยทำการวัดที่เพลาของกังหัน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3 (ก) อุโมงค์น้ำแบบเปิด (ข) การติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิด

3. การตรวจวัดค่าต่างๆ

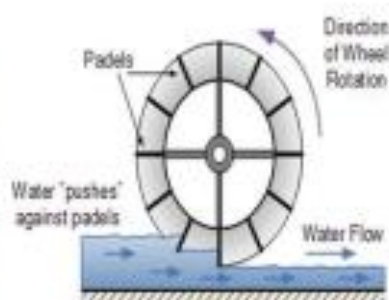
- อัตราเร็วรอบของกังหัน
- อัตราการไหลของน้ำ
- ผลต่างของแรงที่กระทำต่อเพลากังหัน

4. การทดสอบกังหันน้ำ

- ทำการทดสอบที่จำนวนใบพัดจำนวน 4 ค่า ได้แก่ 8 12 14 และ 16 ใบพัด ดังแสดงในภาพที่ 4
 - ทำการทดสอบที่ระดับการจมน้ำของใบพัด 100% ของความสูงใบพัด
 - ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า คือ 0.0027 0.0025 และ 0.0018 m^3/s ในระหว่างการทดสอบ
- ทำการตรวจวัดค่าต่างๆประกอบด้วย ตรวจวัดอัตราเร็วของน้ำผ่านกังหัน และตรวจวัดอัตราเร็วรอบการหมุน

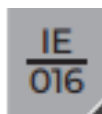


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) การทดสอบกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (ข) ลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหัน [3]



5. การคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการคำนวณหาค่าโซลิตีจากสมการที่ 1 และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างโซลิตีกับค่าต่างๆ ได้แก่ แรงบิดที่เพลา อัตราส่วนของน้ำที่เข้าสู่กังหัน พลังงานที่เกิดที่เพลา และประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำ

$$\text{Solidity} = \frac{a}{A} \quad (1)$$

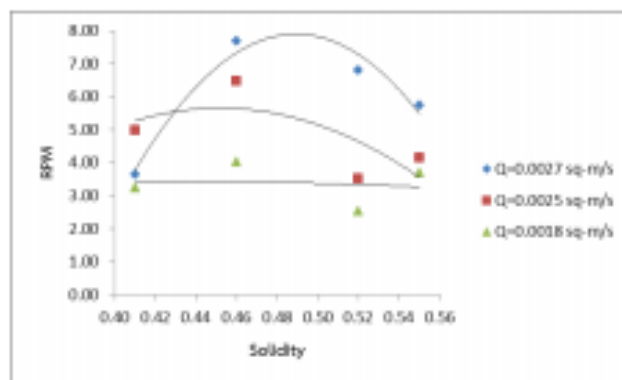
เมื่อ a คือ พื้นที่ของใบพัด (cm^2) A คือ พื้นที่ของใบพัดทั้งหมด (cm^2)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองที่ค่าอัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า คือ 0.00270 0.00250 และ 0.00180 m^3/s สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิตีกับค่าต่างๆ ดังนี้

1. รอบการหมุนของกังหันน้ำ

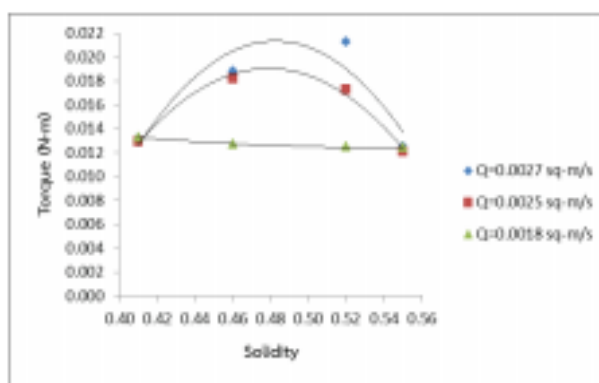
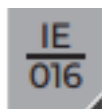
จากผลการวิเคราะห์ รอบการหมุนของกังหันน้ำ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นรอบการหมุนจะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ค่าโซลิตีที่เหมาะสมต่อรอบการหมุนจะอยู่ในช่วง 0.46-0.55 เมื่อวิเคราะห์รอบการหมุนในช่วงดังกล่าวแล้วพบว่า ค่าโซลิตีเพิ่มขึ้นทำให้รอบการหมุนลดลง โดยรอบการหมุนของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 7.69 RPM ที่ค่าโซลิตี 0.46 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิตีกับรอบการหมุนในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิตีกับรอบการหมุน

2. แรงบิดของกังหันน้ำ

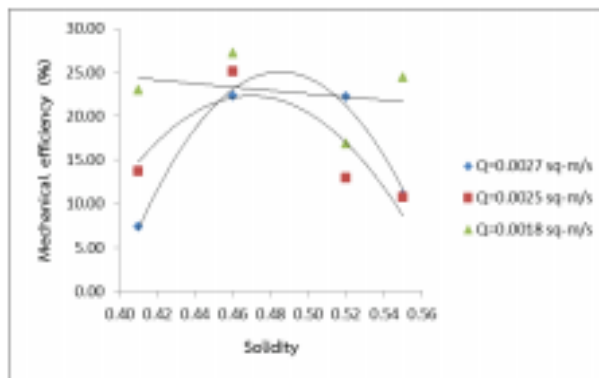
จากผลการวิเคราะห์แรงบิดของกังหันน้ำ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำลดลงแรงบิดของกังหันน้ำ จะมีค่าสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งนี้ค่าโซลิตีที่เหมาะสมต่อแรงบิดจะอยู่ในช่วง 0.46-0.52 เมื่อวิเคราะห์แรงบิดในช่วงดังกล่าวแล้วพบว่า ค่าโซลิตีเพิ่มขึ้นทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นด้วย โดยแรงบิดของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 0.021 N-m ที่ค่าโซลิตี 0.52 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิตีกับแรงบิดในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับแรงบิด

3. ประสิทธิภาพเชิงกล

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงกลโดยพิจารณาที่เกราของกังหันพบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงกลจะอยู่ในช่วง 7.39-27.21% และมีค่าประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ย 18.07% โดยประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดมีค่า 27.21% ที่ค่าโซลิติตี 0.46 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับประสิทธิภาพเชิงกลในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิติตีกับประสิทธิภาพเชิงกล

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของโซลิติตีต่อคุณลักษณะการทำงานและประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบทูลูกค้าสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าโซลิติตีที่ต่ำจะให้ค่ารอบการหมุนสูงและจะให้ค่าแรงบิดต่ำ
2. รอบการหมุนของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 7.69 RPM ที่ค่าโซลิติตี 0.46
3. แรงบิดของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 0.021 N-m ที่ค่าโซลิติตี 0.52
4. ประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 18.07% โดยประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดมีค่า 27.21% ที่ค่าโซลิติตี 0.46



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการอุโมงค์น้ำแบบเปิดสำหรับการทดสอบทางด้านซอฟต์แวร์และพลังงานและสืบประวัติชีวิตทางการไหลของน้ำผ่านสายน้ำสั้นที่สนับสนุนอุโมงค์น้ำสำหรับการทดลอง และทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). สถานการณ์พลังงานของประเทศ ไตรมาส 1/2559. กระทรวงพลังงาน
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2559 (AEDP2015). กระทรวงพลังงาน.
- [3] Alternative energy tutorials. (น.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2560, แหล่งที่มาจาก <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html>.
- [4] สัมพันธ์ ไชยเทพ และธนศ ไชยชนะ. (2551). ระบบพลังงานทางเลือก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในพื้นที่โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (ลม และน้ำ). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] อัครวิณ ปศุศุทธากร. (2552). การประเมินสมรรถนะของกังหันน้ำขนาดเล็กแบบลูกค้ำเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [6] นิกร มังกรทอง. (2549). การผลิตไฟฟ้าโดยใช้กังหันน้ำ. ภาควิชาฟิสิกส์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [7] Anurat Tevataa and Chainarong Inprasita. (2011). The Effect of Paddle Number and Immersed Radius Ratio on Water Wheel Performance. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak.
- [8] Abhijit date, ashwin date and alakbar akbarzadeh. (2013). Investigating the potential for using a simple water reaction turbine for power production from low head hydro resources. Energy Conversion and Management 66, 2013, 257-270.



STISWB 2018
Proceedings of
the 10th International Conference on Science,
Technology and Innovation for Sustainable Well-Being 2018

"Moving Towards Smart and Sustainable Technologies"
11th – 13th July, 2018
Don Chan Palace Hotel & Convention
Vientiane, Lao PDR.

Organized by:
The Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon



Effect of Blade Radius to Characteristics of Undershot Water Wheel

Muhammadkhori Hayibaka¹, Rotjapun Nirunsin¹, Churat Tararuk¹, and Tanate Chaichana^{1*}

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand

*Corresponding author: Tel.: 081-5306768. E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

Abstract— Undershot water wheel is a hydro turbine that has been the current interest. Because it has the advantage of being cheaper and simpler to build. The objective of this research was to study the effect of blade radius to characteristics of undershot water wheel. The water wheel was tested in the open flow water tunnel at water-submerge level of 100% with blade high and 5 water flow rate of 0.0048, 0.0044, 0.0039, 0.0034, and 0.0028 m³/s. The water wheel with the blade radius of 50%, 75%, 100%, 125% and 150% with blade length. Each blade had the area length of 30 cm, height of 6 cm, thickness of 3 mm and blade numbers of 12 blades. From the results of the study at each blade radius and each water flow rate, it was found that the decreased rotation speed and torque occurred when the higher blade radius, but in the case of torque decreases trend at blade radius of 50% with blade length. The maximum rotation speed about 11.98 rpm at blade radius of 50% with blade length and the maximum torque about 0.0108 N-m at blade radius of 75% with blade length. The maximum power coefficient and torque coefficient at blade radius of 50% with blade length about 47.9% and 41.97% respectively.

Keywords— Blade radius; characteristics; undershot water wheel

1. INTRODUCTION

Hydro energy is a clean fuel that doesn't pollute the air. Hydro Energy is the technology that converts the energy of moving water into mechanical or electrical energy, and one of the earliest devices used to convert the energy of moving water into usable work was the Waterwheel. Water wheel design has evolved over time with some water wheels oriented vertically, some horizontally and some with elaborate pulleys and gears attached [1].

Undershot water wheel is a hydro turbine that has been the current interest. Because it has the advantage of being cheaper and simpler to build, but is less powerful and can only be used where the flow rate is sufficient to provide torque [2]. A lot of researches that try to design and produce water wheel for higher efficiency.

A. Tevataa, and C. Inprasita (2011) studied the effect of blade numbers and water-submerge level, it was found that the highest performance occurred when the paddle number was 6 and the immersed radius ratio was 0.5. The torque load at the maximum power depended on the immersed radius ratio. And, at the same immersed radius ratio, the 6, 8 and 12 paddle

numbers water wheel models had the same torque load at the maximum power [3]. T. Chaichana, et al., (2011) has conducted a research on a water wheel. In his report, a water wheel was tested using varying rates of water-submerge level, it was found that the maximum shaft power about 6.4 W occurred when the water-submerge level 100% [4].

Therefore, this is the source of this research to study the effect of blade radius to characteristics of undershot water wheel for information will design and construction undershot water wheel.

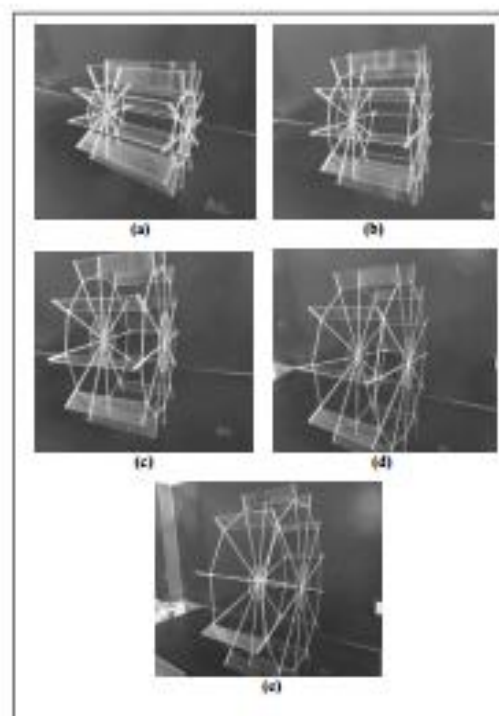


Fig. 1. Undershot water wheel at various blade radius (a) 50%, (b) 75%, (c) 100%, (d) 125%, and (e) 150% with blade length.

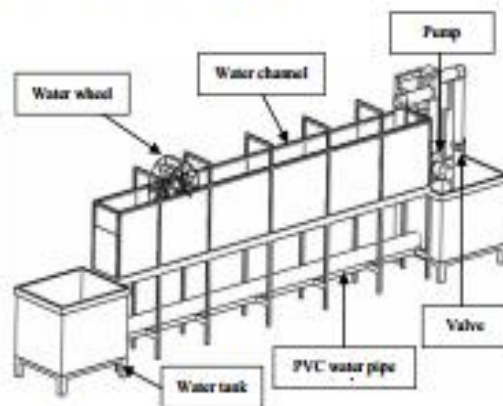


Fig. 2. Water wheel was installed in an open flow water tunnel.

II. EQUIPMENT AND METHOD

To study effected of blade radius to characteristics of undershot water, the water wheel model was test in the open flow water tunnel that the water channel had a width of 40 cm, height of 40 cm, and length 480 cm. The water wheel models with the blade radius of 50%, 75%, 100%, 125% and 150% with blade length as shown in Fig. 1. Each blade had the area length of 30 cm, height of 6 cm, thickness of 3 mm and blade numbers of 12 blades. Then the water wheel was installed in an open flow water tunnel as shown in Fig. 2 and it was measured from the force applied by the brake horsepower.

To test water wheel at water-submerge level of 100% with blade high, 5 water flow rate of 0.0048, 0.0044, 0.0039, 0.0034, and 0.0028 sq-m/s. and were tested of each blade radius. Then the data was analyzed rotation speed, torque as shown in equation 1, power coefficient this is the ratio between the power of hydro turbine with the kinetic energy of water as shown in equation 2. and torque coefficient as shown in equation 3 this is the ratio between power coefficient with tip speed ratio as shown in equation 4.

$$\tau = Fr \quad (1)$$

Where τ = Torque (N-m)
 F = Force at the blade (N)
 r = Radius of pulley (m)

$$C_p = \frac{2\pi Nr}{\sqrt{2}\rho v^3} \times 100 \quad (2)$$

Where C_p = Power coefficient (%)
 N = Rotation speed (rpm)
 ρ = Density of water (kg/m³)

A = Cross sectional area considered (m²)

v = Speed of water (m/s)

$$C_T = \frac{C_p}{\lambda} \times 100 \quad (3)$$

Where C_T = Torque coefficient (%)

λ = Tip speed ratio

$$\lambda = \frac{R2\pi N}{v} \quad (4)$$

Where R = Radius of water wheel (m)



Fig. 3. Water wheel model was test in the open flow water tunnel.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. Rotation speed

The rotation speed at each blade radius and each water flow rate as shown in Fig. 4. It was found that the decreased rotation speed occurred when the higher blade radius. This may because the distance between blades is tight at small radius. Therefore, the speed of the water flowing to the next blade is faster. The maximum rotation speed about 11.98 rpm at blade radius of 50% with blade length.

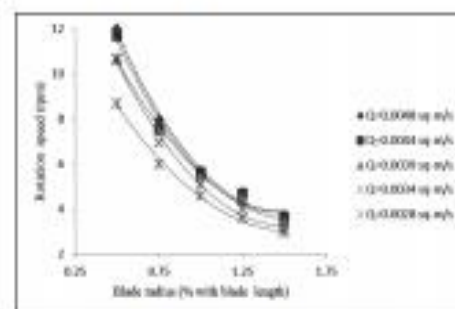


Fig. 4. Relationship between blade radius with rotation speed.



B. Torque

The torque as shown in Fig. 5. It was found that the decreased torque occurred when the higher blade radius. The same with that rotation speed. But decreases trend at blade radius of 50% with blade length. This may because the lowest drag force at the blade back [3]. The maximum torque about 0.0108 N-m at blade radius of 75% with blade length.

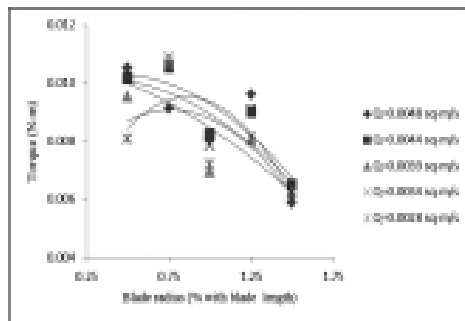


Fig. 5. Relationship between blade radius with torque.

C. Power coefficient and torque coefficient

Coefficient of water wheel studies 2 parts is power coefficient and torque coefficient. The power coefficient at each blade radius and each water flow rate as shown in Fig. 6. It was found that the decreased trend power coefficient occurred when the higher blade radius. The average power coefficient about 20%. The maximum power coefficient about 47.9% at blade radius of 50% with blade length.

The torque coefficient at each blade radius and each water flow rate. It was found that the decreased trend torque coefficient occurred when the higher blade radius. The same with that power coefficient. The average torque coefficient about 17.66%. The maximum torque coefficient about 41.97% at blade radius of 50% with blade length as shown in Fig. 7.

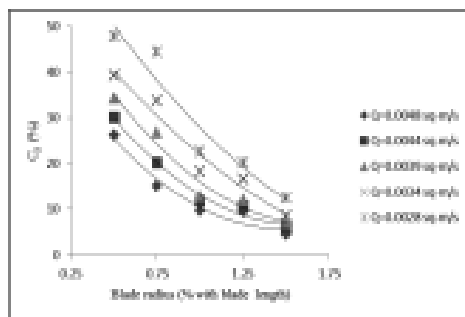


Fig. 6. Relationship between blade radius with power coefficient.

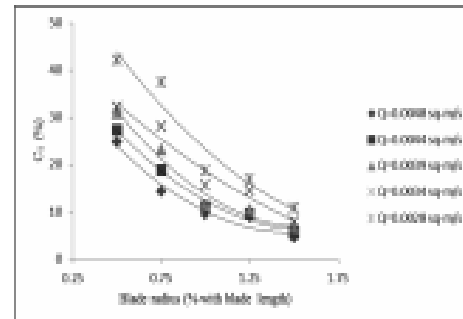


Fig. 7. Relationship between blade radius with torque coefficient.

TABLE I. THE INFORMATION OBTAINED FROM THE EXPERIMENT.

Q (sq-m/s)	Blade radius (% with blade length)	Rpm	Torque (N-m)	Cp (%)	Ct (%)
0.0048	0.5	11.88	0.0105	26.29	24.74
0.0048	0.75	7.93	0.0091	15.07	14.34
0.0048	1	3.71	0.0081	9.59	9.59
0.0048	1.25	4.74	0.0096	9.46	9.04
0.0048	1.5	3.72	0.0059	4.56	4.62
0.0044	0.5	11.69	0.0102	26.12	27.30
0.0044	0.75	7.53	0.0106	26.12	18.09
0.0044	1	3.61	0.0082	11.76	11.06
0.0044	1.25	4.70	0.0090	10.72	9.68
0.0044	1.5	3.63	0.0065	6.00	5.94
0.0039	0.5	10.70	0.0095	24.19	20.87
0.0039	0.75	7.48	0.0107	26.82	23.08
0.0039	1	3.50	0.0079	12.84	11.27
0.0039	1.25	4.45	0.0080	11.97	10.19
0.0039	1.5	3.41	0.0062	7.10	6.70
0.0034	0.5	10.65	0.0081	20.21	32.11
0.0034	0.75	6.95	0.0106	31.60	28.09
0.0034	1	3.09	0.0079	18.16	15.37
0.0034	1.25	4.02	0.0091	16.59	14.38
0.0034	1.5	3.12	0.0060	8.59	8.01
0.0028	0.5	8.69	0.0081	47.90	41.97
0.0028	0.75	5.99	0.0106	44.29	37.55
0.0028	1	4.59	0.0072	22.58	18.73
0.0028	1.25	3.62	0.0081	20.08	16.91
0.0028	1.5	2.93	0.0063	12.51	10.83



The information obtained from the experiment as shown in table 1. Analyze the equation for to find the relationship between power coefficient with flow rate, blade radius and rotation speed as shown in equation 5 ($R^2=0.9037$).

$$C_p = 0.70 - 89.11 Q - 0.21 B + 0.0009 \text{ RPM} \quad (5)$$

IV. CONCLUSION

The results of the experiment effected of blade radius to characteristics of undershot water wheel in an open flow water tunnel were as follows.

- The decreased rotation speed occurred when the higher blade radius. The maximum rotation speed about 11.98 rpm at blade radius of 50% with blade length.
- The decreased torque occurred when the higher blade radius. But decreases trend at blade radius of 50% with blade length. The maximum torque about 0.0108 N-m at blade radius of 75% with blade length.
- The maximum power coefficient and torque coefficient at blade radius of 50% with blade length. Power coefficient about 47.9% and torque coefficient about 41.97%.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Project to produce and develop graduate capacity in renewable energy in ASEAN countries for graduate students of the College of Alternative Energy, Maejo University For the academic year 2016. And project open water tunnels for hydraulic and power testing and water flow coefficients through overflow dams that support water tunnels.

REFERENCES

- [1] Alternative energy tutorials, "Hydro energy," Available at: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html>
- [2] Top Alternative Energy Sources.com, "Water wheel design," Available at: <http://www.top-alternative-energy-sources.com/water-wheel-design.html>
- [3] A. Tevatna, and C. Inprasita, "The Effect of Paddle Number and Immersed Radius Ratio on Water Wheel Performance," Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, 2011.
- [4] T. Chaichana, A. Prilake, and Kraisornd汕rate, "Local Wisdom Innovation in Alternative Energy of Small Flow Type Hydro-Power System for Open Channel of Water Flow," Full research reports, Office of the Higher Education, Commission Under the Research Promotion Program in Higher Education, Thaksin University, 2011.
- [5] S. Chaisup and T. Chaichana, "Alternative Energy Systems To produce electricity in the project area due to the Royal Initiative (wind and water)," Institute of Science and Technology, Chiang Mai University, 2008.
- [6] A. date, A. date, and A. akbarzadeh, "Investigating the potential for using a simple water reaction turbine for power production from low head hydro resources," *Energy Conversion and Management* 66, 2013, 257-270, 2013.
- [7] A. date, A. date, and A. akbarzadeh, "Performance investigation of a simple reaction water turbine for power generation from low head micro hydro resources," *Smart Grid and Renewable Energy*, (3): p. 239-245, 2012.
- [8] Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation, "Alternative Energy and Alternative Energy Development Plan 2015-2016 (AEDP2015)," Ministry of Energy, 2015.
- [9] Luther Sale, L.N.G. Wardana, Rudy Sosnoko, and Slamet Widayati, "Angled and Curved Blades of Deep-Water Wheel Efficiency," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, P. 186-192, 2014.
- [10] Sridongs Sazavut, Jongit Hirunlabh, Joseph Khodari, and Kanagone Kiddee, "Stand Alone Water Wheel Low Speed Surface Acrotor Chaipatana RN-2-3 Controller System," *International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies 2017 AEDCEE*, Bangkok, Thailand, 2017.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายมุฮัมมัดคอยรี หะยีบากา
เกิดเมื่อ	16 มกราคม 2533
ประวัติการศึกษา	<ul style="list-style-type: none"> - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2557 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนธรรมวิทยามูลนิธิ อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2551 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนธรรมวิทยามูลนิธิ อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2548 - สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านประจัน อ.ยะรัง จ.ปัตตานี พ.ศ. 2545