

การประยุกต์ใช้กังหันน้ำแบบเพลตันในการผลิตไฟฟ้าที่หมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา

APPLICATION OF PELTON TURBINE FOR HYDROPOWER GENERATION AT
PIYAMIT 2 VILLAGE, YALA PROVINCE

อรรถกฤษณ์ พรวัฒนกวี

ATTRAKIT PORNWATTANAKAVEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2018-EN-M-030-155

การประยุกต์ใช้กังหันน้ำแบบเพลตันในการผลิตไฟฟ้าที่หมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา

APPLICATION OF PELTON TURBINE FOR HYDROPOWER GENERATION AT
PIYAMIT 2 VILLAGE, YALA PROVINCE

อรรถกฤษณ์ พรวัฒนากวี

ATTRAKIT PORNWATTANAKAVEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-030-155

APPLICATION OF PELTON TURBINE FOR HYDROPOWER GENERATION AT
PIYAMIT 2 VILLAGE, YALA PROVINCE

ATTRAKIT PORNWATTANAKAVEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018
KMITL-2018-EN-M-030-155

COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้กังหันน้ำแบบเพลตันในการผลิตไฟฟ้าที่ หมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา
	นายอรรถกฤษณ์ พรวัฒนกวี
รหัสประจำตัว	57601459
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. จำลอง ปราบแก้ว

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้กังหันน้ำแบบเพลตันในการผลิตไฟฟ้าที่หมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา ของกองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายใน (กอ. รমন.) โดยได้แสดงเป็นลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน เริ่มจากการคำนวณหาขนาดใบพัดและกำลังผลิตของกังหันน้ำแบบเพลตัน ด้วยโปรแกรม MAT LAB ที่อัตราการไหล 0.040 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮด 70 เมตร ประสิทธิภาพกังหันน้ำ 80% จำนวนหัวฉีด 2 หัว ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที จากผลการคำนวณพบว่า ค่าขนาดใบพัด กว้าง 82.14 มิลลิเมตร ยาว 81.36 มิลลิเมตร ท้องใบลึก 30.92 มิลลิเมตร ขนาดวัดผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตของใบพัด 341.35 มิลลิเมตร จำนวนใบพัด 26 ใบ ขนาดหัวฉีด 32.54 มิลลิเมตร กำลังผลิตของกังหันน้ำแบบเพลตัน 21.97 กิโลวัตต์ จากนั้นได้ทำการผลิตกังหันน้ำแล้วนำไปติดตั้งในพื้นที่โครงการเพื่อทดสอบการใช้งาน โดยทำการวัดค่าอัตราการไหล เฮด ระดับของเสียง ความร้อนของลูกปืน การสั่นของลูกปืนแต่ละจุด ขณะที่เครื่องทำงานและการเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา (Alignment) แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่ากำลังผลิตของกังหันน้ำ ค่าอัตราการไหลกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำและค่าอัตราการไหลกับค่าความเร็วรอบของกังหันน้ำ สุดท้ายค่าอัตราการไหลกับค่าแรงบิด ผลที่ได้คือ ช่วงอัตราการไหลที่ 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮด 70 เมตร กำลังผลิตของกังหันน้ำมีค่า 22.53 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบ 879 รอบต่อนาที แรงบิด 244.8 นิวตันเมตร ประสิทธิภาพ 80.67% จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) มีค่ามากกว่า 0 และค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) มีค่า 53.75% และใช้ระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 9 เดือน

Thesis Title	APPLICATION OF PELTON TURBINE FOR HYDROPOWER GENERATION AT PIYAMIT 2 VILLAGE, YALA PROVINCE
Student	Mr. Attrakit Pornwattanakavee
Student ID.	57601459
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chamlong Prabkaew

ABSTRACT

Determination of the application of pelton turbine for hydropower generation at Piyamit 2 village, Yala province of the Internal Security Operations Command. This study shown as a sequence of operations and financial analysis. First, both a size runner and a turbine shaft power were calculated and checked the condition of variables in each loop by the Matrix Laboratory software (MAT LAB). The variables were flow rate ($0.04 \text{ m}^3/\text{s}$) and gross head (70 meters with 2 jet nozzles at speed 1,000 rpms and 80% of turbine efficiency). Secondly, the parts of turbine were manufactured and then, the level of dam and inlet penstock pipe were rechecked at the site survey. Finally, the pelton turbine were installed and tested at the working site including measurement of water flow rate, head, sound, the level of base plate turbine and generator, the load bearing heat run, vibration and alignment of the power transmission. Moreover, make the performance curve between turbine shaft power vs. flow rate, efficiency vs. flow rate, turbine speed vs. flow rate, and shaft torque vs. flow rate were examined. The results of program indicated dimensions of turbine parts. Blade dimensions were width 82.14 mm, height 81.36 mm, depth 30.92 mm. Pitch circle (P.C.D.) was 341.35 mm in 26 pieces of blade and jet nozzle diameter was 32.54 mm. The turbine shaft power was generated 21.97 kW from the program computing. Meanwhile, turbine shaft power was produced 22.53 Kw at of turbine speed (879 rpm), average of flow rate ($0.04 \text{ m}^3/\text{s}$), head (70 meters), shaft torque (244.8 Nm) and 80.67% of maximum turbine efficiency at the working site. The financial study shown that a net present value (NPV) was greater than zero in an internal rate return (IRR) of 53.75% with a payback period (PB) of 1 year and 9 months.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วย ความกรุณา แนะนำ และการถ่ายทอดวิชาความรู้จาก รองศาสตราจารย์ ดร. จำลอง ปราบแก้ว ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และความทุ่มเทให้กับลูกศิษย์คนนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมทั้งคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำติชมในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ นายบุญลือ กิจชนะพรผู้เป็นบิดา กับ นางสุภาพร พรวัฒนทวี ผู้เป็นมารดา และบุคคลในครอบครัวเป็นอย่างดี ที่เฝ้าเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน รวมถึง นางสุพรรณนิการ์ พรวัฒนทวี ภรรยาที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือในทุกด้าน ในเวลาที่เจอปัญหาและท้อแท้ตลอดมาจนประสบความสำเร็จและนอกจากนี้ ขอขอบคุณ นายภิญโญ บุญพิทักษ์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท กรีน เอ็นจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด ที่ให้เวลาและโอกาสในการศึกษาเล่าเรียนในครั้งนี้อย่างเต็มที่ตลอดมา และ นายกิตติพร โป้ชีวี วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ข้อมูลและให้คำปรึกษาด้านวิชาการเรื่อยมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ถ้าไม่มีบุคคลดังที่ได้เอ่ยมาข้างต้นนี้ทั้งหมดที่คอยเอาใจใส่ให้ความสำคัญ และถ้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีคุณค่าและประโยชน์กับบุคคลหรือหน่วยงานใด ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยอวยพรให้ทุกท่านมีแต่ความสุข ความเจริญ

อรรถกฤษณ์ พรวัฒนทวี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	28
3.1 เทคโนโลยีพลังงานขนาดเล็ก.....	28
3.2 สมการคำนวณสมรรถนะ กังหันน้ำชนิดเพลดัน.....	35
3.2.1 พลังงานเนื่องจากการไหล.....	35
3.2.2 กำลังงานของกังหันน้ำ.....	36
3.2.3 ความเร็วจำเพาะ	37
3.2.4 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบ.....	37
3.2.5 การคำนวณหาแรงของลำน้ำที่กระทำต่อใบพัด.....	38
3.2.6 การคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำ ชนิด เพลดัน.....	40
3.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	41
3.3.1 ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	41
3.3.2 อัตราผลตอบแทนของโครงการ.....	42
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างกังหันน้ำ แบบเพลดันสำหรับโครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2.....	43
4.1 การคำนวณด้วยโปรแกรมเพื่อหาขนาดของกังหันน้ำ	43
4.1.1 โปรแกรม MAT LAB	44

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ขั้นตอนและวิธีการคำนวณของโปรแกรมคำนวณขนาดกักกันน้ำ	46
4.2 การผลิตกักกันน้ำ แบบเพลดัน	49
บทที่ 5 ขั้นตอนการทดสอบ ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดลอง	57
5.1. การทดสอบกักกันน้ำ	57
5.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	57
5.1.2 การทดสอบสมรรถนะของกักกันน้ำ แบบเพลดัน	58
5.1.3 การทดสอบการติดตั้งของกักกันน้ำ แบบเพลดัน	60
5.2. ผลการทดสอบสมรรถนะกักกันน้ำ แบบเพลดัน	60
5.2.1 ค่ากำลังงานของกักกันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร	60
5.2.2 ค่าประสิทธิภาพของกักกันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร	61
5.2.3 ค่าความเร็วรอบของกักกันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร	62
5.2.4 ค่าแรงบิดของเพลากักกันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร	63
5.3. ผลการทดสอบการติดตั้งกักกันน้ำ แบบเพลดัน	64
5.3.1 การวัดค่าระดับแท่นเครื่องกักกันน้ำและแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
5.3.2 การวัดค่าระดับเสียงของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน	65
5.3.3 การวัดค่าอุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน	67
5.3.4 การวัดค่าระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน.....	68
5.3.5 การวัดค่าระยะเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา (Alignment Test)	73
5.4. ผลประเมินทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนผลิตกักกันน้ำ แบบเพลดัน	75
5.5 วิจารณ์ผลการทดสอบ	76
บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	77
6.1 สรุปผลการทดสอบ	77
6.2 ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการทดสอบเครื่องกักกันน้ำ แบบเพลดัน	81
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลทดสอบการเชื่อมใบพัด การบาลานส์ชุดใบพัด ข้อมูลเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบและตู้ควบคุม	91
ภาคผนวก ค. เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์.....	152

สารบัญ(ต่อ)

ประวัติผู้เขียน	หน้า 161
-----------------------	-------------

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางค่าพารามิเตอร์ที่อัตราไหลคงที่ ที่ 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเขตที่ 50 - 140 เมตร	15
2.2	ตารางค่าพารามิเตอร์ เขตคงที่ 50 และ 60 เมตร ที่อัตราการไหล 0.1 – 0.4 ลูกบาศก์เมตร ต่อวินาที	16
2.3	ตารางแสดงผลการทดสอบกังหันน้ำ ชนิด เทอร์โบ โครงการบ้านผ้าง จังหวัดตาก	18
2.4	ตารางบันทึกข้อมูลการทดสอบกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โบ(Turgo turbine) โครงการบ้านแสน ใหม่ เชียงราย	22
2.5	ตารางผลทดสอบเครื่องกังหันน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ	26
3.1	ค่าความเร็วจำเพาะของกังหันน้ำแต่ละชนิด	37
4.1	ค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำระหว่างการคำนวณและค่าที่ใช้ผลิต	49
5.1	ตารางแสดงรายการเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ	57
5.2	ตารางผลการวัดระดับ ก่อน – หลัง เทคอนกรีต เครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	65
5.3	ตารางแสดงผลการวัดระยะเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา จำนวน 5 จุด	74
5.4	ตารางการประเมินค่าใช้จ่ายของการผลิตชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ จำนวน 1 ชุด	75
5.5	ตารางแสดงสรุปผลตอบแทนทางการเงินของ โครงการ	76

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การอบรมวิธีการใช้งานและการตรวจสอบ กังหันน้ำแบบเพลตันแก่ผู้ใช้งาน.....	3
2.1	แผนผังการได้มาซึ่งไฟฟ้าพลังน้ำ (Micro hydroelectric power plant).....	4
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของกังหันน้ำ (Turbine Power) กับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ	5
2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (Speed) ของกังหันน้ำ กับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ	6
2.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลัง (Power) ของกังหันน้ำ กับอัตราการไหล (Flow) ที่เฮดต่างๆ.....	6
2.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (Speed) ของกังหันน้ำ กับขนาดอัตราการไหลที่เฮด (Head) ขนาดต่างๆ	7
2.6	ภาพชิ้นส่วนต่างๆของกังหันน้ำ ชนิดคอสโพลว.....	8
2.7	ภาพแสดงการออกแบบใบพัด กังหันน้ำแบบเพลตัน ด้วยโปรแกรม CATIA V5.....	9
2.8	รูปจำลองการไหลของความร้อน ในตัวใบ ด้วยวิธี CFD โดยใช้โปรแกรม ANSYS	9
2.9	ชุดทดลองกังหันน้ำ แบบเพลตัน	10
2.10	ผังการติดตั้งชุดจำลองเครื่องกังหันน้ำ แบบเพลตัน	10
2.11	ผลการทดลองชุดจำลองเครื่องกังหันน้ำแบบเพลตัน	11
2.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงที่แขนเบรคกับความเร็วรอบของกังหันน้ำ.....	11
2.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันน้ำกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ	12
2.14	รูปภาพแสดงการผันน้ำเข้าสู่ฝายกั้นน้ำ จนถึงโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	13
2.15	รูปภาพแสดงหลักการไฟฟ้าพลังน้ำ.....	13
2.16	กราฟแสดงการเลือกใช้กังหันน้ำ	14
2.17	ฝายน้ำล้นและแนวท่อชักน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก	17
2.18	เครื่องกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก.....	17
2.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันน้ำกับอัตราการไหลของกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้ โครงการบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก	18
2.20	เครื่องกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้ (Turgo turbine)	19
2.21	แบบใบพัดกังหันน้ำเทอร์โก้(Turgo turbine) จาก โปรแกรม Mechanical Desktop.....	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.22	ใบพัดกังหันน้ำเทอร์โก้ (Turgo turbine) ที่เรียงประกอบกัน	21
2.23	กังหันน้ำเทอร์โก้ (Turgo turbine) โครงการบ้านแสนใหม่ เชียงราย	21
2.24	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันน้ำกับอัตราการไหลของกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านแสนใหม่ จังหวัดเชียงราย	22
2.25	แบบจำลองการตัดแปลงสำหรับติดตั้งเครื่องกังหันน้ำบริเวณประตูระบายน้ำ	23
2.26	แบบจำลองเมสกังหันน้ำ	24
2.27	ใบพัดกังหันน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.....	24
2.28	ตำแหน่งการติดตั้ง โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.....	24
2.29	เครื่องกังหันน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.....	25
2.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตและประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำกับอัตราการไหลโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ.....	26
3.1	องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก.....	28
3.2	ฝายหรือเขื่อนเก็บกักน้ำ	29
3.3	อาคารรับน้ำ	30
3.4	ระบบผันน้ำ	30
3.5	อาคารลดแรงดัน	31
3.6	ท่อส่งน้ำหรือท่อชักน้ำ.....	31
3.7	อาคารโรงไฟฟ้า.....	32
3.8	ใบพัด กังหันน้ำ ชนิดเพลตัน.....	33
3.9	กังหันน้ำ ชนิดคอสโพลัว.....	33
3.10	ใบพัดกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้.....	34
3.11	กังหันน้ำ ชนิดฟรานซิส.....	34
3.12	กังหัน ชนิดเดเรียซ	35
3.13	กังหันน้ำ ชนิดคาปปลาน	35
3.14	พลังงานจากการไหลตาม ทฤษฎีของ Bernoulli's	36
3.15	แบบขนาดของกังหันน้ำก่อนดำเนินการผลิต	40
4.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	43
4.2	ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ด้วยโปรแกรม MATLAB	45
4.3	แผนผังขั้นตอนของโปรแกรมคำนวณขนาดของกังหันน้ำ	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.4	หน้าต่างโปรแกรมคำนวณโดยใส่ข้อมูลของ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านปิยมิตร 2	48
4.5	หน้าต่างโปรแกรมแสดงขนาดต่างๆของกังหันน้ำ แบบเพลตัน	48
4.6	แบบใบพัดกังหันน้ำเพลตัน	49
4.7	แบบการประกอบใบพัดกังหันน้ำเพลตัน	50
4.8	แบบหัวฉีด กังหันน้ำเพลตัน	50
4.9	การเชื่อมวงล้อใบพัดกังหันน้ำเพลตัน	51
4.10	การทำ PT เทสแนวเชื่อมวงล้อใบพัดกังหันน้ำเพลตัน	51
4.11	การบาลานต์ ใบพัดกังหันน้ำเพลตัน	52
4.12	แบบการประกอบกังหันน้ำ แบบเพลตัน โครงการฯ ปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา	53
4.13	แบบตัดตามยาว ตำแหน่งฝายและตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้า โครงการฯ ปิยมิตร 2	53
4.14	ผังบริเวณ ตำแหน่งฝายและตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้า โครงการฯ ปิยมิตร 2	54
4.15	การทำความสะอาดท่อชักน้ำ	55
4.16	แบบการเช็คระดับก่อนการติดตั้ง โครงการฯ ปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา	55
5.1	การติดตั้งอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบสมรรถนะกังหันน้ำ	58
5.2	การติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหล ชนิด อัลตราโซนิก ยี่ห้อ MAXIFLOW แบบ V Method	58
5.3	หน้าจอแสดงผล เครื่องวัดอัตราการไหล ชนิด อัลตราโซนิก ยี่ห้อ MAXIFLOW	59
5.4	หน้าจอแสดงผล Digital Power Meter ที่ตู้ควบคุม	59
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังงานของกังหันน้ำ ที่เฮด 70 เมตร.....	60
5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับประสิทธิภาพกังหันน้ำที่เฮด 70 เมตร.....	61
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วรอบกังหันน้ำที่เฮด 70 เมตร.....	62
5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับแรงบิด(Torque) ที่เฮด 70 เมตร	63
5.9	แบบแสดงตำแหน่งการวัดระดับแทนกังหันน้ำและแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
5.10	แบบแสดงตำแหน่งการวัดระดับเสียงขณะชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำทำงาน.....	65
5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงขณะชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำทำงานกับ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล.....	66
5.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำกับเปอร์เซ็นต์ การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	67
5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของกังหันน้ำจุด DE กับเปอร์เซ็นต์ การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของกังหันน้ำจุด NDE กับ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	69
5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุด DE กับ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	70
5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุด NDE กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	71
5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับ พอร์ต 1 กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	72
5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับ พอร์ต 2 กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล	73
5.19	การวัดระยะเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา จำนวน 5 จุด	74
5.20	รูปปรากฏการณ์น้ำวน	76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
P_1	ความดันของของไหลที่ตำแหน่ง 1 (N/m^2)
P_2	ความดันของของไหลที่ตำแหน่ง 2 (N/m^2)
V_1	ความเร็วของของไหลที่ตำแหน่ง 1 (m/s)
V_2	ความเร็วของของไหลที่ตำแหน่ง 2 (m/s)
Z_1	ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงที่ตำแหน่ง 1 (m)
Z_2	ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงที่ตำแหน่ง 2 (m)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (N/m^2)
γ	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)
H	เฮดหรือพลังงานที่กังหันได้รับในรูปแบบความสูง (m)
h_L	การสูญเสียพลังงานจากจุด 1 ไปยังจุด 2 (m)
P_t	กำลังผลิตของกังหันน้ำ (Kw)
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
Q	อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
η_t	ประสิทธิภาพกังหันน้ำ
N_s	ค่า Specific speed
N	ความเร็วรอบของกังหันน้ำ (rpm)
$\eta_{overall}$	ประสิทธิภาพของระบบ
P_{ee}	กำลังผลิตที่สามารถจ่ายได้ (Kw)
F	แรงที่กระทำกับใบพัด (N)
V'_1	ความเร็วน้ำออกจากใบพัด (m/s)
V'_2	ความเร็วน้ำเข้าสัมผัสกับใบพัด (m/s)
c	ความเร็วลำน้ำอิสระที่พุ่งออกมาจากหัวฉีด (m/s)
T	แรงบิดที่เพลากังหัน (Nm)
D	เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตใบพัด (m)
D_j	ขนาดของหัวฉีด (m)
K	จำนวนหัวฉีด
B	ความกว้างของใบพัด (m)
A	ความยาวของใบพัด (m)
E	ความลึกของใบพัด (m)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
Z	จำนวนของใบพัด ($Pcs.$)
NPV	ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ($\$$)
IRR	อัตราผลตอบแทนของโครงการ
B_t	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ 1, 2, 3, ...n
C_t	ค่าใช้จ่ายของโครงการเริ่มตั้งแต่ปีที่ 1, 2, 3, ...n
r	อัตราดอกเบี้ย
t	อายุโครงการ
n	อายุสิ้นสุดโครงการ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยนำเข้าเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการที่เราผลิตขึ้นเอง โดยได้นำเข้าก๊าซธรรมชาติคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 67 ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ตามมาด้วยเชื้อเพลิงถ่านหินลิกไนต์คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 ส่วนเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ ที่เหลือมีสัดส่วนรวมกันเพียงร้อยละ 13 (ที่มา : ข้อมูลสถิติ ปี 2552-2556 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน หัวข้อ สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ไตรมาสที่ 1/2561)ซึ่งปัจจุบันส่งผลให้ประเทศต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้ามากและต่อไปหากอนาคตประเทศผู้จำหน่ายไม่ส่งเชื้อเพลิงให้กับเรา อาจส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชากรได้ ยกตัวอย่างจากสถานการณ์ฉุกเฉินด้านพลังงานในช่วงต้นเดือนเมษายน 2556 ประเทศเมียนมาร์จะหยุดส่งก๊าซธรรมชาติให้ประเทศไทยชั่วคราว เนื่องจากต้องปิดซ่อมแท่นขุดเจาะเป็นเวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์ ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่นำมาผลิตไฟฟ้าขาดหายไปเหตุการณ์นี้ส่งผลต่อประเทศเรามาก ดังนั้นจากเหตุการณ์ครั้งนี้หน่วยงานภาครัฐจึงหันมาสนับสนุนด้านพลังงานทดแทนมากขึ้น

พลังงานทดแทนในประเทศไทยสามารถจำแนกเป็นหมวดหมู่ได้ ดังนี้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ กำลังผลิต 627.82 MW พลังงานไฟฟ้าจากลมกำลังผลิต 2,697.26 MW และพลังงานไฟฟ้าจากน้ำ กำลังผลิต 3,091.6MW จะเห็นได้ว่ากำลังผลิตจากพลังงานน้ำมีค่ามากที่สุด ดังนั้นพลังงานน้ำจึงเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจมาก พลังงานน้ำในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาด คือ พลังงานน้ำขนาดใหญ่ โดยดำเนินการติดตั้งเสร็จและจ่ายไฟฟ้าแล้ว 2,886.27 MW และพลังงานน้ำขนาดเล็ก โดยดำเนินการติดตั้งเสร็จและจ่ายไฟฟ้าแล้ว 182.28 MW สุดท้ายพลังงานน้ำขนาดเล็กมากหรือโรงไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้านโดยดำเนินการติดตั้งเสร็จและจ่ายไฟฟ้าแล้ว 2.92 MW (ที่มา : ตารางแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน 2560 และจากการประชุมการพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน กรมพัฒนาพลังงาน) พลังงานน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีข้อจำกัดหลายข้อ อาทิ จำเป็นต้องมีแหล่งน้ำขนาดใหญ่ การก่อสร้างค่อนข้างสูงและใช้เวลานาน ซึ่งแตกต่างจากขนาดเล็กมากหรือโรงไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน ที่สามารถใช้กับแหล่งน้ำขนาดเล็ก งบประมาณการดำเนินการไม่สูงนักเมื่อเทียบกับกับพลังงานอื่นๆที่มีกำลังผลิตเท่ากัน นอกจากนี้การก่อสร้างก็ไม่ยุ่งยากนักเมื่อ

เทียบกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดอื่น ปัจจุบันโรงไฟฟ้าชนิดนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน

บริเวณ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้เป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ ฝนตกเกือบทั้งปีจึงมีแหล่งน้ำเพียงพอที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนแต่ปัจจุบันยังไม่ได้มีการนำเอาพลังงานทดแทนระดับหมู่บ้านนี้ไปทดลองติดตั้งใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกล่าวถึงการประยุกต์ใช้กังหันน้ำแบบเพลตันเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าที่โครงการไฟฟ้าพลังน้ำหมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลาโดยทำการออกแบบขนาดของใบพัด จำนวนใบพัด ขนาดของหัวฉีดของกังหันน้ำ และจะอธิบายถึงขั้นตอนการผลิต การติดตั้งการทดสอบกังหันน้ำหลังการติดตั้ง สุดท้ายทำการทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำโดย การวัดค่าอัตราการไหล เฮด กำลังผลิตไฟฟ้า จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อหาค่าประสิทธิภาพ ความเร็วรอบและแรงบิดของกังหันน้ำ แล้ววิเคราะห์ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ค่าใช้จ่ายของโครงการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ประยุกต์ใช้โดยทำการผลิตกังหันน้ำ แบบเพลตัน ขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ โครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2 อำเภอเบตง จังหวัดยะลา
2. ดำเนินการติดตั้งและทดสอบผลจากการติดตั้ง พร้อมเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมรรถนะของกังหันน้ำแบบเพลตัน
3. ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ค่าใช้จ่ายการผลิตกังหันน้ำแบบเพลตันของโครงการฯ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้กังหันน้ำ ชนิดเพลตันในการผลิตไฟฟ้าสำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ หมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา

1. คำนวณหาขนาดของกังหันน้ำ แบบเพลตัน ขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ สำหรับหมู่บ้านปิยมิตร 2 อำเภอเบตง จังหวัดยะลา จากนั้นทำการผลิต ติดตั้งและทดสอบสมรรถนะ
2. เขียนกราฟสมรรถนะของกังหันน้ำ แบบเพลตันพร้อมผลของการทดสอบหลังการติดตั้งของกังหันน้ำ
3. สรุปผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ วารสาร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเข้าไปศึกษาดูงาน สถานที่ที่มีการติดตั้งเครื่องกังหันน้ำสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว
2. สรุปรายชื่อของเขต, อัตราการไหล, ประสิทธิภาพกังหันน้ำ, ความเร็วรอบ, ขนาดท่อชักน้ำ, จำนวนหัวฉีดของโครงการตัวอย่าง
3. นำข้อมูลของโครงการฯ ที่ศึกษามาคำนวณฯ หาขนาดของกังหันน้ำที่จะประยุกต์ใช้
4. ทำการสำรวจ ตรวจสอบเข้าถึงสถานที่ที่จะทำการติดตั้ง
5. ผลิตชิ้นงาน จากนั้นทำการติดตั้งพร้อมทดสอบ
6. ทำการวิเคราะห์ผลสมรรถนะจากการประยุกต์ใช้กังหันน้ำ ชนิด เพลตันทดสอบที่สถานที่ติดตั้งใช้งาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้สนใจด้านกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าจากฝาย แบบเพลตัน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน เพื่อเป็นตัวอย่างโครงการต่อไปในอนาคตได้
2. ชุมชนหมู่บ้านปิยมิตร 2 ได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
3. ก่อกำเนิดต้นแบบพลังงานทดแทนจากน้ำขนาดเล็กมาก ที่ใช้ในโซน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ดังรูปที่ 1.1 เป็นการอบรมสอนวิธีการใช้งานของกังหันน้ำ แบบเพลตันที่โครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2



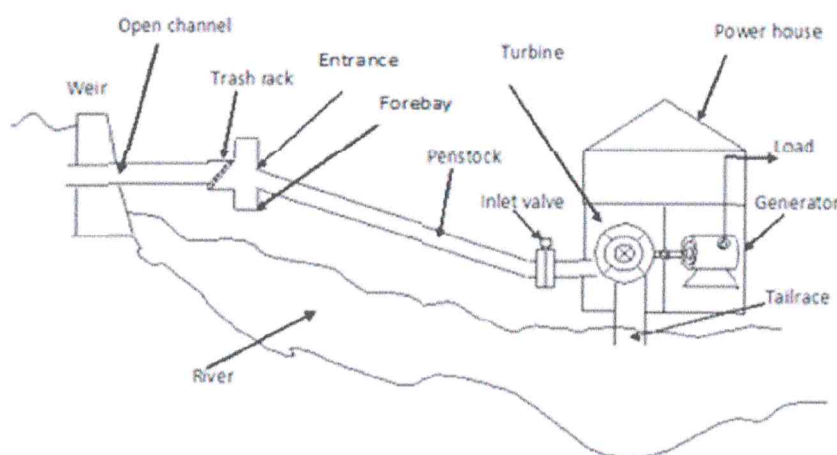
รูปที่ 1.1. การอบรมวิธีการใช้งานและการตรวจสอบ กังหันน้ำแบบ เพลตันแก่ผู้ใช้งาน

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการรวบรวมผลงานวิจัยทางการศึกษาเกี่ยวกับ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ กังหันน้ำ ซึ่งได้รวบรวมทั้งในและต่างประเทศ โดยปัจจุบันพลังงานน้ำมีผู้ค้นคว้าศึกษาพลังงานด้านนี้เพื่อพัฒนาให้ง่ายต่อผู้ที่สนใจและผู้ใช้งาน

Bilal Abdullah Nasi [4] ได้ทำการศึกษาการออกแบบไฟฟ้าพลังน้ำ โดยเรียงลำดับการได้มาซึ่งพลังงานนี้ และได้อ้างอิงเปรียบเทียบพลังงานน้ำ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อกำลังผลิตที่เท่ากัน พลังงานน้ำจะมีประสิทธิภาพที่สูงถึง 70-90% ซึ่งการได้มาของพลังงานน้ำนั้น เป็นพลังงานที่มาจากไหลของน้ำ(การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติ) เมื่อน้ำไหลลงมาตามแรงดึงดูดของโลก จะแปรเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์ของน้ำนี้จะไปกระทำกับใบพัดของกังหันและจะส่งผลให้กังหันทำงานแปรเป็นพลังงานกลเนื่องจากกังหันต่อกับเครื่องปั่นไฟ (Generator) พลังงานก็จะแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนน้ำที่กระทำกับใบพัดก็จะถูกปล่อยออก ช่องระบายน้ำ (Tailrace)

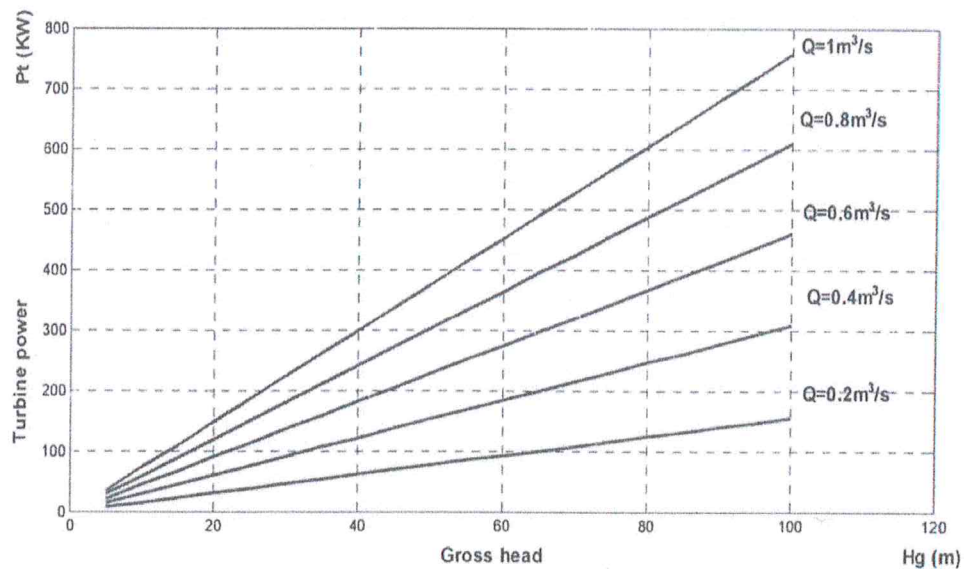


รูปที่ 2.1 แผนผังการได้มาซึ่งไฟฟ้าพลังน้ำ (Microhydroelectric power plant)[4]

จากรูปที่ 2.1 แสดงแผนผังการได้มาซึ่งไฟฟ้าพลังน้ำ ปริมาณน้ำจะถูกกักเก็บไว้ที่ ฝาย(Weir) หรืออาคารรับน้ำ และจะถูกบังคับทิศทางการไหลผ่านตะแกรงกันขยะ(Trash rack) จากนั้นก็จะไหล

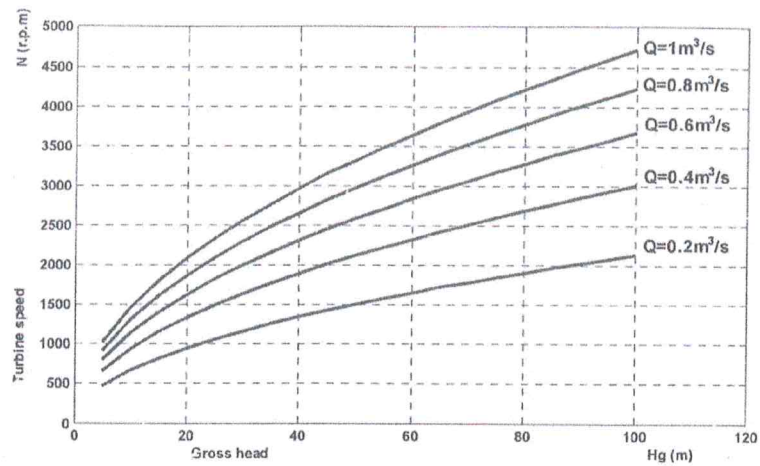
ไปสู่ทางท่อชักน้ำ(Penstock) ผ่านวาล์วปรับอัตราการไหล(Inlet valve) สุดท้ายก็ไหลไปสู่กังหันน้ำ ซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

นอกจากนี้ Bilal Abdullah Nasi ยังได้เรียบเรียงวิธีการออกแบบกังหันน้ำชนิดต่างๆ และได้ทำการสรุปเป็นสมการสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำอีกด้วย โดย Nasi ใช้โปรแกรม MAT LAB ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของกังหันน้ำ



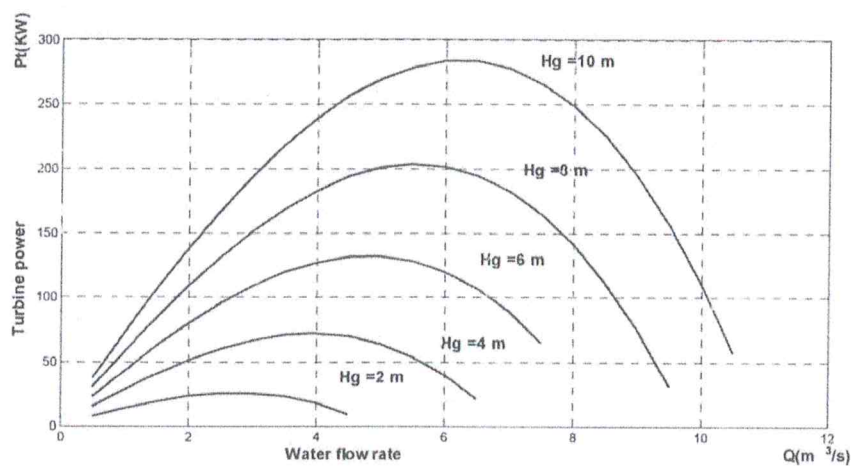
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของกังหันน้ำ(Turbine Power) กับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ[4]

จากรูป 2.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลัง (Power) ของกังหันน้ำเทียบกับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ ซึ่งแกน y คือ กำลังผลิต มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ และแกน x คือ เฮด มีหน่วยเป็นเมตร เส้นกราฟ คืออัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากกราฟจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลหรือเฮดจะแปรผันตรงกับกำลังการผลิต โดยเมื่ออัตราการไหลหรือเฮดมากขึ้น ส่งผลให้กำลังผลิตก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ลักษณะกราฟจึงเป็นเส้นตรง ยกตัวอย่าง ที่อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่เฮด 100 เมตร หากปรับหัวฉีดของกังหันน้ำที่ 100% กำลังผลิตจะอยู่ที่ 600 กิโลวัตต์ ซึ่งทำการปรับลดอัตราการไหลมาที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่เฮดเท่าเดิม กำลังผลิตก็จะลดลงตามโดยค่ากำลังผลิตที่จุดนี้ คือ 300 กิโลวัตต์



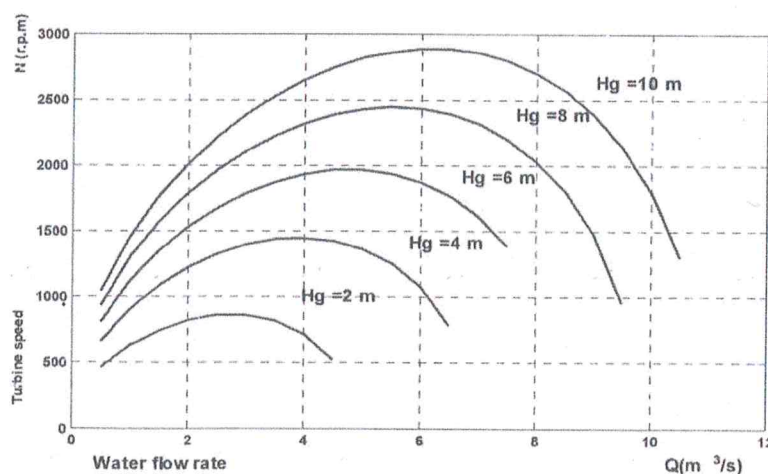
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (Speed) ของกังหันน้ำกับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ[4]

จากรูป 2.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วรอบ(Speed) ของกังหันน้ำเทียบกับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ ซึ่งแกน y คือ ความเร็วรอบมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที และแกน x คือ เฮดมีหน่วยเป็นเมตร เส้นกราฟ คืออัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากกราฟจะเห็นว่า เมื่ออัตราการไหลหรือเฮดมากขึ้นส่งผลให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่าง ที่อัตราการไหล 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่เฮด 100 เมตร หากปรับหัวฉีดของกังหันน้ำที่ 100% ความเร็วก็จะอยู่ที่ช่วงระหว่าง 4,500 ถึง 5,000 รอบต่อนาที แต่หากทำการปรับอัตราการไหลลดลงที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่เฮดเท่าเดิมความเร็วก็จะลดลงตามโดยค่าความเร็วที่จุดนี้ คือ 3,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลัง (Power) ของกังหันน้ำกับอัตราการไหล (Flow) ที่เฮดต่างๆ[4]

จากรูป 2.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลัง (Power) ของกังหันน้ำเทียบกับเฮด (Head) ที่ขนาดอัตราการไหลต่างๆ ซึ่งแกน y คือ กำลังผลิต มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ และแกน x คือ อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟ คือ เฮดมีหน่วยเป็นเมตร จากกราฟจะเห็นว่า เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำซึ่งลักษณะกราฟช่วงแรกจะค่อนข้างเป็นเส้นตรงต่อเนื่องจนถึงจุดที่ ออกแบบไว้และเมื่อเลยจุดนี้ กราฟจะมีลักษณะดิ่งลง ซึ่งสาเหตุที่กราฟเป็นแบบนี้เพราะประสิทธิภาพ ของกังหันลดลงนั่นเอง ยกตัวอย่างที่เฮด 10 เมตร หากปรับหัวฉีดของกังหันน้ำให้อัตราการไหลค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่า 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะพบว่ากำลังผลิตขณะนั้นจะมีค่าที่ช่วงระหว่าง 250-300 กิโลวัตต์ ซึ่งทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มต่อไปอีกจนมีค่า 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่เฮดเท่าเดิม จะสังเกตว่ากำลังผลิตก็จะลดลงตามโดยค่ากำลังผลิตที่จุดนี้ คือ 100 กิโลวัตต์ สาเหตุเนื่องจาก ประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่ลดลง จึงสรุปได้ว่ากังหันน้ำนี้ได้ออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ที่อัตรา การไหล 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเฮด 10 เมตร

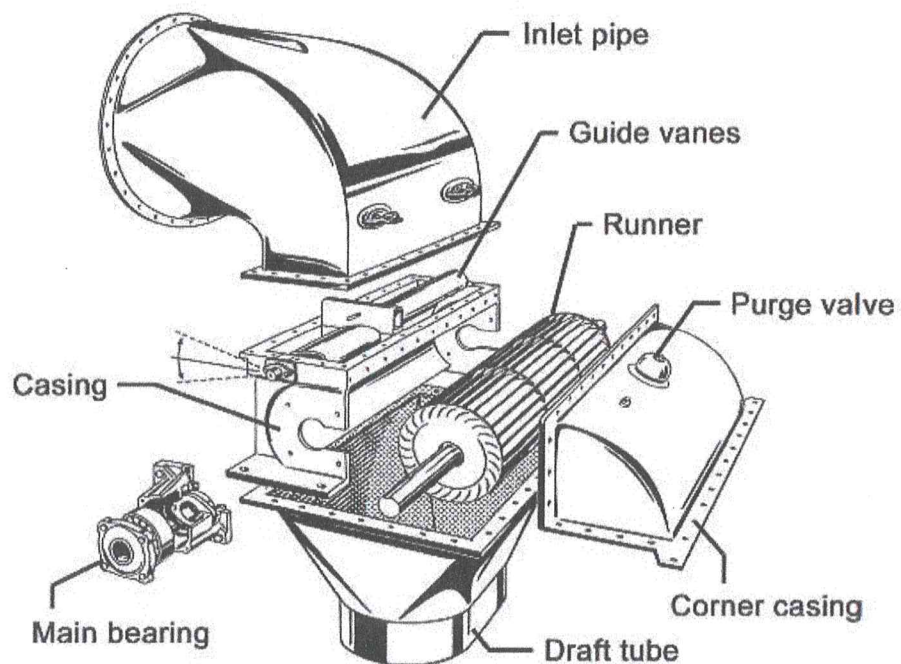


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (Speed) ของกังหันน้ำกับขนาดอัตราการ ไหล ที่เฮด (Head) ขนาดต่างๆ[4]

จากรูป 2.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วรอบ(Speed) ของกังหันน้ำเทียบกับ อัตราการไหลต่างๆ ที่เฮดต่างๆ ซึ่งแกน y คือ ความเร็วรอบมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที และแกน x คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟ คือ เฮด มีหน่วยเป็นเมตร จากกราฟ จะเห็นว่า เมื่ออัตราการไหลหรือเฮดมากขึ้นส่งผลให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นโดยกราฟมีลักษณะเป็น พาราโบลาคคว่ำ ยกตัวอย่าง ที่เฮด 10 เมตร หากปรับหัวฉีดของกังหันน้ำให้อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น อย่างต่อเนื่องความเร็วรอบก็จะเพิ่มขึ้นด้วยตามปริมาณน้ำที่มากขึ้นแต่เมื่อถึงจุดจุดหนึ่ง โดยจาก กราฟอยู่ที่ 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่จุดนี้ความเร็วจะอยู่ที่ช่วงระหว่าง 2,500 ถึง 3,000 รอบต่อ นาที ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดและจะไม่เพิ่มไปมากกว่านี้ แต่หากทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มต่อไป

ความเร็วรอบก็จะลดลงทันที ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กังหันน้ำเครื่องนี้ใบพัดได้ถูกออกแบบไว้ให้ใช้งานที่ความเร็วรอบสูงสุดในช่วง 2,500 ถึง 3,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการไหล 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮด 10 เมตร

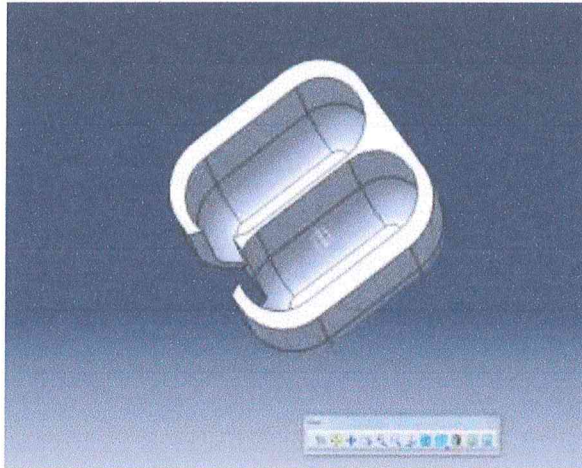
PrashantPakale[5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบของกังหันน้ำ ชนิดคอสโพล์วโดยให้ข้อมูลจำกัดกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ดังนี้ ขนาดไมโครจะไม่เกิน 0.1 เมกะวัตต์, ขนาดมินิจะไม่เกิน 0.1 - 2 เมกะวัตต์, ขนาดเล็กจะไม่เกิน 2.0 – 25 MW และขนาดใหญ่ที่มากกว่า 25 เมกะวัตต์ขึ้นไป และอธิบายถึง ชนิดของกังหันน้ำ ว่ามี 2 แบบ คือ แบบแรงกระแทก โดยเป็นการบีบให้ลำน้ำมาพุ่งชนใบพัด อาทิ กังหันน้ำชนิดเพลตันหรือชนิดเทอร์ไก้ และสุดท้ายชนิดคอสโพล์ว ส่วนแบบที่ 2 คือ แบบไหลตามแกน (Reaction) เป็นกังหันที่จะบีบให้น้ำไหลผ่านล้นบังคับน้ำ(Guide vanes) เบนทิศทางการน้ำและเข้าผ่านใบพัดส่งผลให้ใบพัดเคลื่อนที่ กังหันน้ำชนิดนี้เป็นแบบที่ เฮด ค่อนข้างต่ำ งานวิจัยฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่ กังหันน้ำแบบแรงกระแทก ชนิดคอสโพล์วซึ่งจะมีล้นบังคับน้ำ(Guide vanes)เป็นตัวบังคับทิศทางน้ำเข้าปะทะกับพัด โดยใบพัดของกังหันน้ำชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นครีบ เช่นเดียวกับกับใบพัดลมกรงกระรอก กังหันน้ำชนิดนี้ ส่วนใหญ่ใช้กับเฮดที่ค่อนข้างต่ำข้อดีของกังหันน้ำชนิดนี้ คือ เป็นพลังงานที่สะอาด พลังงานมีแนวโน้มค่อนข้างยั่งยืน และเป็นการลงทุนที่ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2.6 ภาพชิ้นส่วนต่างๆของกังหันน้ำชนิดคอสโพล์ว[5]

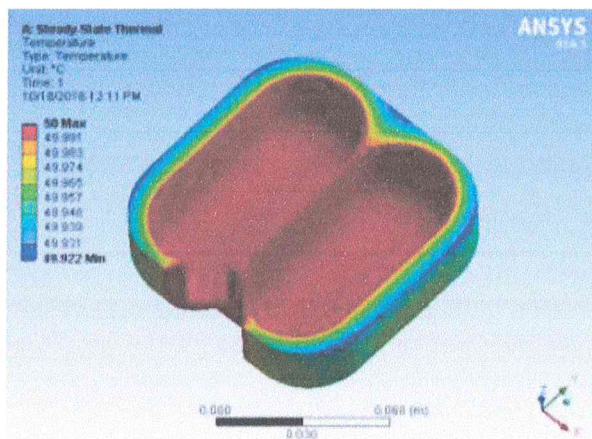
จากรูป 2.6 เป็นการแสดงรูปภาพชิ้นส่วนของกังหันน้ำ ชนิดครอสโฟลว์ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า ใบพัดของกังหันน้ำชนิดนี้เป็นแบบ กรงกระรอก และจะมีทางเข้าน้ำแตกต่างจากชนิดที่เป็นหัวฉีด โดย ชนิดครอสโฟลว์นี้จะเป็นลิ้น(Guide vanes) ที่เป็นตัวบังคับน้ำ

Maddela Veda Ratna Prakash [6] ได้ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุที่จะนำมาผลิตใบพัด กังหันน้ำ ชนิดเพลตัน โดยเลือกใช้วัสดุ Structural, Maraging steel และ Low carbon steel ในการทดลองเพื่อที่จะได้วัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการนำมาเป็นใบพัด เขาได้ทำการออกแบบ ใบพัดด้วยโปรแกรม CATIA V5



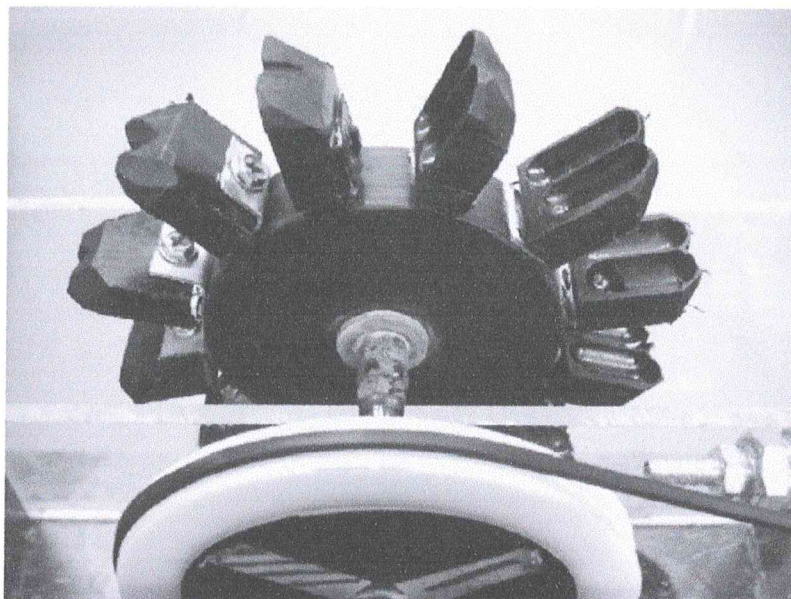
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการออกแบบใบพัด กังหันน้ำแบบเพลตัน ด้วยโปรแกรม CATIA V5 [6]

จากนั้นได้นำวัสดุที่ผ่านการออกแบบแล้วมาวิเคราะห์การไหลของของไหลเมื่อเข้ากระทบสู่ ใบพัด ที่วัสดุ ทั้ง 3 ชนิด โดยแบ่งเป็นเอลิเมนต์และจำลองการไหลของความร้อน ในตัวใบ ด้วยวิธี CFD โดยใช้โปรแกรม ANSYS จากผลการทดลองพบว่า Maraging steel มีคุณภาพและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิด



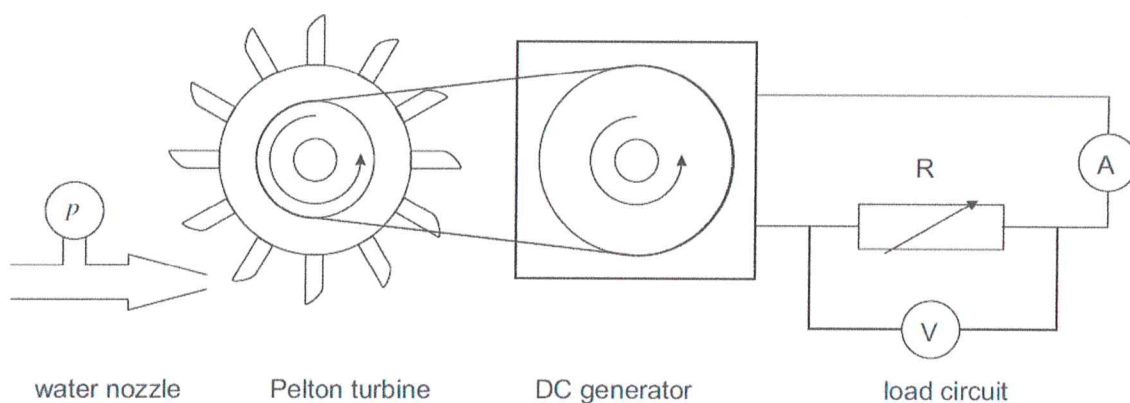
รูปที่ 2.8 รูปจำลองการไหลของความร้อน ในตัวใบ ด้วยวิธี CFD โดยใช้โปรแกรม ANSYS [6]

D.Agar [7] ได้ศึกษาและสร้างชุดทดลองจากวัสดุที่หาได้ง่ายและราคาต่ำ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยสร้างชุดจำลองกังหันน้ำชนิดเพลตัน วัสดุที่ใช้ทำใบพัด คือ Polyoxymethylene (POM) จำนวน 12 ใบยึดติดกับคัมด้วยสกรู ขนาดหัวฉีด 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ชุดทดลองกังหันน้ำ แบบเพลตัน [7]

จากรูปที่ 2.9 เป็นชุดจำลองการสร้างกังหันน้ำ ชนิด เพลตัน โดยนำใบพัดมาเรียงต่อเข้ากับคัม และใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลังซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการทำงานของชุดทดลองกังหันน้ำนี้ สร้างสภาวะอัตราการไหลและเฮด โดยปั้มน้ำไฟฟ้า การทดสอบจะทำการปรับอัตราการไหล 3 ค่า และทดลอง แบบ No load โดยปล่อยน้ำไหลผ่านหัวฉีดเข้าปะทะใบพัด กังหันน้ำจะเริ่มทำงานฟู่เลที่เพลากังหันจะติดตั้งพร้อมกัมกับแกนเบรคเพื่อวัดแรงบิด และคำนวณเป็นกำลังได้ จากนั้นปลดแกนเบรคออกและทำการต่อสายพานที่ฟู่เลกังหันน้ำ ซึ่งสายพานนี้ได้ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DC ที่มีวงจรตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ โดยนี่คือสภาวะโหลดจำลอง จากนั้นทำการทดสอบอีกครั้ง



รูปที่ 2.10 ฟังการติดตั้งชุดจำลองเครื่องกังหันน้ำ แบบเพลตัน [7]

รูปที่ 2.10 เป็นแบบผังการติดตั้งชุดจำลองเครื่องกังหันน้ำ โดยอธิบายขั้นตอนการทดลองตั้งข้างต้น โดยเมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่กังหันน้ำ และกังหันได้ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อระบบทำงาน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบ Load circuit และทำการวัด แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จากนั้นจดบันทึกผลการทดลองและนำไปเขียนกราฟแสดงสมรรถนะต่อไป ซึ่งจากการทดลองข้างต้นสามารถสรุปผลและนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ ได้ดัง รูปที่ 2.11 ถึง 2.13

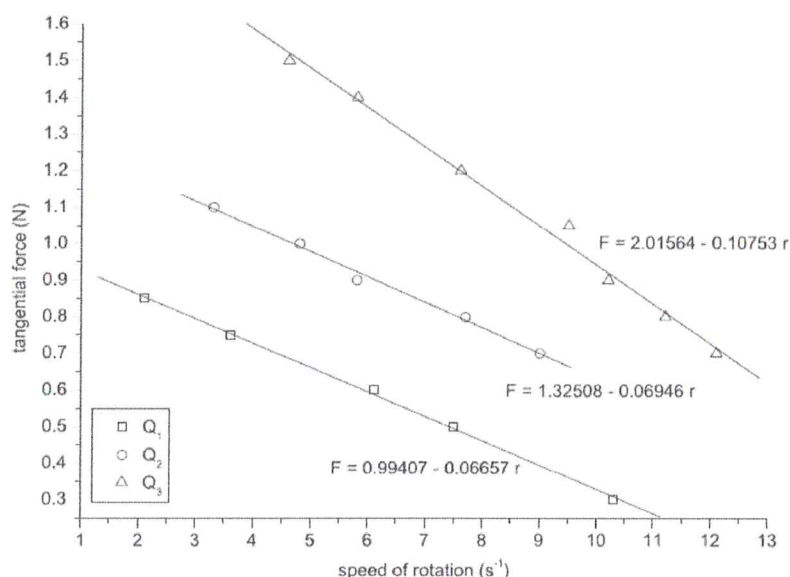
Table 1

The three Q values used in the experiment, the corresponding pressure values measured and the calculated maximum values of power, mechanical, electrical and total efficiency of the laboratory-scale hydroelectric plant

	Q (l/s)	p (Pa)	P_w (W)	P_a (W)	P_c (W)	η_m	η_c	η_o
1	0.14	25800	3.7	1.7	0.29	0.45	0.23	0.08
2	0.17	34400	5.9	2.8	0.66	0.47	0.26	0.11
3	0.20	47100	9.5	4.4	1.0	0.46	0.28	0.11

รูปที่ 2.11 ผลการทดลองชุดจำลองเครื่องกังหันน้ำแบบเพลตัน [7]

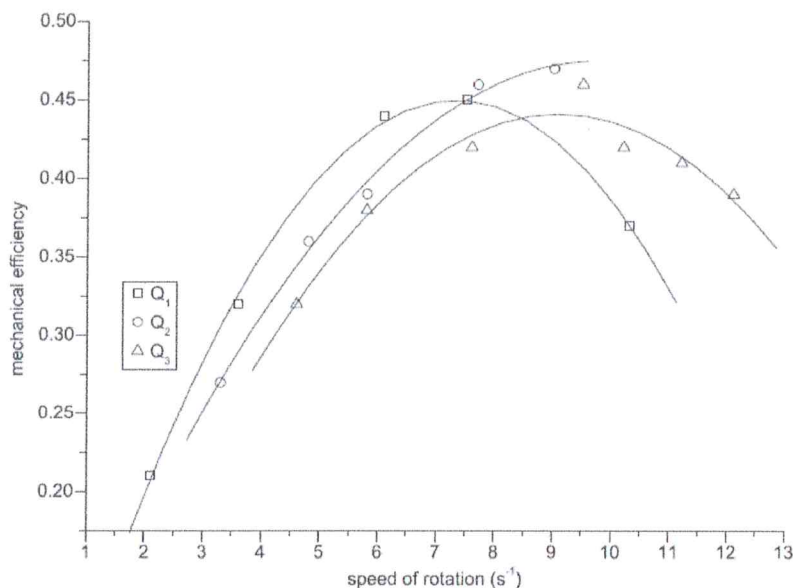
รูปที่ 2.11 เป็นรูปแสดงการบันทึกผลการทดลอง ชุดทดสอบนี้ โดยทำการทดสอบและบันทึกผลทั้งจำนวน 3 ครั้ง โดยทำการบันทึก อัตราการไหล แรงดันน้ำ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงบิด จากนั้นนำมาคำนวณเป็นกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น วัตต์ และคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ และสรุปประสิทธิภาพของกังหันน้ำ



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงที่แขนเบรกกับความเร็วรอบของกังหันน้ำ [7]

รูปที่ 2.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงที่แขนเบรก กับความเร็วรอบของกังหันน้ำ ซึ่งแกน y คือ แรงที่แขนเบรก มีหน่วยเป็นนิวตัน และแกน x คือ ความเร็วรอบของกังหันน้ำมีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที เส้นกราฟ คือ อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที จากกราฟจะพบว่า

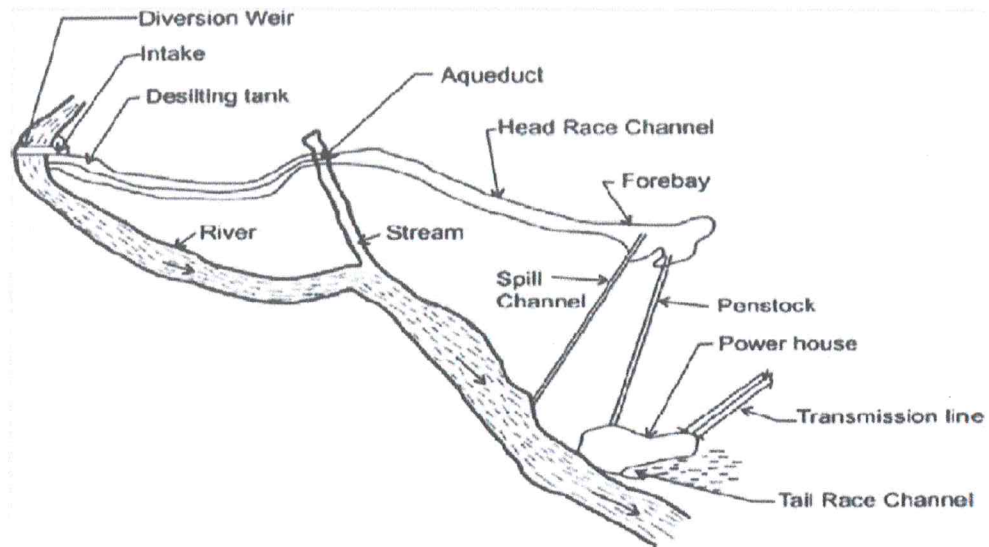
เมื่ออัตราการไหลหรือเฮดมากขึ้นส่งผลให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นโดยกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยกตัวอย่าง ที่อัตราการไหลที่ 3 ที่ 0.2 ลิตรต่อวินาที จะเกิดแรงที่สูงที่สุดที่ความเร็วรอบช่วง 4 – 5 รอบต่อวินาที แต่เมื่อคลายเบรกเพื่อลดแรงที่แขนเบรกลงไป ความเร็วรอบจะสูงขึ้นเป็นลำดับ



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันน้ำกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ [7]

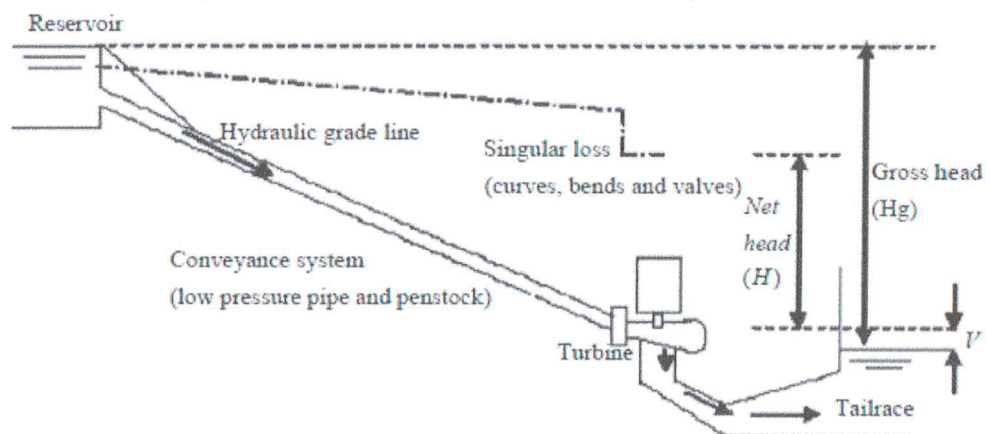
รูปที่ 2.13. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันน้ำกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ซึ่งแกน y คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และแกน x คือ ความเร็วรอบของกังหันน้ำมีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที เส้นกราฟ คือ อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที เมื่อความเร็วรอบที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพที่ได้สูงขึ้นตาม แต่ไม่ได้หมายความว่าอัตราการไหลสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ปัจจัยที่สำคัญอยู่ที่ใบพัดของกังหันน้ำ ซึ่งชุดทดลองนี้จากรูปที่ 2.13 บ่งชี้ให้เห็นว่าชุดใบพัดได้ถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมกับสภาวะอัตราการไหลและแรงดันน้ำที่ 2 ที่ 0.17 ลิตรต่อวินาทีแรงดันน้ำ 34,400 ปาสคาล กังหันน้ำกำลังผลิต 5.9 วัตต์ และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 47%

David KilamaOkot[8]ได้ศึกษาทบทวนเกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานน้ำขนาดเล็ก โดยลักษณะสถานที่ที่จะทำการติดตั้งกังหันน้ำ ส่วนประกอบพื้นฐานได้แก่ ฝายกั้นน้ำ ถึงตกตะกอน ท่อส่งน้ำและคลองส่งน้ำ โดยน้ำจะถูกเบนเข้าสู่ฝายกั้นน้ำและไหลผ่านเข้าสู่ตะแกรงกั้นขยะและไหลเข้าสู่ที่ส่งน้ำเพื่อส่งต่อไปยังโรงไฟฟ้าต่อไป ท่อส่งน้ำจะนำน้ำที่ไหลผ่านมาสู่โรงไฟฟ้าซึ่ง การติดตั้งต้องมีวาล์ว (ประตูน้ำ) ก่อนเข้าตัวกังหันเพื่อสามารถปิดไว้ได้เมื่อกังหันหยุดทำงาน ส่วนคลองลำรางมีไว้เพื่อเมื่อกังหันหยุดทำงาน น้ำจะได้สามารถระบายออกสู่ทางอื่นได้



รูปที่ 2.14 รูปภาพแสดงการผันน้ำเข้าสู่ฝายกั้นน้ำ จนถึงโรงไฟฟ้าพลังน้ำ [8]

รูปที่ 2.14 เป็นรูปภาพแสดงการผันน้ำเข้าสู่ฝายกั้นน้ำ จนถึงโรงไฟฟ้าพลังน้ำโดยลำน้ำจะมีฝายเป็นตัวกั้นกลางและจะถูกผันน้ำไปสู่คลองชักน้ำ(Head Race channel) ผ่านสู่ท่อชักน้ำ (Penstock) และเข้าสู่กังหันน้ำที่อยู่ในโรงไฟฟ้า

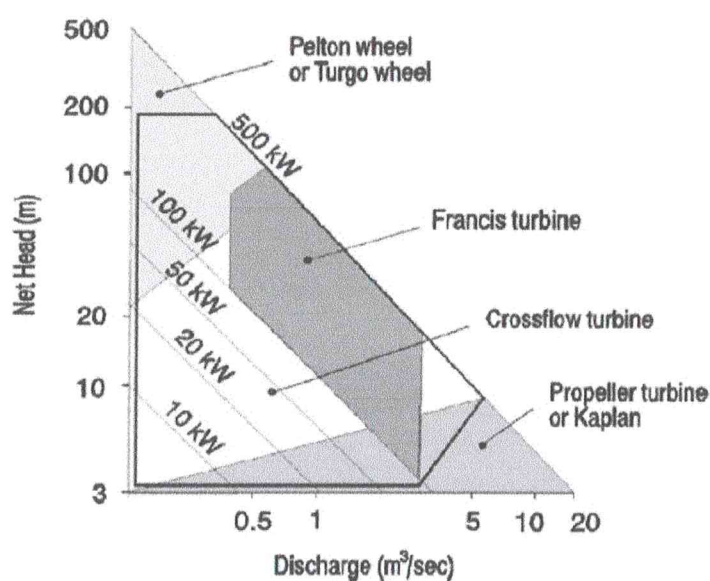


รูปที่ 2.15 รูปภาพแสดงหลักการไฟฟ้าพลังน้ำ [8]

รูปที่ 2.15 เป็นรูปภาพแสดงหลักการได้มาซึ่งพลังงานน้ำ นั่นคือเมื่อน้ำไหลผ่านมาจากท่อชักน้ำ(Penstock) และเข้าสู่กังหันน้ำ เป็นการนำใช้หลักพลังงานศักย์ ของน้ำที่อยู่ในรูปแบบความสูง (Gross Head) มาเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์คือการปะทะใบพัดกังหันน้ำส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อดำเนินทำงาน จากนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้าต่อกังหันน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือแบบอิมพัลส์และแบบปฏิกริยา

แบบอิมพัลส์ (Impulse turbine) เป็นกังหันที่ใช้พลังงานจลน์ของน้ำเข้าฉีดปะทะกับใบพัดส่งกำลังผ่านเพลลาเพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกังหันประเภทนี้แบ่งเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดเพลตัน ชนิดเทอร์โก้ และชนิดคอสโพลว์ โดยลักษณะที่จะแยกชนิดออกจากกันคือพิจารณาที่ตัวใบพัด เพลตันจะมีลักษณะเป็นใบพัดคู่ โดยเทอร์โก้จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันแต่เป็นใบพัดเดี่ยว คอสโพลว์จะแตกต่างออกไปโดยใบพัดจะคล้ายกรงกระรอก

แบบปฏิกิริยา (Reaction turbine) เป็นกังหันน้ำที่ผลิตไฟฟ้าจากแรงกระทำของความดันและมวลน้ำที่เคลื่อนที่ผ่าน โดยสามารถแบ่งออกเป็น ได้ 4 ชนิด ได้แก่ แบบใบพัด แบบฟรานซิส แบบคิเนมาติกส์ และแบบสกรู โดยส่วนใหญ่มีรูปแบบใบพัดคล้ายกันต่างกันว่าลักษณะการติดตั้งและจำนวนใบพัด โดยแบบใบพัด (Propeller) ส่วนใหญ่จะมี 3-6 ใบพัด ใช้สำหรับงานที่เฮดค่อนข้างต่ำ แต่ต้องการอัตราการไหลที่สูง แบบฟรานซิส (Francis) กังหันชนิดนี้มีใช้มากโดยลักษณะคล้ายเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง แต่การทำงานจะทำงานกลับกัน กังหันน้ำประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพที่สูงถึง 90% แต่จะลดต่ำลงเมื่อมีปริมาณน้ำและเฮดที่ไม่ตรงกับค่าที่ออกแบบ แบบคิเนติกส์ (Kinetic) เป็นกังหันที่ติดตั้งตามลำรางที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ ส่วนใหญ่ไม่ได้อาศัยพลังงานศักย์เหมือนกังหันน้ำชนิดอื่นๆ แต่จะใช้พลังงานจลน์ของน้ำไหลมากกว่า แบบสกรู (Archimedes screw) เหมาะสำหรับลักษณะพื้นที่ที่มีเฮดต่ำ (2-10 เมตร) การติดตั้งจะแตกต่างจากกังหันประเภทอื่นๆ โดยสิ้นเชิง ลักษณะใบพัดจะเป็นคล้ายตัวสกรูโดยน้ำจะไหลผ่านสกรูส่งผลให้เพลลาหมุนจากนั้นก็ต่อกับเกียร์ทด การจำแนกกังหันแต่ละชนิดสามารถจำแนกการใช้งาน



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงการเลือกใช้กังหันน้ำ [8]

รูปที่ 2.16 เป็นรูปกราฟการเลือกกังหันน้ำ โดยแบ่งตามอัตราการไหลและเฮดที่เกิดขึ้น โดย แกน x คืออัตราการไหล หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แกน y คือ เฮด หน่วยเป็นเมตร กราฟนี้ บ่งบอก ได้ว่าเมื่อเฮดสูงแต่อัตราการไหลต่ำ กังหันน้ำจะเป็นจำพวก แบบอิมพัลส์ (Impulse turbine) และหากเป็นในกรณีอัตราการไหลสูงแต่เฮดต่ำจะเป็นจำพวกแบบปฏิกิริยา (Reaction turbine)

Bilal Abdullah Nasi[9] ได้ทำการศึกษาและแนะนำการออกแบบ Micro hydroelectric power plant ของ กังหันน้ำชนิดเพลตัน ซึ่งกังหันน้ำชนิดนี้ต้องการเฮดที่สูงและอัตราการไหลของน้ำต่ำ การก่อสร้างและติดตั้งง่ายและสะดวก โดยจุดประสงค์เพื่อต้องการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกังหันน้ำ อาทิ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ที่จะปรับเปลี่ยนไป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงในสภาวะการทำงานต่างๆ ทางผู้เขียนจึง ได้นำเสนอสมการสำหรับการคำนวณหาค่าต่างๆ และนำสมการเหล่านั้นมาทดลองปรับค่าและ พิจารณาผลด้วยโปรแกรม MATLAB โดยทำ 2 วิธี วิธีแรกทำการ ปรับค่าเฮดและให้ค่าอัตราการไหล และค่าประสิทธิภาพคงที่ วิธีที่สอง ทำการปรับอัตราการไหล และให้ค่าเฮดและค่าประสิทธิภาพคงที่

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ที่อัตราไหลคงที่ ที่ 0.1ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและเฮดที่ 50 - 140 เมตร [9]

H_g (m)	P_{10} (Kw)	η_t (%)	T_i (N.m)	N (r.p.m)	N_s	D_r (m)	D_j (m)	V_{tr} (m)	V_j (m)	L_n (m)	n_b
50	43	96.9	660	620	33.5	0.43	0.065	13.9	29.8	0.27	19
60	51.5	96.9	722	680	32	0.43	0.062	15.2	32.5	0.26	19
70	60	96.9	779	735	31	0.43	0.060	16.4	35.2	0.25	19
80	68.5	96.9	832	787	30	0.43	0.058	17.5	37.5	0.25	19
90	77.2	96.9	882	835	29	0.43	0.056	18.6	40	0.24	19
100	85.8	96.9	930	881	28.3	0.43	0.055	19.6	42	0.24	19
110	94.3	96.9	974	925	27.7	0.42	0.053	20.6	44	0.24	19
120	103	96.9	1016	967	27	0.42	0.052	21.5	46	0.233	19
130	111.5	96.9	1057	1007	26.6	0.42	0.051	22.4	48	0.230	19
140	120	96.9	1097	1045	26	0.42	0.050	23.2	50	0.228	19

ตารางที่ 2.1 เป็นตารางแสดงตารางค่าพารามิเตอร์ จากการทดลองด้วยโปรแกรม MAT LAB ที่อัตราไหลคงที่ 0.1ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและให้ประสิทธิภาพคงที่ จากนั้นปรับเฮดที่ 50 - 140 เมตร ซึ่งพบขนาดใบพัด ขนาดหัวฉีด ค่าความเร็วจำเพาะและความเร็วรอบของกังหันน้ำ มีขนาดที่ เปลี่ยนไป ตามการปรับเฮด

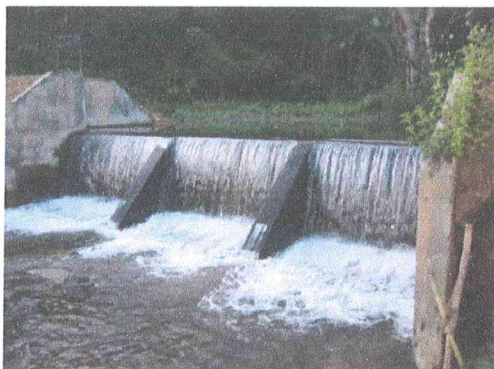
ตารางที่ 2.2 ตารางค่าพารามิเตอร์เฮดคงที่ 50 และ 60 เมตร ที่อัตราการไหล 0.1 – 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที[9]

$H_g(m)$	Q_i ($m^3 \cdot s^{-1}$)	P_{10} (Kw)	T_i (N.m)	η_i (%)	N (r.p.m)	N_s	$D_r(m)$	D_j (m)	V_r (m)	V_j (m)	L_n (m)	n_b
(50)	0.1	43	660	96.9	620	33.5	0.43	0.065	13.9	29.8	0.270	19
	0.2	85.8	1320	96.9	620	47.4	0.43	0.065	13.9	29.8	0.240	19
	0.3	129	1980	96.9	620	58	0.43	0.065	13.9	29.8	0.220	19
	0.4	171.5	2640	96.9	620	67.1	0.43	0.065	13.9	29.8	0.208	19
(60)	0.1	51.5	722	96.9	680	32	0.43	0.062	15.2	32.5	0.250	19
	0.2	103	1444	96.9	680	45.4	0.43	0.062	15.2	32.6	0.230	19
	0.3	154.4	2167	96.9	680	55.6	0.43	0.062	15.2	32.6	0.210	19
	0.4	206	2889	96.9	680	64.2	0.43	0.062	15.2	32.6	0.202	19

ตารางที่ 2.2 เป็นตารางแสดงตารางค่าพารามิเตอร์ จากการทดลองด้วยโปรแกรม MAT LAB ที่เฮด คงที่ ที่ 50, 60 เมตรและให้ประสิทธิภาพคงที่ จากนั้นปรับอัตราไหลที่ 0.1– 0.4ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีซึ่งพบว่าความเร็วจำเพาะของกังหันน้ำ จะต้องถูกปรับเปลี่ยนไป แต่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆจะเท่าเดิม

จากผลการทดลองด้วยโปรแกรม พบว่าถ้าต้องการให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพที่ 96.9% ในทุกสภาวะ จากการทดลองด้วยการปรับแก้ตัวแปรค่าอัตราการไหล และเฮดตามการจำลองสภาวะที่เกิดขึ้นจะพบว่ามีค่า D_r (เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด) เพียงค่าเดียวที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นอกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงมากเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน

กิตติพร ไป้ชีว [10]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับ RMUTT, การศึกษาและพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากในประเทศไทย ได้ทำการศึกษาออกแบบโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ โดยเริ่มต้นได้ทำการ วัดอัตราการไหล และเฮด ที่บ้านผาผึ้ง ตำบลเชียงทอง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก โดยค่าอัตราการไหลที่ออกแบบ 200 ลิตรต่อวินาที และเฮด 50 เมตร จากการคำนวณความเสียหายในท่อทางผู้ออกแบบได้เลือกใช้ท่อ PVC เกรด 8.5 ขนาด 20 นิ้วหรือ 500 มิลลิเมตรเพื่อเลี่ยงการเกิดความเสียหายในท่อและ เกรด 8.5 เพื่อให้สามารถรับแรงดันที่เฮด 50 เมตรได้ จากผลการทดสอบหลังติดตั้ง ท่อน้ำสามารถส่งน้ำและทนแรงดันได้เป็นอย่างดี ดังรูป 2.17ก และ 2.17ข



รูปที่ 2.17ก. รูปภาพแสดงฝายน้ำล้น

รูปที่ 2.17ข. รูปภาพแสดงการเดินท่อชักน้ำ

รูปที่ 2.17 ฝายน้ำล้นและแนวท่อชักน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก [10]

รูปที่ 2.17ก. เป็นรูปแสดงฝายน้ำล้นหลังจากที่ทำการก่อสร้างเสร็จและทำการใช้งานโดยลักษณะของฝายทำจากคอนกรีตอัดแรงซึ่งมีความแข็งแรงคงทนและ รูป 2.17ข. เป็นรูปภาพแสดงการเดินท่อชักน้ำ โดยโครงการนี้ได้รับความร่วมมือจากชาวบ้านผู้ได้รับผลประโยชน์จากโครงการ มาร่วมดำเนินการก่อสร้างด้วย ท่อชักน้ำที่ใช้เป็นท่อ PVC Class 8.5 เดินท่อยาว 50 เมตร

เนื่องจากเขตที่โครงการนี้มีค่า 50 เมตร อัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที กังหันน้ำที่เหมาะสม ได้แก่ ฟรานซิส (Francis) ครอสฟโฟล (Cross flow) เทอร์โบ (Turgo) อย่างไรก็ตามจากข้อมูลกรมพลังงานฯ กังหันน้ำชนิด ฟรานซิส (Francis) มีราคาที่สูงและประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อมีอัตราการไหลไม่ตรงตามทีออกแบบ ชนิดครอสฟโฟล (Cross flow) ในสถานที่นี้อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากพื้นที่เวลาฤดูฝนมักมีเศษไม้และหินทรายขนาดเล็กไหลมาตามท่ออาจส่งผลให้ใบพัดเสียหายได้ ดังนั้นในการดำเนินการโครงการนี้ จึงเลือกใช้กังหันน้ำ ชนิด เทอร์โบ (Turgo) ดังนั้นผู้ออกแบบจึงออกแบบกังหันน้ำชนิด เทอร์โบ ที่ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที เขต 50 เมตร ประสิทธิภาพกังหันที่ 75% กำลังผลิต 70 กิโลวัตต์



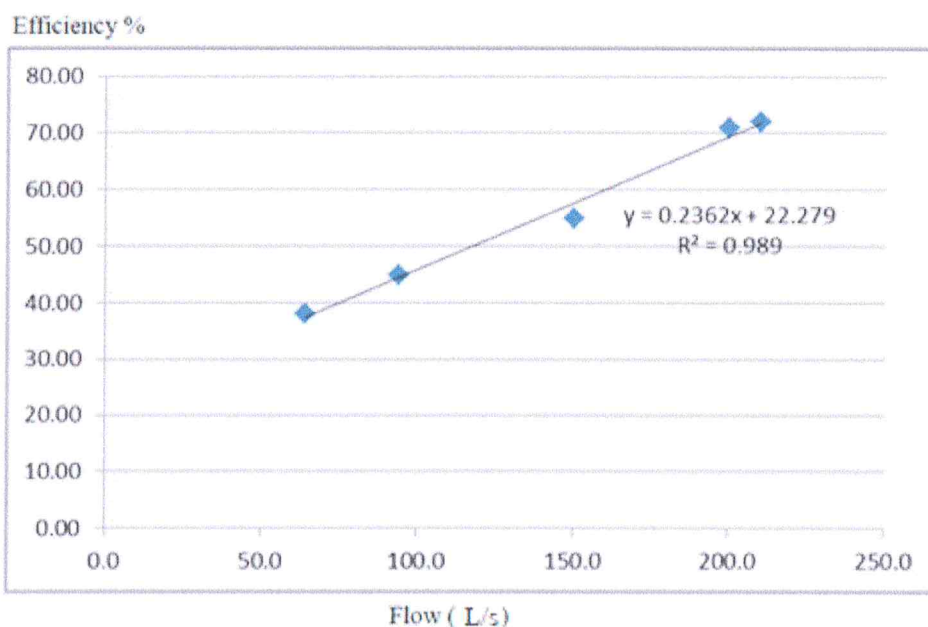
รูปที่ 2.18 เครื่องกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โบ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก [10]

หลังผลิตและติดตั้ง ได้ทำการทดสอบเครื่องกังหันน้ำ โดยจัดบันทึกข้อมูลตาม ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงผลการทดสอบ และ รูปที่ 2.19 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ ชนิด เทอร์โบ ไค้ โครงการบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงผลการทดสอบกังหันน้ำ ชนิด เทอร์โบไค้ โครงการบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก[10]

H (m)	Q (l/s)	V_g			V_b			I_b			P_L kW	P_B kW	ΣP kW	Turbine η_t %
		A	B	C	A	B	C	A	B	C				
51.0	64.0	223.0	220.0	224.0	85.5	86.5	87.0	41.9	42.8	42.5	0.0	11.0	11.0	38.00
51.0	94.0	221.0	224.0	222.0	114.5	109.0	115.3	56.6	54.6	56.9	0.0	19.0	19.0	44.00
50.5	150.0	224.0	222.0	221.0	156.5	156.6	157.0	77.2	78.1	78.9	0.0	36.7	36.7	54.00
49.5	200.0	223.0	222.0	221.0	157.2	157.8	158.0	77.5	78.5	79.2	25.0	37.1	62.1	71.00
49.0	225.0	224.0	221.0	223.0	171.2	172.5	173.6	85.6	86.0	86.6	25.0	44.5	69.5	72.00

ตารางที่ 2.3 แสดงตารางการบันทึกผลการทดสอบกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โบไค้ ซึ่งการทดสอบทำ โดยการปรับอัตราการไหลที่ 64, 94, 150, 200 และ 225 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับและทุกๆที่ทำการปรับอัตราการไหลก็จัดบันทึก ค่าเฮด แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นก็ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำและนำมาจัดบันทึกในตาราง

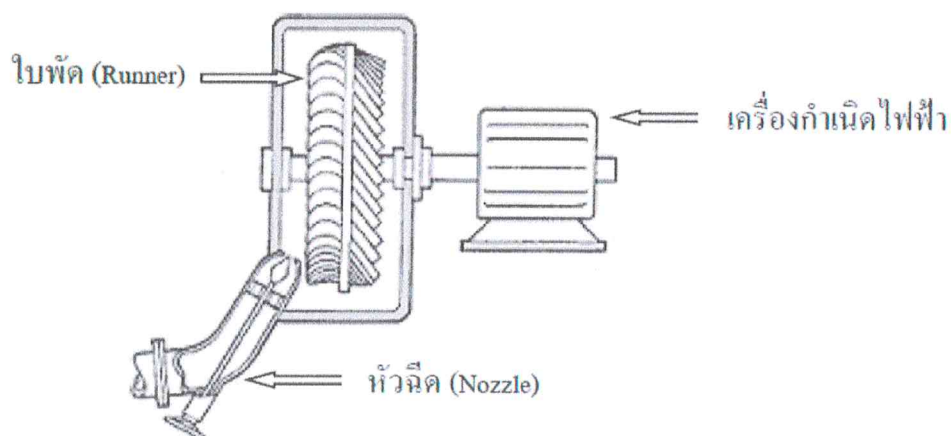


รูปที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันน้ำกับอัตราการไหลของกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โบไค้ โครงการบ้านผาผึ้ง จังหวัดตาก[10]

รูป 2.19 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันน้ำ(Efficiency)กับอัตราการไหล ซึ่งแกน y คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำและแกน x คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟ คือ เฮด มีหน่วยเป็นเมตร จากกราฟจะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยเมื่อเฮดคงที่ ประสิทธิภาพจะแปรผันตรงกับอัตราการไหล ซึ่งจากรูปภาพนี้ ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 72% ที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที เฮด 49 เมตร

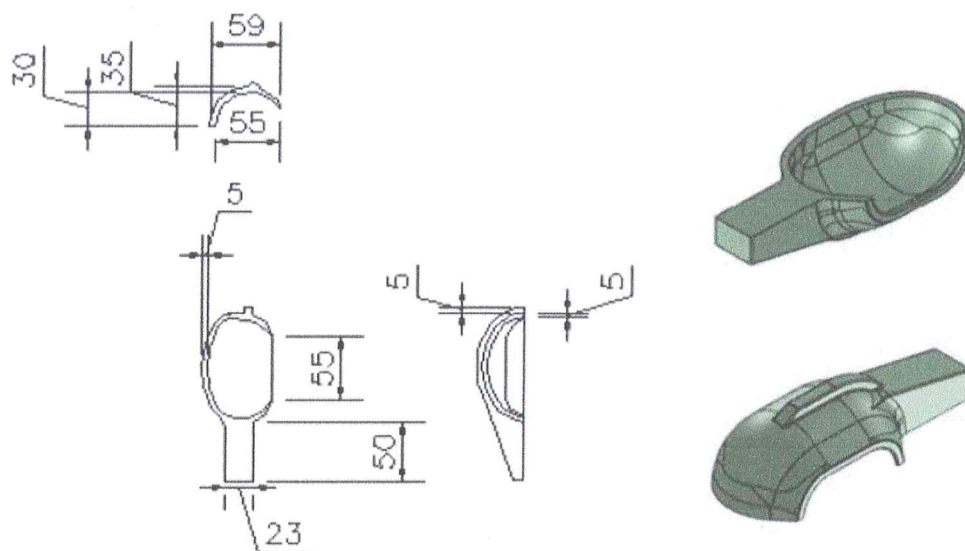
ผลสรุปของโครงการนี้ คือ กังหันน้ำ สามารถผลิตกำลังได้สูงสุดที่ 69.5 กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที เฮด 50 เมตร คำนวณประสิทธิภาพได้ 72% ซึ่งน้อยกว่าที่ออกแบบที่ 75% สาเหตุ ผู้วิจัยคาดการณ์ว่าเกิดจากการที่ประกอบใบพัดไม่เป็นไปตามที่ออกแบบซึ่งเกิดจากการเชื่อมประกอบที่คลาดเคลื่อน

กิตติพร โปธิว [11] ได้ศึกษาสมรรถนะ เครื่องกังหันน้ำ ชนิด Turgo 2 หัวฉีด เป็นการศึกษาเพื่อนำไปใช้งานในพื้นที่ห่างไกลระบบสายส่งในประเทศไทย และเพื่อให้ได้มาซึ่งกังหันที่ราคาไม่แพง รูปแบบง่ายต่อการบำรุงรักษาและมีสมรรถนะที่ดี และเพื่อหากังหันชนิดอื่นมาทดแทนข้อจำกัดของกังหันน้ำชนิดต่างๆ อาทิ กังหันน้ำ ชนิด คอสโฟล (Cross flow) ที่ใช้ในกรณีเฮดที่ต่ำ แต่มีข้อจำกัดคือ เมื่อมีเศษหินเข้ามาปะปนกับน้ำและปะทะกับใบซึ่งเป็นครีบก็ง่ายต่อการเสียหาย หรือชนิด ฟรานซิส (Francis) ที่มีลักษณะใช้ในเฮดปานกลางถึงเฮดสูง แต่มีข้อจำกัด คือหากอัตราการไหลหรือเฮดไม่เป็นไปตามค่าที่ออกแบบก็จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องกังหันที่ กังหันน้ำ ชนิด เทอร์โวก์ นี้มีลักษณะใบพัดคล้ายกันกับ ชนิด เพลตัน แต่ต่างกันที่การยิงของลำน้ำ โดย ชนิดเทอร์โวก์เป็นการยิงลำน้ำผ่านใบพัดจากข้างหนึ่งและออกอีกข้างหนึ่ง จึงไม่ส่งผลกระทบต่อใบอื่น จึงทำให้มีลำน้ำที่ใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับ ชนิด เพลตัน



รูปที่ 2.20 เครื่องกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โวก์ (Turgo turbine)[11]

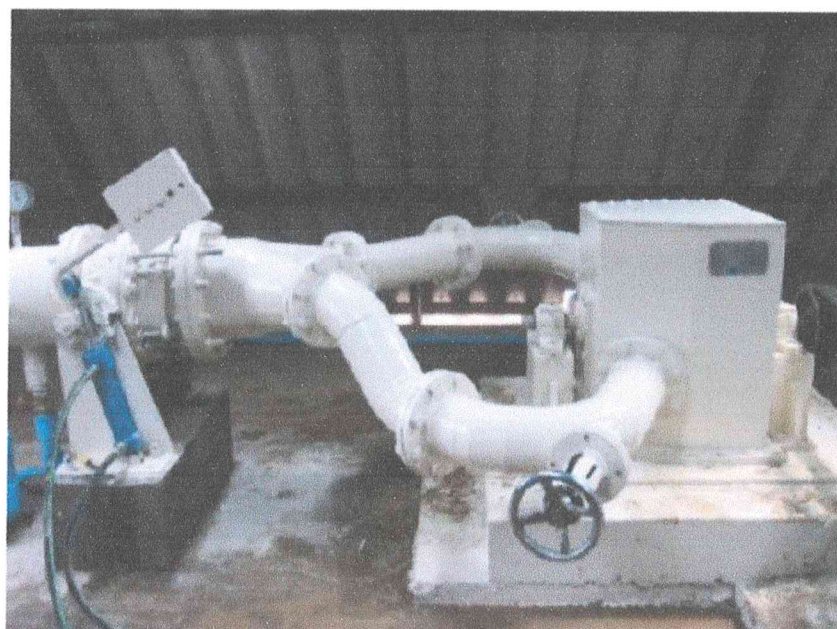
รูปที่ 2.20 เป็นรูปเครื่องกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โบ โดยรูปแสดงถึงหัวฉีด ที่ต่อเข้ากับกังหันน้ำที่ทำมุมฉีดกับใบพัด และใบพัดก็ได้ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งกังหันน้ำชนิดนี้ ตัวใบพัด จะเป็นใบพัดรูปถ้วยเดี่ยวที่ทำการเรียงต่อกันและการฉีดน้ำเข้าสู่ใบพัดจากด้านข้างของเครื่องฯ ซึ่งต่างจากชนิดเพลตัน ซึ่งจะฉีดน้ำจากข้างหน้า และใบพัดเป็นรูปถ้วยคู่งานศึกษานี้ได้ทำร่วมกับ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านแสนใหม่ จังหวัดเชียงราย โดยออกแบบกำลังผลิต 25 กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อวินาที เสด 47 เมตรต่อชกน้ำ ขนาด 12 นิ้วหรือ 300 มิลลิเมตรโดยทำการออกแบบใบพัดโดยโปรแกรม Mechanical Desktop และนำเรียงประกอบกันเป็นวงและเชื่อมต่อกันจากนั้นยึดกับคัมด้วยสกรู จากนั้นทำการติดตั้ง สุดท้ายทำการทดสอบโดยทำการเปิดวาล์ว ทุกๆ 25% จนถึง 100% จากนั้นเก็บข้อมูลอัตราการไหล แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และเฮด และบันทึกข้อมูล



รูปที่ 2.21 แบบใบพัดกังหันน้ำเทอร์โบ (Turgo turbine) จากโปรแกรม Mechanical Desktop[11]



รูปที่ 2.22 ใบพัดกังหันน้ำเทอร์โก้ (Turgo turbine) ที่เรียงประกบกัน[11]

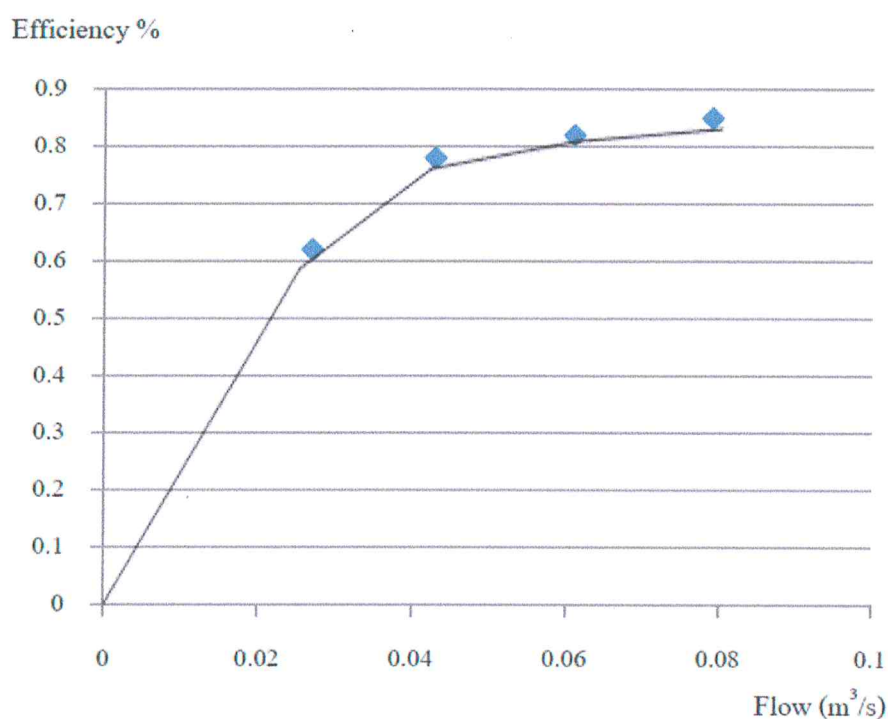


รูปที่ 2.23 กังหันน้ำเทอร์โก้ (Turgo turbine) โครงการบ้านแสนใหม่ เชียงราย [11]

ตารางที่ 2.4 ตารางบันทึกข้อมูลการทดสอบกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้(Turgo turbine) โครงการบ้าน
แสนใหม่ เชียงราย[11]

Nozzle (%)	P (kW)	Q (m ³ /s)	H ₁ (m)	P.F. (cos Θ)	Volt Generator			Amp. Generator			T/G ef (%)	Tur ef (%)
					A	B	C	A	B	C		
25	7	0.027	47	1	382	383	383	10	11	10.7	0.56	0.62
50	14	0.043	47	1	382	383	383	20.4	21.9	21	0.7	0.78
75	21	0.061	47	1	383	384	384	30.8	32	31.9	0.74	0.82
100	28	0.079	47	1	383	385	384	41.6	42.7	42.1	0.75	0.85

ตารางที่ 2.4 แสดงการบันทึกผลการทดสอบกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โก้ ซึ่งการทดสอบทำโดยการ
เปิดวาล์วหัวฉีด(Nozzle) ทุกๆ 25% ที่อัตราการไหล 0.027, 0.043, 0.061 และ 0.079 ลูกบาศก์
เมตรต่อวินาที ตามลำดับและทุกๆการเปิดวาล์วหัวฉีดก็จดบันทึก ค่าเสด แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า
หลังจากนั้นก็ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำและนำมาจดบันทึก



รูปที่ 2.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันน้ำกับอัตราการไหลของกังหันน้ำ
ชนิดเทอร์โก้ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านแสนใหม่ จังหวัดเชียงราย[11]

จากรูป 2.24 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันน้ำ (Efficiency) กับอัตราการไหล ซึ่งแกน y คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำและแกน x คือ อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟ คือ เสด มีหน่วยเป็นเมตร จากกราฟจะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยเมื่อเสดคงที่ ประสิทธิภาพจะแปรผันตรงกับอัตราการไหล ซึ่งจากรูปภาพ 2.28 ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 85% ที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อวินาที เสด 47 เมตร

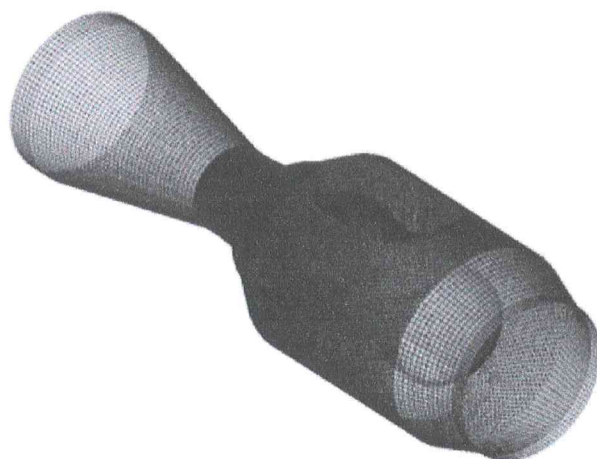
ผลสรุปของโครงการเครื่องกังหันน้ำ ชนิด เทอร์โบ (Turgo) โครงการบ้านแสนใหม่ มีประสิทธิภาพ 85% ที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อวินาที เสด 47 เมตร ที่กำลังผลิต 28 กิโลวัตต์ ซึ่งได้กำลังผลิตมากกว่าที่ออกแบบ ดังนั้นกังหันน้ำชนิดนี้ สามารถที่จะนำมาพัฒนาเพื่อทดแทนกังหันน้ำชนิดอื่นได้

ยอดชาย เต็นเป็น[12] ปัจจุบันมีแหล่งน้ำที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการเกษตรกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงจุดนี้และได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนา โดยนำกังหันน้ำประเภท Reaction ชนิด Axial bulb turbine เข้าติดตั้ง ดังรูป 2.25 โดยทำการออกแบบและติดตั้ง ที่เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ช่วยในการออกแบบ



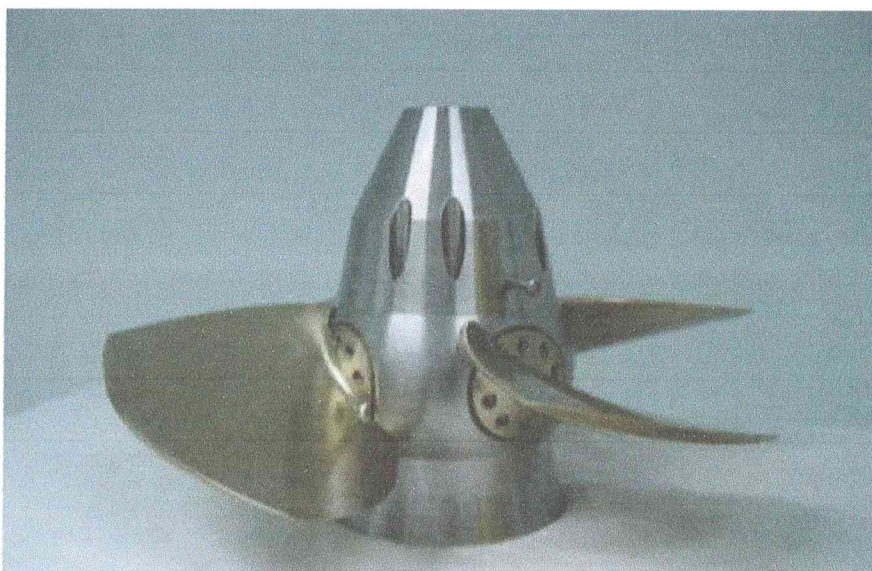
รูปที่ 2.25 แบบจำลองการตัดแปลงสำหรับติดตั้งเครื่องกังหันน้ำบริเวณประตูระบายน้ำ [12]

การออกแบบครั้งนี้ได้ใช้ วิธี CFD ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป FLUENT ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองการไหลทางพลศาสตร์ ที่อัตราการไหล 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที, เสด 13 เมตร, เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 650 มิลลิเมตร, จำนวนใบพัด 4 ใบ, จำนวนไกส์เวน 16 ใบ, ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1,500 รอบต่อนาที, ความเร็วรอบกังหันน้ำ 625 รอบต่อนาที

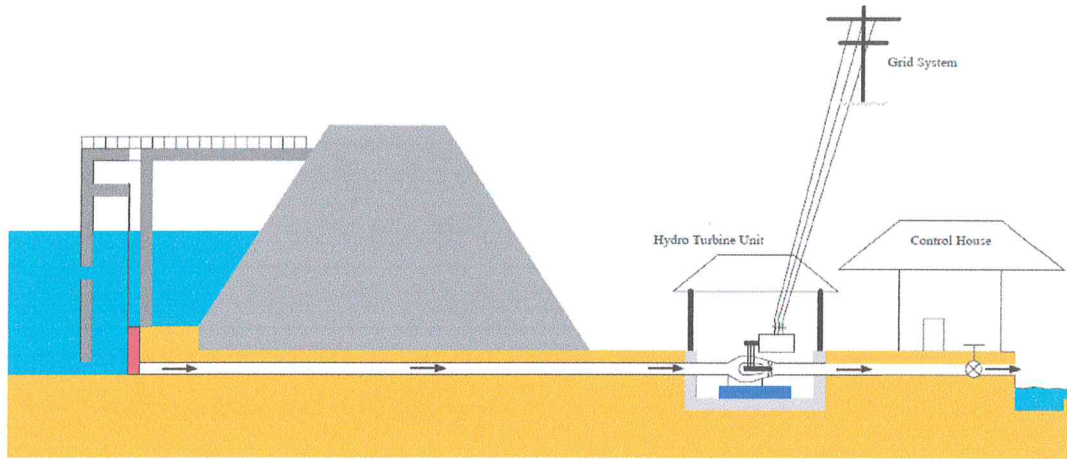


รูปที่ 2.26 แบบจำลองเมสกัน้ำ [12]

รูปที่ 2.26 เป็นรูปการใช้เทคโนโลยี CFD มาช่วย โดยรูปนี้เป็นการสร้างโครงข่ายแต่ละเอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์อัตราการไหลที่เกิดขึ้นของกัน้ำ แบบแคปพลาน จากนั้นทำการผลิตและติดตั้งดังรูปที่ 2.27-2.9



รูปที่ 2.27 ใบพัดกัน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [12]



รูปที่ 2.28 ตำแหน่งการติดตั้ง โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [12]



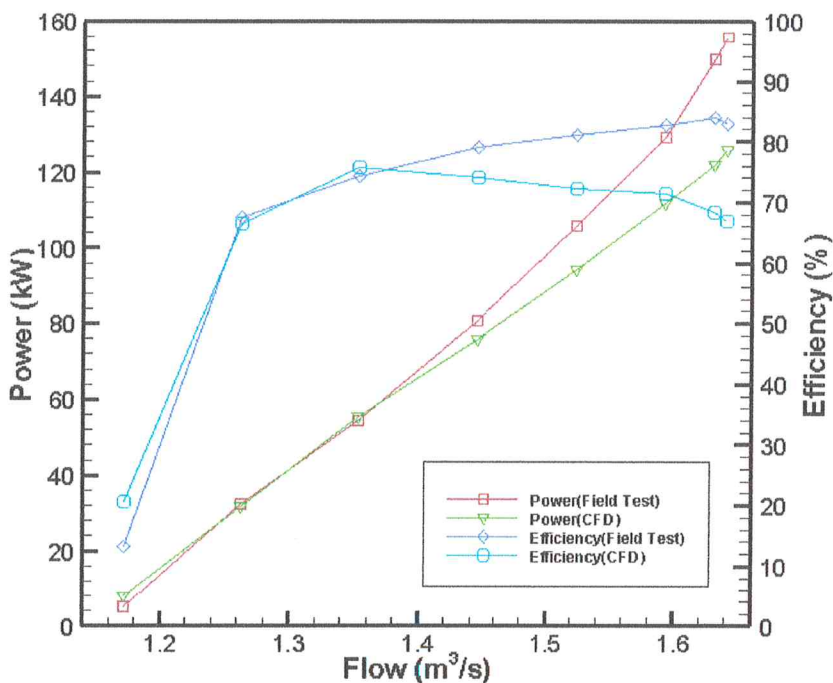
รูปที่ 2.29 เครื่องกังหันน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [12]

การทดลอง ที่อัตราการไหล 1.172, 1.263, 1.354, 1.445, 1.523, 1.593, 1.631 และ 1.641 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีที่เฮด 13 เมตรทำการจำลองการไหลด้วย โปรแกรม สามารถสรุปได้ดัง ตารางการทดลองที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางผลทดสอบเครื่องกังหันน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ [12]

Q (m ³ /s)	RPM	ΔH (m)	Power _{input} (kW)	Power _{output} (kW)	efficiency (%)
1.172	625	3.33	38.286	5.07	13.24
1.263	626	3.85	47.702	32.23	67.57
1.354	628	5.514	73.241	54.42	74.30
1.445	629	7.206	102.148	80.77	79.07
1.523	630	8.739	130.566	105.63	81.05
1.593	630	9.989	156.101	129.16	82.74
1.631	630	11.148	178.369	149.83	84.00
1.641	630	11.671	187.882	155.61	82.82

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตและประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำกับอัตราการไหล โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนแม่จาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ [12]

จากรูป 2.30 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำกับอัตราการไหล ซึ่งแกน y คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ และกำลังผลิตมีหน่วย

เป็นกิโลวัตต์และแกน x คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟ คือ ค่าการประมวลผลจากโปรแกรมและการทดลอง ซึ่งช่วงอัตราการไหลที่ 0-1.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟค่ากำลังผลิตทั้งสองมีค่าสอดคล้องกันและเส้นกราฟทั้งสองจะตัดกันบริเวณที่อัตราการไหล 1.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งค่ากำลังผลิตของการทดลองมีค่ามากกว่าผลจากโปรแกรม ถัดมาพิจารณาเส้นกราฟแสดงประสิทธิภาพที่อัตราการไหล 0-1.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าเส้นกราฟประสิทธิภาพผลจากโปรแกรมมีค่าสูงกว่าผลจากการทดลองแต่ทั้งสองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งที่อัตราการไหลช่วงระหว่าง 1.3-1.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าเส้นกราฟประสิทธิภาพของการทดลองจะมีค่ามากกว่าผลจากโปรแกรม

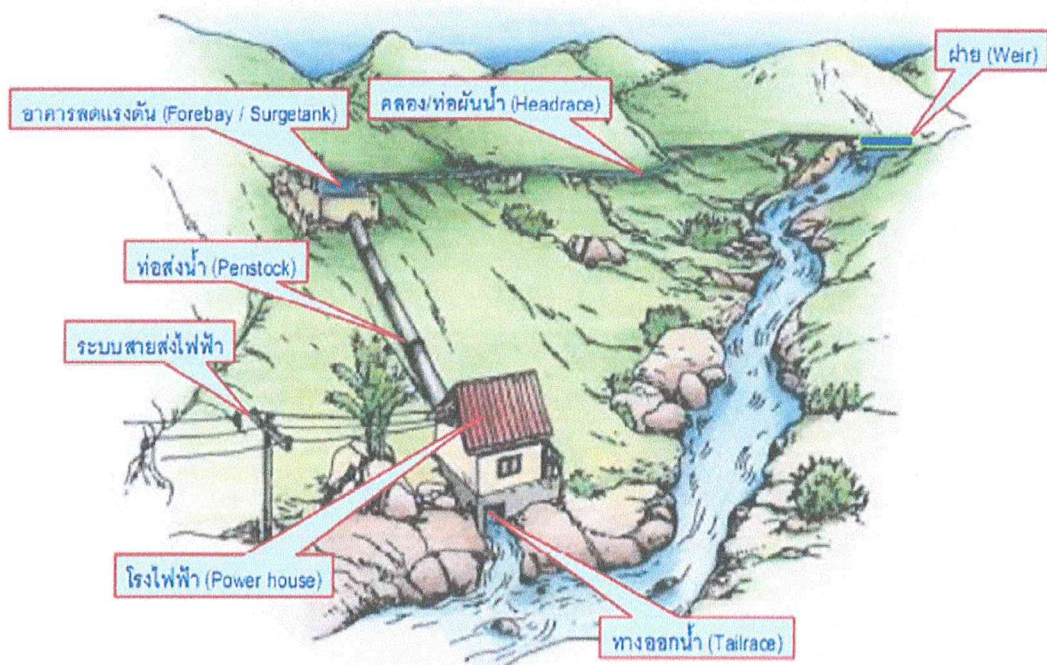
ผลสรุป จากผลการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 2.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตและประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำกับอัตราการไหล พบว่ากำลังผลิตสูงสุดที่ 155.61 กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหล 1.641 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เหนือ 13 เมตร ประสิทธิภาพ 82.82% ซึ่งการจำลองทางด้าน CFD สามารถช่วยในการออกแบบกังหันน้ำได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. เทคโนโลยีพลังน้ำขนาดเล็ก[13]

องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก อันดับแรกคือจำเป็นต้องมีฝายกักเก็บน้ำ โดยการสร้างฝายกักเก็บน้ำนั้นจะสร้างขวางทางน้ำเพื่อปิดกั้นแม่น้ำไว้ให้น้ำมีระดับอยู่ในที่สูงจนมีปริมาณน้ำและแรงดันน้ำ(เฮด) ที่เพียงพอที่จะนำมาหมุนเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งอยู่ท้ายน้ำที่มีระดับต่ำกว่าพลังงานที่ได้จากโรงไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำ โดยองค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในปัจจุบันนอกจากที่กล่าวข้างต้นมีดังนี้



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก [13]

รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ซึ่งแรกเริ่มจะมีฝายเพื่อกักเก็บน้ำให้มีปริมาณน้ำและแรงดันน้ำ(เฮด) ที่เพียงพอสำหรับมาผลิตไฟฟ้า อันดับต่อมา คือ อาคารรับน้ำ ซึ่งจะสร้างที่เดียวกับบริเวณฝาย ในตัวอาคารนี้จะมีตะแกรงกันขยะและท่อชักน้ำติดตั้งอยู่ เมื่อน้ำไหล

เข้าตัวอาคาร จะผ่านตะแกรงกันขยะเพื่อกรองเศษหิน ขยะ ใบไม้ก่อนและเข้าสู่ท่อชักน้ำไปสู่เครื่อง กังหันน้ำในโรงไฟฟ้าต่อไป

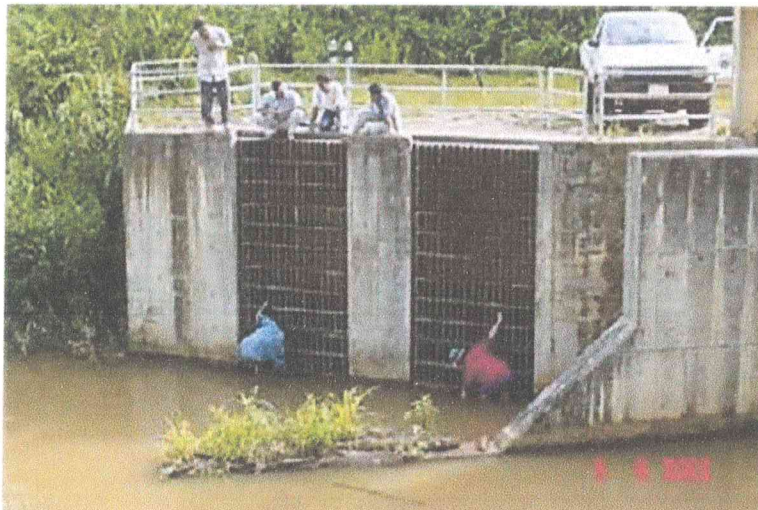
3.1.1. ฝายหรือเขื่อนเก็บกักน้ำ (Dam or Weir) เป็นโครงสร้างที่สร้างกั้นลำน้ำ ทำหน้าที่กัก น้ำหรือทดน้ำในลำน้ำให้มากและมีระดับที่สูงขึ้น โดยจะผันน้ำให้เข้าสู่บริเวณส่วนอาคารรับน้ำ น้ำ ส่วนเกินจะล้นไปทางสันฝายหรืออาคารระบายน้ำล้นลงสู่ท้ายฝาย จากนั้นจะไหลไปบรรจบกับแม่น้ำ สายหลักหลังโรงไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 ฝายหรือเขื่อนเก็บกักน้ำ[13]

รูปที่ 3.2 เป็นรูปฝายที่เสร็จแล้วและเริ่มการใช้งานโดยจากรูปคือลักษณะที่มีระดับและ ปริมาณน้ำที่เพียงพอแล้ว ซึ่งน้ำก็จะล้นออกทางสันฝายและจะระบายไปสู่ระบบผันน้ำ(Headrace) เข้าสู่แม่น้ำสายหลักต่อไป

3.1.2. อาคารรับน้ำ (Intake structure) เป็นโครงสร้างจากคอนกรีตสร้างอยู่ที่บริเวณฝาย ทำหน้าที่รับน้ำก่อนเข้าสู่ท่อชักน้ำ (Penstock) ส่วนประกอบของอาคารประกอบด้วย 1.ทางน้ำเข้า 2. ตะแกรงกันขยะ ส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็ก การติดตั้งจะติดตั้งให้แนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ 3. ประตูระบายทราย จะติดตั้งติดกับพื้นอาคารเพื่อทำหน้าที่ปล่อยหินหรือทรายที่สามารถลอดผ่าน ตะแกรงมาได้



รูปที่ 3.3 อาคารรับน้ำ [13]

รูปที่ 3.3 เป็นรูปภาพอาคารรับน้ำ ซึ่งจากรูปก่อนน้ำจะเข้าสู่อาคารรับ จะต้องผ่านตะแกรงกันขยะก่อน เพื่อเป็นการกรองไม่ให้สิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำ ไหลเข้าท่อชักน้ำและนำไปสู่กังหันน้ำที่โรงไฟฟ้า โดยตะแกรงกันขยนี้จะทำจากเหล็ก ระยะช่องจะเป็นไปตามผู้ออกแบบกังหันน้ำกำหนด ในการบำรุงรักษา ผู้ดูแลรักษาจะต้องคอยหมั่นมาตรวจเช็คที่อาคารก่อนรันเครื่องทุกครั้งเพื่อทำความสะอาดบริเวณตะแกรงกันขยะ เพื่อป้องกันมิให้ขยะมาบังช่องทางน้ำ ดังรูป

3.1.3. ระบบผันน้ำ (Headrace) เป็นทางส่งน้ำจากส่วนที่ล้นออกนอกฝาย โดยปกติจะออกแบบให้เป็นลำรางไหลไปบรรจบกับน้ำสายหลัก วัสดุที่ใช้อาจเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหรือท่อเหล็กก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ และสภาพทางธรณีวิทยา



รูปที่ 3.4 ระบบผันน้ำ[13]

รูปที่ 3.4 แสดงระบบผันน้ำ ซึ่งเมื่อฝายกักเก็บปริมาณน้ำและแรงดัน(เฮด) ที่เพียงพอแล้ว ปริมาณน้ำก็จะล้นออกจากฝายและไหลสู่ระบบผันน้ำ ซึ่งระบบนี้จะไหลไปบรรจบกับแม่น้ำสายหลัก หลังโรงไฟฟ้า

3.3.4. อาคารลดแรงดัน (Fore bay) เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ป้องกัน แรงดันสูงเกินที่จะเกิดใน เส้นท่อ (Water hammer) ปัจจุบันมีการติดตั้ง อุปกรณ์ป้องกัน (Surge valve) แล้ว จึงไม่ค่อยนิยม สร้างอาคารลดแรงดัน สำหรับโครงการระดับ Micro



รูปที่ 3.5 อาคารลดแรงดัน [13]

รูป 3.5 รูปอาคารลดแรงดัน เป็นตัวอาคารทำจากคอนกรีตและ แท็งก์ระบายแรงดัน (Surge Tank) ที่ทำจากเหล็ก ต่อเข้ากับท่อชักน้ำ ก่อนเดินท่อชักน้ำต่อเข้าสู่โรงไฟฟ้ามีหน้าที่ลดแรงดัน ส่วนเกินในเส้นท่อ กรณีเกิดปรากฏการณ์ค้อนน้ำ (Water hammer)

3.3.5. ท่อส่งน้ำหรือท่อชักน้ำ(Penstock) เป็นท่อเหล็กกล้าแรงดันสูงหรือบางโครงการใช้ท่อ PVC ที่เกรดสูงๆ ท่อนี้ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำเข้าสู่กังหันน้ำ



รูปที่ 3.6 ท่อส่งน้ำหรือท่อชักน้ำ [13]

รูปที่ 3.6 เป็นรูปท่อชักน้ำ ที่ทำจากเหล็ก โดยต่อมาจากอาคารลดแรงดัน ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำเข้าสู่กังหันน้ำในโรงไฟฟ้าต่อไป

3.3.6. อาคารโรงไฟฟ้า (Power house) เป็นอาคารที่ตั้งของอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตไฟฟ้าต่างๆ อาทิ กังหันน้ำ ตู้ควบคุม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า การก่อสร้างแต่ละแห่งจะไม่เหมือนกันแล้วแต่ผู้ออกแบบ



รูปที่ 3.7 อาคารโรงไฟฟ้า [13]

รูปที่ 3.7 เป็นภาพถ่ายอาคารโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ห้วยแก้ว จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่ทำการติดตั้งกังหันน้ำ ชนิด Cross Flow โดยตัวอาคารแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนโรงไฟฟ้าและส่วนห้องเก็บของชั้นใน อาคารทำจากคอนกรีต จำนวน 1 ชั้น

3.3.7. กังหันน้ำ (Hydro turbine) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ทำหน้าที่รับน้ำจากท่อส่งน้ำ เปลี่ยนเป็นพลังงานกลเพื่อขับเคลื่อนกังหันน้ำ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันน้ำจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

3.3.7.1. กังหันน้ำแบบแรงกระแทก (Impulse turbine) เป็นกังหันที่หมุนโดยอาศัยแรงจืดของน้ำจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำจากที่สูง ไหลลงตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉีดและเข้าปะทะกับใบพัดให้หมุน ซึ่งใบพัดได้ต่อเข้ากับคัมที่ยึดติดกับเพลลาและเพลลาต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงสามารถก่อให้เกิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายออกไปได้ โดยประเภทนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

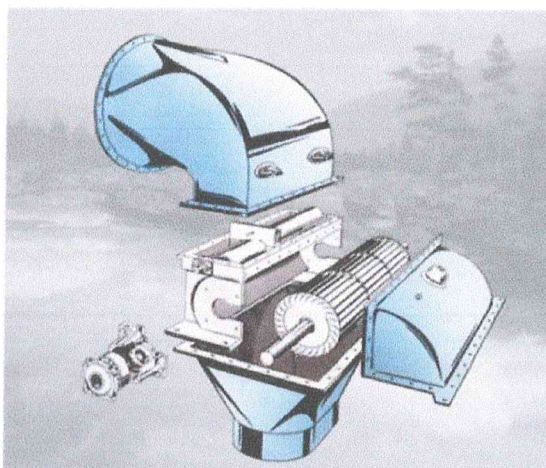
1) กังหันน้ำ เพลตัน (Pelton turbine) กังหันน้ำชนิดนี้ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 โดยเลสเตอร์ เพลตัน (Lester Pelton) รูปแบบของกังหันน้ำถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำคู่

รูปแบบใบพัดของกังหันจะเป็นวงล้อ(Wheel) ที่ประกอบไปด้วยชุดของถ้วยรับน้ำ(Bucket หรือ Blade)ซึ่งติดอยู่ในวงล้อภายในตัวกังหันเป็นแบบถ้วยคู่ ลักษณะของถ้วยคู่นี้จะเป็นแบบผ่าซีก เมื่อลำน้ำพุ่งเข้าปะทะกับถ้วยรับน้ำแต่ละอัน ลำน้ำก็จะแยกเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนจะเลี้ยวและพุ่งกลับด้วยมุมเกือบ 180 องศา สำหรับกังหันน้ำชนิดนี้จะเลือกใช้เฮดในช่วง $50 \leq H_n \leq 100$ เมตร ซึ่งงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กังหันน้ำชนิดนี้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูงและใช้งานง่าย



รูปที่ 3.8 ใบพัดกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน [13]

2) กังหันน้ำ ครอสโฟล (Cross flow turbine) ลักษณะใบพัดคล้ายพัดลมกรงกระรอก เมื่อน้ำไหลผ่านสู่กังหันจะมี Guide vane เพื่อบังคับทิศทางการน้ำ โดยน้ำจะพุ่งปะทะในแนวตั้งฉากกับแกนกังหัน จึงเป็นที่มา ของชื่อกังหันน้ำ ชนิดนี้ ข้อดีของกังหันน้ำชนิดนี้ คือราคาค่อนข้างถูก ต้องการปริมาณน้ำมากกว่าชนิดอื่นในประเภท Impulse turbine และต้องการเฮดที่ไม่สูงนัก



รูปที่ 3.9 กังหันน้ำ ชนิดครอสโฟลว์ [13]

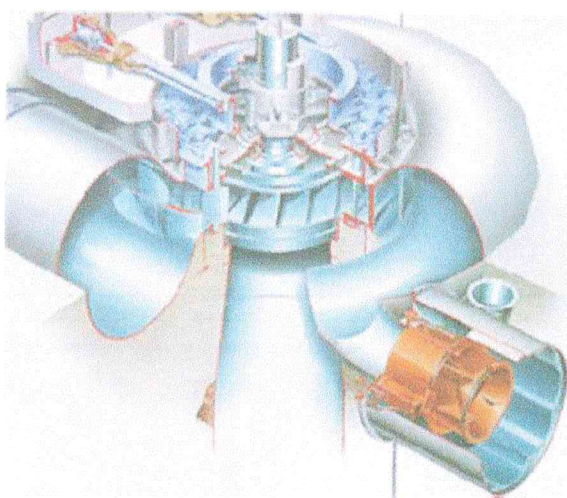
3) กังหันน้ำ เทอร์โบ (Turgo turbine)การทำงานคล้ายกังหันน้ำ ชนิด เพลตตัน โดยกังหันน้ำชนิดนี้ได้รับการพัฒนามาจาก ชนิด เพลตตัน มีลักษณะต่างกับที่ใบพัด สำหรับกังหันน้ำชนิดนี้เป็นแบบใบเดี่ยวและตื้นกว่าแบเพลตตัน โดยเลือกใช้ในเขตปานกลาง



รูปที่ 3.10 ใบพัดกังหันน้ำ ชนิดเทอร์โบ [13]

3.3.7.2. กังหันน้ำแบบแรงสะท้อน (Reaction turbine) เป็นกังหันที่หมุนโดยใช้แรงดันของน้ำที่เกิดจากความต่างระดับของน้ำด้านหน้าและด้านหลังของกังหันที่กระทำต่อใบพัด กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีน้ำค่อนข้างคงที่ โดยสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

1) กังหันน้ำ ฟรานซิส (Francis turbine) เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะคล้ายปั้มน้ำหอยโข่ง การทำงานเป็นแบบที่ใช้การไหลของน้ำผ่าน Guide vane และเข้าปะทะใบพัด ใช้สำหรับเขตที่สูง ข้อเสียคือประสิทธิภาพจะต่ำลงเมื่ออัตราการไหลหรือเฮดไม่เป็นไปตามที่ออกแบบ



รูปที่ 3.11 กังหันน้ำ ชนิดฟรานซิส [13]

2) กังหันเดเรียซ (Deriaz turbine) หรือกังหันแบบที่มีการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกน กังหันชนิดนี้ใช้กับกรณีที่เฮดสูง ส่วนของใบพัดจะเคลื่อนที่ได้เมื่อมีน้ำไหลผ่าน



รูปที่ 3.12 กังหันน้ำ ชนิดเดเรียซ [13]

3) กังหันน้ำ คาปพลา (Kaplan turbine) หรือแบบใบพัด โดยน้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนของกังหัน ใช้กับงานที่มีเฮดต่ำ ลักษณะใบพัดจะคล้ายใบพัดลม ผู้ผลิตบางแห่งออกแบบให้ใบพัดสามารถปรับมุมได้ตามแรงอัดของน้ำ



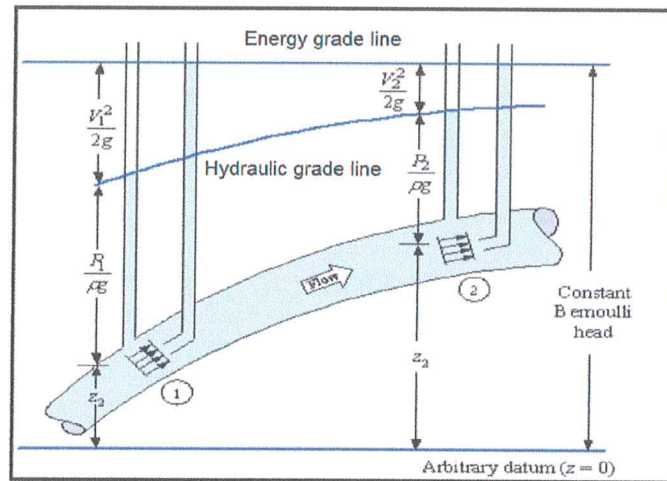
รูปที่ 3.13 กังหันน้ำ ชนิดคาปพลา [13]

3.2. สมการคำนวณสมรรถนะ กังหันน้ำเพลดัน

3.2.1. พลังงานเนื่องจากการไหล

สมการพลังงาน เป็นสมการที่ใช้หลักการทางพลังงานกับของไหลเคลื่อนที่ พลังงานที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่ประกอบไปด้วย พลังงานจากความดัน ความเร็ว และตำแหน่งที่ (Z_2) ของไหล

เคลื่อนที่ไปและนอกจากนี้ยังมีพลังงานที่เพิ่มให้แก่ของไหล หรือพลังงานที่เกิดขึ้นจากการสูญเสีย ดังนั้นสามารถเขียนมาสมการไหลของของไหล ดังนี้



รูปที่ 3.14 พลังงานจากการไหลตาม ทฤษฎีของ Bernoulli's[14]

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (3.1)$$

เมื่อ	P_1, P_2	คือ ความดันของของไหลที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (N/m^2)
	V_1, V_2	คือ ความเร็วของของไหลที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (m/s)
	Z_1, Z_2	คือ ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (m)
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (N/m^2)
	γ	คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)

จากสมการพลังงานสามารถปรับรูปให้อยู่ในรูปการใช้งานของกังหันน้ำดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_T + \sum h_L \quad (3.2)$$

เมื่อ	H_T	คือ พลังงานที่กังหันได้รับในรูปแบบความสูง (m)
	$\sum h_L$	คือ ผลรวมของการสูญเสียพลังงานจากจุด 1 ไปยังจุด 2 (m)

3.2.2. กำลังงานของกังหันน้ำ

$$P_t = \rho g H Q \eta_t \quad (3.3)$$

เมื่อ	P_t	คือ กำลังผลิตของกังหันน้ำ (Kw)
-------	-------	------------------------------------

- ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
- g คือ ความเร่งแรงดึงดูดของโลก (m/s)
- H คือ เฮดสุทธิ (m)
- Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
- η_t คือ ประสิทธิภาพกังหันน้ำ

3.2.3. ความเร็วจำเพาะของกังหันน้ำ[11]

ความเร็วจำเพาะ(Specific Speed) เป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการออกแบบ เพื่อเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างความเร็วรอบการทำงานของกังหันน้ำกับเฮดสุทธิ โดยความเร็วจำเพาะสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$N_s = \frac{N\sqrt{P_t}}{H^{1.25}} \quad (3.4)$$

- เมื่อ N_s คือ ค่า Specific speed
- N คือ ความเร็วรอบของกังหันน้ำ (rpm)

ส่วนใหญ่ค่าความเร็วจำเพาะของกังหันน้ำแต่ละชนิด จะอยู่เป็นช่วง ดังตาราง

ตารางที่ 3.1 ค่าความเร็วจำเพาะของกังหันน้ำแต่ละชนิด [11]

ชนิดของกังหันน้ำ	ความเร็วจำเพาะ (RPM)
Pelton	10 – 30
Turgo	20 – 70
Cross flow	20 – 200
Francis	30 – 400
Propeller and Kaplan	200 - 1000

3.2.4. การคำนวณประสิทธิภาพของระบบ[10]

$$\eta_{overall} = \frac{P_{ee}}{\rho g Q H} \quad (3.5)$$

$$\eta_{overall} = \eta_t \eta_{gen} \dots \eta_n \quad (3.6)$$

เมื่อ $\eta_{overall}$ คือ ประสิทธิภาพของระบบ
 P_{ee} คือ กำลังผลิตที่สามารถจ่ายได้ (Kw)

3.2.5. การคำนวณหาแรงของลำน้ำที่กระทำต่อใบพัด[11]

การพุ่งชนของลำน้ำเข้าปะทะใบพัด ดังรูปที่ 3.15 สามารถเขียนในรูปสมการ ได้ดังนี้

$$-F = \rho Q(V_2' \cos \theta - V_1') \quad (3.7)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำกับใบพัด(N)
 V_1' คือ ความเร็วน้ำออกจากใบพัด(m/s)
 V_2' คือ ความเร็วน้ำเข้าสัมผัสกับใบพัด(m/s)
 θ คือ มุมสะท้อนของลำน้ำ

เมื่อลำน้ำเคลื่อนที่ผ่านผิวใบพัด ทำให้เกิดแรงเสียดทานและส่งผลให้ความเร็วของลำน้ำลดลงตามสมการ

$$V_2' = kV_1'$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใบพัด $k \leq 1$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad -F &= \rho Q(k V_1' \cos \theta - V_1') \\ F &= \rho Q V_1' (1 - k \cos \theta) \end{aligned} \quad (3.8)$$

เนื่องจาก กำลังงานที่กระทำกับใบพัด

$$P = FU = \rho Q V_1' U (1 - k \cos \theta)$$

$$\text{และ} \quad V_1' = V_1 - U$$

$$P = FU = \rho Q U (V_1 - U) (1 - k \cos \theta) \quad (3.9)$$

เมื่อ V_1 คือ ความเร็วน้ำเข้าจากใบพัด(m/s)

U คือ ความเร็วใบพัด(m/s)

จากสมการที่ 3.9 จะพบว่าเมื่อกังหันน้ำไม่หมุน ($U = 0$) กำลังจะเท่ากับ 0 เมื่อเมื่อกังหันน้ำหมุนด้วยความเร็วที่เท่ากับลำน้ำ กำลังที่ได้ก็จะเท่ากับ 0 เช่นกัน ดังนั้นการที่จะได้ซึ่งกำลังงานสูงสุด จะมี

2 กรณี คือ $\theta = 180^\circ$ และ UV_1 มีค่าสูงสุด กล่าวคือ เทอม $U(V_1 - U)$ จะต้องมามีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์เทียบกับ U และให้มีค่าเท่ากับ 0

$$\frac{dP}{dU} = \rho Q(V_1 - 2U)(1 - k \cos \theta) = 0 ; U = \frac{V_1}{2}$$

เมื่อกังหันน้ำหมุนด้วยความเร็ว U เท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วลำนํ้า จะทำให้เกิดกำลังสูงสุด ดังนั้นเมื่อแทนค่าความเร็ว U ในสมการ 3.9 จะได้ว่า

$$P_{max} = \frac{\rho Q V_1^2 (1 - k \cos \theta)}{4} \quad (3.10)$$

มุมของใบพัดส่วนใหญ่ต้องการให้วนกลับ $\theta = 180^\circ$ แต่ถ้าผลิตตามมุมนี้ลำนํ้าที่ตกกระทบจะไปรบกวนใบถัดไป ทางปฏิบัติเลือกใช้มุม $\theta = 165^\circ$ องศาในการออกแบบ [11]

ความเร็วลำนํ้าอิสระที่พุ่งออกมาจากหัวฉีด [11] สามารถหาได้จากสมการ

$$c = \varphi \sqrt{2gH} \quad (3.11)$$

เมื่อ φ คือ ประสิทธิภาพของหัวฉีด อยู่ในช่วง $0.92 \leq \varphi \leq 0.98$ [11]

กำลังที่ได้จาก กังหันน้ำชนิด เพลตัน สามารถวิเคราะห์ได้จาก

$$P_{max} = \frac{2\pi TN}{60} \quad (3.12)$$

เมื่อ P คือ กำลังงานที่เพลากังหัน (W)

T คือ แรงบิดที่เพลากังหัน (Nm)

N คือ ความเร็วรอบของกังหัน (rpm)

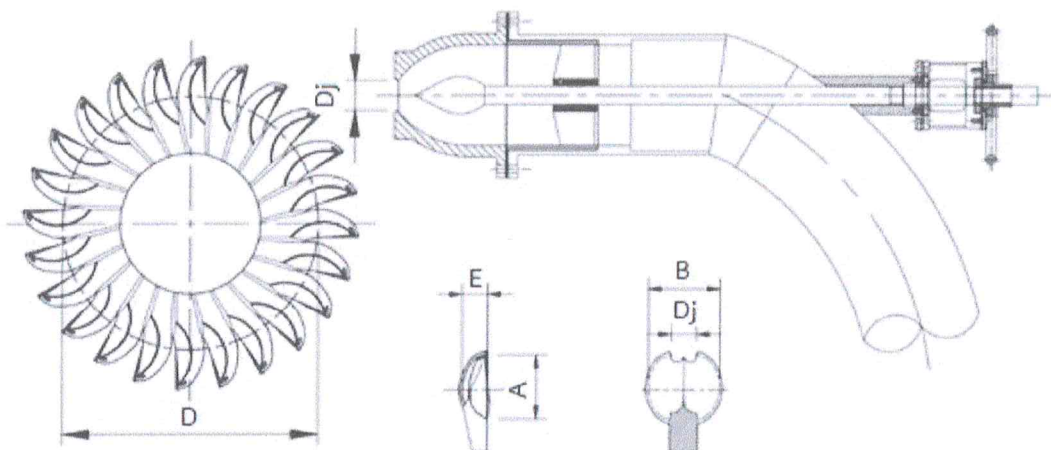
ที่ $T = Fr_m$ (3.13)

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำกับใบพัด (N)

r_m คือ ระยะของจุดศูนย์กลางใบพัดถึงจุดศูนย์กลางที่ลำนํ้าปะทะ (m)

3.3.6. การคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน

การคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำชนิดเพลตันสามารถสรุปได้ ดังนี้



รูปที่ 3.15 แบบขนาดของกังหันน้ำก่อนดำเนินการผลิต

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตของใบพัดกังหันน้ำชนิดเพลตัน[4]

$$D = \frac{40.8\sqrt{H}}{N} \quad (3.14)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตใบพัด (m)

ขนาดของหัวฉีด[4]

$$D_j = 1.178 \sqrt{\frac{Q}{K\sqrt{gH}}} \quad (3.15)$$

เมื่อ D_j คือ ขนาดของหัวฉีด (m)

K คือ จำนวนหัวฉีด

ความกว้างของใบพัด[4]

$$B = 1.68 \sqrt{\frac{Q}{K\sqrt{H}}} \quad (3.16)$$

เมื่อ B คือ ความกว้างของใบพัด (m)

โดยอัตราส่วน $(D/B) > 2.7$ เสมอหากไม่เป็นไปตามข้อมูลเราจะต้องคำนวณ D ใหม่

ความยาวของใบพัด[3]

$$A = 2.945 \sqrt{\frac{Q}{K\sqrt{H}}} \quad (3.17)$$

เมื่อ A คือ ความยาวของใบพัด (m)

ความลึกของใบพัด[3]

$$E = 1.1191 \sqrt{\frac{Q}{K\sqrt{H}}} \quad (3.18)$$

เมื่อ E คือ ความลึกของใบพัด(m)

จำนวน ใบพัด[3]

$$Z = \frac{D}{D_j} + 15 \quad (3.19)$$

เมื่อ Z คือ จำนวนของใบพัด ($Pcs.$)

3.3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์การตัดสินใจการลงทุน สามารถพิจารณาจาก

3.3.1. ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value, NPV) [15]

ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิซึ่งเป็นการหาผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนในช่วงเวลาที่กำหนดของโครงการ ตลอดจนอายุโครงการ ซึ่งผลรวมจะชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าหรือไม่ สามารถหาได้จาก สมการ 3.20

$$NPV = \frac{\sum_{t=1}^n (B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (3.20)$$

เมื่อ B_t คือ ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ 1, 2, 3, ...n

C_t คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการเริ่มตั้งแต่ปีที่ 1, 2, 3, ...n

r คือ อัตราดอกเบี้ย

t คือ อายุโครงการ

n คือ อายุสิ้นสุดโครงการ

การตัดสินใจ

ถ้า $NPV > 0$ หมายถึง การลงทุนมีความคุ้มค่าเพราะผลประโยชน์ของโครงการมีมากกว่าค่าใช้จ่ายโครงการ โครงการนี้สมควรลงทุน

ถ้า $NPV = 0$ หมายถึง ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการที่ปรับมูลค่าปัจจุบันมีค่าเท่ากัน ดังนั้นโครงการนี้จึงไม่ก่อให้เกิดผลกำไร ดังนั้นโครงการนี้ไม่สมควรลงทุน

ถ้า $NPV < 0$ หมายถึง ค่าใช้จ่ายโครงการมีมูลค่ามากกว่าผลประโยชน์ของโครงการ ดังนั้นโครงการนี้ไม่สมควรลงทุน

3.3.2. อัตราผลตอบแทนของโครงการ(Internal Rate of Return, IRR) [15]

อัตราที่ผลตอบแทนและต้นทุนที่ได้คิดลดเป็นค่าในปัจจุบันแล้วเท่ากัน อัตราที่กล่าวถึงจึงเป็นอัตราความสามารถของเงินลงทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มทุนกับเงินลงทุน

วิธีการคำนวณหาค่า IRR นี้คล้ายกับ ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV)แต่ต่างกันที่จะต้องทดลองสุ่มค่าให้ ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV)มีค่าเท่ากับ 0 โดยสมการ 3.21

$$\frac{\sum_{t=1}^n (B_t - C_t)}{(1+Irr)^t} = 0 \quad (3.21)$$

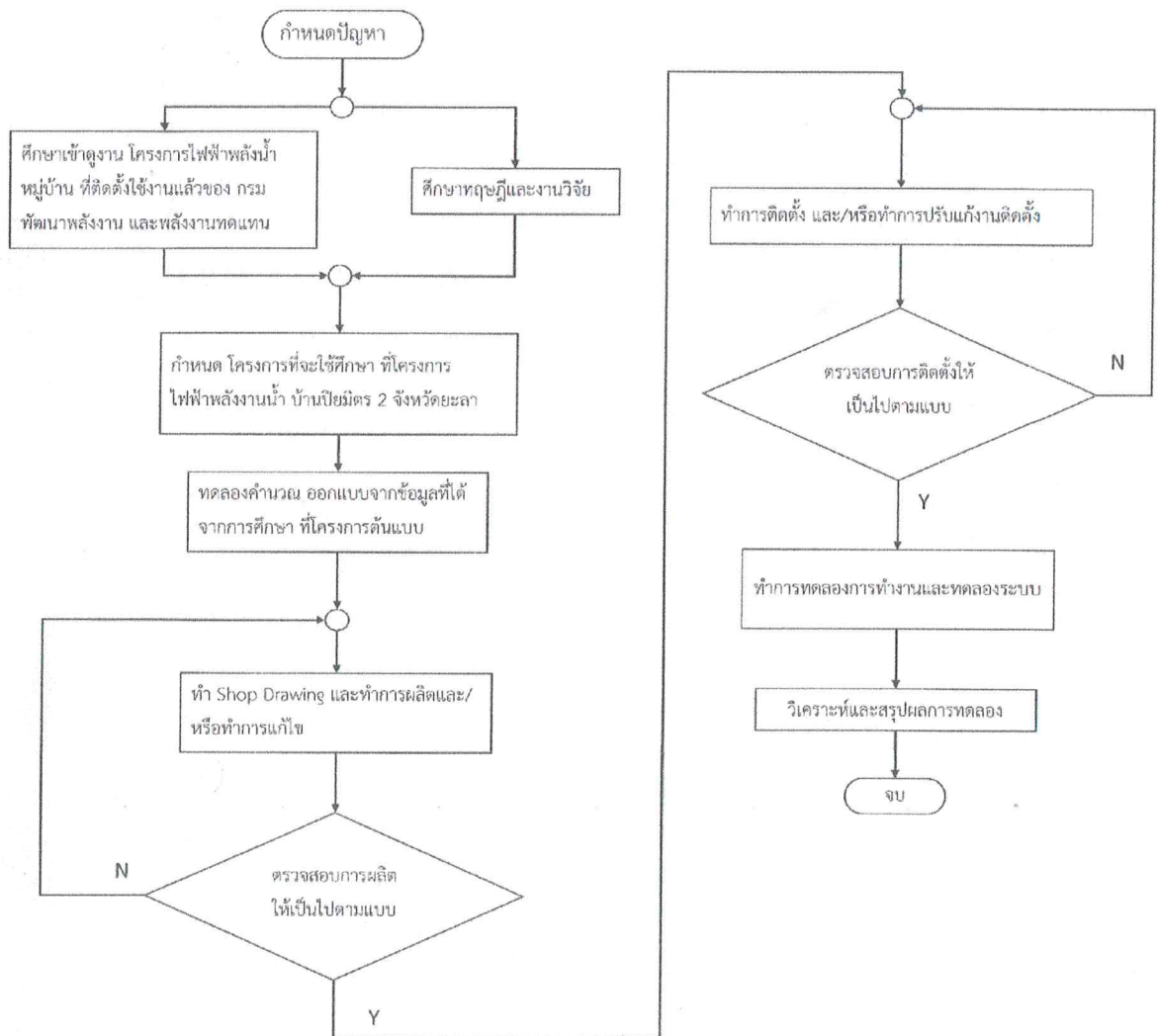
บทที่ 4

การประยุกต์ใช้และสร้างกังหันน้ำ แบบเพลตัน

สำหรับโครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2

4.1. การคำนวณด้วยโปรแกรมเพื่อหาขนาดของกังหันน้ำ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้กังหันน้ำ แบบเพลตัน โดยการรวบรวมนำสมการจากทฤษฎีมาร่วมในการผลิต ติดตั้งและทดสอบใช้งานที่ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 4.1 เป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนิน โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ ตาม บทที่ 1
2. ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ขอเข้าดูพื้นที่การติดตั้ง ทดสอบ การดำเนินงาน รวมถึง กำหนดโครงการที่จะทำการศึกษา โดยงานที่เกี่ยวข้องที่มีการติดตั้งและใช้งานจริงในประเทศไทย อาทิ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำจากฝาย บ้านห้วยปูลิง จังหวัดแม่ฮ่องสอน สามารถผลิตได้ 32 กิโลวัตต์, โครงการไฟฟ้าพลังน้ำจากฝาย บ้านห้วยแก้ว จังหวัดแม่ฮ่องสอน สามารถผลิตได้ 34 กิโลวัตต์ , โครงการไฟฟ้าพลังน้ำจากฝาย บ้านห้วยแม่ตำน้อย จังหวัดเชียงราย สามารถผลิตได้ 41 กิโลวัตต์ เป็นต้น
3. ทำการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำตามเงื่อนไขของโครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2
4. หลังจากได้ข้อมูลขนาดต่างๆของกังหัน ก็ทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Solid Work และทำการผลิต จากนั้นทำการตรวจสอบว่าเป็นไปตามแบบหรือไม่สุดท้ายนำไปติดตั้งที่สถานที่ที่โครงการฯ จังหวัดยะลา
5. ทำการทดสอบเครื่องกังหันน้ำหลังจากติดตั้ง พร้อมทั้งบันทึกผลการทดสอบสมรรถนะ และผลการทดสอบการติดตั้งของกังหันน้ำ
6. สรุปผล

สำหรับขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยจะเริ่มจากการหาค่าพารามิเตอร์หลักของการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำ ได้แก่ อัตราการไหล และ เหนด ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์ส่งกำลัง และทำการคำนวณหาขนาดของใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงล้อใบพัด จำนวนใบพัด ขนาดของหัวฉีด แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิต ติดตั้ง สุดท้ายทดสอบและสรุปผล เป็นลำดับ

4.1.1.โปรแกรม MATLAB

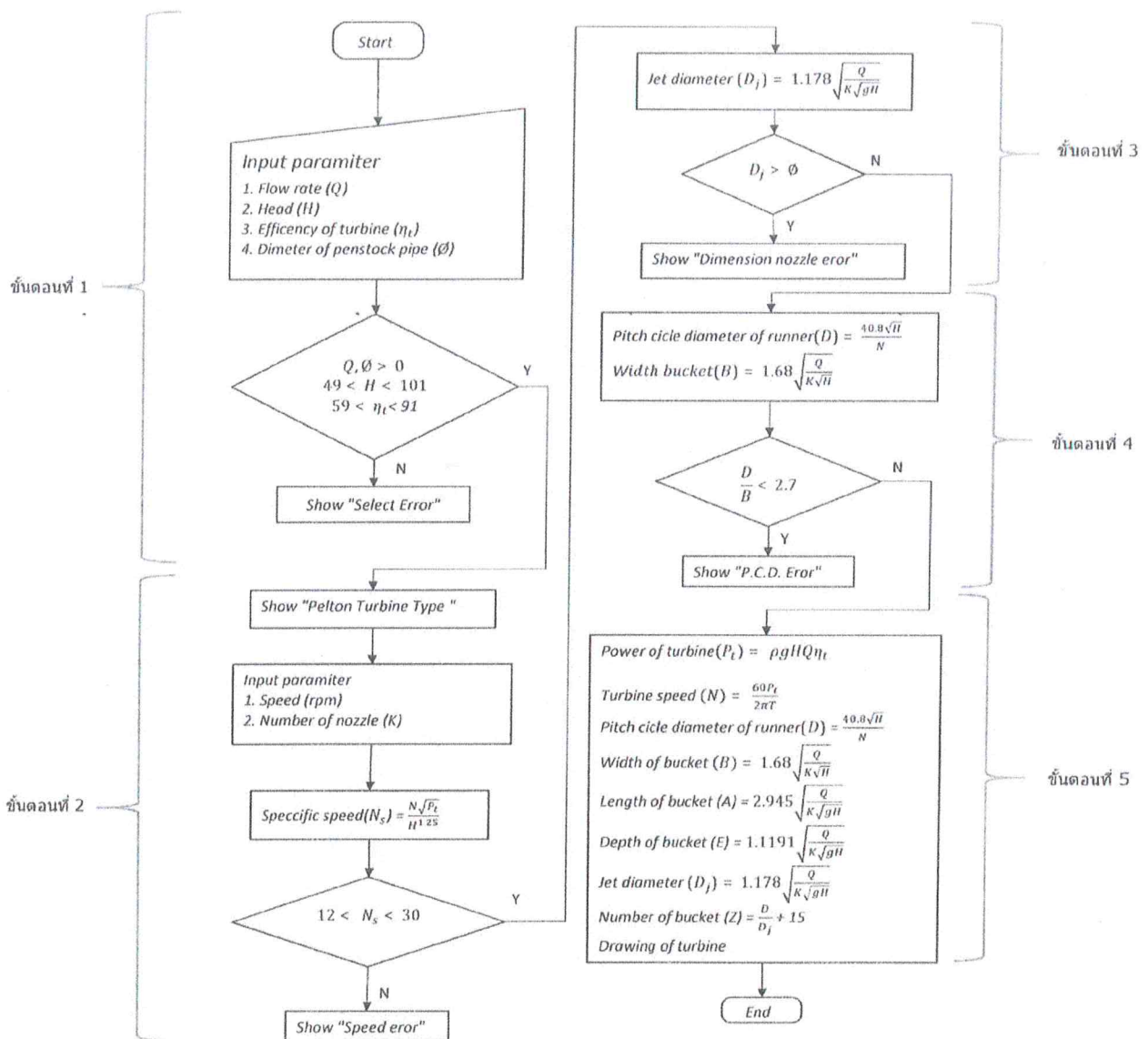
MATLAB เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงที่ใช้ในงานทางเทคนิค โดยภาษาที่ใช้ก็คล้ายกันกับ ภาษา C และสมการที่ใช้ก็เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่คุ้นเคยกันดีอยู่แล้ว ตัวโปรแกรมสามารถการคำนวณและแสดงผลในตัวโปรแกรมเดียวกัน งานที่นำโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) การสื่อสาร (Communication) การประมวลผลภาพและวีดีโอ (Image and Video Processing) ระบบควบคุม (Control System) การวัดและควบคุม (Instrument and Control) การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ (Economic) การคำนวณทางชีววิทยา (Biology) เป็นต้นการติดต่อ ระหว่างโปรแกรม MATLAB กับผู้ใช้ มีทั้งสิ้น 2 แบบ คือ แบบกราฟฟิก (Graphic User Interface หรือ GUI) และ แบบที่ให้ผู้ใช้งานป้อนคำสั่งผ่านทางคีย์บอร์ดโดยตรง

(Command Line) ซึ่งไม่ว่าจะวิธีไหนก็ตาม โปรแกรมก็จะดำเนินการตามเงื่อนไขและสมการที่กำหนดไว้และผลที่จะแสดงออกมาก็จะเป็นในรูปแบบต่างๆ ตามความประสงค์ของผู้ใช้ได้ทั้งสิ้น ในการศึกษาและการวิจัยนั้น โปรแกรมนี้ถือว่ามีค่าเป็นอย่างมากสำหรับช่วยในการคำนวณทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ดังเหตุผลที่กล่าวมา



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ด้วยโปรแกรม MATLAB

4.1.2. ขั้นตอนและวิธีการคำนวณของโปรแกรมคำนวณขนาดกังหันน้ำ



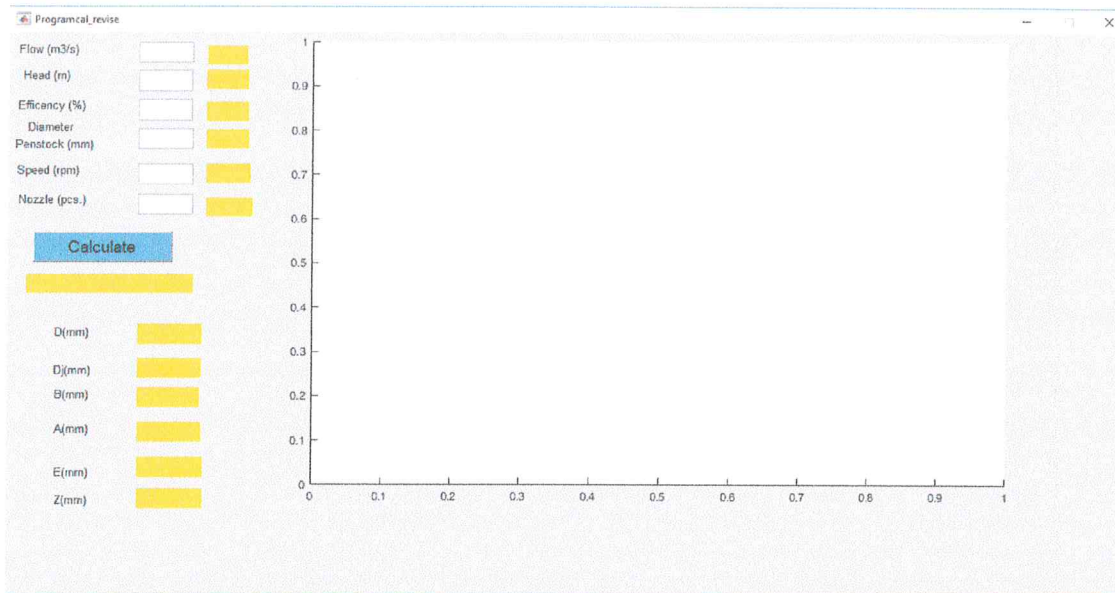
รูปที่ 4.3 แผนผังขั้นตอนของโปรแกรมคำนวณขนาดของกังหันน้ำ

จากรูปที่ 4.3 เป็นแผนผังขั้นตอนของโปรแกรมคำนวณขนาดของกังหันน้ำโดยมีขั้นตอน คือ

1. ผู้ใช้งานจะกรอกค่าตัวแปรหลักจำนวน 5 ค่า คือ อัตราการไหล(Q) ,เฮด(H),ประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่จะออกแบบ(η_T) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่งน้ำ (ϕ) ซึ่งโปรแกรมจะรับค่าที่ได้นี้เป็นขั้นตอนหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.3 โดยโปรแกรมจะพิจารณาค่าที่กรอกว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ ซึ่งถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขก็เก็บค่าตัวแปรไว้และดำเนินการขั้นตอนต่อไป

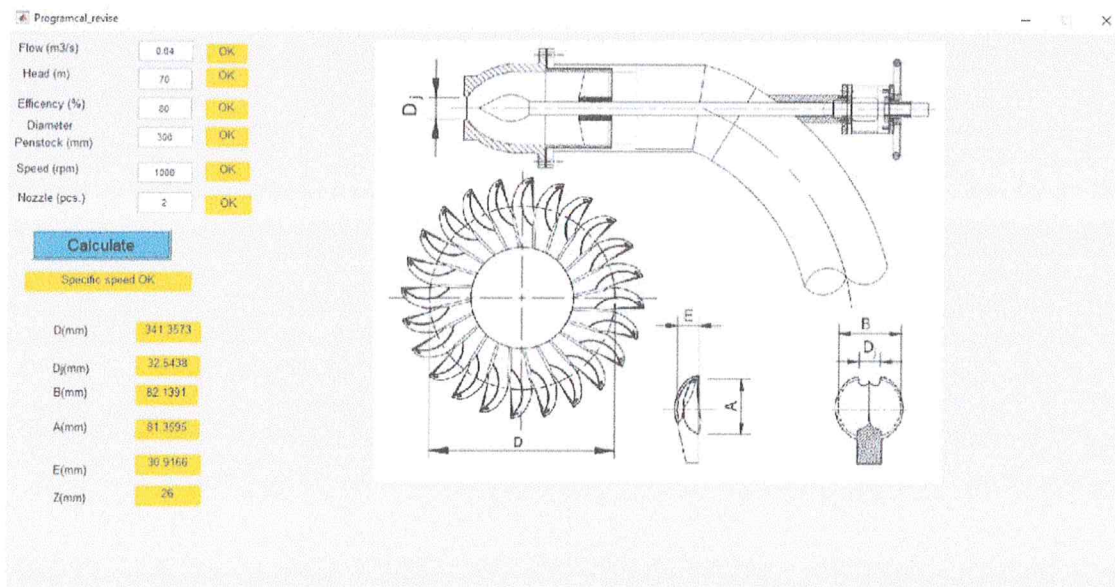
2. สำหรับขั้นตอนหมายเลข 2 แสดงดังรูปที่ 4.3 โปรแกรมจะแสดงว่ากังหันเป็นชนิด เพลดันตามเงื่อนไข และจะให้กรอกค่าตัวแปรเพิ่มเติมได้แก่ ความเร็วรอบของกังหันน้ำ และจำนวนหัวฉีด ซึ่งขั้นตอนนี้หลังจากผู้ใช้กรอกค่า โปรแกรมจะพิจารณาค่า ความเร็วจำเพาะว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่หากไม่เป็นไปก็จะแจ้งว่า ความเร็วรอบไม่ถูกต้องหากเป็นไปตามเงื่อนไขก็จะเก็บค่าความเร็วรอบของกังหันไว้และดำเนินการเข้าสู่ระบบขั้นต่อไป
3. สำหรับขั้นตอนหมายเลข 3 แสดงดังรูปที่ 4.3 หลังจากโปรแกรมวิเคราะห์ความเร็วรอบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขแล้ว ก็จะดำเนินการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดและพิจารณาว่าขนาดจากการคำนวณเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ โดยหากเป็นไปตามเงื่อนไขโปรแกรมก็จะเก็บค่าตัวแปรไว้และดำเนินการขั้นตอนต่อไป
4. สำหรับขั้นตอนหมายเลข 4 แสดงดังรูปที่ 4.3 โปรแกรมจะนำตัวแปรเฮด(H)และความเร็วรอบ(N) มาคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด(D) จากนั้นก็นำตัวแปรอัตราการไหล(Q) และจำนวนหัวฉีด(K) มาคำนวณหาความกว้างของใบพัด(B) จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์เงื่อนไขอีกครั้ง โดยหากเป็นไปตามเงื่อนไขของโปรแกรม โปรแกรมก็จะดำเนินการขั้นต่อไป
5. สำหรับขั้นตอนหมายเลข 5 แสดงดังรูปที่ 4.3 เมื่อขั้นตอนหมายเลข 4 เป็นไปตามเงื่อนไข โปรแกรมก็จะคำนวณ หาขนาดกำลังผลิตของกังหันน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ความลึกท้องใบพัด ความกว้างและความยาวของใบพัด สุดท้ายคือจำนวนใบพัดจากนั้นก็แสดงรูปภาพประกอบการผลิต

โครงการไฟฟ้าบ้านปียมมิตร 2 จังหวัดยะลา ข้อมูลที่ได้รับอัตราการไหล(Q) 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ,เฮด(H)70 เมตร, ประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่ 80% ท่อส่งน้ำ ขนาด 12 นิ้ว ทำการคำนวณด้วยโปรแกรมฯ โดยกำหนดความเร็วรอบของกังหันที่ 1,000 รอบต่อนาที หัวฉีดจำนวน 2 หัว และใช้สายพานในการทดรอบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยี่ห้อ Stamford รุ่น UCI 224C ขนาด 42.5 KVA (34 Kw) ที่โหลด 37.5 KVA (30 Kw) วาล์วที่ใช้เป็น Butterfly Valve ขนาด 12" (DN300 mm.) ยี่ห้อ SCI รุ่น LP4926G จากข้อมูลข้างต้นจะได้ข้อมูลที่จะนำไปผลิต ดังตาราง 4.1 และ รูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.4 หน้าต่างโปรแกรมคำนวณโดยใส่ข้อมูลของ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านปิยมิตร 2

รูปที่ 4.4 เป็นหน้าต่างของโปรแกรมซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเขียนขึ้นมา ให้ช่วยคำนวณและตรวจสอบเงื่อนไขที่กำหนดไว้ หลังจากเปิดโปรแกรมขึ้นมาหน้าต่างนี้ก็จะแสดงขึ้น จากนั้นทำการกรอกข้อมูลของโครงการบ้านปิยมิตร 2 ลงไปในโปรแกรม



รูปที่ 4.5 หน้าต่างโปรแกรมแสดงขนาดต่างๆของกังหันน้ำ แบบเพลดัน

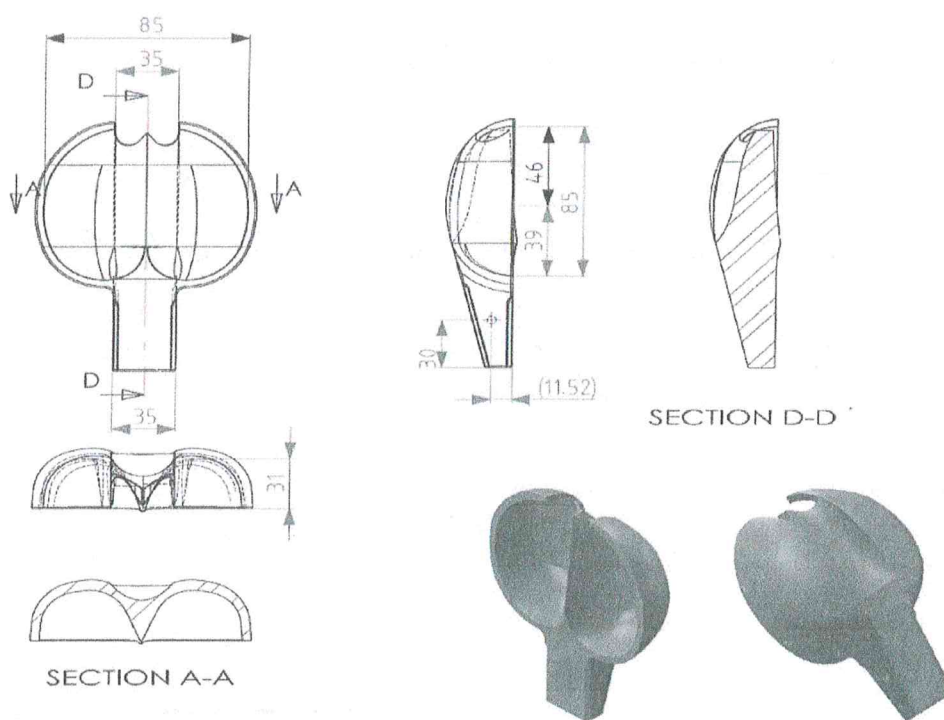
รูปที่ 4.5 เป็นหน้าต่างของโปรแกรมซึ่งหลังจากได้กรอกข้อมูลโครงการลงไป โปรแกรมก็จะแสดงข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีต ความลึกท้องใบพัด ความกว้างและความยาวของใบพัด สุดท้ายคือจำนวนใบพัด โดยนำมาสรุปได้ดังนี้

4.2. การผลิตกังหันน้ำ แบบเพลตัน

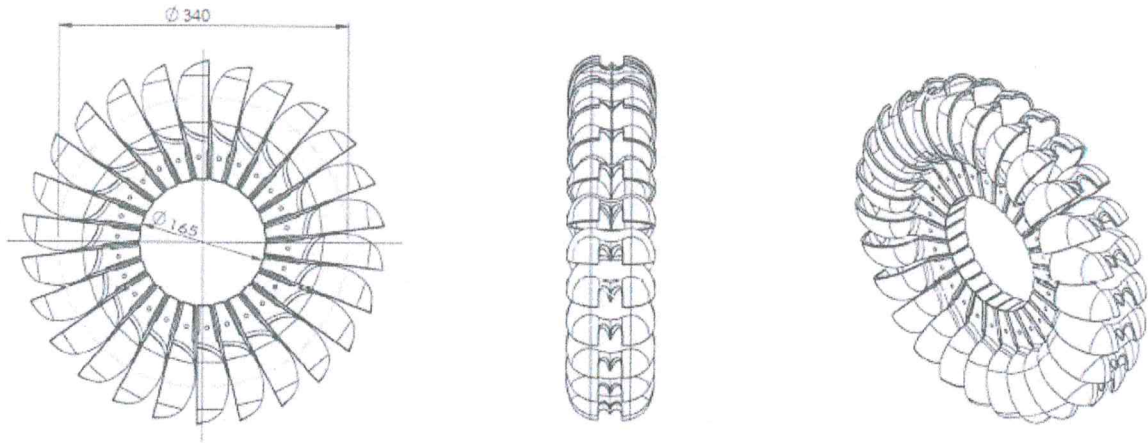
หลังจากที่ได้ข้อมูลการผลิตกังหันน้ำ แบบเพลตันสำหรับโครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา จึงเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยสรุปข้อมูล ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำระหว่างการคำนวณและค่าที่ใช้ผลิต

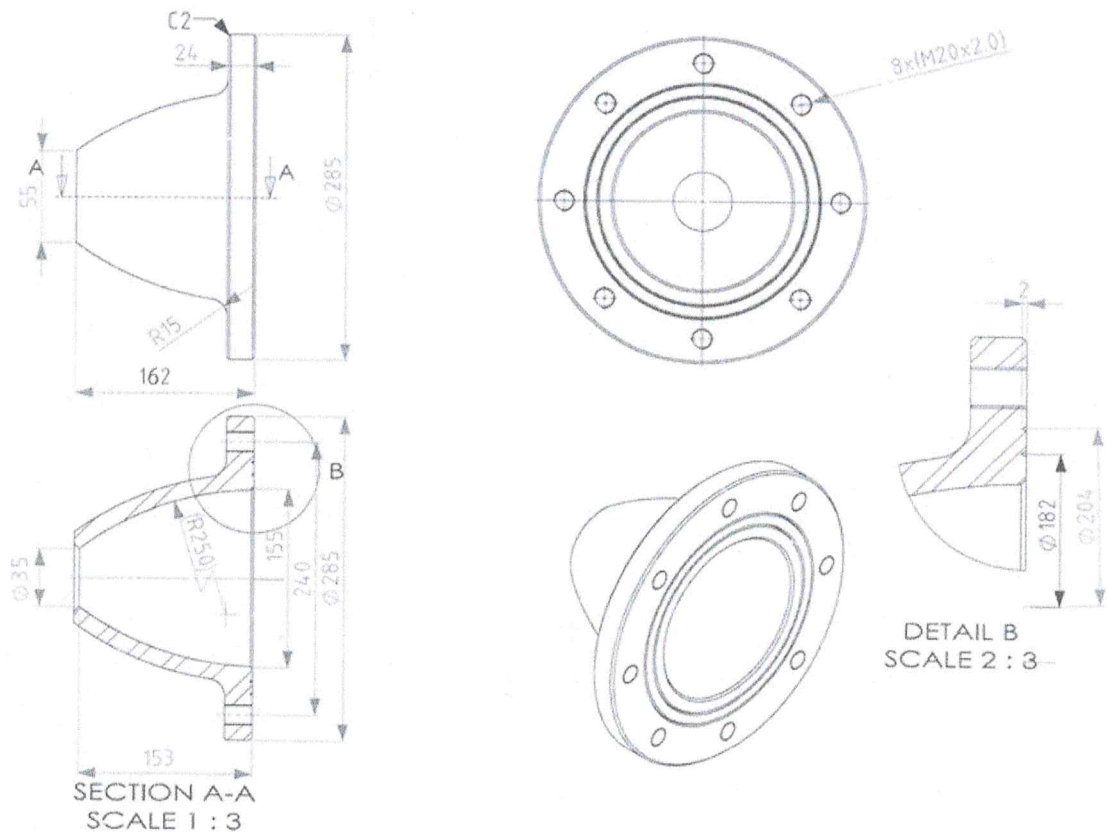
No.	Detail	MAT LAB	Manufacture	Unit
1	Power	21.97	21.97	Kw
2	Type	Pelton	Pelton	-
3	Pitch circle diameter (D)	341.35	340	mm.
4	Jet diameter(D_j)	32.54	35	mm.
5	Width blade(B)	82.14	85	mm.
6	Length Blade(A)	81.36	85	mm.
7	Depth of blade(E)	30.92	31	mm.
8	Number of blade(Z)	26	26	Pcs.



รูปที่ 4.6 แบบใบพัดกังหันน้ำเพลตัน



รูปที่ 4.7 แบบการประกอบใบพัดกั้นน้ำพลตัน

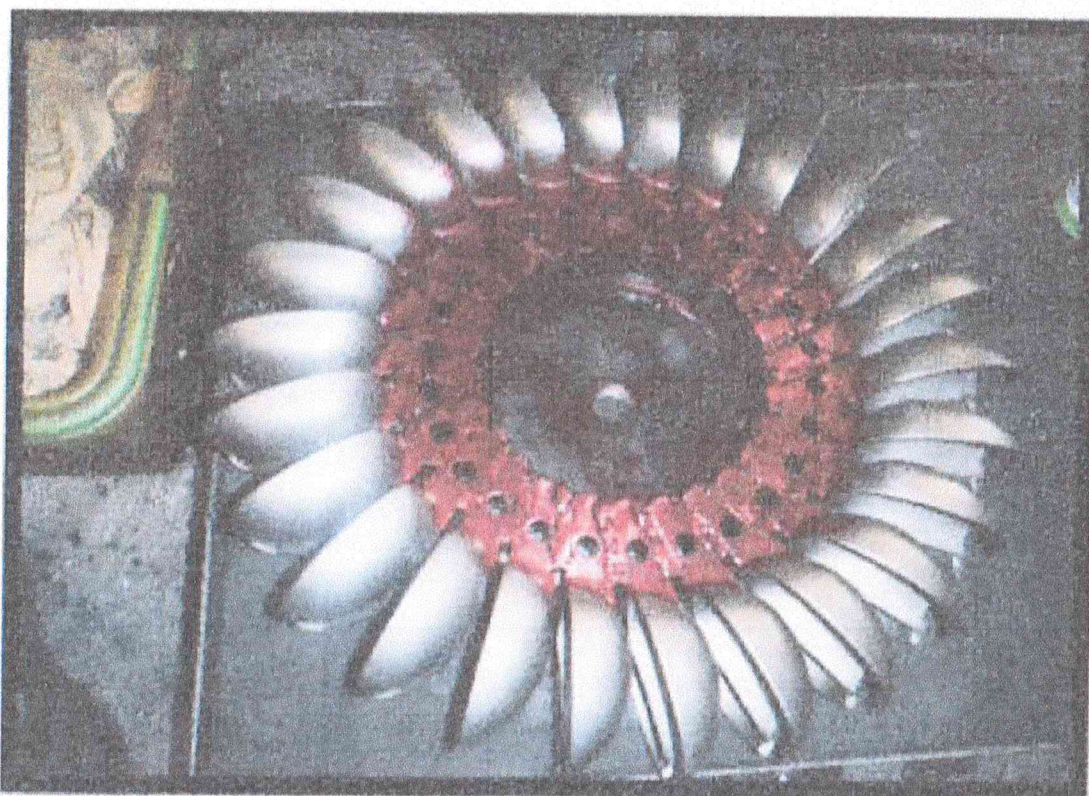


รูปที่ 4.8 แบบหัวฉีด กั้นน้ำพลตัน

ภายหลังดำเนินการผลิตใบพัดได้ตามจำนวน ก็นำไปประกอบใบพัดและทำการยึดให้ใบพัดเป็นชิ้นเดียวกันทั้งวงล้อโดยวิธีการเชื่อม จากนั้นทดสอบรอยแนวเชื่อมด้วยการทำ PT Test แล้วขั้นตอนต่อไปคือ การทำ Balance เพื่อป้องกันการสั่น



รูปที่ 4.9 การเชื่อม วงล้อใบพัดกังหันน้ำเพลตัน



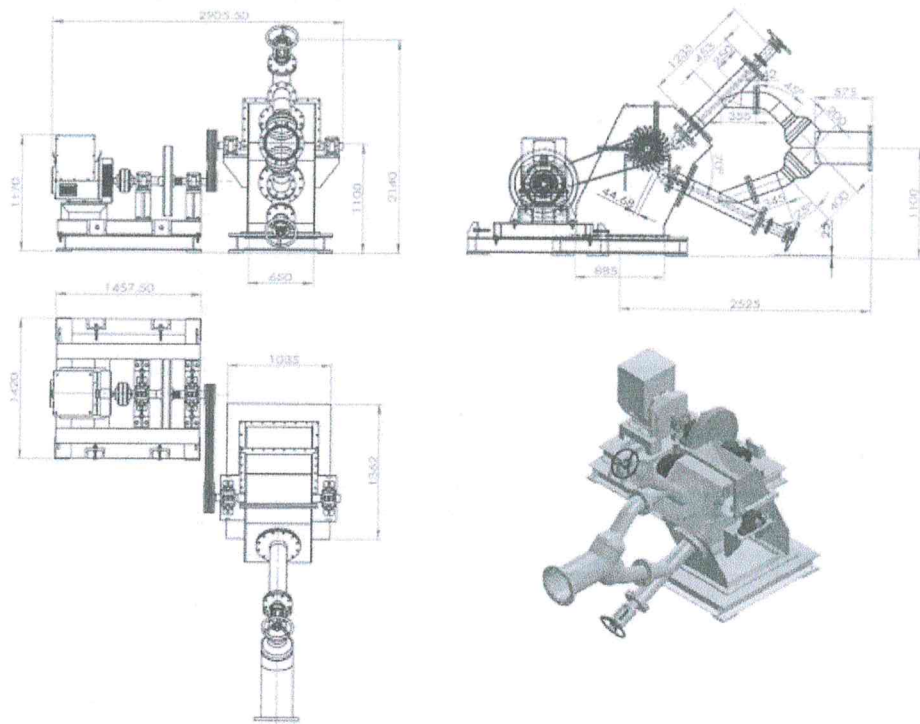
รูปที่ 4.10 การทำ PT เทสแนวเชื่อมวงล้อใบพัดกังหันน้ำเพลตัน

รูปที่ 4.11 เป็นรูปที่แสดงการทำ PT เทสแนวเชื่อมวงล้อไบพดกัณฑ์น้ำเพลตัน ซึ่งกรรมวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อค้นหารอยแตกตามแนวเชื่อม วิธีการทดสอบ คือ ภายหลังกการเชื่อมให้ทำความสะอาดแนวเชื่อมให้สะอาดและทาน้ำยาเคมี ตัวที่ 1 ที่มีสีขาวลงบนชิ้นงาน จากนั้นทิ้งให้แห้งตามข้อมูลวิธีการใช้ ซึ่งแต่ละยี่ห้อจะไม่เหมือนกัน จากนั้นให้ทาน้ำยาเคมีที่ 2 ที่มีสีแดง ทาทับลงบนแนวเชื่อม ทิ้งไว้สักพัก หากแนวเชื่อมมีรอยแตก น้ำยาตัวแรก(สีขาว) จะปรากฏให้เห็นทันที ซึ่งจากรูป แนวเชื่อมต่อของไบพดกัณฑ์น้ำ ไม่พบรอยแตก ชิ้นงานเชื่อมยึดติดแน่นหนา



รูปที่ 4.11 การบาลานด์ ไบพดกัณฑ์น้ำเพลตัน

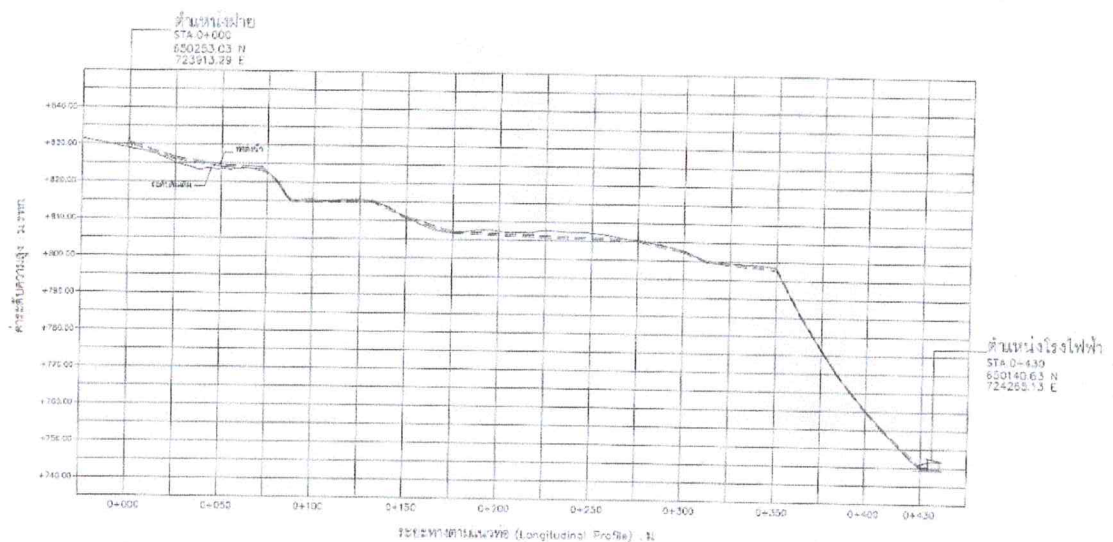
รูปที่ 4.11 เป็นรูปที่แสดงการบาลานด์ ชุดไบพดหลังจากที่ได้นำวงล้อไบพดกัณฑ์น้ำที่เชื่อมเสร็จแล้วนำไปประกอบเข้ากับเพลลา ขั้นตอนนี้อาจเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากไม่นำไปบาลานด์เพื่อให้ไบพดมีความสมดุลแล้ว เมื่อนำไปประกอบและใช้งาน ไบพดอาจเกิดการสั่นได้ โดยการบาลานด์นี้ ผู้ปฏิบัติงานจะเติมน้ำหนักเพิ่มขึ้นโดยวิธีการยึดติดชิ้นน้ำหนักกับชุดไบพด หรือลดลงโดยการเจาะผิวชิ้นงานเพื่อเอาเนื้อผิวงานออกให้น้ำหนักลดลง ซึ่งโครงการนี้ใช้ความเร็วรอบที่จุดใช้งานที่ 1,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.12 แบบการประกอบกังหันน้ำ แบบเฟลตตันโครงการฯ ปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา

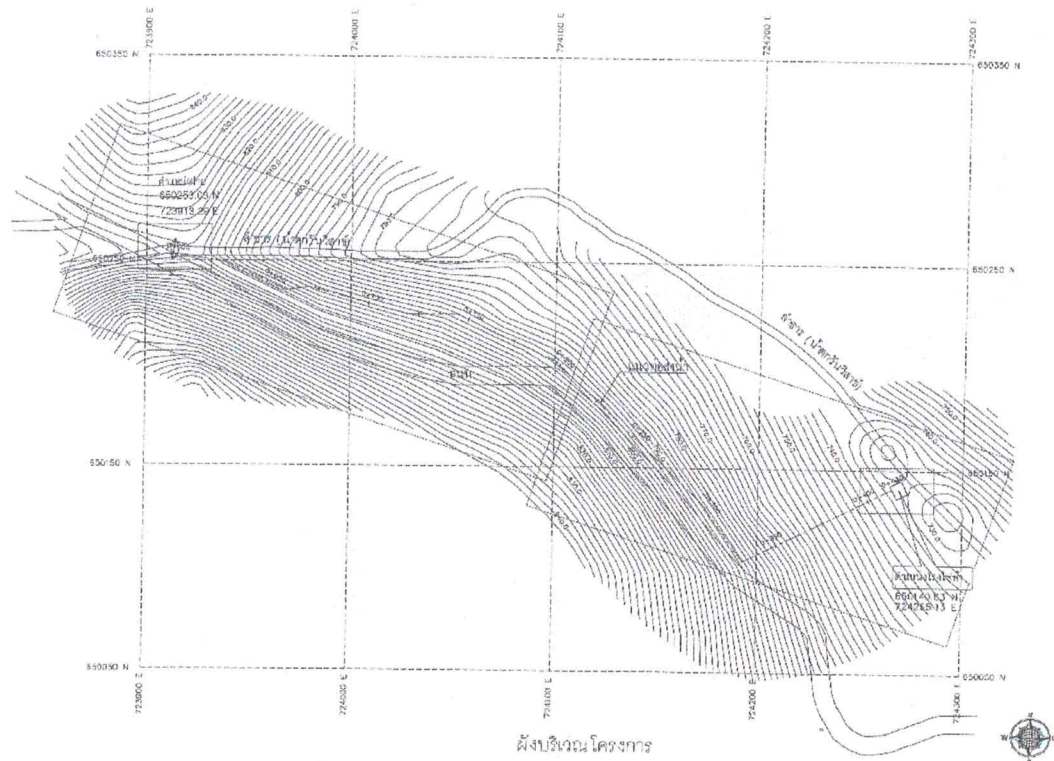
รูปที่ 4.12 เป็นแบบการประกอบกังหันน้ำ แบบเฟลตตันโครงการฯ ปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา โดยเมื่อผลิตทั้งหมดแล้วเสร็จก่อนดำเนินการขนส่งเครื่อง เข้าไปที่โครงการฯ จำเป็นต้องทดสอบประกอบเพื่อตรวจสอบเบื้องต้นก่อน

ก่อนการดำเนินงานติดตั้งจำเป็นต้องไปที่โครงการเพื่อ ทำการตรวจสอบระดับระหว่างฝายและระดับของท่อชักน้ำที่โรงไฟฟ้าของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำหมู่บ้านปิยมิตร จังหวัดยะลา



รูปที่ 4.13 แบบตัดตามยาว ตำแหน่งฝายและตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้า โครงการฯ ปิยมิตร 2

รูปที่ 4.13 เป็นการเช็กระดับระหว่างตำแหน่งฝายกับโรงไฟฟ้า ซึ่งวิธีการนี้เป็นการปฏิบัติงานเพื่อทำการตรวจทานแนวระดับของ เสด ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร และเป็นการตรวจทานระบบท่อชักน้ำไปในตัวด้วย โดยวิธีการปฏิบัติงานนี้ส่วนใหญ่ อาจทำการส่องกล้องเป็นระยะแล้วนำมาบันทึกผลโดยทำเป็นแบบภาพตัดได้ดังรูป



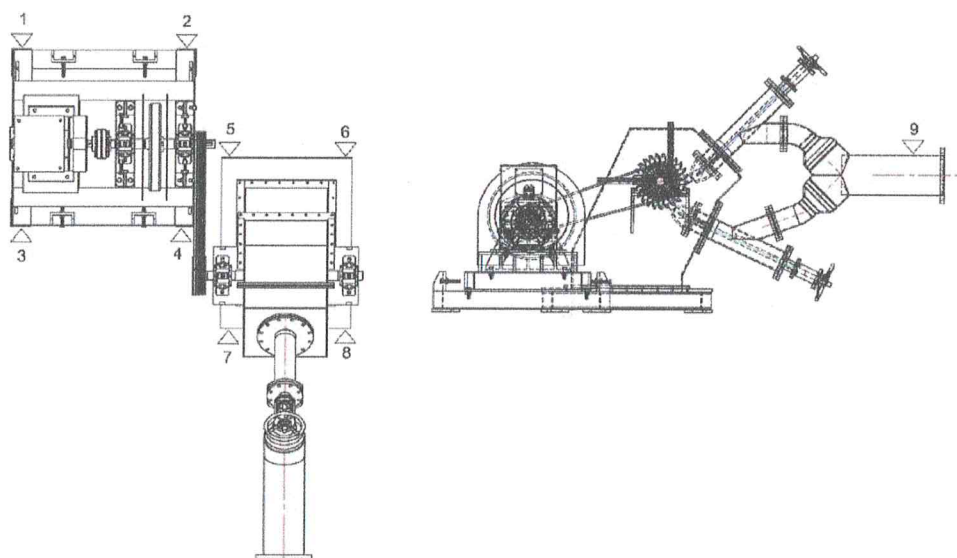
รูปที่ 4.14 ฝังบริเวณ ตำแหน่งฝายและตำแหน่งติดตั้งโรงไฟฟ้า โครงการฯ ปิยมิตร 2

รูปที่ 4.14 เป็นการเช็กระดับระหว่างตำแหน่งฝายกับโรงไฟฟ้า รูปนี้มีจุดประสงค์คล้ายกันกับรูปที่ 4.14 แต่มีข้อแตกต่างคือเป็นรูปภาพที่แสดง แบบฝังบริเวณโครงการ(Top view) แบบฝังนี้จัดทำขึ้นเพื่อต้องการดูแนวท่อลำเลียงน้ำและอุปสรรคของการติดตั้งรวมถึงจุดสถานที่สำคัญต่างๆรอบโครงการ โดยวิธีการปฏิบัติงานจะทำเหมือนการวัดระดับแนวท่อชักน้ำ



รูปที่ 4.15 การทำความสะอาดท่อชักน้ำ

รูปที่ 4.15 เป็นรูปที่แสดงการทำความสะอาดท่อชักน้ำ หรือที่เรียกว่าการล้างท่อ ขั้นตอนนี้เป็น การชำระล้างท่อให้สะอาดปราศจากเศษหิน เศษปูนที่ปนเปื้อนและที่คั่งค้างในเส้นท่อ โดยเราจะทำการปล่อยน้ำที่มาจากฝายปล่อยให้ไหลผ่านท่อ จนสังเกตเห็นน้ำที่ไหลมามีความใสสะอาดไม่ขุ่นแดงและไม่มีเศษหิน เศษปูน



รูปที่ 4.16 แบบการเช็คระดับก่อนการติดตั้ง โครงการฯ ปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา

รูปที่ 4.16 เป็นรูปภาพที่แสดงการเช็คระดับ ก่อน-หลัง ของการติดตั้งของเครื่องกังหันน้ำเพื่อเก็บเป็นข้อมูลการติดตั้ง โดยสกรูที่ยึดตัวฐานกับพื้นอาคาร คือ สกรูชนิด J(U Bolt)ซึ่งหลังจากที่เราตั้งระดับแท่นเครื่องได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปเราจะต้องเทคอนกรีตเพื่อเป็นฐานรองรับอีกชั้น และด้วยคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อแห้ง จะมีแรงหดตัวค่อนข้างสูง ระดับฐานเครื่องอาจเกิดการผิตเพี้ยนไปได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลระดับที่มุมฐานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับฐานเครื่องกังหันน้ำ และจุดสุดท้ายที่แนวท่อชักน้ำในอาคารรวมจำนวนทั้งสิ้น 9 จุด ดังรูปที่ 4.16

บทที่ 5

ขั้นตอนการทดสอบ ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

5.1. การทดสอบกังหันน้ำ

การทดสอบกังหันน้ำ แบบเพลตตัน แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ

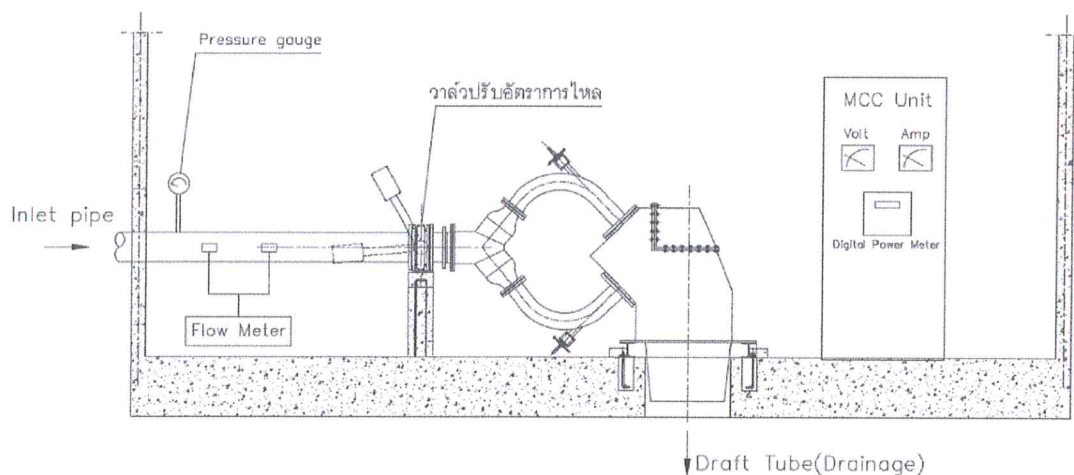
1. การทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำ เป็นการทดสอบวัดอัตราการไหล แรงดันน้ำ(เฮด) กำลังไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณและเขียนกราฟสมรรถนะของกังหันน้ำที่ผลิตขึ้น
2. การทดสอบการติดตั้ง เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการติดตั้ง กรณีที่เครื่องกังหันน้ำทำการใช้งานที่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่สูงที่สุด โดยทำการเก็บค่าดังนี้ การวัดค่าระดับเสียงของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน, การวัดค่าอุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน, การวัดค่าการสั่นของชุดลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงานและการวัดค่าระดับแท่นเครื่องกังหันน้ำและแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนและหลังฐานคอนกรีต และสุดท้ายการวัดค่าเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา (Alignment Test)

5.1.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงรายการเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย
1	เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก	1	เครื่อง
2	เกจวัดแรงดัน ขนาด 16 บาร์	1	เครื่อง
3	Digital Power meter	1	เครื่อง
4	เครื่องวัดการสั่น (Vibration Sensor)	1	เครื่อง
5	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)	1	เครื่อง
6	เครื่องวัดเสียง (Sound Sensor)	1	เครื่อง
7	กล้องวัดระดับ	1	เครื่อง
8	เครื่องวัดการเยื้องศูนย์ (Dial gauge and Magnetic stand)	1	เครื่อง

5.1.2. การทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำ แบบเพลตัน



รูปที่ 5.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบสมรรถนะกังหันน้ำ

รูป 5.1 เป็นรูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบสมรรถนะกังหันน้ำโดยจะทำการติดตั้ง Flow Meter ชนิด Ultrasonic ยี่ห้อ MAXI FLOW เพื่อวัดอัตราการไหลที่ท่อชักน้ำ

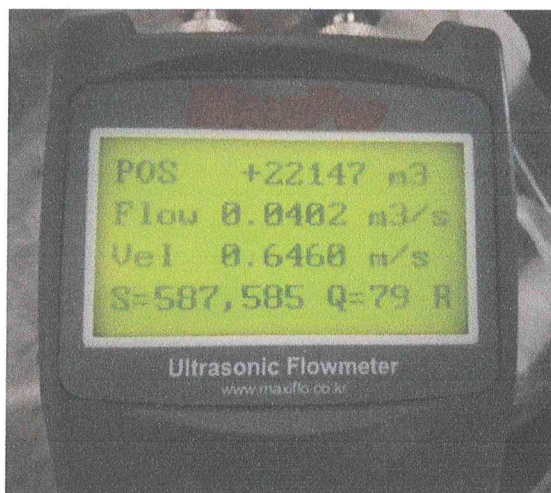
กรรมวิธีการทดสอบสมรรถนะ จะทำการเปิดลิ้นวาล์วปรับอัตราการไหลทุกๆ 10% จนถึง 100% และขณะเดียวกันก็จะทำการจดบันทึกอัตราการไหล กำลังไฟฟ้า เฮต(แรงดันน้ำ) จากนั้นปิดเครื่องและทำการทดสอบซ้ำด้วยวิธีเดิมอีก 2 ครั้งเพื่อเก็บข้อมูล



รูปที่ 5.2 การติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหล ชนิด อัลตราโซนิก ยี่ห้อ MAXIFLOW แบบ V Method

รูปที่ 5.2 เป็นการต่อเครื่องวัดอัตราการไหล ชนิด อัลตราโซนิก แบบ V Method ซึ่งตัวเซ็นเซอร์จะมี 2 ตัว สีน้ำเงินและสีแดง หากติดตั้งผิด ค่าที่ได้จะมีค่าเป็นลบ บ่งบอกว่าน้ำไหลใน

ทิศทางที่กลับกัน โดยทำการติดตั้งที่ท่อชักน้ำ ตัวเซ็นเซอร์จะต้องอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน ระยะห่างจะเป็นไปตามที่เครื่องวัดอัตราการไหลกำหนด โดยผู้ใช้จะต้องกรอกขนาดและวัสดุของท่อชักน้ำเข้าไปก่อน



รูปที่ 5.3 หน้าจอแสดงผล เครื่องวัดอัตราการไหล ชนิด อัลตราโซนิก ยี่ห้อ MAXIFLOW

รูปที่ 5.3 เป็นหน้าจอแสดงผลอัตราการไหลของน้ำในท่อ โดยค่าอัตราการไหลที่แสดงในรูปอยู่ที่ 0.0402 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเร็วของน้ำอยู่ที่ 0.6460 เมตรต่อวินาที ความเสถียรของสัญญาณ 79% ซึ่งค่านี้ไม่สมควรน้อยกว่า 60%



รูปที่ 5.4 หน้าจอแสดงผล Digital Power Meter ที่ตู้ควบคุม

รูปที่ 5.4 เป็นรูปหน้าจอแสดงผล Digital Power Meter ที่ตู้ควบคุมโดยค่าที่แสดงเป็นกำลังไฟฟ้าที่พร้อมจะจ่ายไปที่สายส่งแล้ว โดยรูปที่แสดงกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 20.11 กิโลวัตต์

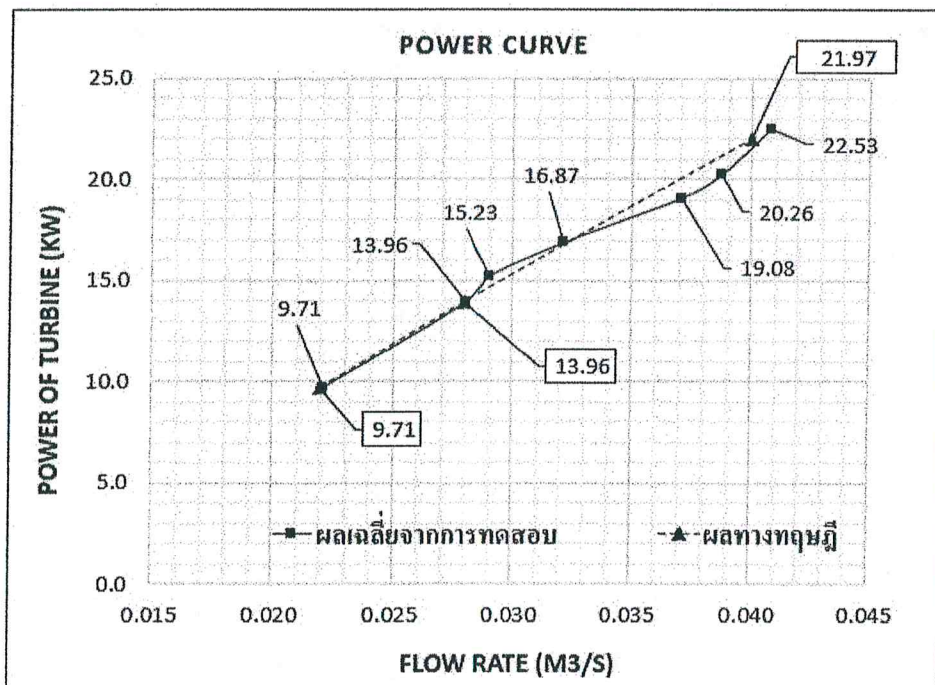
5.1.3. การทดสอบการติดตั้งของกังหันน้ำ แบบเพลตัน

การทดสอบการติดตั้ง เป็นการทดสอบเพื่อใช้ประเมินผลการติดตั้งโดยต้องเปิดเครื่องที่ค่าสูงสุดและทำการเก็บค่าเพื่อเป็นข้อมูลในการบำรุงรักษารายปีต่อไป การทดสอบจะทำการทดสอบจำนวน 5 รายการ ได้แก่

1. การวัดค่าระดับเสียงของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน
2. การวัดค่าอุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน
3. การวัดค่าการสั่นของชุดลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน
4. การวัดค่าระดับแท่นเครื่องกังหันน้ำและแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. การวัดค่าเอียงศูนย์ของข้อต่อเพลลา (Alignment Test)

5.2. ผลการทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำ แบบเพลตัน

5.2.1. ค่ากำลังงานของกังหันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร

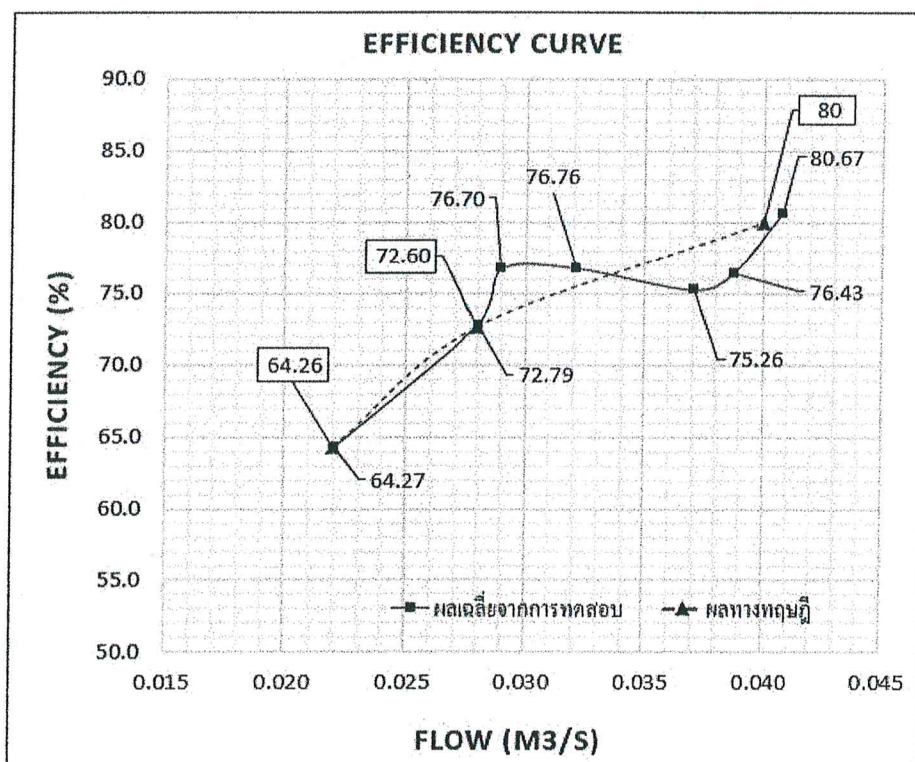


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังงานของกังหันน้ำ ที่เฮด 70 เมตร

จากรูปที่ 5.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง แกน y คือ กำลังผลิตของกังหันน้ำ (Power of turbine) หน่วย คือ กิโลวัตต์กับแกน x คือ อัตราการไหล (Flow rate) หน่วย คือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนเส้นกราฟ คือ แรงดันน้ำ(เฮด)ที่ 70 เมตร โดยเส้นทึบ คือ ผลเฉลี่ยจากการทดสอบ เส้นประ คือ ผลจากทฤษฎี จากกราฟผลจากการทดสอบมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยค่า

กำลังผลิตของกังหันน้ำช่วงระหว่าง 0.020 ถึง 0.025 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีกำลังผลิต 9.71 กิโลวัตต์ ช่วงอัตราการไหลที่ 0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีกำลังผลิต 13.96 กิโลวัตต์ ซึ่งพิจารณาจากกราฟผลการทดสอบกับผลทางทฤษฎีที่กำลังผลิตเท่ากัน ช่วงอัตราการไหลทั้งสองมีผลสอดคล้องกัน แต่เมื่อปรับอัตราการไหลให้มีค่าเพิ่มขึ้นที่ 0.029 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าผลการทดสอบมีแนวโน้มสูงกว่าผลทางทฤษฎี จากนั้นทำการปรับอัตราการไหลให้เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 0.032 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าผลจากการทดสอบมีกำลังผลิตลดลงจนต่ำกว่าผลจากทฤษฎี ทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มต่อไปจนมีค่าเข้าใกล้ช่วงอัตราการไหลที่ออกแบบ 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กำลังผลิตของกังหันมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงกว่าผลจากทฤษฎี โดยค่ากำลังผลิตทางทฤษฎีมีค่า 21.97 กิโลวัตต์ ส่วนกำลังผลิตจากผลการทดสอบอยู่ที่ 22.53 กิโลวัตต์

5.2.2. ค่าประสิทธิภาพของกังหันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร

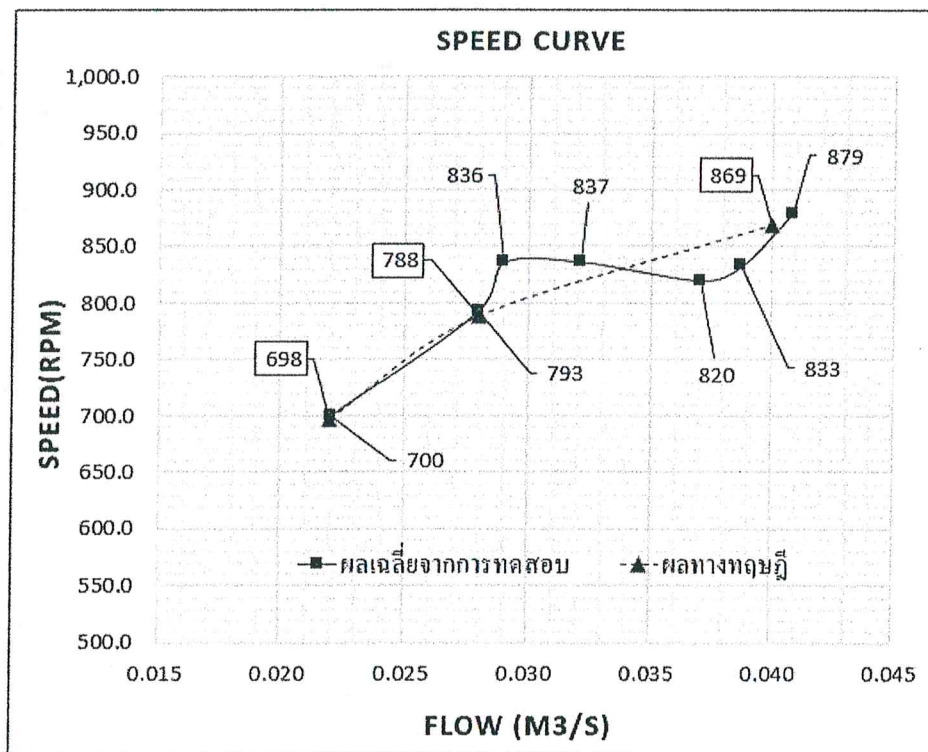


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับประสิทธิภาพกังหันน้ำที่เฮด 70 เมตร

จากรูปที่ 5.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง แกน y คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ (Turbine Efficiency) หน่วย คือ เปอร์เซ็นต์ กับแกน x คือ อัตราการไหล (Flow rate) หน่วย คือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เส้นกราฟ คือ แรงดันน้ำ(เฮด)ที่ 70 เมตร โดยเส้นทึบ คือ ผลเฉลี่ยจากการทดสอบ เส้นประ คือ ผลจากทฤษฎีจากกราฟประสิทธิภาพของกังหันน้ำในช่วงอัตราการไหล 0.020 ถึง 0.025 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และที่ 0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบกังหันน้ำมี

ประสิทธิภาพ 64.27% และ 72.79% ซึ่งผลทางทฤษฎีมีค่า 64.26% และ 72.60% ที่อัตราการไหลตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกราฟจึงมีความสอดคล้องกัน แต่เมื่อทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นพบว่าตั้งแต่ช่วงอัตราการไหล 0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ผลการทดสอบมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าผลทางทฤษฎีและที่ช่วงอัตราการไหล 0.034 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบมีค่าต่ำกว่าผลทางทฤษฎี จนถึงอัตราการไหล 0.037 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบมีค่าประสิทธิภาพ 75.26% จากนั้นทำการปรับอัตราการไหลให้เพิ่มขึ้นต่อไปพบว่ากราฟประสิทธิภาพของการทดสอบมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นโดยจากกราฟผลการทดสอบที่อัตราการไหล 0.039 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีประสิทธิภาพ 76.43% และที่ช่วงอัตราการไหลที่ออกแบบ 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กังหันน้ำชุดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 80.67% ซึ่งมีความมากกว่าผลทางทฤษฎีที่ 80%

5.2.3. ค่าความเร็วรอบกังหันน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลที่เสด 70 เมตร

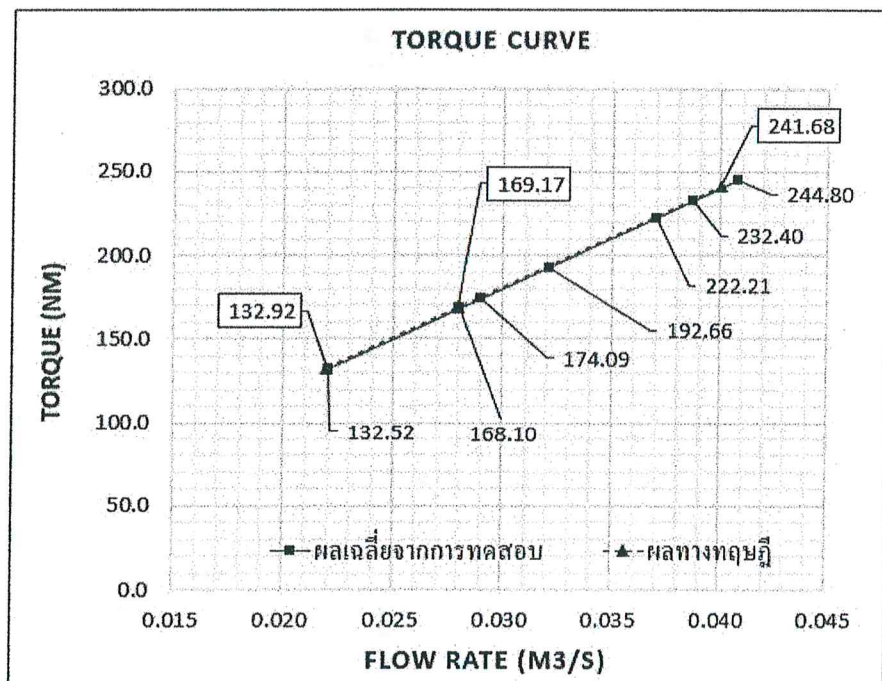


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วรอบกังหันน้ำที่เสด 70 เมตร

จากรูปที่ 5.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง แกน y คือ ความเร็วรอบของกังหันน้ำ (Turbine Speed) หน่วย คือ รอบต่อนาที กับแกน x คือ อัตราการไหล (Flow rate) หน่วย คือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนเส้นกราฟ คือ แรงดันน้ำ(เสด)ที่ 70 เมตร โดยเส้นทึบ คือ ผลเฉลี่ยจากการทดสอบ เส้นประ คือ ผลจากทฤษฎีจากกราฟความเร็วรอบของกังหันน้ำที่ช่วงอัตราการไหล

0.020 ถึง 0.025 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและที่ 0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบกังหันน้ำมีความเร็วรอบที่มากกว่าผลทางทฤษฎี โดยผลการทดสอบคือ 700 และ 793 รอบต่อนาทีซึ่งผลทางทฤษฎีคือ 698 และ 788 รอบต่อนาที ที่อัตราการไหลตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร็วรอบของผลการทดสอบทั้งสองแล้วทั้งคู่มีความเร็วรอบใกล้เคียงกัน กราฟมีความสอดคล้องกัน แต่เมื่อทำการปรับอัตราการไหลเพิ่ม พบว่าที่ช่วงอัตราการไหล 0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ผลการทดสอบมีความเร็วรอบที่สูงกว่าผลทางทฤษฎี และที่ช่วงอัตราการไหล 0.034 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบมีค่าลดลงต่ำกว่าผลทางทฤษฎี จนถึงที่อัตราการไหล 0.037 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบมีความเร็วรอบที่ 820 รอบต่อนาที จากนั้นทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นต่อไป พบว่ากราฟความเร็วรอบของผลการทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยจากกราฟผลการทดสอบที่อัตราการไหล 0.039 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีความเร็วรอบที่ 833 รอบต่อนาทีและที่ช่วงอัตราการไหลที่ออกแบบ 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กังหันน้ำชุดนี้มีความเร็วรอบที่ 879 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่ามากกว่าผลทางทฤษฎีที่ 869 รอบต่อนาที

5.2.4. ค่าแรงบิดเมื่อปรับอัตราการไหลที่เฮด 70 เมตร



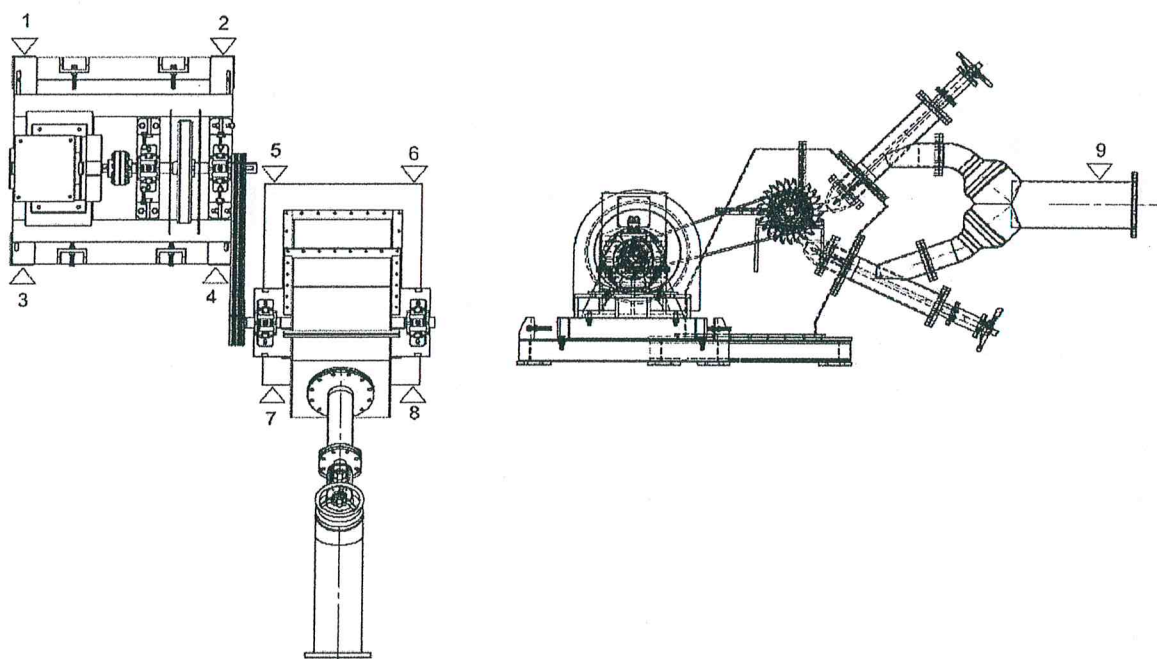
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับแรงบิด(Torque) ที่เฮด 70 เมตร

จากรูปที่ 5.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง แกน y คือ ค่าแรงบิดของกังหันน้ำ (Turbine Torque) หน่วย คือ นิวตันเมตร กับแกน x คือ อัตราการไหล (Flow rate) หน่วย คือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนเส้นกราฟ คือ แรงดันน้ำ(เฮด)ที่ 70 เมตร เส้นทึบ คือ ผลเฉลี่ยจากการ

ทดสอบ เส้นประ คือ ผลจากทฤษฎี จากรูปกราฟที่ 5.8 พบว่าเส้นกราฟทั้งสองมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยค่าแรงบิดของกังหันน้ำช่วงแรกที่มีอัตราการไหล 0.020 – 0.025 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการทดสอบมีค่าแรงบิดที่ 132.52 นิวตันเมตร ส่วนผลจากทฤษฎี มีค่า 132.92 นิวตันเมตร จากนั้นทำการปรับอัตราการไหลให้เพิ่มขึ้น ผลที่ได้คือแรงบิดมีค่ามากขึ้นตามเนื่องจากปริมาณอัตราการไหลแปรผันตรงกับค่าแรงบิด จากการพิจารณาผลการทดสอบทั้งสองพบว่าเส้นกราฟมีความสอดคล้องกัน จนถึงช่วงอัตราการไหลที่ออกแบบ 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลจากการทดสอบกังหันน้ำมีแรงบิดที่ 244.8 นิวตันเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าผลทางทฤษฎีที่ 241.68 นิวตันเมตร

5.3. ผลการทดสอบการติดตั้งของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ แบบเพลตัน

5.3.1. การวัดค่าระดับแทนเครื่องกังหันน้ำและแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 5.9 แบบแสดงตำแหน่งการวัดระดับแทนกังหันน้ำและแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

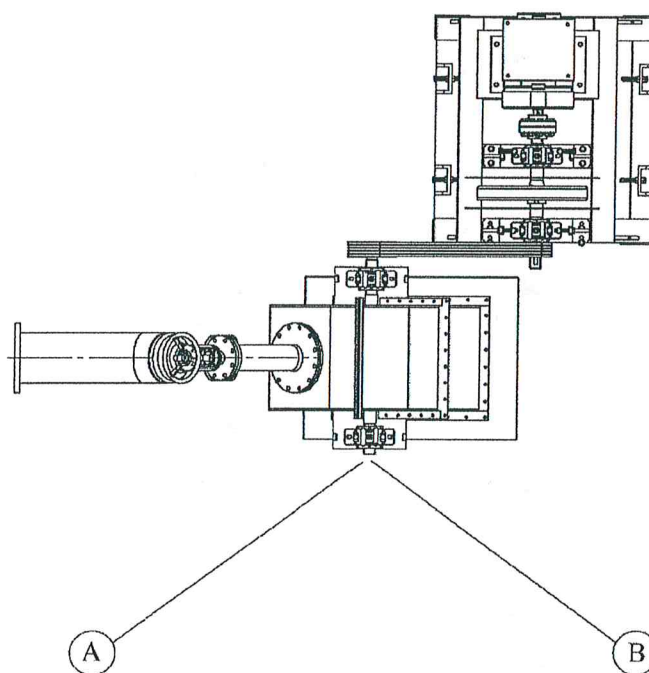
จากรูปที่ 5.9 เป็นแบบแสดงตำแหน่งการวัดระดับ โดยวิธีการวัดจะทำการส่องกล้องระดับและบันทึกค่าระดับโดยจะวัดจำนวน 9 จุด ค่าระดับที่ต้องการคือไม่เกิน 5 มิลลิเมตรต่อจุด ทำการวัดค่า ก่อนและหลังติดตั้ง ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางผลการวัดระดับ ก่อน – หลัง เทคอนกรีต เครื่องกั้นน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

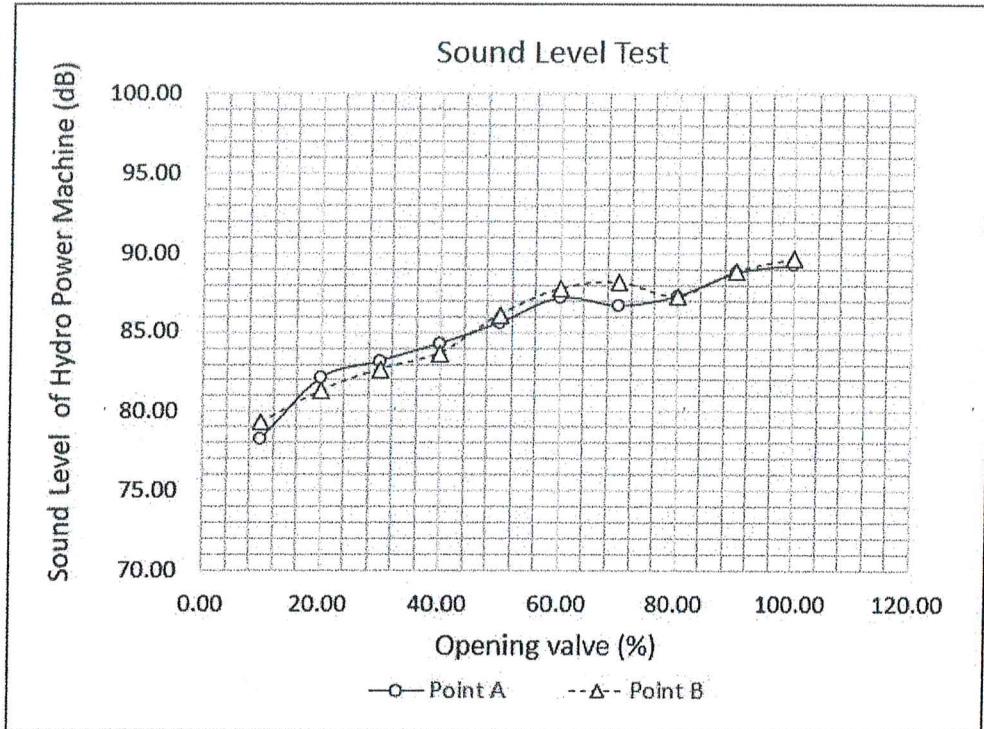
Level Test(mm)		
Point	Before	After
1	+190	+183.4
2	+190	+183.3
3	+190	+184.4
4	+190	+184.3
5	+191	+185.4
6	+191	+185.6
7	+191	+185.6
8	+190.5	+185.7
9	+1,290.0	+1286.7

จากตารางที่ 5.2 แสดงถึงการระดับของจุดที่ทำการวัดระดับ ก่อนและหลังหล่อแทนคอนกรีต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระยะการหดตัวของปูนที่ยังอยู่ในมาตรฐานการติดตั้งตาม กรมพัฒนาพลังงานทดแทน

5.3.2. การวัดค่าระดับเสียงของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน



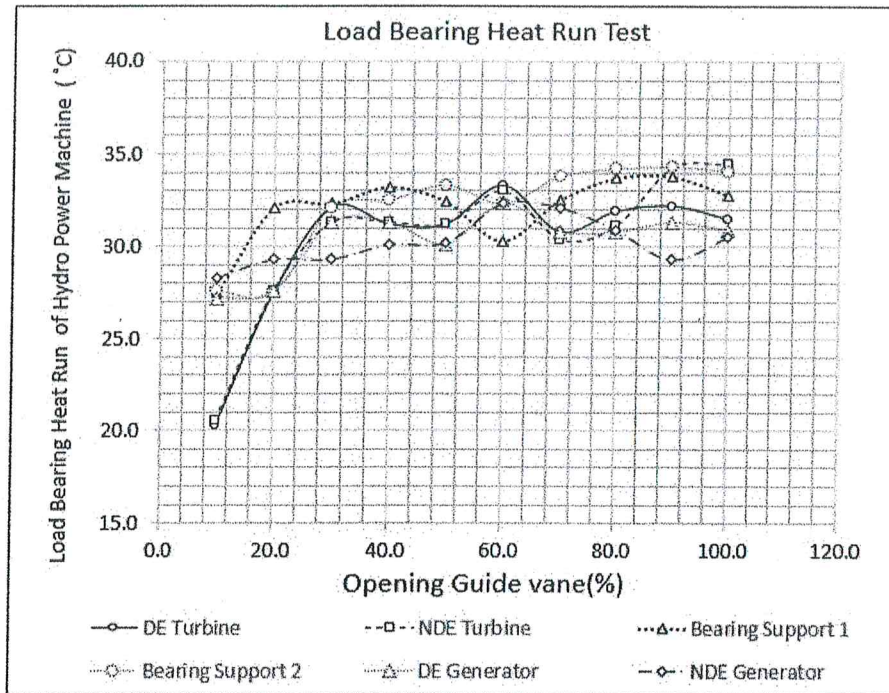
รูปที่ 5.10 แบบแสดงตำแหน่งการวัดระดับเสียงชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงานกับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระหว่าง แกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล แกน y คือ ระดับเสียงขณะกังหันน้ำทำงาน เส้นทึบ คือ ผลจากการทดสอบที่จุด A และ เส้นประ คือ ผลจากการทดสอบที่จุด B จากกราฟระดับเสียงขณะทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ(กังหันน้ำ) แบบเพลดัน โครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง ที่จุด A มีค่า 78.20 เดซิเบล จุด B มีค่า 79.3 เดซิเบล จากนั้นทำการปรับวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเครื่องกังหันน้ำจะมีเสียงดังเพิ่มเรื่อยๆ จนถึง ค่าที่สูงที่สุด โดยที่จุด A มีค่า 88.0 เดซิเบล และที่จุด B มีค่า 88.2 เดซิเบล ซึ่งยังอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ตามค่ามาตรฐานกรมมลพิษทางเสียง คือ ไม่สมควรเกิน 90 เดซิเบล

5.3.3. การวัดค่าอุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน

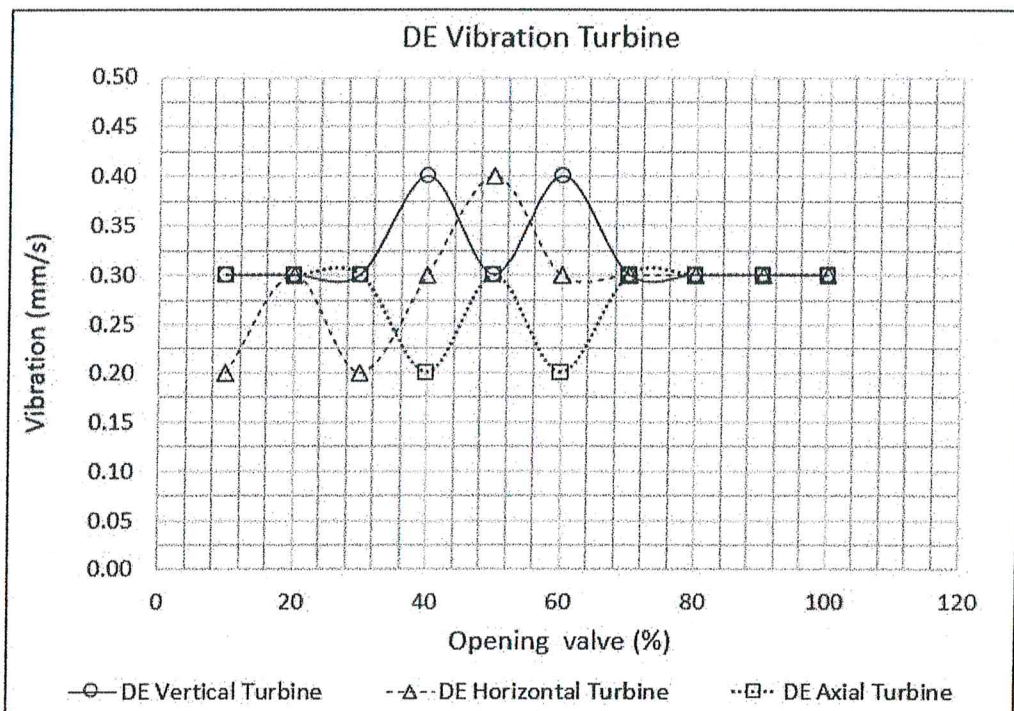


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงานกับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระหว่างแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล กับแกน y คือ อุณหภูมิลูกปืนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน ได้แก่ ชุดลูกปืนกังหันน้ำ(DE &NDE Turbine), ชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(DE &NDE Generator), ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 1(Bearing Support 1) และชุดลูกปืนซัพพอร์ต2(Bearing Support 2) ซึ่งจากกราฟชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ(เครื่องกังหันน้ำ) แบบเพลตัน โครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง ที่การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล 10% ชุดลูกปืนกังหันน้ำ ที่จุด NDE มีค่า 20.5 องศาเซลเซียส และที่จุด DE มีค่า 20.3 องศาเซลเซียส, ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 1 มีค่า 27.5 องศาเซลเซียส และ ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 2 มีค่า 27.6 องศาเซลเซียส, ชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่จุด NDE มีค่า 28.3 องศาเซลเซียส และที่จุด DE มีค่า 27.2 องศาเซลเซียส โดยเมื่อเริ่มรันเครื่องและทำการจ่ายโหลด ชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำจะเริ่มมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจนถึง 30% ที่ชุดลูกปืนกังหันน้ำ ที่จุด NDE มีค่า 32.1 องศาเซลเซียส ที่จุด DE มีค่า 31.3 องศาเซลเซียส, ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 1 มีค่า 32.3 องศาเซลเซียส และ ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 2 มีค่า 32.1 องศาเซลเซียส, ชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่จุด NDE มีค่า 31.3 องศาเซลเซียส ที่จุด DE มีค่า 29.3 องศาเซลเซียส จนถึงที่การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่

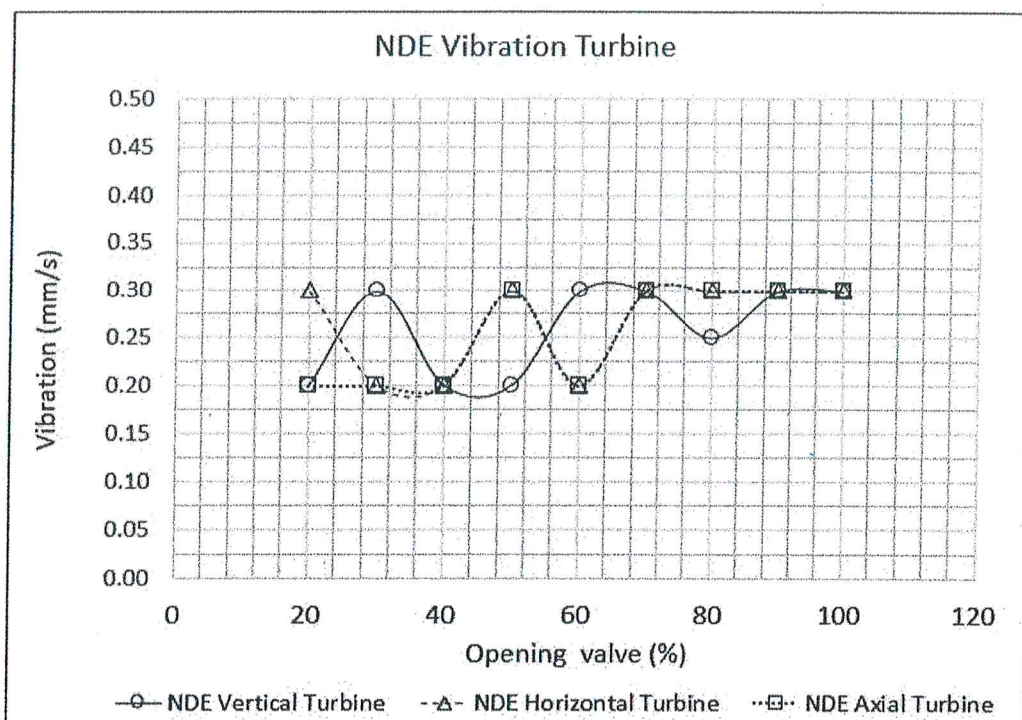
100% ชุดลูกปืนกังหันน้ำ ที่จุด NDE มีค่า 31.5 องศาเซลเซียส ที่จุด DE มีค่า 34.5 องศาเซลเซียส, ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 1 มีค่า 32.8 องศาเซลเซียส และ ชุดลูกปืนซัพพอร์ต 2 มีค่า 34.1 องศาเซลเซียส, ชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่จุด NDE มีค่า 30.9 องศาเซลเซียส ที่จุด DE มีค่า 30.5 องศาเซลเซียส ซึ่งจากกราฟพบว่าอุณหภูมิของการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำจะมีค่าเฉลี่ยที่ 30.92 องศาเซลเซียส ซึ่งยังอยู่ในค่ามาตรฐานการใช้งานต่อเนื่องของผู้ผลิต (ที่มา : มาตรฐานลูกปืน บริษัท เอสเคเอฟ ไทยแลนด์ จำกัด)

5.3.4. การวัดค่าระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขณะทำงาน



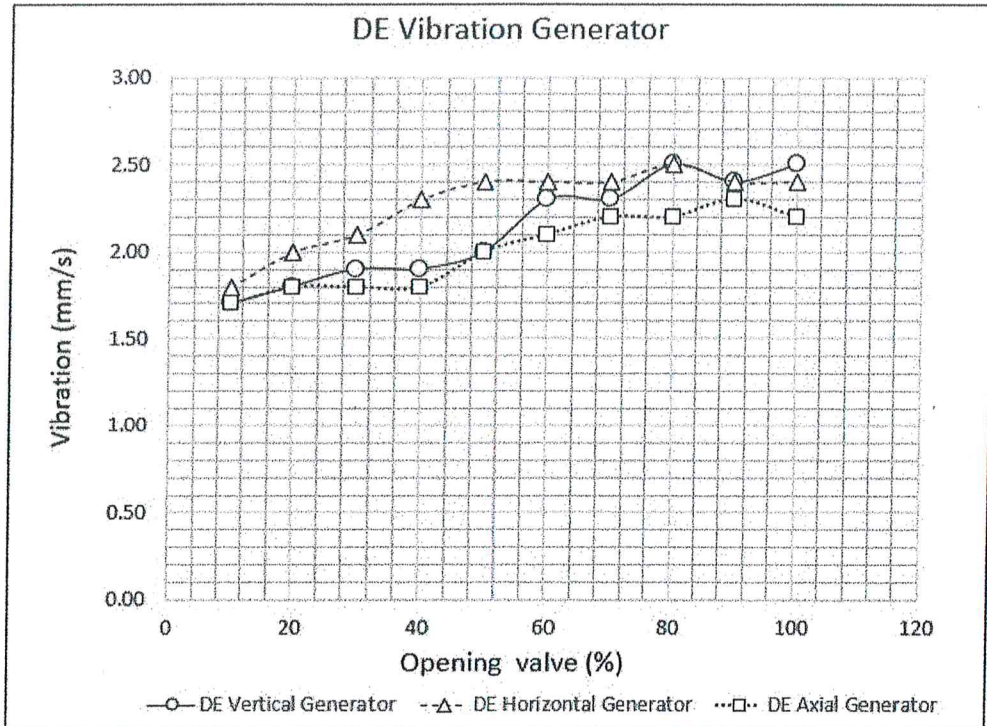
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของกังหันน้ำที่จุด DE กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.13 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน y คือ ระดับการสั่นของชุดลูกปืนของกังหันน้ำที่จุด DE กับแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล ซึ่งจากกราฟเครื่องกังหันน้ำ แบบเฟลตัน โครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง โดยทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่ 10% ชุดลูกปืนกังหันน้ำ ที่จุด DE แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวอน (Horizontal) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าระดับการสั่นจะค่อนข้างสวิง แต่เมื่อปรับวาล์วไปที่ 70% ขึ้นไปจนถึง 100% ค่าระดับการสั่นจะค่อนข้างคงที่ ที่ 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2372-1974 E



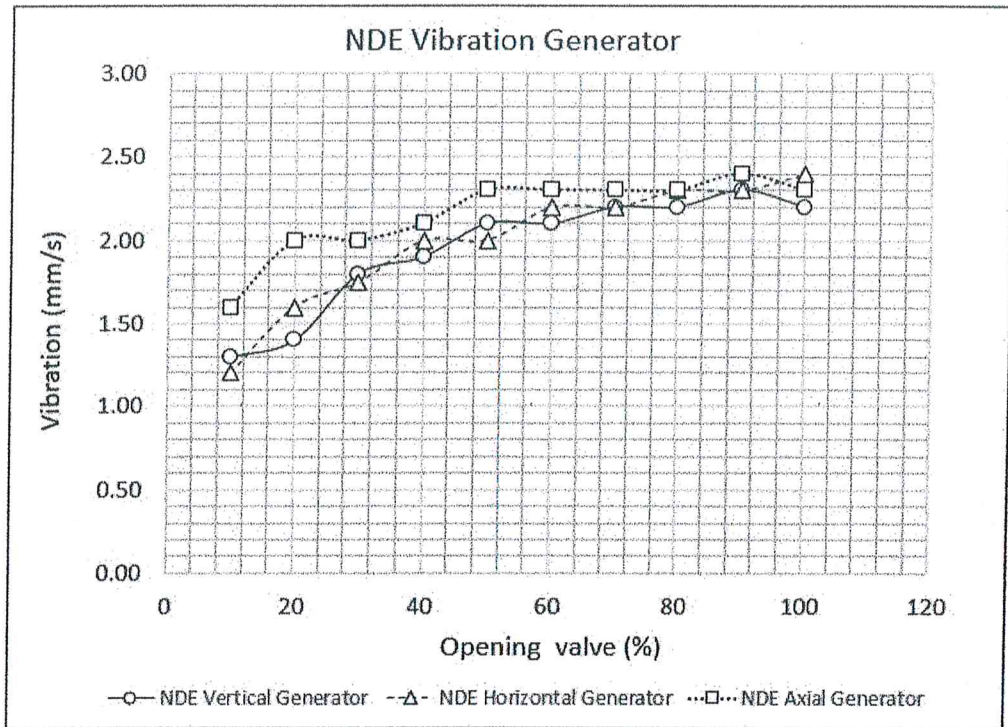
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของกังหันน้ำที่จุด NDE กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน y คือ ระดับการสั่นของชุดลูกปืนของกังหันน้ำที่จุด NDE กับแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล ซึ่งจากกราฟเครื่องกังหันน้ำ แบบเพลดัน โครงการหมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง โดยทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่ 10% ชุดลูกปืนกังหันน้ำ ที่จุด NDE แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 0.20 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 0.20 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าระดับการสั่นจะค่อนข้างสวิง แต่เมื่อปรับวาล์วไปที่ 80% ค่าระดับการสั่นจะมีแนวโน้มคงที่ ที่แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.25 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วเพิ่มขึ้นจนถึง 100% เส้นกราฟจะมีค่าระดับการสั่นที่คงที่ 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2372-1974 E



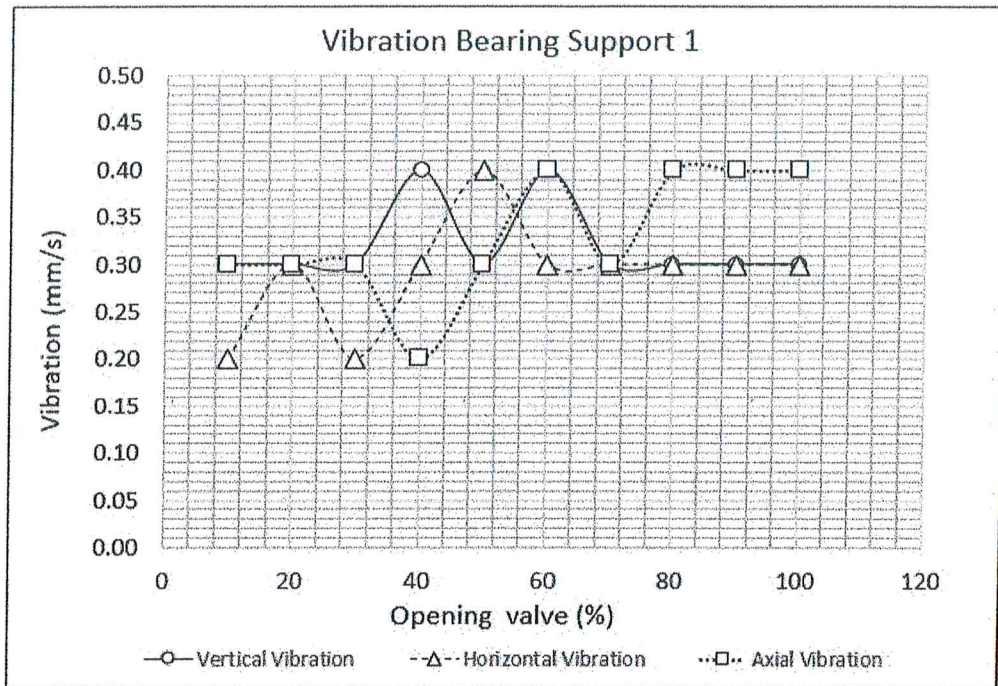
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุด DE กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน y คือ ระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุด DE กับแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล ซึ่งจากกราฟพบว่าเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง โดยทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่ 10% ชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่จุด DE แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 1.70 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 1.80 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 1.70 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าระดับการสั่นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อปรับวาล์วไปที่ 80% ค่าระดับการสั่นแนวตั้ง (Vertical) มีค่า 2.50 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 2.50 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 2.20 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการเปิดวาล์วเพิ่มขึ้นต่อไปจนถึง 100% และนำมาพล็อตกราฟ โดยจากลักษณะกราฟค่าระดับการสั่นมีแนวโน้มคงที่ ที่แนวตั้ง (Vertical) 2.50 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 2.50 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 2.20 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2372-1974 E



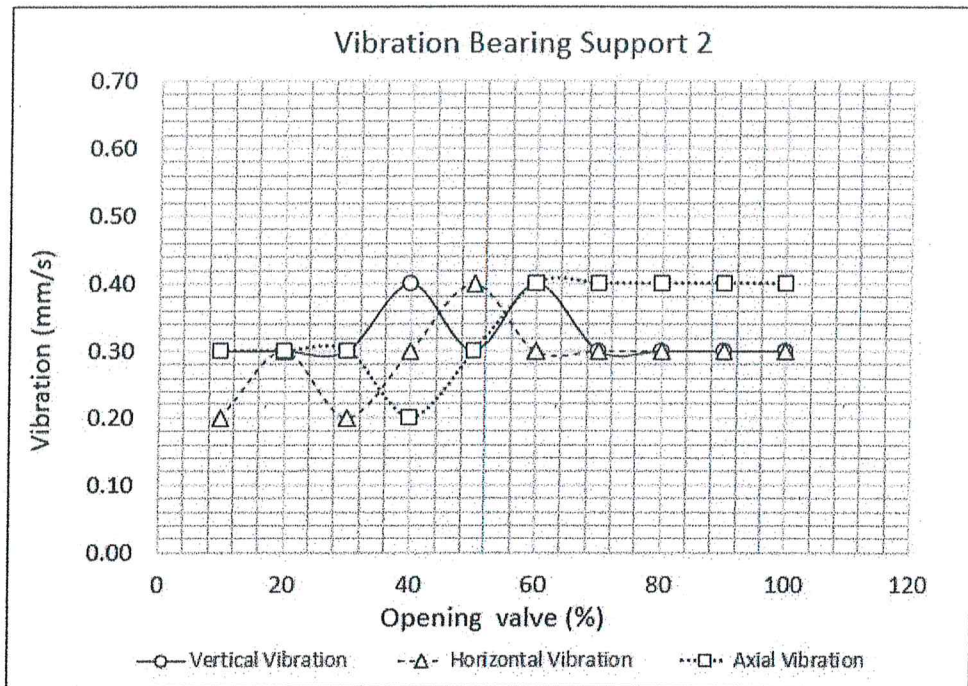
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุด NDE กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.16 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน y คือ ระดับการสั่นของชุดลูกปืนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุด NDE กับแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล ซึ่งจากกราฟพบว่าเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง โดยทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่ 10% ชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่จุด NDE แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 1.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 1.20 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 1.60 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้น พบว่าค่าระดับการสั่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลต่อไปจนถึง 60% ค่าระดับการสั่นที่แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 2.10 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 2.20 มิลลิเมตรต่อวินาที และด้านตามแนวแกน (Axial) 2.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการเปิดวาล์วเพิ่มขึ้นต่อไปจนถึง 100% กราฟที่ได้จากการบันทึกค่าระดับการสั่นมีลักษณะแนวโน้มคงที่ โดยในแนวตั้ง (Vertical) มีค่า 2.20 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 2.40 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 2.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2372-1974 E



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับพอร์ต 1 กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน y คือ ระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับพอร์ต 1 กับแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล ซึ่งจากกราฟขณะเปิดเครื่องทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่ 10% วัดค่าระดับการสั่นพบว่า แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 0.20 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นพบว่าในช่วง 20 - 80% ของการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล กราฟมีค่าค่อนข้างสลับ แต่เมื่อทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลให้เพิ่มขึ้นจนถึง 100% ลักษณะเส้นกราฟค่าระดับการสั่นมีแนวโน้มคงที่ โดยแนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 0.40 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2372-1974 E

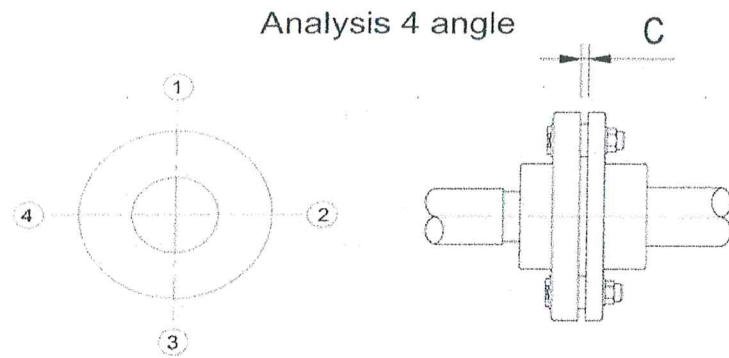


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับพอร์ต 2 กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล

จากรูปที่ 5.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน y คือ ระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับพอร์ต 2 กับแกน x คือ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วปรับอัตราการไหล ซึ่งจากรูปเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง โดยทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลที่ 10% วัดค่าระดับการสั่นพบว่าแนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 0.20 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นทำการเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลให้เพิ่มขึ้นจนถึงช่วง 20 - 60% พบว่าค่าระดับการสั่นของทั้งสามแกนมีค่าที่สวิง ทำการเปิดวาล์วต่อไปจนถึงช่วงที่ 80 - 100% กราฟค่าระดับการสั่นมีแนวโน้มคงที่ ที่แนวตั้ง (Vertical) มีค่า 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที แนวนอน (Horizontal) 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้านตามแนวแกน (Axial) 0.40 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งค่าระดับการสั่นของชุดลูกปืนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่จุดขับพอร์ต 2 ก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2372-1974 E

5.3.5. การวัดค่าเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา (Alignment Test)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการเยื้องศูนย์ของข้อต่อเพลลา โดยทำการวัดระยะเยื้องศูนย์ก่อนเปิดเครื่องฯ จากนั้นทำการเปิดเครื่องและให้ทำงานที่อัตราการไหลที่ออกแบบ จากนั้นจะทำการวัดอีกครั้งหลังปิดเครื่อง



รูปที่ 5.19 การวัดระยะเยื้องศูนย์กลางของข้อต่อเพลาจํานวน 5 จุด

รูปที่ 5.19 เป็นรูปการวัดระยะเยื้องศูนย์กลางของข้อต่อเพลา(Coupling) จํานวน 5 จุด โดย 4 จุดแรกเป็นระยะเยื้องศูนย์กลางที่ต้องนำเครื่องมือวัด (ไดอัลเกจ) มาวัดระยะ และค่าสุดท้าย ค่า C เป็นการวัดระยะห่างของข้อต่อเพลา

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลการวัดระยะเยื้องศูนย์กลางของข้อต่อเพลา จํานวน 5 จุด

Alignment (mm.)		
Point	Before	After
1	0	0
2	+0.01	+0.01
3	+0.01	+0.01
4	+0.01	+0.01
C	5	5

จากตาราง 5.3. ผลการวัดระยะเยื้องศูนย์กลางของข้อต่อเพลา จํานวน 5 จุด พบว่าระยะเยื้องศูนย์กลางของก่อนเปิดเครื่อง เครื่องทำงาน จบปิดเครื่อง พบว่าระยะเยื้องศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลง และค่าระยะเยื้องศูนย์กลางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการติดตั้งของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน

5.4. ผลประเมินทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนผลิตกังหันน้ำ แบบเพลดัน

ตารางที่ 5.4 ตารางการประเมินค่าใช้จ่ายของการผลิตชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ จำนวน 1 ชุด

ลำดับที่	รายการ หรือ รายละเอียด	ราคาประมาณ
1	กังหันน้ำ แบบเพลดัน	307,000.00
2	MCC Unit	250,000.00
3	Generator	110,000.00
4	Inlet valve-Butterfly DN300 PN10	176,250.00
5	Hydraulic power unit	50,000.00
6	Dismantling joint DN300	25,500.00
7	Air: Heater	32,000.00
8	Pressure relief valve	15,100.00
9	Assembly part	100,100.00
	- Fly wheel + Shaft	
	- Power transmission	
	- Fly wheel guard and aux.	
	- ค่าแรง Machine Coupling	
	- SKF Bearing	
	- Screws & Bolts	
	- Flange DN300 PN10	
	- ปะเก็นยาง	
10	Pressure gauge an aux.	2,400.00
11	Power cable	150,000.00
12	งานติดตั้ง	200,000.00
13	ค่าขนส่ง	30,000.00
14	ค่าวิศวกรควบคุมงานติดตั้ง	150,000.00
	รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	1,598,350.00

*หน่วยเป็น บาท

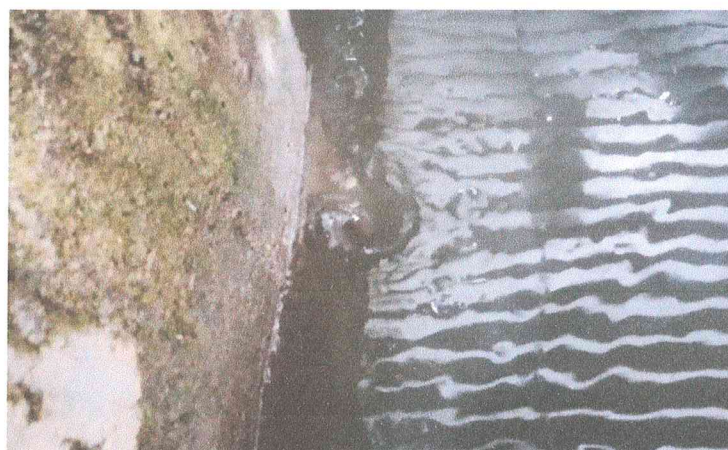
ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงสรุปผลตอบแทนทางการเงินของ โครงการ

ค่าตอบแทน		
ระยะเวลาโครงการ	10	ปี
ค่าใช้จ่ายลงทุนแรกโดยประมาณ	1,598,350	บาท
ดอกเบี้ยโดยประมาณ	4	%
กำลังผลิต	197	เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV)	5,467,328	บาท
อัตราผลตอบแทนของโครงการ(IRR)	53.75	%
ระยะเวลาคืนทุน	1.90	ปี

จากตาราง 5.5. สรุปผลตอบแทนทางการเงินของ โครงการที่ระยะเวลา 10 ปี กำลังผลิตที่สามารถผลิตได้ 197 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี นำมาคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) พบว่ามีค่า 5,467,328 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) มีค่า53.75% และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1 ปี 9 เดือน

5.5. วิจัยณ์ผลการทดสอบ

จากกราฟผลการทดสอบ รูปที่ 5.5 -5.7 พบว่า ค่าสมรรถนะกังหันน้ำมีค่าสูงขึ้นต่อเนื่องเมื่อปรับให้มีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นแม้เฮดจะมีค่าคงที่ โดยเปรียบเทียบกับระหว่างผลทดสอบกับผลทางทฤษฎี สมรรถนะต้องมีค่าที่สอดคล้องและใกล้เคียงกัน แต่ผลการทดสอบบางช่วงมีค่าที่ค่อนข้างสวิง จากการพิจารณาปัญหาดังกล่าว พบว่าเมื่อทำการปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่บริเวณหน้าฝาย กักเก็บน้ำ เกิดปรากฏการณ์น้ำวน (Vortex) ดังรูปที่ 5.19 ส่งผลให้มีอากาศปะปนเข้ามาในระบบ จึงเป็นสาเหตุให้ค่าสมรรถนะของกังหันน้ำมีค่าที่สวิงไม่สอดคล้องกับค่าทางทฤษฎี



รูปที่ 5.20 รูปปรากฏการณ์น้ำวน

บทที่ 6

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการประยุกต์ใช้กังหันน้ำแบบเพลตันในการผลิตไฟฟ้าที่หมู่บ้านปิยมิตร 2 จังหวัดยะลา ได้ทำการผลิต สํารวจตรวจสอบ นำไปติดตั้งและทำการทดสอบและการวิเคราะห์กราฟสมรรถนะนั้น สามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

1. ประยุกต์ใช้และผลิตกังหันน้ำ แบบเพลตัน ขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ โครงการ หมู่บ้านปิยมิตร 2 อำเภอเบตง จังหวัดยะลา โดยปัจจุบันมีได้มีการนำไปติดตั้งเรียบร้อยแล้ว
2. ดำเนินการติดตั้งและทดสอบผลจากการติดตั้งซึ่งผลที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสามารถใช้งานได้ดี และนำผลจากการทดสอบมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมรรถนะของกังหันน้ำแบบเพลตัน โดยเงื่อนไขที่กำหนดไว้คือ ค่ากำลังผลิตของกังหันน้ำ 21.97 กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหล 0.40 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮด 70 เมตร และมีประสิทธิภาพ 80% ผลจากการทดสอบพบว่า ค่ากำลังผลิตเฉลี่ยของกังหันน้ำ 22.54 กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 0.41 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮด 70 เมตร และมีประสิทธิภาพ 80.69% เป็นไปตามข้อกำหนดเงื่อนไข
3. ผลจากประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ค่าใช้จ่ายการผลิตกังหันน้ำ สรุปผลตอบแทนทางการเงินของโครงการที่ระยะเวลา 10 ปี กำลังผลิตที่สามารถผลิตได้ 197 เมกะวัตต์ ชั่วโมงต่อปี นำมาคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) พบว่ามีค่ามากกว่า 0 และค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ(IRR) มีค่ามากกว่าดอกเบี้ย และใช้ระยะเวลาคืนทุนเพียง 1 ปี 9 เดือน ดังนั้นโครงการนี้สมควรที่จะลงทุน

6.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้พบว่ามีอุปสรรคต่างๆที่ส่งผลต่อการค้นคว้าหาข้อมูลและการทดลอง ดังนั้นการให้ข้อเสนอแนะนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงเพิ่มเติมหรือพัฒนาบางส่วนที่ขาดหายไปต่อผู้สนใจ ผู้ค้นคว้าหรือผู้ต้องการพัฒนาต่อ ดังนี้

6.2.1 ในขั้นตอนการคำนวณนั้น เมื่อนำไปผลิตได้มีการปรับเพิ่มขึ้นเพื่อสะดวกต่อการผลิต ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ค้นคว้าหรือผู้พัฒนาต่อจำเป็นต้องค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น

6.2.2. วัสดุที่ใช้ผลิตใบพัด(Bucket) วัสดุที่ใช้เป็นตัวแปรหนึ่ง โดยโครงการนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุจาก สเตนเลส เกรด CA6 NM ที่มีความแข็งแรงและมันวาวระดับหนึ่ง เกรดนี้ผู้วิจัยอ้างอิงจากโครงการของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ซึ่งได้นำไปใช้ติดตั้งทดสอบใช้งานแล้วหลายโครงการในไทยและสามารถใช้งานได้ดีดังนั้นผู้ค้นคว้าหรือผู้พัฒนาต่ออาจสามารถเลือกใช้วัสดุอื่นได้หากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเพราะ ความเสียดทานของใบพัดก็ส่งผลต่อกำลังผลิตและต่อความเร็วรอบเช่นกัน

6.2.3 อุปสรรคด้านการติดตั้ง เนื่องด้วยปัญหาด้านนี้อยู่ในสถานที่ห่างไกลความเจริญ แวดล้อมด้วยป่าเขา ภูมิอากาศก็เป็นส่วนหนึ่งจึงทำให้การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมไม่สะดวกนัก ดังนั้นด้วยเหตุนี้จึงทำให้งานวิจัยดำเนินได้อย่างล่าช้าซึ่งผู้ค้นคว้าหรือผู้พัฒนาต่อจำเป็นต้องหาทางป้องกันอุปสรรคข้อนี้ด้วย

6.2.4 อุปสรรคด้านภูมิศาสตร์ เนื่องด้วยสถานที่ติดตั้งและทดสอบอยู่ในพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติการไม่ชำนาญเรื่องภูมิศาสตร์ ส่งผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้สำหรับวัดค่าต่างๆ อาจเกิดปัญหาได้ และอีกทั้งสัตว์บางชนิด อาทิ หนู หรืองู ที่อาจเล็ดลอดเข้าไปกัดแทะทำลายวงจรตู้ควบคุมหรืออุปกรณ์ต่างๆได้ ดังนั้นผู้ค้นคว้าหรือผู้พัฒนาต่อจำเป็นต้องหาทางป้องกันอุปสรรคข้อนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Harvery A, Brown A, Hettiara
- [2] THE EBARA PUMP SYSTEM ENGINEERING HANDBOOK
- [3] N.S. Govinda Rao. Fluid Flow Machines, TATA McGraw-Hill Publishing LTD.
- [4] B.A. Nasir. Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant. TMREES 14, Energy Procedia 50 (2014) 19 - 29
- [5] Prashant. N. Pakale. STUDY ON POWER GENERATION BY USING CROSS FLOW WATER TURBINE IN MICRO HYDRO POWER PLANT. International Journal of Research in Engineering and Technology, p-ISSN: 2321-7308
- [6] Maddela Veda Ratna Prakash. Design and analysis of pelton turbine buckets. International Journal of Research. Volume 04, p-ISSN: 2348-6848, 2017
- [7] D.Ager. On the use of a laboratory – scale Pelton wheel water turbine in renewable energy education. Renewable Energy 33(2008) 1517 - 1522
- [8] David KilamaOkot. Review of small hydropower technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews 26 (2013) 515 – 520
- [9] B.A. Nasir. Design of high efficiency pelton turbine for micro-hydropower plant. ISSN 0976 – 6553, IJEET, Volume 4 ,2013
- [10] KitipornPosew.Study and development of micro hydro power electric plant in Thailand. RMUTT Journal ISSN 2229-1547. Vol.4 No.2 (2014)
- [11] KitipornPosew.The study of 2 Jet turgos performance and its design for rural area in Thailand. RMUTT Journal ISSN 2229-1547.Vol.3 No.2 (2013) : 51-60
- [12] YodchaiTiaple, Testing and Numerical Simulation of Small Hydro Turbine. ME-NETT 21, 2007
- [13] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 3 "ไฟฟ้าพลังน้ำ" กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [14] กิตติศักดิ์ และคณะ(2555) ,THE OUTPUT DEVELOPMENT OF A PELTON TURBINE TEST SET WITH COMPUTER, ปรินูญานินพนธ์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราขณ ล้านนา
- [15] บุญทวี และคณะ ,Feasibility Study on Technical and Financial Aspects of Small Hydro Power Project, วิศวกรรมสาร มก ฉบับที่ 84 ปีที่ 26 เมษายน – มิถุนาคมน 2556

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดสอบเครื่องกั้นน้ำ แบบเพลตัน

ตาราง ก-1 ตารางแสดงข้อมูลการวัดค่าและการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำ ชนิดเฟลตัน ครั้งที่ 1

<i>Valve Open</i> (%)	<i>H</i> (Bar)	<i>H</i> (m.)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>P_{Turbine}</i> (Kw)	<i>P_{EE}</i> (Kw)	<i>η_{Gen}</i> (%)	<i>η_{Turbine}</i> (%)
10	7	69.74	0	0	0	0	0
20	7	69.74	0.0219	9.71	8.45	87.92	64.88
30	7	69.74	0.0281	14.06	12.21	88.35	72.70
40	7	69.74	0.0292	15.26	13.36	88.58	76.35
50	7	69.74	0.0320	17.08	14.85	88.90	77.16
60	7	69.74	0.0373	19.98	16.79	88.90	74.84
70	7	69.74	0.0395	21.34	17.81	88.80	75.04
80	7	69.74	0.0404	22.55	19.79	88.73	81.59
90	7	69.74	0.0425	22.79	20.11	88.71	78.83
100	7	69.74	0.0430	23.16	20.23	88.71	78.38

ตาราง ก-2 ตารางแสดงค่าจากการคำนวณหาสมรรถนะของกังหันน้ำ โครงการบ้านปียมิตร 2 ครั้งที่ 1

<i>Valve Open</i> (%)	<i>H</i> (Bar)	<i>H</i> (m.)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>P_{Turbine}</i> (Kw)	<i>T</i> (Nm)	<i>N</i> (rpm)
10	7	69.74	0	0	0	0
20	7	69.74	0.0219	9.71	131.91	703
30	7	69.74	0.0281	14.06	169.27	794
40	7	69.74	0.0292	15.26	175.90	829
50	7	69.74	0.0320	17.08	192.77	847
60	7	69.74	0.0373	19.98	224.71	849
70	7	69.74	0.0395	21.34	237.96	857
80	7	69.74	0.0404	22.55	243.39	885
90	7	69.74	0.0425	22.79	256.04	850
100	7	69.74	0.0430	23.16	259.05	854

ตาราง ก-3 ตารางแสดงข้อมูลการวัดค่าและการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน ครั้งที่ 2

<i>Valve Open</i> (%)	<i>H</i> (Bar)	<i>H</i> (m.)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>P_{Turbine}</i> (Kw)	<i>P_{EE}</i> (Kw)	<i>η_{Gen}</i> (%)	<i>η_{Turbine}</i> (%)
10	7	69.74	0	0	0	0	0
20	7	69.74	0.0232	9.71	8.45	87.92	61.24
30	7	69.74	0.0283	13.96	12.21	88.35	72.18
40	7	69.74	0.0293	15.23	13.36	88.58	76.09
50	7	69.74	0.0324	16.87	14.85	88.90	76.20
60	7	69.74	0.0377	19.08	16.79	88.90	74.04
70	7	69.74	0.0391	20.26	17.81	88.80	75.81
80	7	69.74	0.0408	22.53	19.79	88.73	80.79
90	7	69.74	0.0425	22.90	20.11	88.71	78.83
100	7	69.74	0.0433	23.03	20.23	88.71	77.84

ตาราง ก-4 ตารางแสดงค่าจากการคำนวณหาสมรรถนะของกังหันน้ำ โครงการบ้านปิยมิตร 2 ครั้งที่ 2

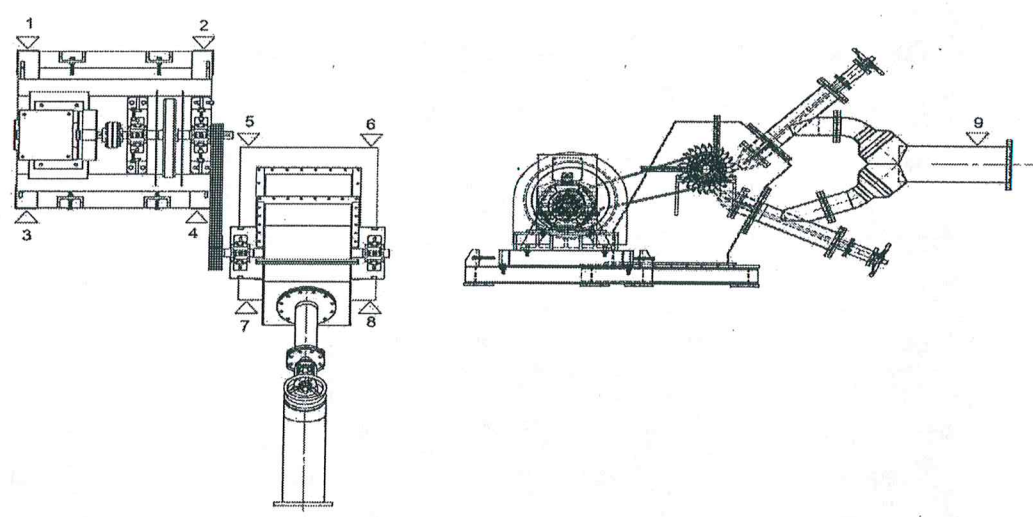
<i>Valve Open</i> (%)	<i>H</i> (Bar)	<i>H</i> (m.)	<i>Q</i> (m ³ /s)	<i>P_{Turbine}</i> (Kw)	<i>T</i> (Nm)	<i>N</i> (rpm)
10	7	69.74	0	0	0	0
20	7	69.74	0.0232	9.71	137.35	675
30	7	69.74	0.0283	13.96	167.56	796
40	7	69.74	0.0293	15.23	173.48	839
50	7	69.74	0.0324	16.87	191.84	840
60	7	69.74	0.0377	19.08	223.23	816
70	7	69.74	0.0391	20.26	231.53	836
80	7	69.74	0.0408	22.53	241.59	891
90	7	69.74	0.0425	22.90	251.66	869
100	7	69.74	0.0433	23.03	256.40	858

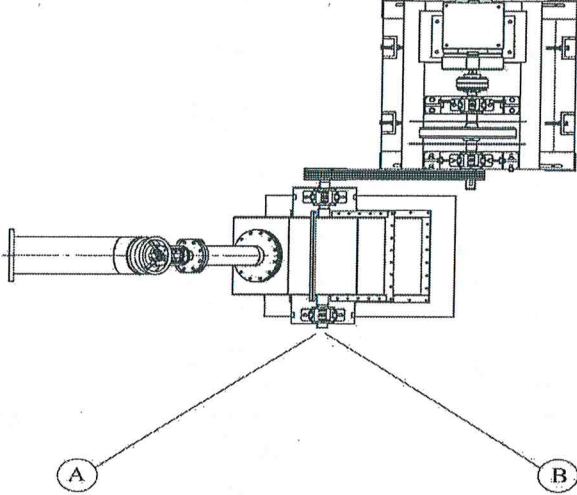
ตาราง ก-5 ตารางแสดงข้อมูลการวัดค่าและการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน ครั้งที่ 3

Valve Open (%)	H (Bar)	H (m.)	Q (m ³ /s)	P _{Turbine} (Kw)	P _{EE} (Kw)	η _{Gen} (%)	η _{Turbine} (%)
10	7	69.74	0	0	0	0	0
20	7	69.74	0.0213	9.71	8.45	87.92	66.70
30	7	69.74	0.0278	13.96	12.21	88.35	73.48
40	7	69.74	0.0287	15.23	13.36	88.58	77.68
50	7	69.74	0.0321	16.87	14.85	88.90	76.91
60	7	69.74	0.0363	19.08	16.79	88.90	76.90
70	7	69.74	0.0378	20.26	17.81	88.80	78.42
80	7	69.74	0.0414	22.53	19.79	88.73	79.62
90	7	69.74	0.0426	22.90	20.11	88.71	78.65
100	7	69.74	0.0434	23.03	20.23	88.71	77.66

ตาราง ก-6 ตารางแสดงค่าจากการคำนวณหาสมรรถนะของกังหันน้ำ โครงการบ้านปิยมิตร 2 ครั้งที่ 3

Valve Open (%)	H (Bar)	H (m.)	Q (m ³ /s)	P _{Turbine} (Kw)	T (Nm)	N (rpm)
10	7	69.74	0	0	0	0
20	7	69.74	0.0213	9.71	128.29	723
30	7	69.74	0.0278	13.96	167.46	796
40	7	69.74	0.0287	15.23	172.88	842
50	7	69.74	0.0321	16.87	193.37	834
60	7	69.74	0.0363	19.08	218.68	833
70	7	69.74	0.0378	20.26	227.72	850
80	7	69.74	0.0414	22.53	249.41	863
90	7	69.74	0.0426	22.90	256.64	852
100	7	69.74	0.0434	23.03	261.46	842

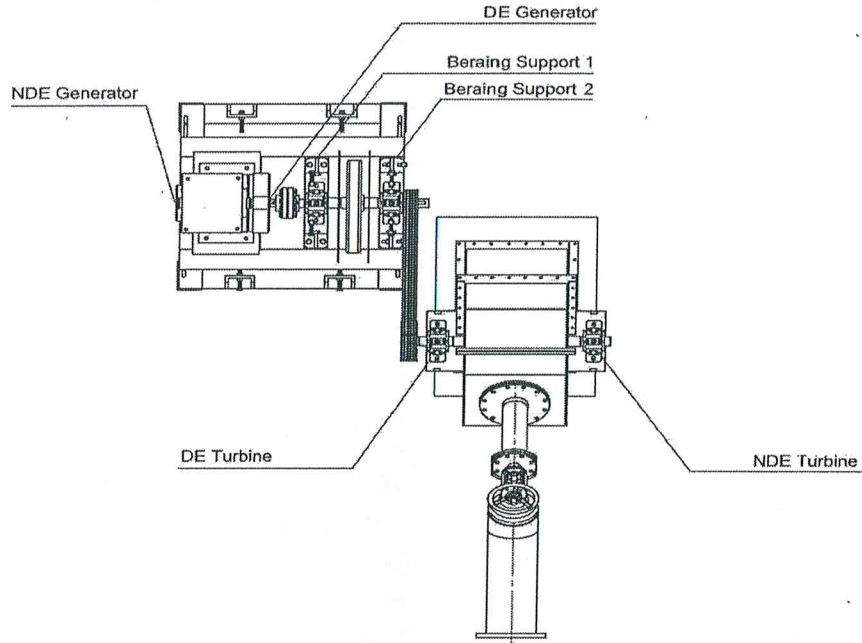
TURBINE SITE TEST REPORT																																				
Project :	Piyamit 2	Date : 27/11/60																																		
Turbine Type	Pelton	Page : 1/6																																		
Level Test																																				
																																				
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Level Test(mm)</th> </tr> <tr> <th>Point</th> <th>Before</th> <th>After</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>+190</td><td>+183.4</td></tr> <tr><td>2</td><td>+190</td><td>+183.3</td></tr> <tr><td>3</td><td>+190</td><td>+184.4</td></tr> <tr><td>4</td><td>+190</td><td>+184.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>+191</td><td>+185.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>+191</td><td>+185.6</td></tr> <tr><td>7</td><td>+191</td><td>+185.6</td></tr> <tr><td>8</td><td>+190.5</td><td>+185.7</td></tr> <tr><td>9</td><td>+1,290.0</td><td>+1286.7</td></tr> </tbody> </table>				Level Test(mm)			Point	Before	After	1	+190	+183.4	2	+190	+183.3	3	+190	+184.4	4	+190	+184.3	5	+191	+185.4	6	+191	+185.6	7	+191	+185.6	8	+190.5	+185.7	9	+1,290.0	+1286.7
Level Test(mm)																																				
Point	Before	After																																		
1	+190	+183.4																																		
2	+190	+183.3																																		
3	+190	+184.4																																		
4	+190	+184.3																																		
5	+191	+185.4																																		
6	+191	+185.6																																		
7	+191	+185.6																																		
8	+190.5	+185.7																																		
9	+1,290.0	+1286.7																																		
SITE TEST	NAME	SIGNATURE	DATE																																	

TURBINE SITE TEST REPORT																																						
Project :	Piyamit 2	Date : 27/11/60																																				
Turbine Type	Pelton	Page : 2/6																																				
Sound Level Test																																						
																																						
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Opening valve (%)</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Hydro Power Machine (dB)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">A</th> <th style="text-align: center;">B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">10.00</td><td style="text-align: center;">78.20</td><td style="text-align: center;">79.30</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20.00</td><td style="text-align: center;">82.1</td><td style="text-align: center;">81.3</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">30.00</td><td style="text-align: center;">83.20</td><td style="text-align: center;">82.70</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">40.00</td><td style="text-align: center;">84.30</td><td style="text-align: center;">83.70</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">50.00</td><td style="text-align: center;">85.60</td><td style="text-align: center;">86.10</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">60.00</td><td style="text-align: center;">87.20</td><td style="text-align: center;">87.80</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">70.00</td><td style="text-align: center;">86.70</td><td style="text-align: center;">88.20</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">80.00</td><td style="text-align: center;">87.30</td><td style="text-align: center;">87.30</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">90.00</td><td style="text-align: center;">88.80</td><td style="text-align: center;">88.90</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100.00</td><td style="text-align: center;">89.30</td><td style="text-align: center;">89.70</td></tr> </tbody> </table>				Opening valve (%)	Hydro Power Machine (dB)		A	B	10.00	78.20	79.30	20.00	82.1	81.3	30.00	83.20	82.70	40.00	84.30	83.70	50.00	85.60	86.10	60.00	87.20	87.80	70.00	86.70	88.20	80.00	87.30	87.30	90.00	88.80	88.90	100.00	89.30	89.70
Opening valve (%)	Hydro Power Machine (dB)																																					
	A	B																																				
10.00	78.20	79.30																																				
20.00	82.1	81.3																																				
30.00	83.20	82.70																																				
40.00	84.30	83.70																																				
50.00	85.60	86.10																																				
60.00	87.20	87.80																																				
70.00	86.70	88.20																																				
80.00	87.30	87.30																																				
90.00	88.80	88.90																																				
100.00	89.30	89.70																																				
* ค่ามาตรฐานกรมมลพิษทางเสียง ไม่สมควรเกิน 90 dB																																						
SITE TEST	NAME	SIGNATURE	DATE																																			

TURBINE SITE TEST REPORT

Project :	Piyamit 2	Date : 27/11/60
Turbine Type	Pelton	Page : 3/6

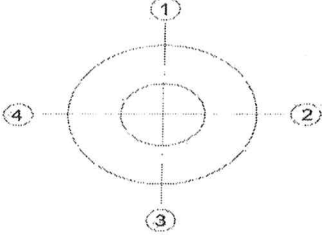
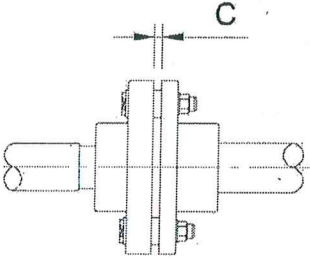
Load Bearing Heat Run Test



Opening Guide vane(%)	Hydro Power Machine(°C)					
	Turbine		Beraing		Generator	
	DE	NDE	Beraing 1	Beraing 2	DE	NDE
10	20.3	20.5	27.5	27.6	27.2	28.3
20	27.5	27.6	32.1	27.5	27.6	29.3
30	32.1	31.3	32.3	32.1	31.3	29.3
40	31.2	31.3	33.2	32.5	31.3	30.1
50	31.2	31.2	32.4	33.3	30.1	30.2
60	33.3	33.0	30.3	32.3	32.3	32.3
70	30.8	30.4	32.5	33.8	30.8	32.1
80	31.9	31.1	33.7	34.2	30.8	30.9
90	32.2	34.3	33.8	34.3	31.3	29.3
100	31.5	34.5	32.8	34.1	30.9	30.5

*มาตรฐานผู้ผลิต(SKF) ไม่สมควรเกิน 100 °C

SITE TEST	NAME	SIGNATURE	DATE

TURBINE SITE TEST REPORT																								
Project :	Piyamit 2	Date : 27/11/60																						
Turbine Type :	Pelton	Page : 4/6																						
Alignment Test																								
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Analysis 4 angle</p>  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Alignment (mm.)</th> </tr> <tr> <th>Point</th> <th>Before</th> <th>After</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">+0.01</td> <td style="text-align: center;">+0.01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">+0.01</td> <td style="text-align: center;">+0.01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">+0.01</td> <td style="text-align: center;">+0.01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> </tbody> </table>				Alignment (mm.)			Point	Before	After	1	0	0	2	+0.01	+0.01	3	+0.01	+0.01	4	+0.01	+0.01	C	5	5
Alignment (mm.)																								
Point	Before	After																						
1	0	0																						
2	+0.01	+0.01																						
3	+0.01	+0.01																						
4	+0.01	+0.01																						
C	5	5																						
SITE TEST	NAME	SIGNATURE	DATE																					

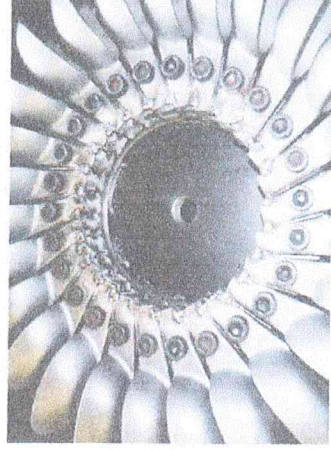
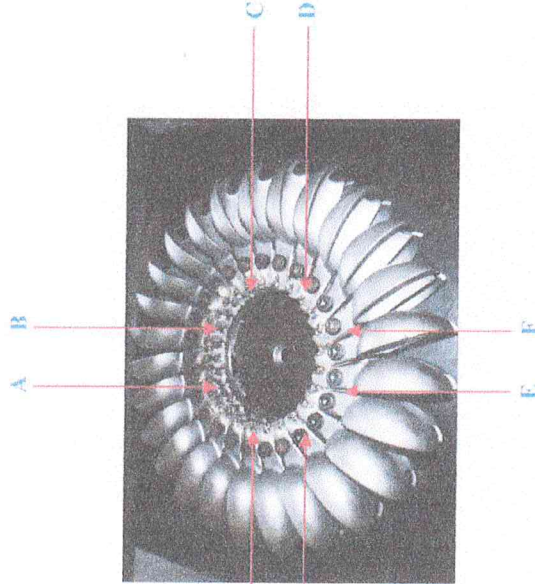
TURBINE SITE TEST REPORT						
Project :	Piyamit 2			Date : 27/11/60		
Turbine Type	Pelton			Page : 5/6		
Vibration Test						
Opening valve (%)	Turbine					
	DE(mm/s)			NDE(mm/s)		
	V	H	A	V	H	A
10	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20
20	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30	0.20
30	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20
40	0.40	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20
50	0.30	0.40	0.30	0.20	0.30	0.30
60	0.40	0.30	0.20	0.30	0.20	0.20
70	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
80	0.30	0.30	0.30	0.25	0.30	0.30
90	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
100	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Opening valve (%)	Generator					
	DE(mm/s)			NDE(mm/s)		
	V	H	A	V	H	A
10	1.70	1.80	1.70	1.30	1.20	1.60
20	1.80	2.00	1.80	1.40	1.60	2.00
30	1.90	2.10	1.80	1.80	1.75	2.00
40	1.90	2.30	1.80	1.90	2.00	2.10
50	2.00	2.40	2.00	2.10	2.00	2.30
60	2.30	2.40	2.10	2.10	2.20	2.30
70	2.30	2.40	2.20	2.20	2.20	2.30
80	2.50	2.50	2.20	2.20	2.30	2.30
90	2.40	2.40	2.30	2.30	2.30	2.40
100	2.50	2.40	2.20	2.20	2.40	2.30
*มาตรฐานการสั่นตาม ISO 2372-1974 E ต้องไม่เกิน 2.8 mm/s						
SITE TEST	NAME			SIGNATURE		DATE

TURBINE SITE TEST REPORT				
Project :	Piyamit 2	Date : 27/11/60		
Turbine Type	Pelton	Page : 6/6		
Vibration Test				
Opening valve (%)	Bearing 1			
	V	H	A	
	10	0.30	0.20	0.30
	20	0.30	0.30	0.30
	30	0.30	0.20	0.30
	40	0.40	0.30	0.20
	50	0.30	0.40	0.30
	60	0.40	0.30	0.40
	70	0.30	0.30	0.30
	80	0.30	0.30	0.40
	90	0.30	0.30	0.40
	100	0.30	0.30	0.40
Opening valve (%)	Bearing 2			
	V	H	A	
	10	0.30	0.20	0.30
	20	0.30	0.30	0.30
	30	0.30	0.20	0.30
	40	0.40	0.30	0.20
	50	0.30	0.40	0.30
	60	0.40	0.30	0.40
	70	0.30	0.30	0.40
	80	0.30	0.30	0.40
	90	0.30	0.30	0.40
	100	0.30	0.30	0.40
* มาตรฐานการสั่นตาม ISO 2372-1974 E ต้องไม่เกิน 2.8 mm/s				
SITE TEST	NAME	SIGNATURE	DATE	

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลทดสอบการเชื่อมใบพัด การบาลานซ์ชุดใบพัด
ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบและตู้ควบคุม

1	2	3	4	5	6
A					
B					
C					
A					
B					
C					
D					



DESCRIPTION เชื่อมประกอบใบพัด

PROBLEM	ปัญหาของชิ้นงาน				
EQUIPMENT	อุปกรณ์ที่ใช้	เครื่องเชื่อม Tig Welding			
BOND COAT	ชั้นรองพื้น BOND COAT ด้วยวัสดุ				
BOND COAT	พื้นเคลือบด้วย				
TOP COAT	สี TOP COAT ด้วยวัสดุ				
SURFACE	ผิวสีหรือ SURFACE FINISHING				
SEALER	อุดรูทวน้ำตก				
TEMP	อุณหภูมิขณะเชื่อมท่อที่เชื่อม				
QC METHOD	การตรวจสอบคุณภาพท่อเชื่อม	ถ่ายภาพทุกชิ้นตอน , Visual , PT Test			
ENGRAVE	ทำตอกชิ้นงาน				
1	2	3	4	5	6
SUB: ใบพัดกังหันน้ำ Dia.442		MATERIALS: -		SCALE: NTS	
TITLE: ใบพัดกังหันน้ำ Dia.442		APPROVE: ARNUT	7/03/2017		
CUSTOMER: บริษัท กรีน เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) (ต่อจ.วีที)		CHECK: NONTAWUT	7/03/2017		
DWG. NO. ENG-WS-1703099		DRAWN: NONTAWUT	7/03/2017		
REV.:		DESIGN: -			
DATE: 7/03/2017		BY: SIGN.			
P. 1					





ADVANCE SURFACE TECHNOLOGY CO., LTD.
 1/2 MOO.6, SAMMUANG, LADBUALUANG, AYUTHAYA, 13230
 TEL. 035-378-329-32, 086-3263885, 081-8413175 FAX. 035-378-328
 E-Mail : ast@surfacetechno.com.

INSPECTION REPORT

CLIENT: บริษัท อีเอสที เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) (บริษัท อีเอสที เทคโนโลยี จำกัด)
 ADDRESS: 90/658 ซ. 6 ต. บางคูรัด อ. บางบาล จ. สุพรรณบุรี
 PROJECT: บริษัท อีเอสที เทคโนโลยี จำกัด Dir.442
 QUANTITY: 1 P.C.

DATE: 7/03/2017
 WS NO.: 1703099-C692
 ENGRAVE: 1703099
 TOOLS: VISUAL

INSPECTION METHOD: DIMENSION CHECK RUN OUT RA VISUAL PT TEST

PROCESS/POINT	A	B	C	D	E	F	G	H
MAX	-	-	-	-	-	-	-	-
MIN	-	-	-	-	-	-	-	-
INPUT QC	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL
PRE-M/C	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -
BOND COAT	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -
BUILD UP	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -
BUILD UP M/C	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -
BOND COAT	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -
TOP COAT	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL
TIG WELDING	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -	X -
FINAL QC	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL	X VISUAL
POINT 0 90 180 270 BEFOR POINT 0 90 180 270 AFTER ภาพที่ 1 Run out								

NCR NOTE :

(MR. NONTAWUT PUSATHONG)
 REPORTER DATE: 7-5-19
 (MR. NONTAWUT PUSATHONG)
 QC DATE: 7-3-19





ADVANCE SURFACE TECHNOLOGY CO.,LTD.
 1/2 MOO.6 , SAMMUAENG , LADBUALUANG , AYUTHAYA. 13230
 TEL. 035-378-329-32, 086-3263885, 081-8413175 FAX. 035-378-328
 E-Mail : ast@surfacetchno.com

LIQUID PENETRANT

EXAMINATION REPORT

MATERIAL TYPE : สแตนเลส AST 501-40

CLIENT บริษัท กรีนเน็ค อีซี จำกัด (บางกอกแอร์เวย์ส จำกัด)
 ADDRESS 90/658 ซ. 6 ต. บางบัวทอง อ. บางบัวทอง จ. นนทบุรี
 PROJECT บ้านพักชั้นที่ 4 Di.442
 QUANTITY 1 Pc.

DATE 7/03/2017
 WS NO. 1703099-C692
 ENGRAVE 1703099
 TOOLS PT-LIQUID
 PAGE 3

MATERIAL THICKNESS

TEST RECORD

SURFACE PREPARATION BRUSHING GRINDING OTHER Machine

PENETRANT BRAND : TASETO FP-S

REMOVER BRAND : -

DEVELOPER BRAND : TASETO FD-S

METHOD : COLOUR CONTRAST PENETRANT

FLUORESCENT PENETRANT

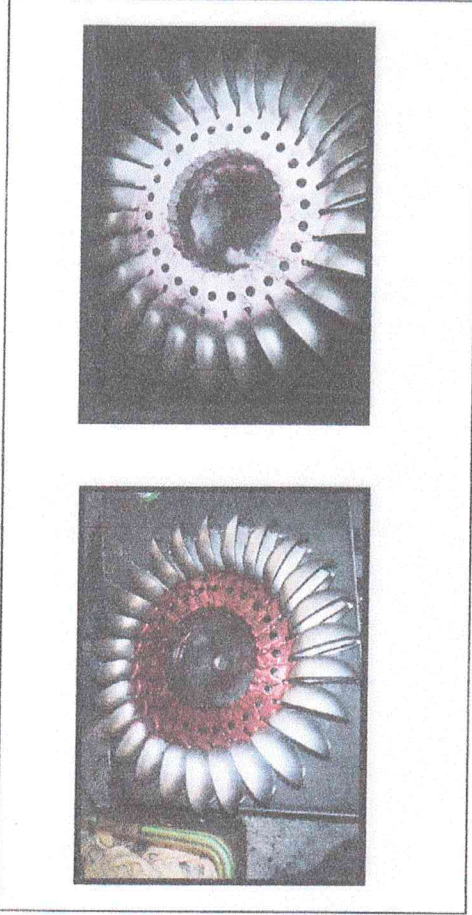
PENETRANT SPRAY BRUSHING TIME 15 Minute

REMOVER SOLVENT WATER

DEVELOPER WET DRY TIME 15 Minute

ACCEPTANCE CRITERIA : No Crack

TEST LOCATION / PICTURE



TOTAL LENGTH : -

RESULT : Accept

JUDGEMENT : - ACCEPT : OK REJECT : -

ATTACHED REPORT : -

PAGE (S)

(Handwritten signature)

(MR. NONTAWUT PUSATHONG)
 QC DATE : 7-3-17



(MR. NONTAWUT PUSATHONG)
 REPORTER DATE : 7-3-17



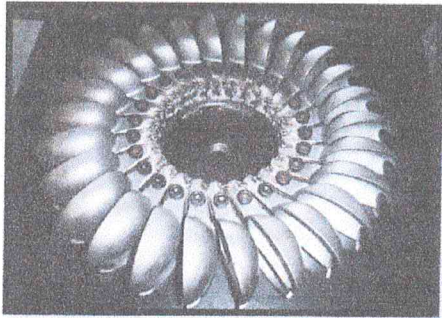
บริษัท แอดวานซ์ เซอร์เฟส เทคโนโลยี จำกัด

ADVANCE SURFACE TECHNOLOGY CO.,LTD.

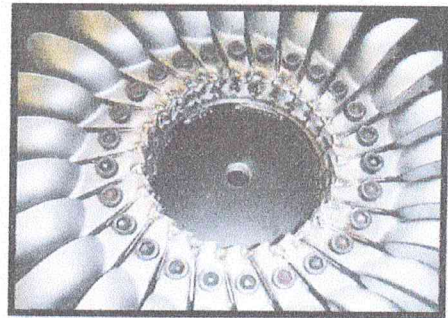
เลขที่ 1/2 หมู่.6 ตำบลสามเมือง อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13230

โทร. 035 - 378-329 - 32 , มือถือ 01 - 626-5139 แฟกซ์. 035 - 378 - 328

CLIENT :	บริษัท กรีนเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (บางกอกเวอร์เตอร์เวิร์ก)	Report No: 1703099
PROJECT :	ใบพัดกังหันน้ำ Dia.442	Date of test : 7/03/2017
TOOLS :	VISUAL	Material : ลวดเชื่อม AST 501-40
DWG :	1 Pc.	Page : 4



ชิ้นงานก่อนดำเนินการ



ชิ้นงานก่อนดำเนินการ



ชิ้นงานดำเนินการ Preheat ก่อนเชื่อม
ทุกครั้งก่อนอุณหภูมิ 100-170°C



ชิ้นงานดำเนินการ Preheat ก่อนเชื่อม
ทุกครั้งก่อนอุณหภูมิ 100-170°C



ชิ้นงานดำเนินการเชื่อม Tag Welding



ชิ้นงานดำเนินการเชื่อม Tag Welding

COMMENT



บริษัท แอดวานซ์ เซอร์เฟส เทคโนโลยี จำกัด

ADVANCE SURFACE TECHNOLOGY CO.,LTD.

เลขที่ 1/2 หมู่.6 ตำบลสามเมือง อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13230

โทร. 035 - 378-329 - 32 , มือถือ 01 - 626-5139 แฟกซ์. 035 - 378 - 328

CLIENT :	บริษัท กรีนเอ็นจิเนียริง จำกัด (บางกอกเวอร์เตอร์เวิร์ก)	Report No: 1703099
PROJECT :	ใบพัดกังหันน้ำ Dia.442	Date of test : 7/03/2017
TOOLS :	VISUAL	Material : ลวดเชื่อม AST 501-40
DWG :	1 Pc.	Page : 5



ขั้นตอนดำเนินการ Preheat ให้อุณหภูมิ 600-620 °C



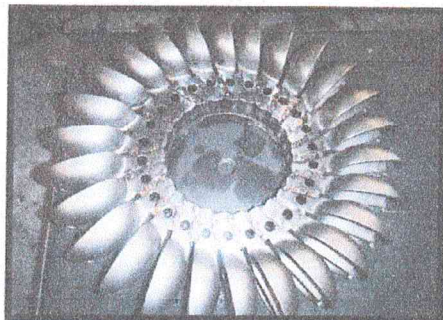
ขั้นตอนดำเนินการ Preheat ให้อุณหภูมิ 600-620 °C



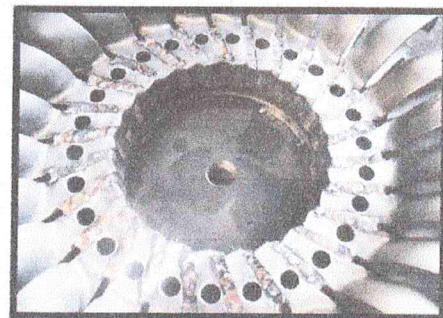
ขั้นตอนดำเนินการใช้ลมเป่าให้อุณหภูมิ ลดลงถึง 266 °C



ขั้นตอนดำเนินการใช้ลมเป่าให้อุณหภูมิ ลดลงถึง 266 °C



ขั้นตอนผิวสำเร็จ



ขั้นตอนผิวสำเร็จ

COMMENT



AMRON INDUSTRIES CO.,LTD.
96 Soi Rama 2 Soi 54 Samaedum, Bangkhuntien, Bangkok 10150

DYNAMIC BALANCE REPORT

CUSTOMER : บริษัท กรีน เอ็นจิเนียริง จำกัด

JOB NO : 6003-027B

DATE : 25/1/2017

Details :

Description : Runner Turbine Piyamite 2
 Approx size : Ø 450 x 130 mm.
 Blade quantity : 1000 rpm.

Photo Graphic



Balancing distance and Radius :

A : 410 mm. B : 80 mm. C : 350 mm.
 RE: 140 mm. R2: 140 mm. Balancing Speed : 1000 RPM

Balancing Result	Initial		Final	
	Weight (g)	Angle (Deg)	Weight (g)	Angle (Deg)
DE	22.1	317	3.8	69
NDE	96.2	127	0.2	294

Remarks :

Inspected by : Anusorn N.

Tested by : Eakarin S.

Proved by : Ouychai D.



S K SALES AND SERVICE CO.,LTD.
194/56, 194/57 Thakham Rd. Samsa Dam
Bang Khun Thian Bangkok 10150
Tel : 02-417-2144 Fax : 02-417-2155

Certificate of Calibration

Certificate No. : L1809-405

Customer : Green Engineering and Management Co., Ltd.
: No.5/6, Moo.no.4, T.Khunsri, A.Sainoi,
: Nonthaburi province 11150, Thailand

Page 1 of 2

Equipment : Ultrasonic Flow Meter
Manufacturer : MAXIFLO
Model : MU-HA-CSML
Serial.No. : 81402502H
ID No./Tag No. : -
Date Receipt : 25 Sep 18
Date Calibrated : 25 Sep 18
Date of Issue : 26 Sep 18
Environment : Ambient Temperature : 30 ± 10 °C
Relative Humidity : 55 ± 20 %
Calibrated by : Mr. Suphachai Suksri

Calibration Method

In-house method : by Comparison Technic using Standard Flow Meter

Condition of this result of calibration

1. Standard instrument

<u>Measurement Standards</u>	<u>Model</u>	<u>Serial No.</u>	<u>Certificate No.</u>	<u>Due Date</u>
1) Mass Flow Meter	Promass 80F50	M300CC02000	FLS-B0I-1863/2017	8 Dec 18

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only

3. This certificate can be traceable to International System of Unit :

- Flowlab & Service Co.,Ltd.

Approved by :

(Mr. Phayak Tootit)

Chief of Calibration Laboratory

The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2$,providing a level of confidence level of approximately 95 %

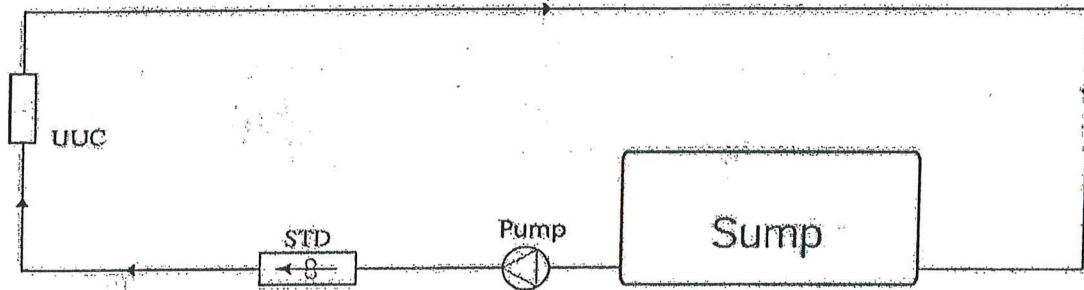
Result of Calibration

Calibration Point (m/s)	UUC Reading (m ³ /h)	STD Reading (m ³ /h)	UUC Error (%)	Measurement Uncertainty (± %)
0.31	5.013	4.986	0.54	0.23
3.76	60.082	59.903	0.30	0.14
5.66	90.242	90.169	0.081	0.14

Scale Factor = 1.00, pipe size 3 inch

STD = Standard

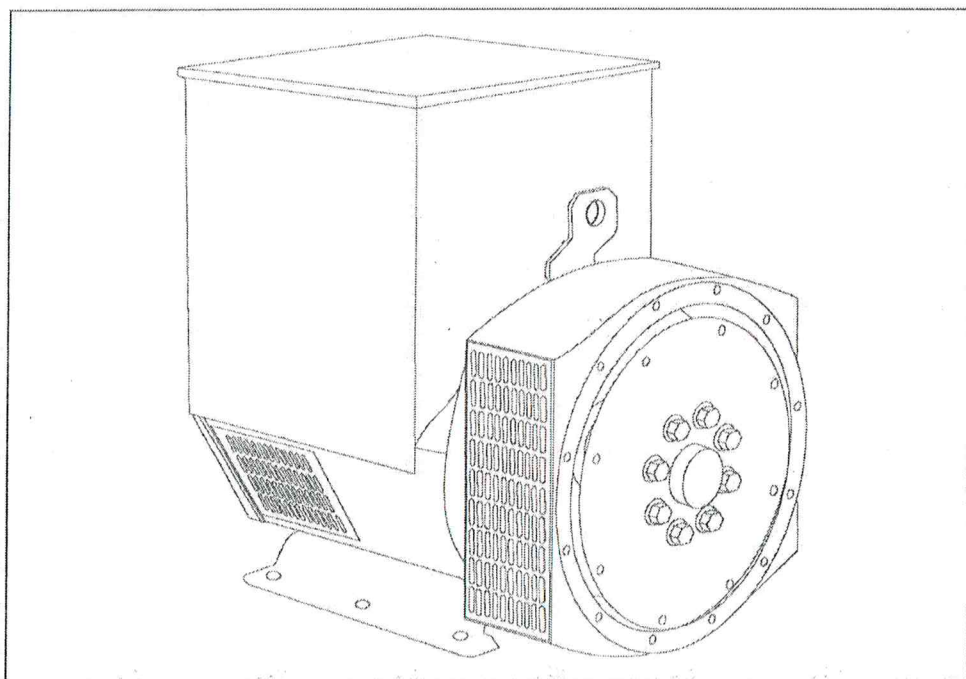
UUC = Unit Under Calibration



Handwritten signature

STAMFORD[®]

UCI224C - Technical Data Sheet



SPECIFICATIONS & OPTIONS

STANDARDS

Newage Stamford industrial generators meet the requirements of BS EN 60034 and the relevant section of other international standards such as BS5000, VDE 0530, NEMA MG1-32, IEC34, CSA C22.2-100, AS1359. Other standards and certifications can be considered on request.

VOLTAGE REGULATORS**SX460 AVR - STANDARD**

With this self excited control system the main stator supplies power via the Automatic Voltage Regulator (AVR) to the exciter stator. The high efficiency semiconductors of the AVR ensure positive build-up from initial low levels of residual voltage.

The exciter rotor output is fed to the main rotor through a three phase full wave bridge rectifier. This rectifier is protected by a surge suppressor against surges caused, for example, by short circuit.

AS440 AVR

With this self-excited system the main stator provides power via the AVR to the exciter stator. The high efficiency semi-conductors of the AVR ensure positive build-up from initial low levels of residual voltage.

The exciter rotor output is fed to the main rotor through a three-phase full-wave bridge rectifier. The rectifier is protected by a surge suppressor against surges caused, for example, by short circuit or out-of-phase paralleling.

The AS440 will support a range of electronic accessories, including a 'droop' Current Transformer (CT) to permit parallel operation with other ac generators.

MX341 AVR

This sophisticated AVR is incorporated into the Stamford Permanent Magnet Generator (PMG) control system.

The PMG provides power via the AVR to the main exciter, giving a source of constant excitation power independent of generator output. The main exciter output is then fed to the main rotor, through a full wave bridge, protected by a surge suppressor. The AVR has in-built protection against sustained over-excitation, caused by internal or external faults. This de-excites the machine after a minimum of 5 seconds.

An engine relief load acceptance feature can enable full load to be applied to the generator in a single step.

If three-phase sensing is required with the PMG system the MX321 AVR must be used.

We recommend three-phase sensing for applications with greatly unbalanced or highly non-linear loads.

MX321 AVR

The most sophisticated of all our AVRs combines all the features of the MX341 with, additionally, three-phase rms sensing, for improved regulation and performance. Over voltage protection is built-in and short circuit current level adjustments is an optional facility.

WINDINGS & ELECTRICAL PERFORMANCE

All generator stators are wound to 2/3 pitch. This eliminates triplen (3rd, 9th, 15th ...) harmonics on the voltage waveform and is found to be the optimum design for trouble-free supply of non-linear loads. The 2/3 pitch design avoids excessive neutral currents sometimes seen with higher winding pitches, when in parallel with the mains. A fully connected damper winding reduces oscillations during paralleling. This winding, with the 2/3 pitch and carefully selected pole and tooth designs, ensures very low waveform distortion.

TERMINALS & TERMINAL BOX

Standard generators are 3-phase reconnectable with 12 ends brought out to the terminals, which are mounted on a cover at the non-drive end of the generator. A sheet steel terminal box contains the AVR and provides ample space for the customers' wiring and gland arrangements. It has removable panels for easy access.

SHAFT & KEYS

All generator rotors are dynamically balanced to better than BS6861:Part 1 Grade 2.5 for minimum vibration in operation. Two bearing generators are balanced with a half key.

INSULATION/IMPREGNATION

The insulation system is class 'H'.

All wound components are impregnated with materials and processes designed specifically to provide the high build required for static windings and the high mechanical strength required for rotating components.

QUALITY ASSURANCE

Generators are manufactured using production procedures having a quality assurance level to BS EN ISO 9001.

The stated voltage regulation may not be maintained in the presence of certain radio transmitted signals. Any change in performance will fall within the limits of Criteria 'B' of EN 61000-6-2:2001. At no time will the steady-state voltage regulation exceed 2%.

NB Continuous development of our products entitles us to change specification details without notice, therefore they must not be regarded as binding.

Front cover drawing typical of product range.

UCI224C

STAMFORD

WINDING 311

CONTROL SYSTEM	SEPARATELY EXCITED BY P.M.G.		
A.V.R.	MX321	MX341	
VOLTAGE REGULATION	± 0.5 %	± 1.0 %	With 4% ENGINE GOVERNING
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	REFER TO SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVES (page 7)		

CONTROL SYSTEM	SELF EXCITED		
A.V.R.	SX460	AS440	
VOLTAGE REGULATION	± 1.0 %	± 1.0 %	With 4% ENGINE GOVERNING
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	SERIES 4 CONTROL DOES NOT SUSTAIN A SHORT CIRCUIT CURRENT		

INSULATION SYSTEM	CLASS H		
PROTECTION	IP23		
RATED POWER FACTOR	0.8		
STATOR WINDING	DOUBLE LAYER CONCENTRIC		
WINDING PITCH	TWO THIRDS		
WINDING LEADS	12		
STATOR WDG. RESISTANCE	0.181 Ohms PER PHASE AT 22°C SERIES STAR CONNECTED		
ROTOR WDG. RESISTANCE	0.59 Ohms at 22°C		
EXCITER STATOR RESISTANCE	21 Ohms at 22°C		
EXCITER ROTOR RESISTANCE	0.071 Ohms PER PHASE AT 22°C		
R.F.I. SUPPRESSION	BS EN 61000-6-2 & BS EN 61000-6-4,VDE 0875G, VDE 0875N. refer to factory for others		
WAVEFORM DISTORTION	NO LOAD < 1.5% NON-DISTORTING BALANCED LINEAR LOAD < 5.0%		
MAXIMUM OVERSPEED	2250 Rev/Min		
BEARING DRIVE END	BALL. 6312-2RS (ISO)		
BEARING NON-DRIVE END	BALL. 6309-2RS (ISO)		

	1 BEARING		2 BEARING	
WEIGHT COMP. GENERATOR	271 kg		280 kg	
WEIGHT WOUND STATOR	75 kg		75 kg	
WEIGHT WOUND ROTOR	78.95 kg		70.58 kg	
WR ² INERTIA	0.3987 kgm ²		0.3667 kgm ²	
SHIPPING WEIGHTS in a crate	294 kg		301 kg	
PACKING CRATE SIZE	97 x 57 x 96(cm)		97 x 57 x 96(cm)	
	50 Hz		60 Hz	
TELEPHONE INTERFERENCE	THF<2%		TIF<50	
COOLING AIR	0.216 m ³ /sec 458 cfm		0.281 m ³ /sec 595 cfm	

VOLTAGE SERIES STAR	380/220	400/231	415/240	440/254	416/240	440/254	460/266	480/277
VOLTAGE PARALLEL STAR	190/110	200/115	208/120	220/127	208/120	220/127	230/133	240/138
VOLTAGE SERIES DELTA	220/110	230/115	240/120	254/127	240/120	254/127	266/133	277/138
KVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	42.5	42.5	42.5	40	50	52.5	52.5	55
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	2.42	2.19	2.03	1.70	3.03	2.84	2.60	2.50
X' _d DIR. AXIS TRANSIENT	0.19	0.17	0.16	0.13	0.22	0.21	0.19	0.18
X'' _d DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.12	0.11	0.10	0.08	0.15	0.14	0.13	0.12
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	1.12	1.01	0.94	0.79	1.40	1.31	1.20	1.16
X'' _q QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.16	0.14	0.13	0.11	0.14	0.13	0.12	0.12
X _L LEAKAGE REACTANCE	0.08	0.08	0.07	0.06	0.10	0.09	0.09	0.08
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.14	0.13	0.12	0.10	0.14	0.13	0.12	0.12
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.10	0.09	0.08	0.07	0.10	0.09	0.09	0.08

REACTANCES ARE SATURATED

VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED

T' _d TRANSIENT TIME CONST.	0.025 s
T'' _d SUB-TRANSTIME CONST.	0.006 s
T' _{do} O.C. FIELD TIME CONST.	0.65 s
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.005 s
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d

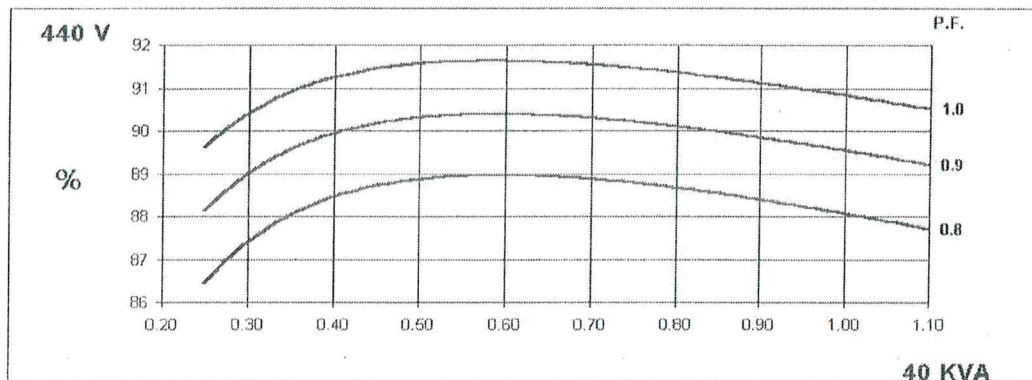
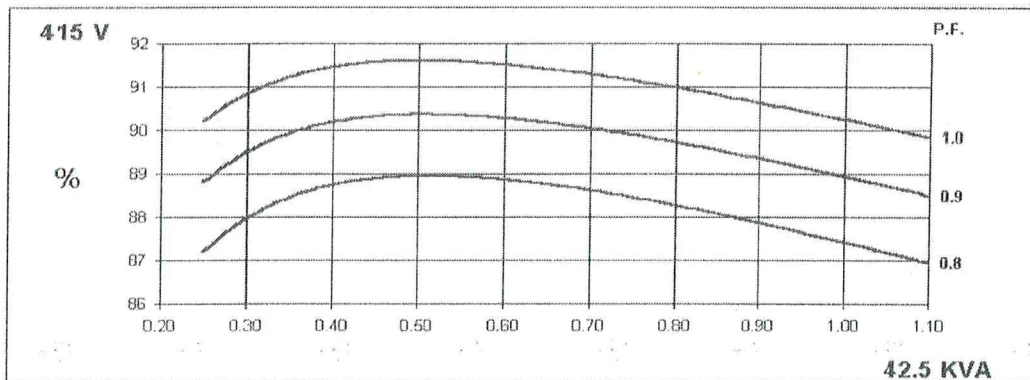
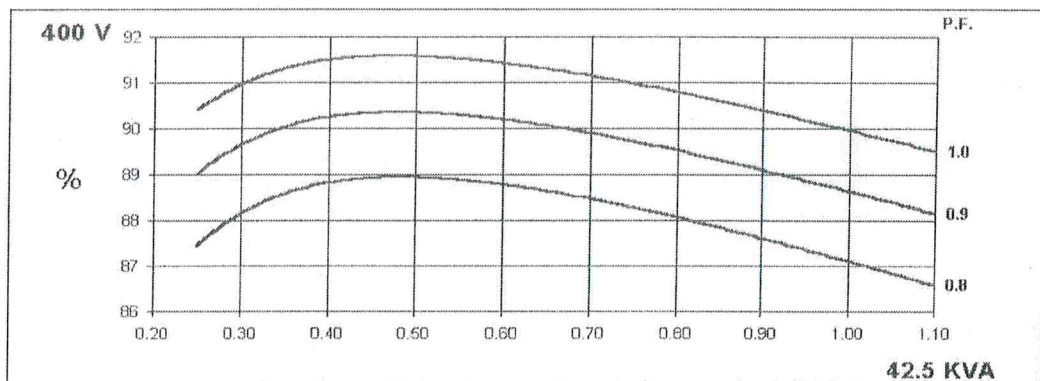
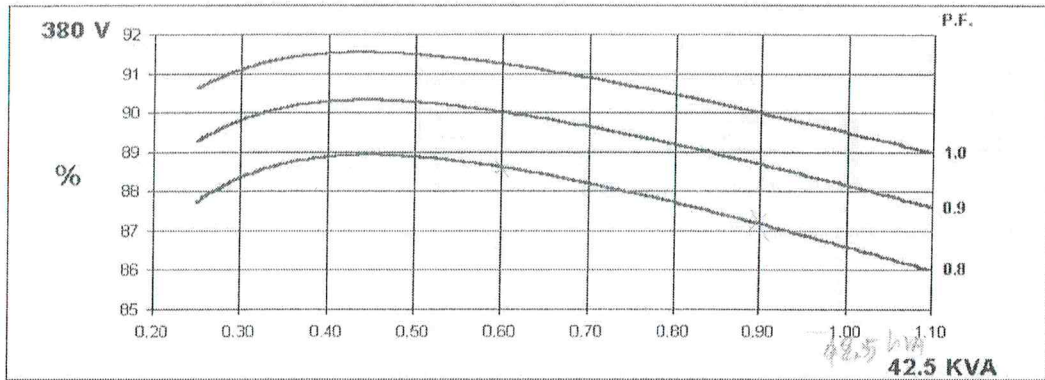
**50
Hz**

UCI224C

STAMFORD

Winding 311

THREE PHASE EFFICIENCY CURVES

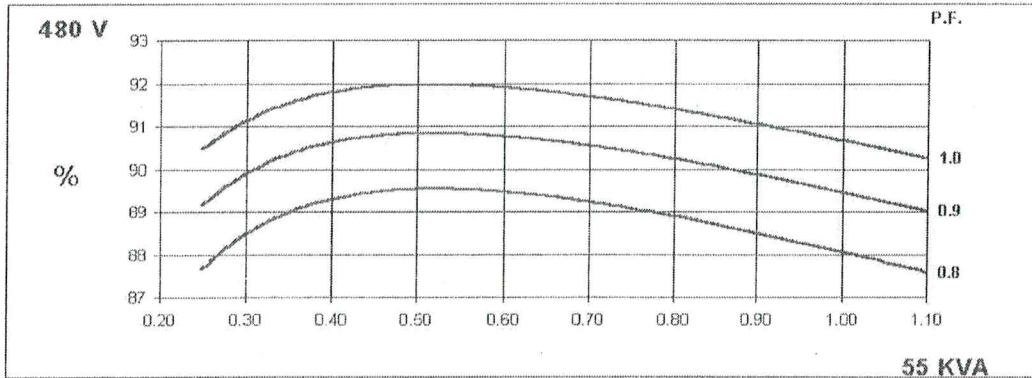
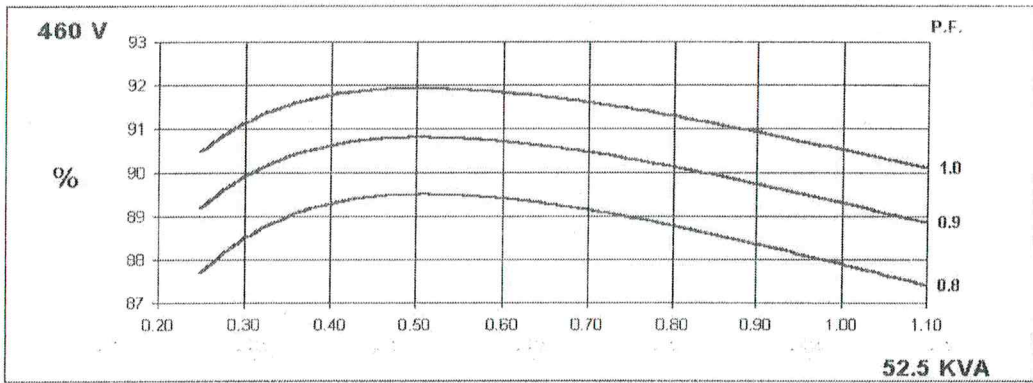
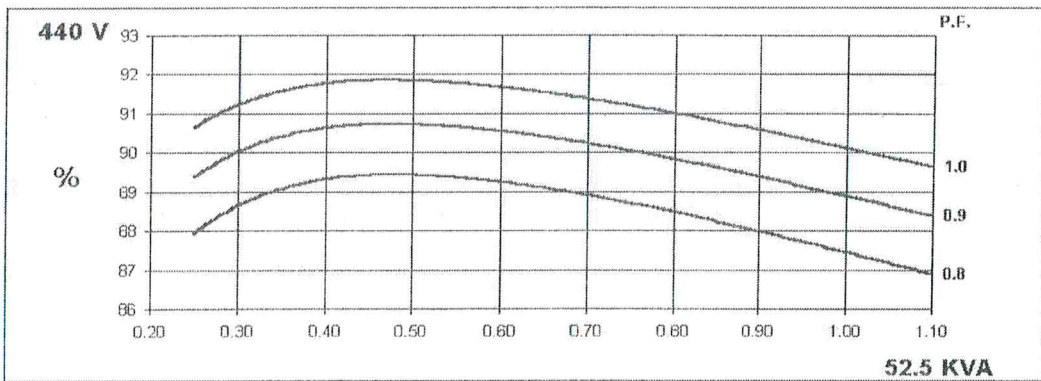
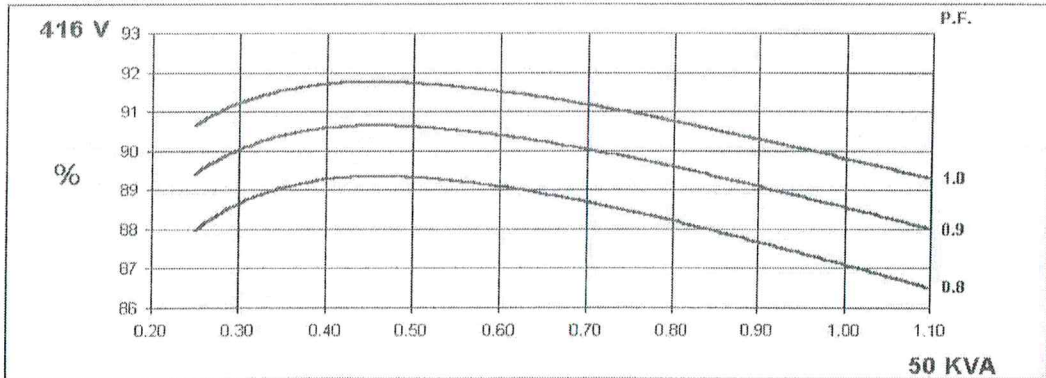


**60
Hz**

UCI224C
Winding 311

STAMFORD

THREE PHASE EFFICIENCY CURVES



UCI224C

STAMFORD

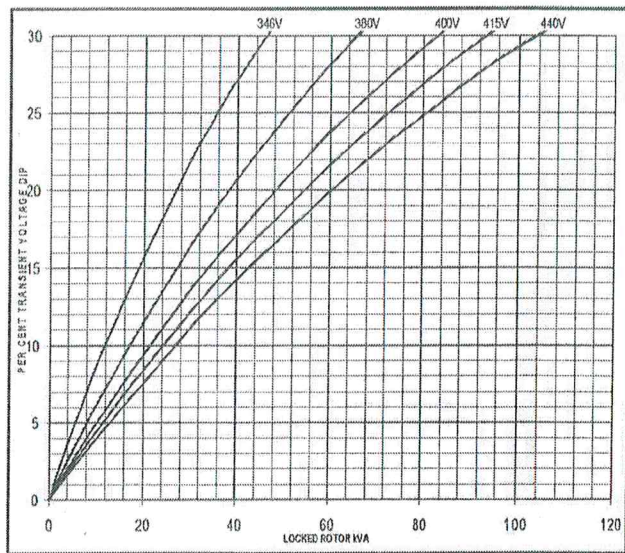
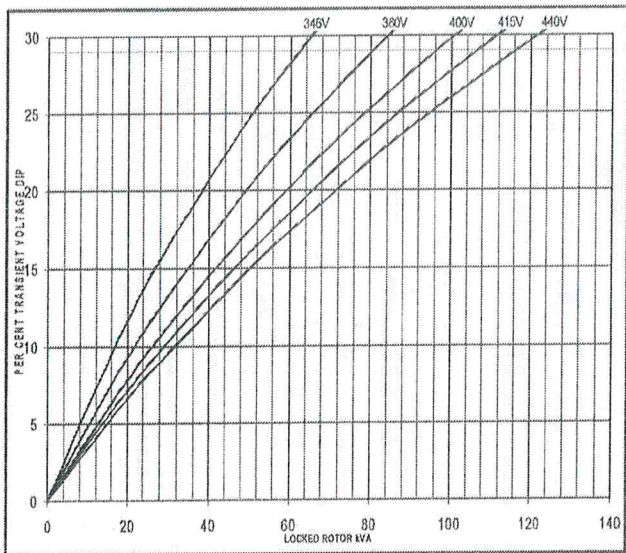
Winding 311

Locked Rotor Motor Starting Curve

50
Hz

MX

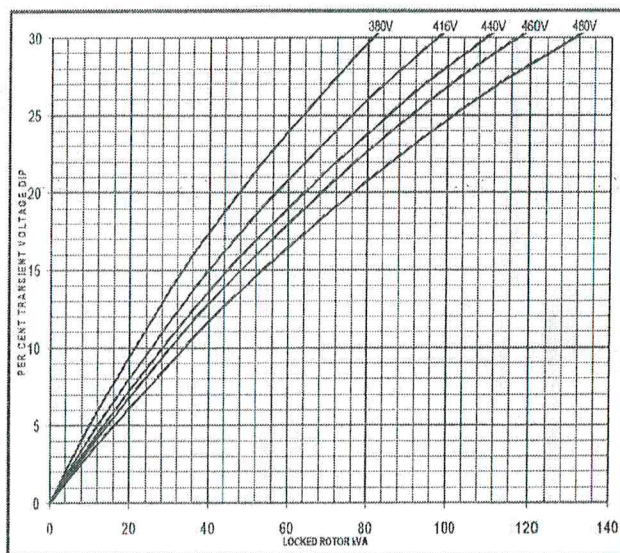
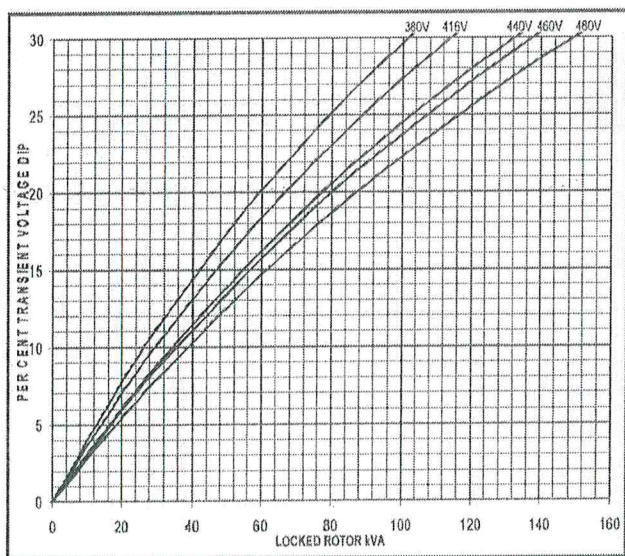
SX



60
Hz

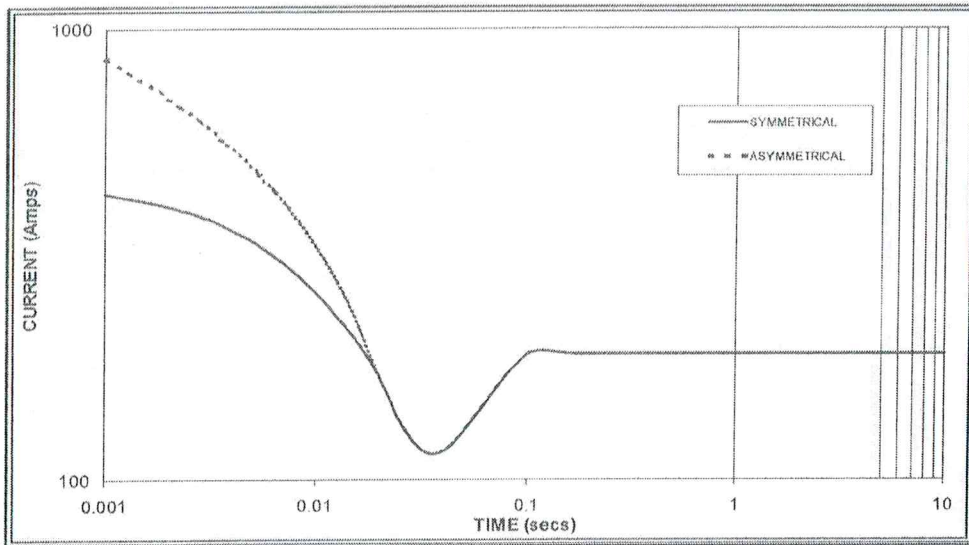
MX

SX



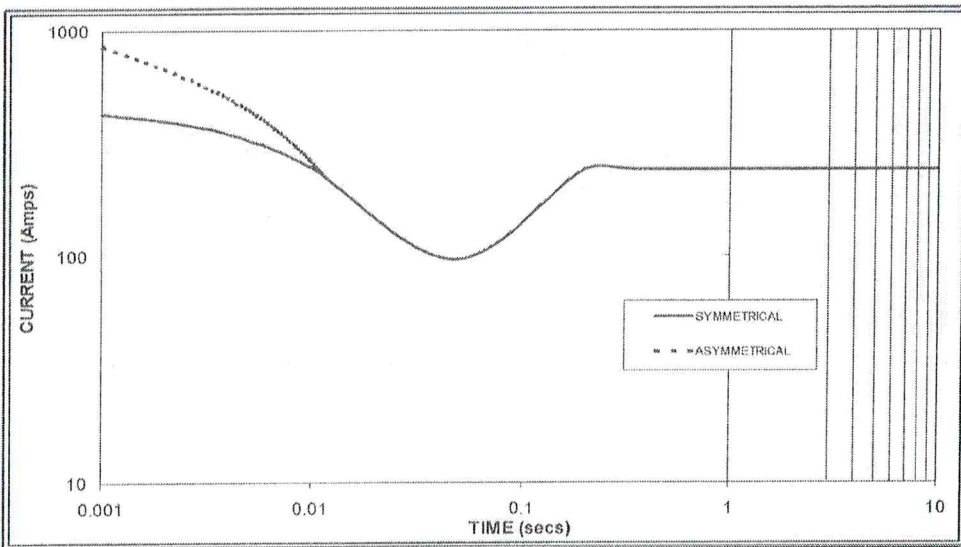
Three-phase Short Circuit Decrement Curve. No-load Excitation at Rated Speed
Based on star (wye) connection.

**50
Hz**



Sustained Short Circuit = 190 Amps

**60
Hz**



Sustained Short Circuit = 240 Amps

Note 1

The following multiplication factors should be used to adjust the values from curve between time 0.001 seconds and the minimum current point in respect of nominal operating voltage :

50Hz		60Hz	
Voltage	Factor	Voltage	Factor
380v	X 1.00	416v	X 1.00
400v	X 1.07	440v	X 1.06
415v	X 1.12	460v	X 1.12
440v	X 1.18	480v	X 1.17

The sustained current value is constant irrespective of voltage level

Note 2

The following multiplication factor should be used to convert the values calculated in accordance with NOTE 1 to those applicable to the various types of short circuit :

	3-phase	2-phase L-L	1-phase L-N
Instantaneous	x 1.00	x 0.87	x 1.30
Minimum	x 1.00	x 1.80	x 3.20
Sustained	x 1.00	x 1.50	x 2.50
Max. sustained duration	10 sec.	5 sec.	2 sec.

All other times are unchanged

Note 3

Curves are drawn for Star (Wye) connected machines. For other connection the following multipliers should be applied to current values as shown :

Parallel Star = Curve current value X 2

Series Delta = Curve current value X 1.732

UCI224C

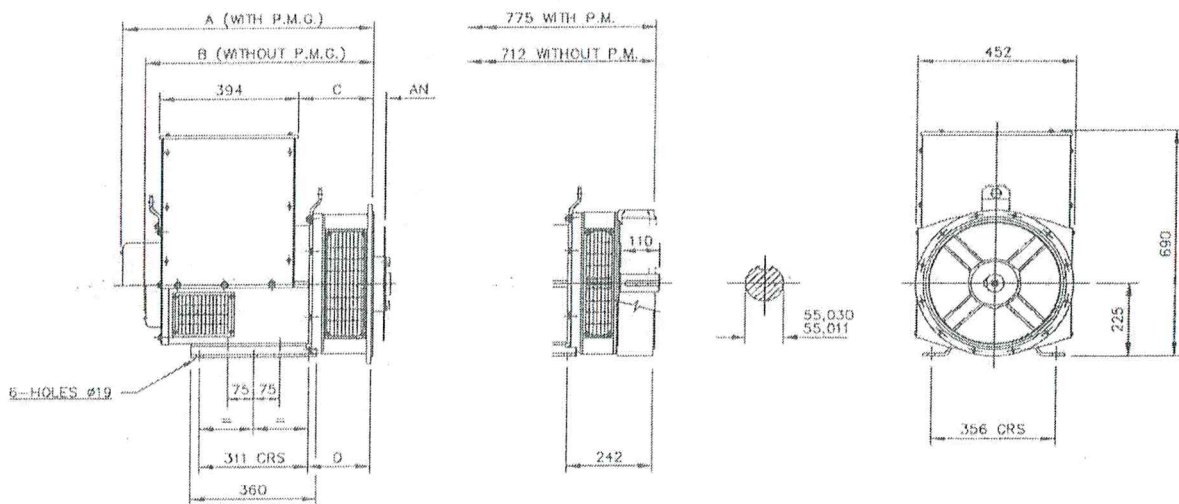
STAMFORD

Winding 311 / 0.8 Power Factor

RATINGS

Class - Temp Rise	Cont. F - 105/40°C				Cont. H - 125/40°C				Standby - 150/40°C				Standby - 163/27°C				
50 Hz	Series Star (V)	380	400	415	440	380	400	415	440	380	400	415	440	380	400	415	440
	Parallel Star (V)	190	200	208	220	190	200	208	220	190	200	208	220	190	200	208	220
	Series Delta (V)	220	230	240	254	220	230	240	254	220	230	240	254	220	230	240	254
kVA	37.5	37.5	37.5	27.0	42.5	42.5	42.5	30.0	45.0	45.0	45.0	31.7	46.8	46.8	46.8	33.0	
kW	30.0	30.0	30.0	21.6	34.0	34.0	34.0	24.0	36.0	36.0	36.0	25.4	37.4	37.4	37.4	26.4	
Efficiency (%)	87.3	87.7	88.0	88.4	86.6	87.1	87.4	88.1	86.2	86.8	87.1	87.9	86.0	86.6	86.9	87.7	
kW Input	34.4	34.2	34.1	32.6	39.3	39.0	38.9	36.3	41.8	41.5	41.3	38.4	43.5	43.2	43.1	40.1	
60 Hz	Series Star (V)	416	440	460	480	416	440	460	480	416	440	460	480	416	440	460	480
	Parallel Star (V)	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240
	Delta (V)	240	254	266	277	240	254	266	277	240	254	266	277	240	254	266	277
	kVA	45.0	46.3	46.3	48.0	50.0	52.5	52.5	55.0	53.1	55.0	55.0	58.1	55.0	56.3	56.3	60.0
	kW	36.0	37.0	37.0	38.4	40.0	42.0	42.0	44.0	42.5	44.0	44.0	46.5	44.0	45.0	45.0	48.0
Efficiency (%)	87.7	88.1	88.4	88.6	87.1	87.5	87.9	88.1	86.7	87.2	87.7	87.8	86.5	87.1	87.5	87.6	
kW Input	41.0	42.0	41.9	43.3	45.9	48.0	47.8	49.9	49.0	50.5	50.2	52.9	50.9	51.7	51.5	54.8	

DIMENSIONS



SINGLE BEARING MACHINES ONLY						
ADAPTOR	A	B	C	D	COUPLING DISCS	AN
SAE 1	724.3	661.3	224.3	191.3	SAE 8	61.90
SAE 2	710	647	210	177	SAE 10	53.98
SAE 3	710	647	210	177	SAE 11.5	39.68
SAE 4	710	647	210	177	SAE 14	25.40

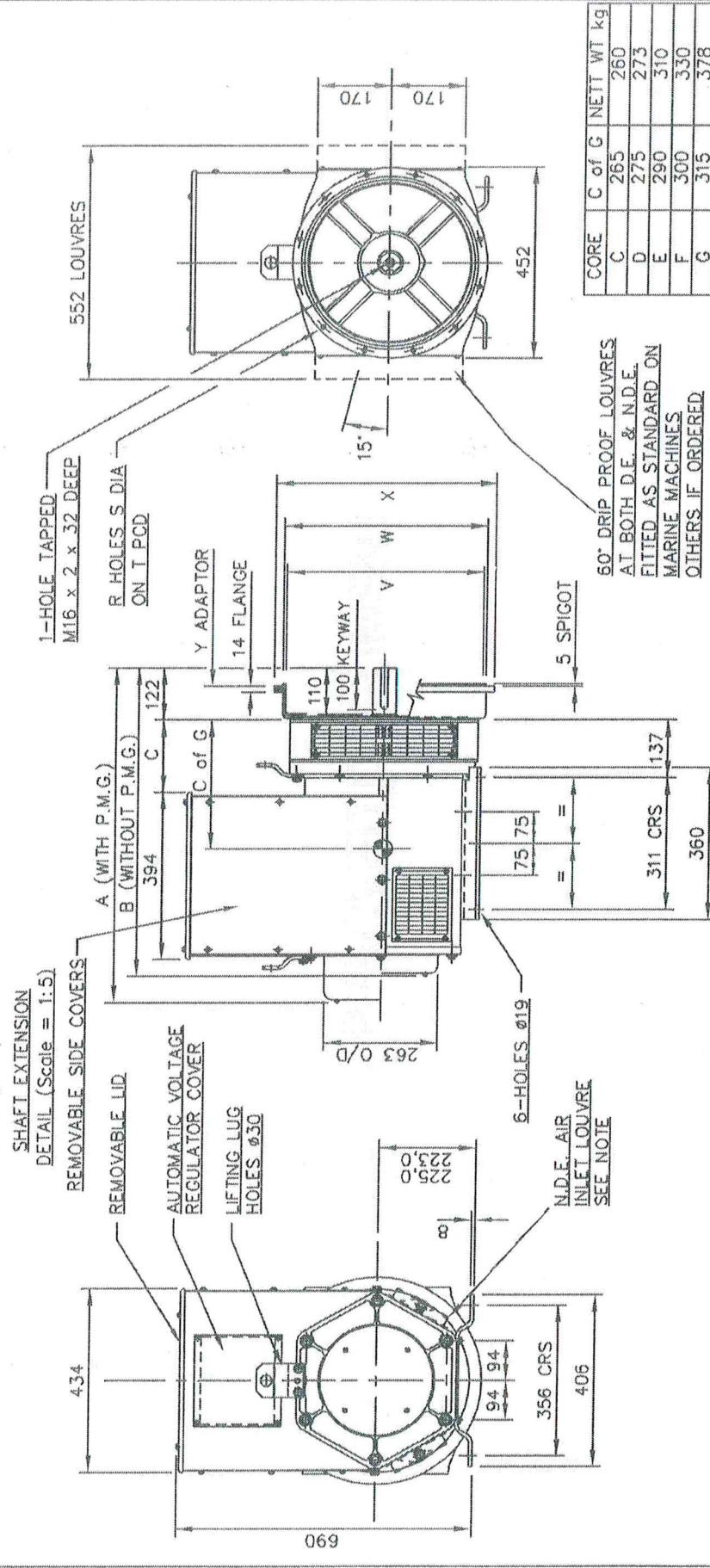
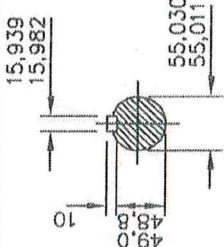
STAMFORD

Barnack Road • Stamford • Lincolnshire • PE9 2NB
Tel: 00 44 (0)1780 484000 • Fax: 00 44 (0)1780 484100

D23-2043
FIRST W.O.

ISSUE B
IF IN DOUBT-ASK
DO NOT SCALE

DIMENSIONS		DIN FLANGE ADAPTORS									
FRAME	A	B	C	S.A.E No.	R	S	T	V	W	X	Y
224C/D	793	730	170	1	12	12,7	530,2	490	511,1	553	80
224E/F	883	820	260	2	12	11	466,7	438	447,6	490	40
224G	928	865	305								



CORE	C of G	NETT WT kg
C	265	260
D	275	273
E	290	310
F	300	330
G	315	378

NOTE: -
WEIGHTS DO NOT INCLUDE SAE ADAPTOR FLANGES

CERTIFIED PRINT (ONLY IF SIGNED)		SCALE		FIRST W.O.	
BY		1:10			
DATE		UNIVERSAL FEET. DIN ADAPTOR & STD. SHAFT ø55 x 110			
DRAWN JWS 17.6.97		CUMMINS GENERATOR TECHNOLOGIES LTD STAMFORD, ENGLAND		ISSUE B	
CH'D		D23-2043			
APP'D					

MOD/N	ISSUE	DRAWN	DATE	ALTERATION
4-8684-02	B	USD	18.09.06	CHANGE OF COMPANY NAME
4/7544/1	A	JWS	17/6/97	ORIGINAL ISSUE

STAMFORD®

TEST CERTIFICATE(Standard)

Serial Number X16J441478

Frame Size UC.1224C2

Winding 311

RATING DATA

KVA	42.5	Volts	380	Insulation	CLASS II
KW	34.0	Phase	3	Rating	CONT
Amps	64.6	Wire	4	RPM	1500
PF	0.80	HZ	50	Enclosure	IP23
Ambient	40	°C			

TEST DATA NO - LOAD

Volts	380
Hz	50
Amps	0
P.F.	1.0
Max Watt Loss	900

HV FLASH TEST FOR 1 MINUTE

Stator	2.2 KV
Rotor	2.2 KV

COLD RESISTANCE VALUES

Stator	0.1629 - 0.1991	Ohms/Phase
Rotor	0.531 - 0.649	Ohms

STANDARDS

Generator conforms to BS5000 : Part 3

Tested in accordance with BS EN 60034-1

Rotor dynamically balanced to BS ISO 1940-1

REMARKS

CLOCK drive - end rotation gives sequence UVW

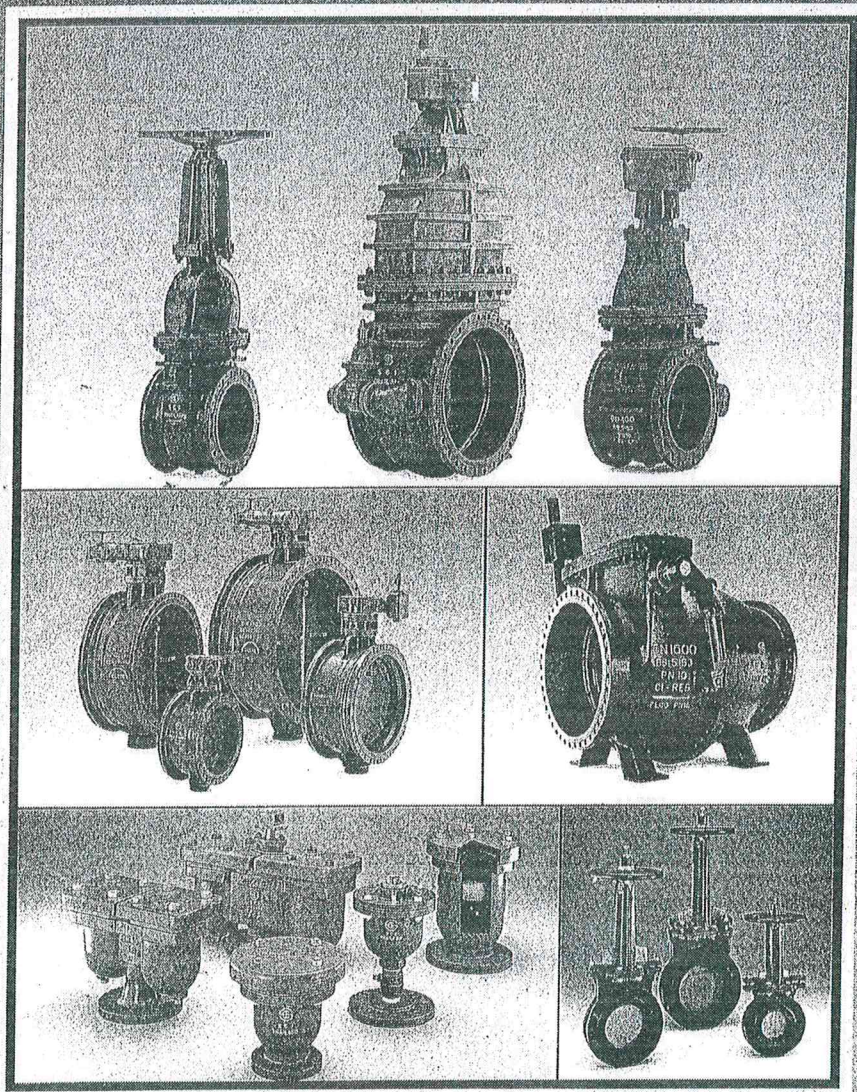
Date 2016/10/29

Approved by : Quality Manager

Martha Mu



SIAM CAST IRON WORKS CO., LTD.



**MANUFACTURER OF CAST IRON
AND DUCTILE IRON VALVES**

INTRODUCTION

Siam Cast Iron Works Co. Ltd. was established in April, 1974 under a joint venture agreement among Thai and Japanese enterprises, producing high quality cast iron and ductile iron valves employing Japanese technology and expertise.

Our products are widely accepted in the local and international markets under the trade mark SCI for water works and waste service, air conditioning, irrigation power plant and industrial use, covering sluice valve, gate valve, butterfly valve, check valve, air valve and others. In conformity with AWWA, MSS Practice, BS, JIS, DIN and ISO standards.

Since the commencement of production under the promotion certificate from the Board of Investment, the Company has been specializing in manufacture of high quality valves of cast iron and ductile iron, performing the whole production course, from high quality casting, precise machining and careful assembly to the severe individual hydrostatic or air pressure testing and quality assurance inspection before shipment.

Siam Cast Iron Works Co. Ltd. guarantees each product of its manufacture free from material defect or workmanship when such products are installed and used in accordance with service. They are guaranteed for one year from date of shipment, but damage resulting from improper storage, improper handling, or installation will not be considered under SCI's liability, our liability is limited to repair or replacement only.

PRODUCTION RANGES

SCI Cast Iron and Ductile Iron Valves and Fittings cover various types, sizes and ratings as follows:

GATE VALVES

1. Metal seated and (BBM) (bronzo mounted)
 - 1.1 For water works service

a) AWWA C-500 non-rising stem	sizes 2" - 60"
b) AWWA C-500 rising stem, OS & Y	sizes 16" - 60"
c) BS.5163 10/16/25 bar non-rising stem	DN 50 to 1500
 - 1.2 For general purpose

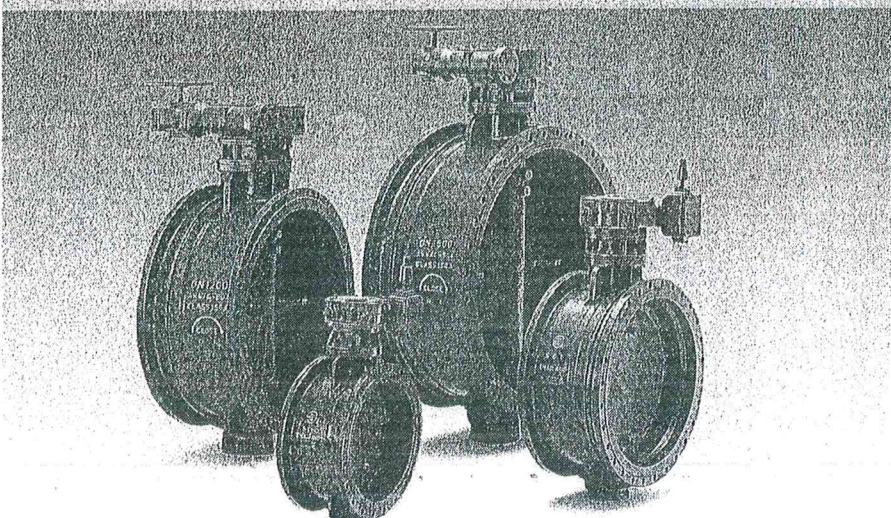
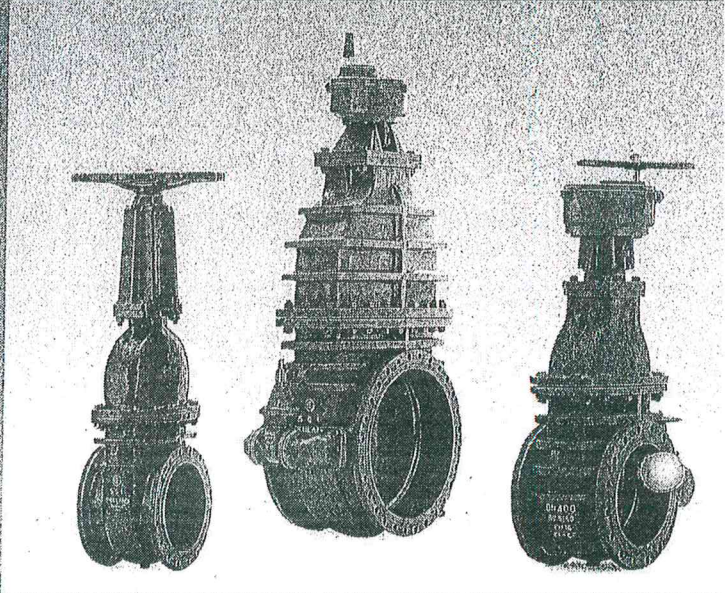
a) MSS SP 70 class 125 non-rising stem	sizes 1 1/2" - 60"
b) MSS SP 70 class 125 rising stem, OS & Y	sizes 1 1/2" - 60"
c) BS 5150 10/16/25 bar non-rising stem	DN 40 to 1500
d) BS 5150 10/16/25 bar rising stem, OS & Y	DN 40 to 1500
2. Resilient seated
 - 2.1 For water works and waste service

a) AWWA C-509 non-rising stem and rising stem, OS & Y	sizes 2" - 24"
b) BS.5163 10/16/25 bar non-rising stem	DN 50 to 600
 - 2.2 For fire protection service

UL and **FM** (Underwriters Laboratories and Factory Mutual Research) rising stem, OS & Y

	sizes 2 1/2" - 12"
--	--------------------
 - 2.3 For general purpose

BS.5150 10/16/25 bar non-rising stem and rising stem, OS & Y	DN 50 to 600
--	--------------

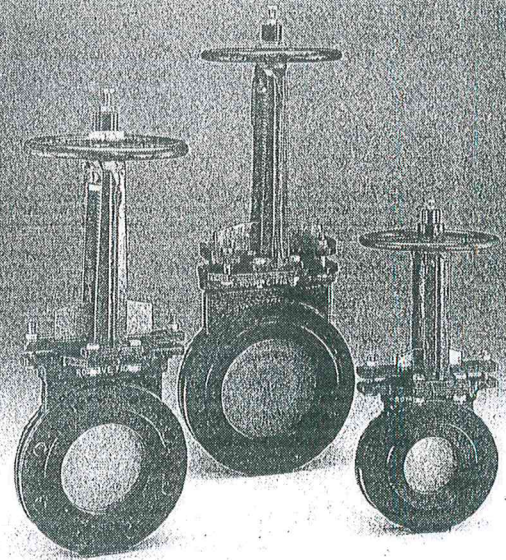
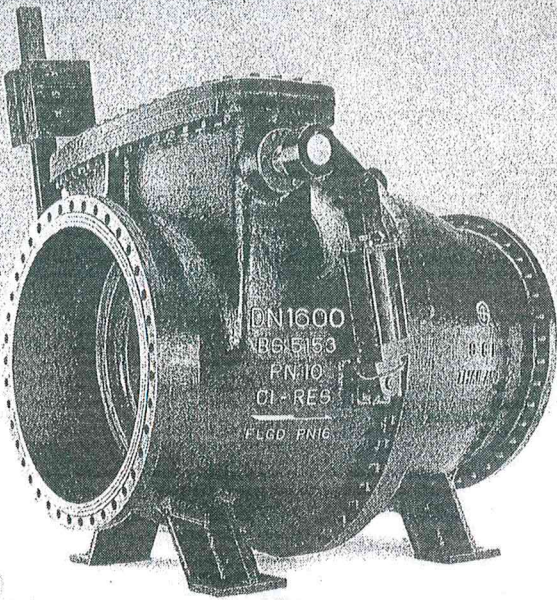


2. BUTTERFLY VALVES

1. Metal seated (low leakage and regulating)

BS.5155 6/10/16 bar	DN 80 to 1500
---------------------	---------------
2. Resilient seated (tight shut-off)
 - 2.1 AWWA C-504 class 25/75/150 A, B sizes 3" - 120"
 - 2.2 BS.5155 6/10/16 bar

	DN 80 to 3000
--	---------------



SWING BUTTERFLY AND TILTING DISC CHECK VALVES

1. Metal seated and Resilient seated
 - 1.1. AWWA C 508 sizes 2" - 64"
 - 1.2. MSS SP-71 class 125 sizes 2" - 64"
 - 1.3. BS 5153 10/16/25 bar DN 50 to 1600
2. UL and FM Resilient seated swing check valve sizes 2 1/2" - 12"



4. AIR VALVES

1. Single small orifice 10/16/25 bar DN 25 to 150
2. Single large orifice 10/16/25 bar DN 50 to 150
3. Double orifice 10/16/25 bar with or without integral valve DN 50 to 300

5. KNIFE GATE VALVES

1. Resilient seated, bi-directional (produced under license of Roy Valve Pacific) DN 80 to 300
2. Resilient seated, bi-directional DN 350 to 1600

6. OTHER PRODUCTS

Other products are also available, such as fire hydrants, foot valves, flap valves, valve boxes, manhole covers and frames, pipe fittings and bronze castings. If you need other type of products, please feel free to contact us directly or our agents.

7. OPERATOR

SOI shall provide the following operator upon request:

1. Handwheel, wrench nut or cam valve wrench, chain wheel and sprocket, lever, floor stand (head stock) and extension stem for gate valves and butterfly valves.
2. Gearing of spur or bevel gear or enclosed type for gate valves.
3. Gearing of worm or worm gear with bevel and travelling nut, enclosed with grease for butterfly valves.
4. Cylinder or electric motor for gate and butterfly valves.
5. Lever and weight (counter weight), spring and weight, hydraulic cylinder (oil dash-pot) and air cushioned for check valves.

8. VALVE ENDS AVAILABLE

SOI shall provide the following ends connection upon request:

1. Flanged end.
2. Socket end (ring fit, push-on, hub etc.)
3. Spigot end
4. Screw end (threaded end)
5. Mechanical joint end.
6. Victaulic (grooved) and shoulder ends
7. Combination of ends

9. SPECIAL ACCESSORIES

Special accessories shall be provided upon request:

1. Bosses for drainage, by-pass and pipe connection
2. By-pass unit
3. Clean-out
4. Valve locking device
5. Various type of indicators, such as, needle and stem type (mechanical positive type), differential type, worm gear (barrel) type, indicator post and etc.
6. Bronze or non-corrosion metal guides and shoes and rollers for gate valves

10. COATING

The following paints are our standard coating:

1. Bitumen (cold application)
2. Alkyd based enamel
3. Coal tar epoxy
4. Potable grade epoxy resin (light blue)
5. Powder epoxy resin (light blue)



SIAM CAST IRON WORKS CO., LTD.

308 RATBURANA ROAD, BANGKOK 10140, THAILAND

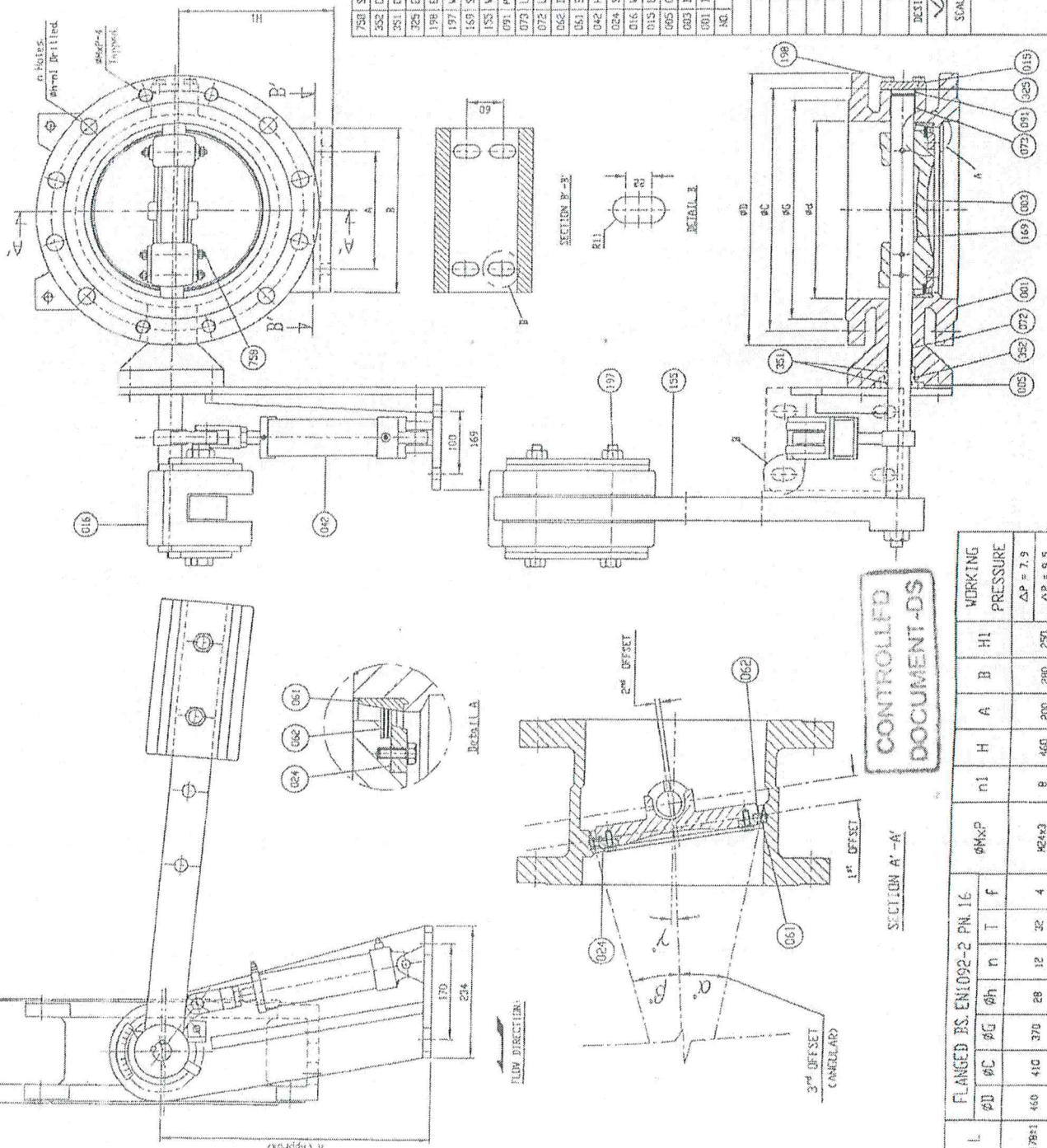
Tel: (662) 4270188 Fax: (662) 4273808

บริษัท สยามคาสท์ ไอออนเวิร์กส์ จำกัด

308 ถนนราชบุรณะ กรุงเทพฯ 10140

โทร. 4270188 โทรสาร. 4273808

Remark - All galvanized steel to be hot dipped.
 - Allowable leakage through the valve seat at preferred direction at working pressure shall be not greater than 0.1 Litre/min.



NO	PARTS	MATERIAL	BE SPEC.
758	Shaft Stud & Nut	Stainless Steel	EN10088 Grade 1.4301
352	D-Ring C	Rubber (NBR)	EN681-1
351	D-Ring S	Rubber (NBR)	EN681-1
325	End Plate Gasket	Non Asbestos Sheet	
198	End Plate Bolt	Galvanized Steel	4130
197	Weight Bolt & Nut	Galvanized Steel	4130
159	Shaft	Stainless Steel	EN10088 Gr. 1.4301 or EN10088 Gr. 1.4301
155	Weight Arm	Ductile Iron	EN1561-EN-GA-200-7
091	Plain Thrust Bearing	Gunmetal	EN1562-CC-091K
072	Upper Bushing	Gunmetal	EN1562-CC-091K
062	Disc Seat Ring	Stainless Steel	EN10088 Grade 1.4301
042	Hydraulic Cylinder	Stainless Steel	EN10088 Grade 1.4301
024	Seat Holder	Ductile Iron	EN1562-EN-GA-200-7
016	Weight	Cast Iron	EN1561-EN-GA-200
015	End Plate	Cast Iron	EN1561-EN-GA-200
005	Gland	Ductile Iron	EN1562-EN-GA-200-7
003	Disc	Ductile Iron	EN1562-EN-GA-200-7
001	Body	Cast Iron	EN1561-EN-GA-200
NC	PARTS	MATERIAL	BE SPEC.

MATERIAL LIST	
HYDRO SHELL	24 bar
HYDRO VALVE SEAT	17.5 bar
HYDRO BACK SEAT	bar
AIR SEAT	bar
STEAM	bar

WORKING PRESSURE SEE TABLE
 TEST PRESSURE
 SCI CORPORATION CO., LTD.
 DESIGNED BY DRAWN BY CHECKED BY APPROVED BY
 SCALE 1:1
 DRAWN DATE NOV 1, 2016
 ISSUE DATE NOV 1, 2016

BUTTERFLY VALVE BS. 5155 PN. 16
 SIZE 300 mm, TRIPLE ECCENTRIC
 FIG. 465 TYPE BPT2-FRANCA DRAWING NO. LP49261
 3571 ISSUED: 201112 REVISED: YST

SIZE	L	FLANGED BS. EN1092-2 PN. 16				ØMxP	n1	H	A	B	H1	WORKING PRESSURE					
		ØD	ØC	ØG	Øh							n	t	f	ΔP = 7.9	ΔP = 9.5	ΔP = 9.0
300	178x1	460	410	370	28	12	32	4	424x3	8	460	200	280	250			

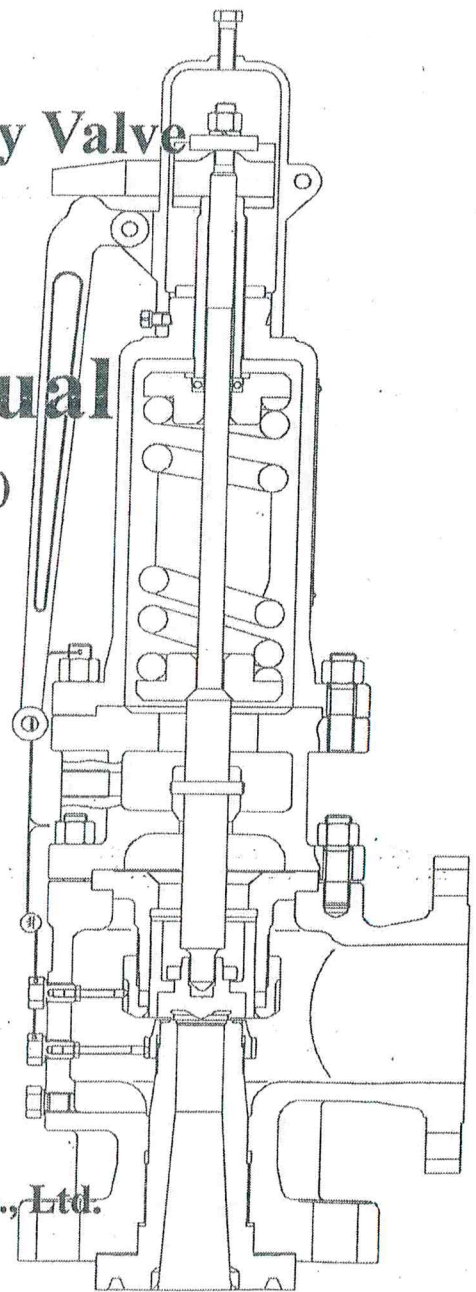


Pursue for eternity and build up Chinese brand

Spring-loaded Safety Valve

User's Manual

(According to ANSI)



Zhejiang Henghua Valve Co., Ltd.

Contents

I. Main technical parameters of spring-loaded safety valve	1
II. Main technical specifications of spring-loaded safety valve	1
III. Structure and functions of main fittings	1-2
1. Working principles of spring-loaded safety valve	2
IV. Selection of safety valve	2-3
1. Determination of working pressure	2-3
2. Selection conditions	3
(1) Inside nominal diameter selection	3
(2) Material determination	3
V. Handle and storage of safety valve	4
VI. Installation of safety valve	4-5
1. Installation site	4
2. Requirements on inlet pipeline laying	4
3. Discharge pipeline laying	4-5
VII. Guidelines for performance tuning of safety valve	5-7
1. Adjustment of set pressure (opening pressure)	5-6
2. Adjustment of relieving pressure and re-seating pressure	6-7
VIII. Common failures and troubleshooting of safety valve	7-8
IX. Service and maintenance of safety valve	8

Spring-loaded Safety Valve Instructions

A safety valve is a valve mechanism for the automatic release of pressure from the pressure equipment, vessel or pipeline. When the pressure in the system protected exceeds preset limits, it opens automatically to discharge extra medium as to prevent the pressure from rising. When the pressure decreases to certain specified value, the valve closes automatically as to ensure normal operation.

I. Main technical parameters of spring-loaded safety valve

Nominal pressure: 150 Lb ~ 2500 Lb
Inside nominal diameter: 1/4 in ~ 16 in
Applicable temperature: -196°C ~ 550°C
Applicable medium: water, air, oil product, steam, natural gas, etc.

II. Main technical specifications of spring-loaded safety valve

ISO 4126-1 Safety valves; Part 1: General requirements
API std 526 Flanged steel pressure relief valves
API 520 Sizing, Selection and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries
API std 527 Seat Tightness of Pressure Relief Valves
ASME American Society of Mechanical Engineers
Boiler and Pressure Vessel Code Sec VIII
Pressure Vessel

III. Structure and functions of main fittings

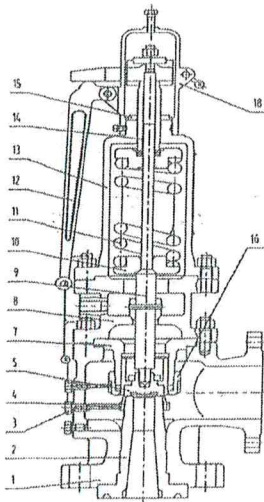


Fig.1

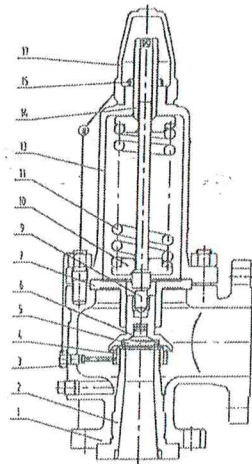


Fig.2

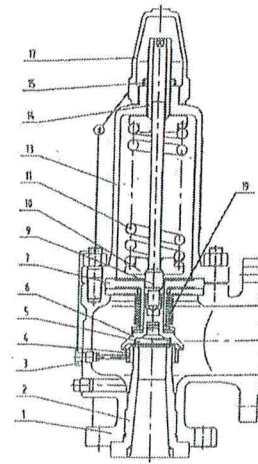


Fig.3

No.	Part Name	Main Functions
1	Body	Valve shell and main pressure part
2	Nozzle	Inlet pressure bearing part and main sealing fitting
3	Set screw	Prevent nozzle ring from loosening
4	Lower nozzle ring	Adjust re-seating pressure, relieving pressure and lift
5	Disc	the key fitting for open and seal
6	Disc holder	Promote the disc to rise when counterforce occurred during the discharge of medium
7	Guide	Guide and positioning of disc
8	Radiator	Main fitting of high-temperature valve for lowering the temperature of spring cavity
9	Stem	Transfer the spring force to disc (or disc holder)
10	Spring washer	Support spring
11	Spring	Main fitting of safety valve for loading and pressure adjustment
12	Lifting level	Manually discharge
13	Bonnet	Sealed safety pressure part used for connecting part and spring cavity
14	Adjusting bolt	Adjust the set pressure of safety valve
15	Adjusting bolt nut	Prevent the adjusting bolt from loosening
16	Upper nozzle ring	Adjust the re-seating pressure, relieving pressure and lift
17	Cap	Prevent the medium from leakage
18	Pulling yoke of cap	Manually open the valve fittings
19	Bellows	Balance backpressure or avoid leakage of poisonous gas

Working Principle of Spring-loaded Safety Valve

Spring-loaded safety valve gets sealed by adjusting spring force to overcome the medium pressure. When the spring force is larger than the normal medium pressure, the disc is closed. When the medium pressure exceeds the set pressure, the spring is under compression and forces the disc sealing face separated, as a result, the valve will open automatically and fully discharge. When the medium pressure falls to the normal value, the spring force pushes the disc to the nozzle then disc sealing face overlaps the nozzle sealing face, the valve closes automatically.



The precision and cleanness of sealing face of disc and nozzle directly have close relationship with the sealing performance of valve.

IV. Selection of safety valve

The following points should be taken into consideration when select and verify the parameters of safety valve: the nominal pressure of safety valve is determined by the working pressure, the applicable temperature range is determined by the medium temperature, the pressure stage of spring is determined by the set pressure value of safety valve, materials and structure of safety valve are determined by the medium used, throat diameter of the safety valve is calculated by the discharge capacity of safety valve. That how to properly apply safety valves is directly related to economic benefit of end users as well as to the safety of operators and equipment. Hereunder are some key points during selection:

1. Determination of working pressure

The working pressure and nominal pressure of safety valves, and spring pressure stage differ in meaning. The working pressure refers to a static pressure before the valve under normal working condition and is same with working pressure of system protected or equipment. The spring pressure stage refers to allowable working pressure limits of a certain spring; within such pressure limits, the set pressure (namely opening pressure) of safety valve may be regulated by changing precompression amount of the spring. Safety valve of the same nominal pressure may be divided into several different working pressure stages as required by spring design. Premise for division is enough to ensure that both the upper limit and lower limit of each working pressure stage may conform to action performance index stipulated by relevant standards. The set pressure is set at the lower limit of working pressure stage before the safety valve leaves the factory. The working pressure stage shall be determined according to required set pressure value during its selection.

2. Selection Conditions

(1) Selection of nominal diameter

The nominal diameter shall be determined subject to discharge capacity required by the system protected. That is to say, the safety valve selected should have rated discharge capacity bigger than required discharge capacity. Discharge capacity required by the system protected refers to the medium amount must be discharged when the system has abnormal overpressure as to avoid excessive overpressure. It is decided by factors such as working conditions of system or equipment, volume and causes that may result in superhigh pressure.

(2) Material determination

The material for safety valve selected shall take working temperature, working pressure and performance of the medium as well as material manufacturability, economy and other factors into consideration. In order to select appropriate safety valve, main fittings for general safety valves and related technical data are given in Table 1. Generally, users may select them from our safety valve sample book which outlines different models, working temperatures, pressure limits and using medium. As to safety valve of special shape, you may inquire us when ordering.

Table 1

Material of main fittings						Applicable working condition	
Body	Nozzle	Disc	Bonnet	Spring	Material of sealing face	Applicable medium	Applicable temperature °C
WCB	304	304	WCB	50CrVA	Co-based hard alloy	Air, oilgas, liquid, steam, etc.	≤300
CF8	316	316	CF8	50CrVA fluoroplastic wrapped	Co-based hard alloy	Corrosive medium such as nitric acid	≤200
CF8M	316	316	CF8M	50CrVA fluoroplastic wrapped	Co-based hard alloy	Corrosive medium such as acetic acid	
CF3M	316L	316L	CF3M	50CrVA fluoroplastic wrapped	Co-based hard alloy	Media with strong oxidizing property	
WC6	304	17-4PH	WCB	50CrVA	Co-based hard alloy	High temperature steam	≤510
WC9	304	17-4PH	WCB	30W4Cr2VA	Co-based hard alloy	High temperature steam	≤550

Refer to the sample book provided by our company for model selection and applicable working conditions.

V. Handle and storage of safety valve

Improper handle and storage of safety valves before installation and application after manufacture may cause harm to their performance and even make them useless. Generally, safety valves should be packed and fixed before transport. Keep it from violent shock in transit. The safety valve shall be stored in a dry and ventilated room. The inlet/outlet port shall be covered during storage and transport. Inspect the valve before storing in the warehouse. Clean the cap at the entrance and exit if there is any rainwater or dirt. Seal the entrance and exit with wax paper or plastic plate and store it in a dry and ventilated place.

VI. Installation of safety valve

Before installation, the caps of entrance and exit should be removed and the inner cavity of entrance should be cleaned with kerosene or petrol. Make sure the inlet pipeline is cleaned and free of rust, foreign objects or other defects that affect the sealing precision of safety valve. Proper installation ensures the safety valve to operate normally and exert its due role as well as directly benefits its performance index such as action performance, sealing performance and discharge capacity.

1. Installation site of safety valve

Following points should be attended during the selection of installation sites of system or equipment protected:

- 1) The safety valve should be vertically installed in positions most sensitive to pressure, such as top half of pressure vessel, main pipe of high temperature steam.
- 2) The pressure source of the system is a mechanism with pulse (such as air compressor). When the pulse upper limit of the pressure is quite close to the opening pressure of the safety valve, the valve should be mounted at a position with appropriate distance from pressure source or manostat as to avoid abnormal chatter.
- 3) Try not to mount the safety valve at the position where the equipment will vibrate so as to prevent the safety valve from earlier opening or leaking.
- 4) The valve should be mounted in the places convenient for dismounting and regular inspection and maintenance. The valve should be verified at least once every year.

2. Requirements on inlet pipeline laying

- 1) For connecting pipes between pressure vessel and safety valve and the body size hole of pipe fittings, their sectional area should not be less than that of inlet, and the connection pipes should be as short and straight as possible.
- 2) When two or above safety valves are mounted in one connector of pressure vessel, the inlet sectional area of this connector should be at least equal to the total inlet sectional area of these valves.
- 3) It is not suitable to mount check valve between valve and pressure vessel. However, in some special occasion, to not stop production and for the verification and overhaul, the block valve can be mounted between valve and pressure vessel. The structure and diameter of block valve should not obstruct the discharge of safety valve.

3. Discharge pipeline laying

In order to possibly reduce the affect of discharge pipeline to the safety performance, following points should be attended during pipelining:

- 1) The bore of discharge pipe should be larger than outlet diameter of the valve as to cause excessive backpressure which may affect the action of valve. As to safety valves of different media, the laying type of discharge pipe shall vary (see Fig. 4, 5 and 6)

- 2) The pipeline should be properly supported as to prevent the pipeline stress (erection stress and thermal stress) from attaching to the valve which may affect the valve performance. Fig. 9 shows one laying type of discharge pipeline.
- 3) In principle, it is advisable that one safety valve be employed with one discharge pipe. When two or more safety valves share one manifold, the manifold should be provided with adequate discharge area. At the joint position of discharge pipe connecting with the manifold, the flow turnover degree should be possibly small.
- 4) The discharge connecting pipe should be hatched with proper tapping holes as to avoid rain, snow or other condensates accumulate in the pipe and overflow from spring cavity mouth to corrode the valve.
- 5) As to the safety valve with high relieving pressure and large discharge capacity, a muffle should be set in the middle of discharge pipe to reduce noise.
- 6) It is unreasonable that the discharge pipe is supported by the outlet bypass of safety valve. It shall be supported by a specific support. The support may prevent the pipeline from moving or flutter due to counterforce produced at discharge.



Warning: the safety valve should be mounted after verified by local technical supervision authority.



Warning: When the equipment is under strength test, do not mount safety valve lest foreign objects in the pipeline equipment damages the sealing face when the safety valve opens.

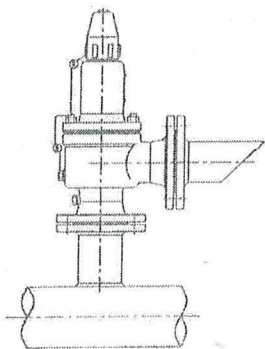


Fig. 4 For air or other gas

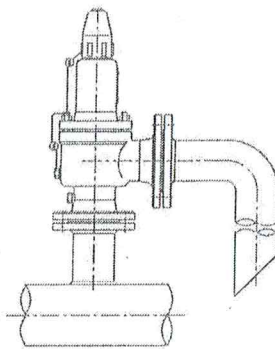


Fig. 5 For water or other liquid

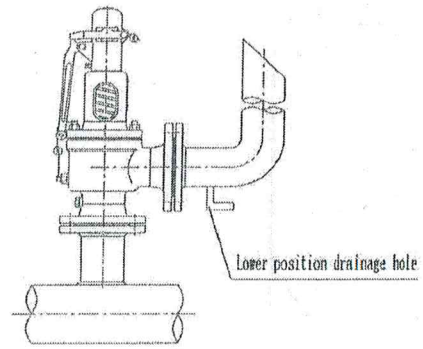


Fig. 6 For steam

VII. Guidelines for performance tuning of safety valve

Safety valves provided by us have undergone routine test under normal temperature as per standard. Because actual operating condition has difference in temperature with regulated pressure under normal temperature, deviation in set pressure (opening pressure) between them is caused. In this connection, safety valve with relatively large temperature difference must undergone site thermal pressure regulating. As a general rule, it will regulate set pressure (opening pressure) and discharge and re-seating pressure. Take our typical product as an example for explanation (see Fig. 1, 2, and 3):

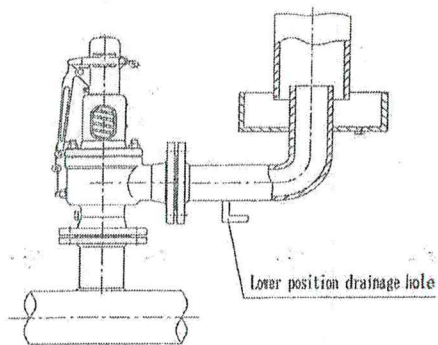


Fig. 7 For steam

1. Set pressure (opening pressure) adjustment

The adjustment of opening pressure is achieved by opening the upper lead seal, removing the pulling yoke, dismantling the bonnet and loosening the Adjusting bolt nut, finally rotating the Adjusting bolt as to change the precompression amount of the spring (see Fig. 8). During adjustment, slowly increase the valve inlet pressure to make two hops. If the opening pressure is on the low side, remove the inlet pressure and clockwise screw down the Adjusting bolt; if the pressure is on the high side, anticlockwise loosen the Adjusting bolt. When the desired opening pressure is obtained, screw down the Adjusting bolt nut and restore the bonnet. If the required opening pressure exceeds working pressure limits of the spring, then another spring of different working pressure stage should be replaced with and readjust. After replacement, the data on the nameplate should be correspondingly modified.

Following points should be attended during adjustment:

- 1) Before adjustment, the valve cavity should be cleansed and debug with clean medium..
- 2) When the pressure before valve approaches to opening pressure (namely exceeding 70% of opening pressure), do not turn adjusting bolt lest the disc turns and damages the sealing face.
- 3) Under allowable condition, it is better to employ medium parameter close to actual working conditions for adjustment as to ensure accuracy of opening pressure.

If impossible, safety valve for gas or steam may employ air medium to adjust set pressure; safety valve for liquid or water may employ water of normal temperature to adjust. If actually used medium temperature differs greatly with the medium temperature during adjustment, temperature compensation should be taken into account.

- 4) Pressure gage for set pressure adjustment should take regular verification with its precision not lower than 0.4 class. The pressure value should be from one third to two thirds of gage range and the diameter of its dial should be not smaller than 150 mm.

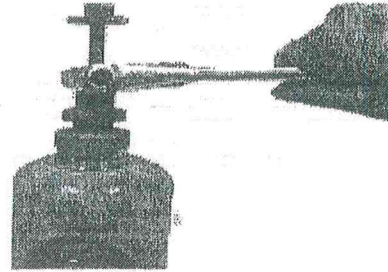


Fig. 8 Adjustment method of set pressure

2. Adjustment of relieving pressure and re-seating pressure

- 1) As to safety valve with already adjusted opening pressure, if relieving pressure or re-seating pressure is unqualified, it may be adjusted by relocating the nozzle ring. The safety valve is available with single nozzle ring and double nozzle rings (see Fig.9). The adjustment procedure is as below: open the lead seal, slacken set screw on the nozzle ring, then stretch from the bolt hole with a thin iron bar and alike to turn the gear wheel. If the valve outlet is not provided with connecting tube, the iron bar may be stretched directly from the outlet for adjustment. For the sake of safety, the valve inlet pressure should be properly decreased prior to adjustment (usually it shall be lower than 70% of the opening pressure) as to prevent the valve from sudden open which may cause accident.
- 2) For each adjustment, the nozzle ring should not be turned too greatly, preferably at two to five teeth. After adjustment, tighten the set screw of nozzle ring immediately and locate its end in the beard between two teeth of the nozzle ring and keep certain clearance lest looseness of nozzle ring and collar tightness may apply force to seal pair.
- 3) As to safety valve with both upper and lower nozzle rings, generally the upper one will be regulated first as to enable the relieving pressure to reach preset limit. After then, the lower ring will be regulated. It may occur mutual interference during debugging, thus the ring should be repeatedly adjusted until satisfied.

When turn the upper nozzle ring anticlockwise, its position ascends, re-seating pressure increases while relieving pressure slightly rises; on the contrary, when the position of upper nozzle ring descends which may facilitate to open the disc, its re-seating pressure reduces while relieving pressure decreases slightly.

When turn the lower nozzle ring anticlockwise, its position ascends, relieving pressure descends while re-seating pressure decreases slightly; on the contrary, when then the lower nozzle ring clockwise, its position descends, relieving pressure rises while re-seating pressure increases slightly.

- 4) The test bed for relieving pressure and re-seating pressure adjustment should be provided with large enough air source flow as to ensure full open (namely the lift) of the valve and test may start. Otherwise the Relieving pressure and re-seating pressure measured are not correct.
- 5) The relative position between the upper and lower nozzle rings after adjustment should not be too close, or it may affect the discharge capacity of the valve. Under general condition, the circular area between the upper and lower nozzle rings should not be smaller than the sectional area of nozzle throat.

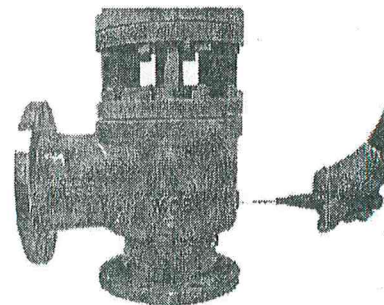


Fig. 9 Adjustment method of relieving pressure and re-seating pressure

- 6) During debugging, abnormal actions such as chatter and flutter should be avoided as to protect against damage to the sealing face. In any way, thermal pressure regulating is a task involving complex and meticulousness. Both suppliers and customers must collaborate mutually. Generally, end users may independently finish pressure regulation according to *User's Manual of Safety Valves*. As to demand from users for door to service by us, we will charge according to the location of user and on the basis of mutual consultation.

 Precautions

- a) At first operation of newly mounted safety valve, it is forbidden to hoist the disc by mechanical method. Try to reduce action cycles during debugging.
- b) Lead sealing after verification. Do not remove the lead sealing during the running of boiler or vessel.
- c) To keep the disc and nozzle from sticking together due to long-term non performance, please regularly carry out manual discharge test on safety valve.

VIII. Common failures and troubleshooting of safety valve

Common failures and its solutions are as following:

Cause	Solution
Leakage	
1. Broken sealing face	Dismantle the valve. Use grinding or grinding after lathe-turning to make good subject to extent of damage. After that, the sealing face should be level and its degree of finish should not be less than 0.2.
2. Improper installation	Reinstall or remove additional load on the pipeline
3. High temperature	As to the improper selection, reselect the safety valve applicable for high temperature medium according to working temperature, such as the one with radiator or other special structure. As to the leakage cause by high temperature, take proper heat insulation measures.
4. Opening pressure is too proximate with device working pressure	Reset the pressure as permitted by spring working pressure limits, if exceeded, replace the spring correspond to its working pressure stage.
5. Vibration of vessel and pressure equipment	The safety valve shall be mounted on the proper position.
6. Dirt sealing face	Use lifting lever or other methods to open the valve for several times as to blow away the dirt; if failed, dismantle the valve to clear before reassembly and debugging.
7. Over re-seating pressure	According to the adjustment requirement of relieving pressure and re-seating pressure, reduce re-seating pressure by using upper and lower nozzle rings.
Dumb action	
1. Blocked moving parts	It may be caused by improper assembling, dirt, part erosion or other reason. Find out the cause and clear it.
2. Part bruising, napping or iron rust	Repair or replace subject to extent of damage.
3. Overhigh temperature of equipment or pipeline	Improper selection, overhigh medium temperature, blocked fitting due to thermal expansion
4. No overhaul for a long time	Dismantle for wash or replace the valve as per part damage, and establish system of regular overhauling.
Undesirable action performance	
1. The deviation of opening pressure exceeds tolerance range	
a. Operational error of set pressure or loose adjusting bolt	Readjust the adjusting bolt and screw down the adjusting bolt nut after that.
b. Change of existing pressure of discharge pipeline	Find the cause for change of backpressure and solve it. If it changes greatly, select the safety valve of backpressure balance bellows.

c. Change of working temperature	When adjusting the set safety valve for high temperature occasions under normal temperature, the opening pressure may decrease which may be adjusted by the Adjusting bolt.
d. Corrosion of spring	Replace the spring. As to occasions with medium with strong corrosiveness, please choose the spring covered with fluoroplastic, spring made of special material, or safety valves with bellows isolation mechanism.
e. Error when verification	The pressure gauge shall be checked effectively, the diameter of dial plate shall be not less than 150 mm, and the precision shall be not lower than 0.4. The verification medium of safety valve is normal air in the factory. For the verification by other medium or temperature, since the inconsistency of medium compression ratio, set pressure deviation will be generated. According to the actual conditions, turn the Adjusting bolt to reach conformity standard.
2. Change of relieving pressure or re-seating pressure	
a. Translocation of nozzle ring	Retrial and screw down the set screw on the ring and sealed with lead.
b. Excessive flow resistance of discharge pipe	Enlarge the diameter of the discharge pipe or shorten its length.
c. Improper selection of model	If the using temperature is higher than 350°C, please choose the safety valve with radiator lest the rigidity and re-seating pressure of spring reduce due to high temperature.
3. Valve chatter	
a. Excessive discharge capacity	Recalculate and choose safety valve according to its discharge capacity as required by the device.
b. Excessive resistance of inlet pipeline	Enlarge the bore of inlet pipeline to make it bigger than the diameter of valve inlet or shorten the length of the pipeline.
c. Excessive resistance of discharge pipe	Enlarge the bore of discharge pipe or shorten its length.
d. Too big spring rigidity	Check whether the spring working pressure stage is in agreement with the opening pressure of the valve.
e. Improper nozzle ring position	Readjust. Tighten the set screw and add lead sealing after adjustment.

IX. Service & Maintenance of safety valve

In order to ensure proper service and maintenance, following points should be followed:

- 1) The safety valve shall be packed and fixed properly in the box before transport. Avoid violent vibration in transit.
- 2) Inspect the valve before storing in the warehouse. If the inlet and outlet plugs and lead sealing is found falling, clean the inlet and outlet and cram the plugs and add the lead seal.
- 3) The valve shall be vertically stored in a dry room and kept from damage. The processing surface of fittings should be coated with antirust and the spring surface should be applied oil to prevent rust.
- 4) It is recommended to store the spring, as the spare part, in a dry room and pack it with paper and vertically put on the shelf or in the box if for long time storage. The spring surface should be applied with oil to prevent rust.
- 5) Regularly dismantle the safety valve for thorough cleansing. It may be again put into service only after inspection and verification.
- 6) Regularly check the safety valve in service whether it has abnormalities such as leakage, blockage and spring rust, observe the Adjusting bolt and the locknut on the set screw of the ring whether loose or not, if found, proper measures should be timely taken.
- 7) It is recommended to set up using cards for each safety valve. A copy of valve conformity certificate of supplier shall be kept in the using card, as well as the copy of repair, inspection and adjustment record.
- 8) During the operation of safety valve, if permitted, the range between opening pressure and working pressure shall be as large as possible to prevent from frequent opening of valve and prolong the service life.
- 9) DO NOT open the safety valve as less as possible or use it as warning signal.
- 10) Safety valves mounted outdoor should be guaranteed with protective measures as to avoid the invasion of dirt such as rain, mist, dust and rust into the valve and discharge pipeline. When the ambient temperature is below 0°C, necessary anti-freezing measures should be taken as to ensure the reliability of valve operation.

Zhejiang Henghua Valve Co., Ltd.



Main Part Materials Chemical Composition											
Part Name	Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	V	Ni	Mo
Body	WCB	0.21	0.36	0.61	0.02	0.018	0.035	0.021	0.01	0.024	0.025
Trim	304	0.043	0.47	0.83	0.019	0.017	18.12	/	/	8.10	/
Spring	50CrVA	0.49	0.18	0.62	0.013	0.02	0.88	0.18	0.03	0.15	/
Main Part Materials Mechanical Property											
Part Name	Material	Tensile Strength	Yield strength	Elongation	Reduction of area	Rigidity HRC					
Body	WCB	492	260	31	42	/					
Trim	304	536	226	56	70	/					
Spring	50CrVA	1295	1145	20	58	/					
Note											

Product Name Safety Valve Nominal Pressure PN 1.6 Mpa
 Product Type A4Y-16C Pressure Rating 0.8~1.0 MPa
 Product Num. A1610995 Set Pressure 0.94 Mpa
 Nominal Diameter DN 80 mm Relieving Pressure 0.968 Mpa
 Flow Diameter 65 mm Re-seating Pressure 0.846 Mpa
 Lift: ≥ 3.25 mm Discharge Coefficient S=0.15
 Suitable Medium Steam/Air Suitable Temperature ≤ 350 °C

Checkout item	Request	Result
Main Coupling Dimension	BASED ON <u>JB/T79-94</u> STANDARD	Accrod
Spring	Wear Experiment & Rigidity Examination	Acceptable
Seat Intensity Experiment	<u>1.5</u> PN (Experiment Medium: Water)	Acceptable
Open Pressure Experiment	<u>0.94</u> Mpa ± 3% (Experiment Medium: Air)	Acceptable
Leak-proof Experiment	<input type="checkbox"/> Enclosed type: ≤ air bubble/min (Medium: Air) <input checked="" type="checkbox"/> Windowing type: The pressure gauge reading has not fallen and not to be divulging	Acceptable

This product conform to GB12243-2005 standard

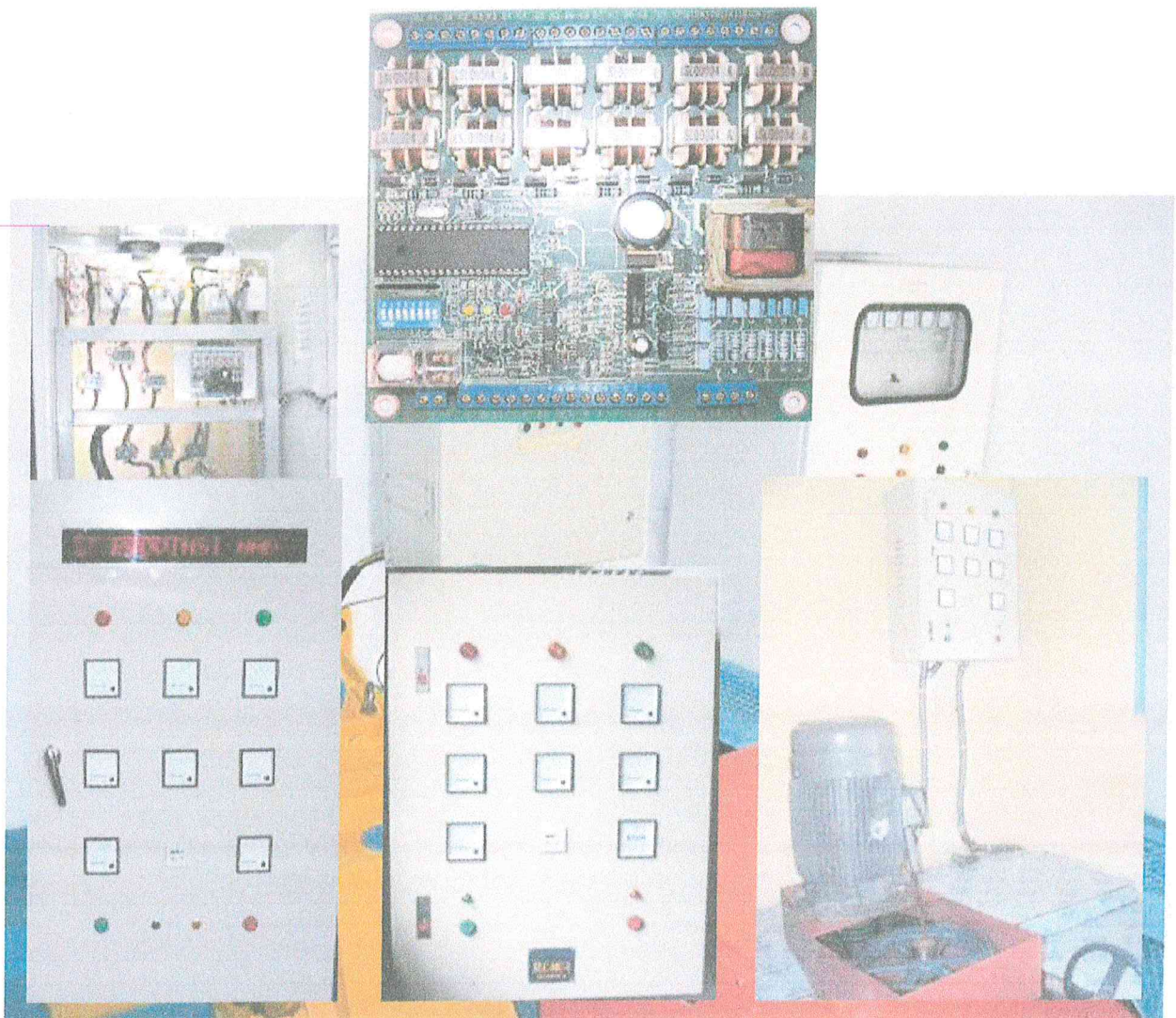
General administration of quality supervision,
 inspection and quarantine of people's republic of china
 Manufacture License of Special Equipment

Authentication sign: **TS**
 No: TSF710035

Leave factory checker: checkout03
 test date: Oct . 2016



**DIGITAL LOAD CONTROLLER
(DLC)
FOR
INDUCTION GENERATOR (IGC)
&
SYNCHRONOUS GENERATOR (ELC)**



CONTENTS

<i>CONTENTS</i>	2
<i>1. LOAD CONTROLLER</i>	3
<i>2. POWER HOUSE WIRING</i>	4
<i>3. MAIN COMPONENTS OF DLC & SYNCHRONIZER</i>	6
<i>5. GENERATOR OPERATING INSTRUCTION</i>	11
<i>6. TROUBLE SHOOTING INSTRUCTION</i>	13
<i>7. SETUP SWITCH</i>	14
<i>8. WEEKLY CHECK FORM</i>	17
<i>9. APPENDIXES</i>	18

1. LOAD CONTROLLER

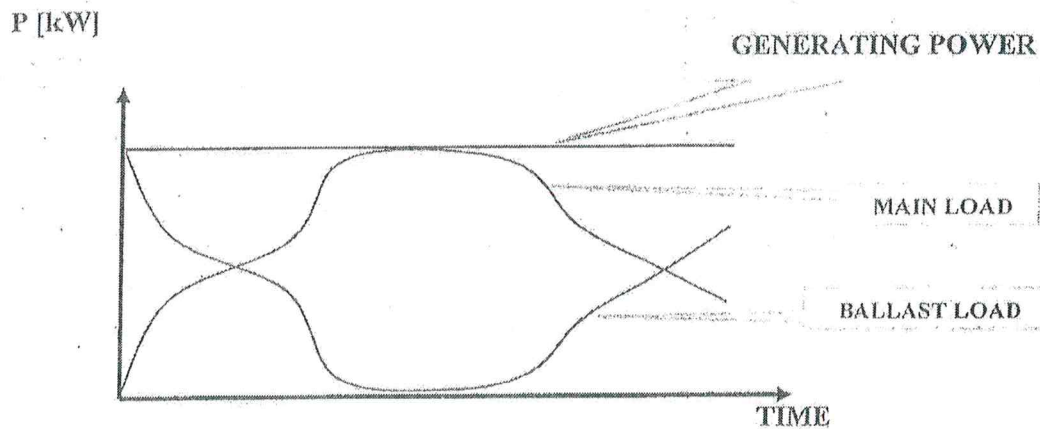
Digital Load Control is the governor electronics that function as a frequency and voltage regulator on a generator. Load control is suitable for a micro hydro power plant applied on rivers (with out a dam).

Some of the benefits of load control:

1. Can avoid mechanical equipment / electrical complex and expensive.
2. Load control equipment is relatively simple and inexpensive.
3. Load control can receive a large load changes.
4. Maintenance is very easy to do.

$$\text{Generating Power} = \text{Ballast Load} + \text{Main Load}$$

Working principle of control is to balance the generator load to the main load changes. Thus the generator output will remain stable even if the changes occur in the main load. So the voltage and frequency could stable.



Seen from the graph above. Generating power (power is still produced), the load change is always offset by Ballast load. Thus, the amount of power and Ballast load main load will always be the same as Generating power.

2. POWER HOUSE WIRING

Generator Wire

The used generator is 380-415V 3 Phase 4 cable. 3 cable as a phase and 1 cable as a neutral. Generator cable located at the position on the left DLC panel. Adjust the size of the cable with the power out. Cable that is too small causes heat on the cable and can be burned. *See the Power house wiring figure.*

Ballast Load Wire

Number of Ballast load or complement load that used is 6 units, with equal load for each unit. Ballast total load should be 15-30% more than power output from the turbine. Ballast load that is too small will lead to over speed (DLC turbine output at the maximum). Ballast load that is too large, the turbine speed will not be stable. Number of cable for Ballast load are eight, two cable as neutral, and six cables for each Ballast load. Large cable used is adjusted to the size of each Ballast load. Ballast for the position of the cable is located on the down right side panel. Use heat insulation resistance before entering the terminal, when the air Ballast-use. *See the figure of power house wiring before the installation.*

Grounding

Put round bar copper minimum 4 point to yield resistance below 5 Ohm (Local Electric), each bar is connected with the round cable that is connected with the BC ground terminal on the DLC panel. The distance between the round bars that is planted minimum twice the length of round bar to produce the optimal resistance. BC connected with concrete, penstock, turbine etc. (objects made of metal).

Customer Wire

Customer wiring that used is four wires, one as neutral and three as phase. Size of wire adjusted on the big of power and the length of the network. Too long and thin wire network causes high voltage droop. *See the power house wiring figure.*

Power House Lightning

For lighting the power house was taken from the panel. Maximum power that can be used is 900W. *See the power house wiring figure before installation.*

RENERCONSYS

Small Hydro Power Engineering

MAINTENANCE WORKS

Check the cable ties in the terminal Generator, DLC Panel, MCB and Ballast Load, tighten if loose. This examination should be conducted in **Power Plan is stop/ switched off (OFF)**. Perform measurements OHM on the ballast load terminal on each heater once a month to ensure all elements of Check immersion water heater elements to function properly. Control seal element from the water heater to the leakage possibilities. Check immersion water heater elements from leakage possibilities or control Air Heater Terminal from loosing and corrosion. When power plant is stop, clean immersion water heater elements with cloths and add little of soap (don't scrub). When the power plant is turned on, check rotary fan control on the panel to ensure the rotary fan works properly, the fan does not work will damage the electronics components.

3. MAIN COMPONENTS OF DLC

- **Main Circuit Board (M-C-B)** is the central control system from DLC. In the MCB does there is no frequency setup or the stability, set is done in the workshop. MCB function that controls the amount of resources will be diverted to Ballast load, how to set the angle with the ignition SCR / TRIAC. On board is also equipped with a protection Over / Under frequency. With the set in 48 - 52 Hz, when the frequency outside the range due to over load or interference on the Ballast, the contactor release automatically. On board there is a LED (yellow) indicates the frequency range that is permitted under (-2 Hz), LED (green / normal) indicates frequency is out of the range, LED (red) indicates the frequency is above is upper the range (over frequency, Hz +2)
- **Fuse (F-1)**, is used for protection of short circuit towards power supply to the contactor coil, (F2-4) is used for protection of volt meter, frequency meter, hour meter, power meter, over / under voltage sensing, (F5-7) is used for protection of pilot lamp, (F8-13) is used for protection of volt meter ballast load. F1-13 fuse lamp will light on as the glass fuse is broken.
- **Contactor (C)** is used to set the direction and path to turn off consumers. Contactor switched by pressing the button On Push Button (Push On) and off by pressing the button Off Push Button (Push Off), Contactor can be turned off automatically on command from the MCB when overload occurs by consumers (overload, under frequency) or excess input from the power turbine (overload, over frequency).
- **Fuse Semiconductor (HRC)**, is used to protect SCR/ TRIAC if there is short circuit on the ballast load.
- **Current Transformer (CT_L)**, can be found on the customer load line, output from this regulator is represent the current that used by the load, and set on every phase.
- **Current Transformer (CT_G)**, are on the path Ballast load, the output of the transformer flow reflects the cash diverted to Ballast load. Installed on each phase.
- **MCB 1**, is used as switch that connecting to the customer. Main function of MCCB is to disconnect electricity when short circuit on a transmission or distribution line occurs, thus the short circuit does not reach the generator.
- **MCB 2**, used as safety switch for power house.

RENERCONSYS

Small Hydro Power Engineering

- **MCB 3**, used as safety switch for panel lamp.
- **Silicone Controlled Rectifier (SCR) or TRIAC**, is placed on the aluminium fin (Heat Sink/ HS). Aluminium fin is useful for discard SCR/ TRIAC heat. Terminal 2 and 3 on SCR are sheaf with copper bar. SCR/ TRIAC are electronic switch that regulate the big/ small discard load to ballast load. Big/ small load to ballast load is depend on the angle of lighting SCR/ TRIAC. Output from SCR step 1 is an AC voltage from 0-220 V. Output SCR/ TRIAC for step 2 is On/ Off (voltage 0-220 V)
- **Volt Line (V)**, the digit shown indicates the voltage between phase to phase and phase to neutral.
- **Volt Ballast (V)**, the digit shown indicates the voltage ballast load.
- **Ampere meter (A_L)**, the digit shown indicates the currents that are used by the customer.
- **Ampere meter (A_G)**, the digit shown indicates the altered current into the ballast load and customer.
- **Pilot Lamp (PL)**, if the lamp lights it is indicates that MCB load is switched on.
- **PL-READY**, yellow Pilot lamp, when it lights indicates the contactor is ready to turn on.
- **PL- ON**, Green Pilot lamp, when it light on indicates the contactor is turned on
- **Ballast load**, is air heater elements or immersion water heater, each phase consist of two step ballast load.

4. DLC COMMISSIONING PROCEDURE

Before first switch on of the power plan, do the check in advance as follows:

1. Check the tension on the bolts DLC panel,
 - a. Check the tension on the terminal, MCB, SCR/TRIAC: Loose cable will cause heat.
 - b. Make sure the panel in a clean condition, no breeding of animals of any kind. The old panel will not be operated animal breeding. Animals nest cause short and damage DLC.
2. Check wiring generator,
 - a. check on the generator speed and terminal panel, loose cable will cause heat.
 - b. make sure the cable does not have a short. Short cable that generator will not produce voltage
3. Generator Wiring
 - a. Check the tightness of the terminal on the generator and panel. Not well binding wire causes heat.
 - b. Make sure no short wire. Generator won't produce voltage in the short wire.
4. Check Ballast Load,
 - a. Check tension terminal on the Ballast terminal and the panel, the cable will cause a loose heat.
 - b. Make sure the cable does not have a short. Check with a multi meter, a short cable will damage the SCR / TRIAC.
 - c. Check resistance Ballast load to neutral, measured from the terminal on the panel Ballast DLC.
5. Grounding wiring
 - a. Check grounding wiring, measure ground resistance max. 5 Ohm,
 - b. For safety, make sure metal devices attached to the ground
6. Main load wiring
 - a. Make sure no short on line load
 - b. Turn off all customer MCB/SWITCH to avoid mistakes of home installation or line
 - c. Turn on MCB of customer one by one, check the voltage before enter to MCB, in advance. Make sure the neutral wire is appropriate according to the condition.

RENERCONSYS

Small Hydro Power Engineering

DLC (DIGITAL LOAD CONTROLLER) RUNNING TEST:

- 1 Before running out of CB Power plan, panel must be OFF position and CB AVR must be ON (if use SX421-stamford)
- 2 Check AVR:
 - a. Excitation Switch must be ON position
 - b. Volt Trim on CCW full position
 - c. Stability on center position
 - d. UFRO on the center position then turn CCW a little
- 3 Open the turbine valve slowly until the maximum DLC voltage is 230V and frequency meter is less than 50 Hz.
- 4 Wait until the indicator lamp on DLC main board is lights
- 5 Measure the voltage for every phase by using Multi meter tester (Volt meter) and write down the result on the table (table no.1)
- 6 Add more the opening of the turbine valve after the indicator lamp on DLC main board is lights until DLC panel voltage reach 220V-240V and frequency meter is 50Hz.
- 7 Check the Ready Lamp, it should be ON
- 8 Set Volt Trim on AVR until the Phase voltage is (225-230V)/ (390-400V). Write down the result on the table (table no.2)
- 9 *On this step, hold the turbine valve min. 4 hours to heat the spinning part and assure the DLC is running well.*
- 10 Add more the opening of the turbine valve until the ballast voltage no. 1,2,3 are 110V and the ballast no. 2,4,6 are OFF. Write down the result on the table (table no.3)
- 11 Add more the opening of the turbine valve until ballast voltage no. 1,2,3 (STEP 1) is 220V and ballast no. 2,4,6 are still 0V. Write down all the result of the ballast voltage (table no.4)
- 12 Add more the opening of the turbine valve until ballast voltage no. 1,3,5 is 220V and ballast no. 2,4,6 (STEP 2) 100V. Write down all the result of the ballast voltage (table no.5)
- 13 Add more the opening of the turbine valve until reaches the optimum position, (max. of all ballast is 220V and frequency 50Hz). Write down all the result of the ballast voltage (table no.6)
- 14 Turn on the customer load, check the line voltage, ampere ballast and the indicator lamp. (Table no.7)

COMMISSIONING TABLE

TEST NO		1	2	3	4	5	6	7
TIME	[H-M]							
TURBIN OPENING	CM							
FREQUENCY	[Hz]							
LINE VOLTAGE	R-S [V]							
	R-T [V]							
	S-T [V]							
	R-N [V]							
	R-N [V]							
	S-N [V]							
TEGANGAN BALLAST LOAD	R1-N [V]							
	R2-N [V]							
	S1-N [V]							
	S2-N [V]							
	T1-N [V]							
	T2-N [V]							
CURRENT GENERATOR	R [A]							
	S [A]							
	T [A]							
CURRENT MAIN LOAD	R [A]							
	S [A]							
	T [A]							
OUTPUT	[kW]							

Date:
Checked by:

Approved by:

(.....)

(.....)

5. GENERATOR OPERATING INSTRUCTION

RUNNING THE GENERATOR

1. Make sure all conditions as follows:

- Bypass VALVE on OPEN position
 - VALVE on OPEN position
 - PRESSURE GAUGE reach red line (gross head)
 - All Circuit Breaker are on OFF position
 - Make sure all mechanical tools save
2. Open turbine valve slowly until PHASE VOLT (V) is 220V, hold a few minute as DLC need more time to start.
3. Add the turbines opening valve slowly/gently, notice the conditions as follows:
- PHASE VOLT (V_{PH}) on position 220 - 230V.
 - On switch gear panel, Ready Lamp is ON
 - Green LED on main board is ON
 - Frequency meter is 48 – 52 Hz.
 - Ballast voltage increase from firs position
 - Hour meter was turn
 - Rotary fan was turn
4. Add the turbines opening valve slowly/gently until the optimum position. And the ballast ampere indicates appropriate with the capacity of the power plant
5. On switch gear panel, press Push Butfon ON:
- Contactor will connected
 - ON pilot lamp on the switch gear panel is ON
6. On the switch gear panel, set each circuit Breaker to ON position:
- Ampere meter on the switch gear panel will pointed according to the load.
 - Ballast ampere is decrease from first position
 - Ballast voltage is decrease from first position
 - Pilot lamp in each load is ON

RENERCONSYS

Small Hydro Power Engineering

RUNNING OFF GENERATOR

1. On the panel, press OFF Push Button
 - Contactor will released
 - Pilot lamp turned off
 - Load Ampere meter on zero position
2. Close valve turbine slowly until close position then close valve until CLOSE position and close bypass VALVE
3. On DLC Panel Main board, green led lamp was off.

6. TROUBLE SHOOTING INSTRUCTION**1. Over speed when turbine runs in**

- a. Ballast ampere Zero. Re-close the turbine, check voltage on the DLC main board (L1, L2, L3, and N) terminal. Check wiring of SCR/ TRIAC
- b. Broken Fuse. Check fuse that connected to DLC
- c. Damage Ballast Load (high resistance). Check wiring and measure the resistance of ballast load.

2. Over speed when open full of turbine

- a. Ballast ampere unlike usual, damage on ballast. Check resistance of ballast load
- b. Ballast ampere not balance, damage on ballast resistance of ballast load

3. No present voltage when turbine is running

- a. Short on Generator wire, check the generator wiring
- b. Broken AVR. Change AVR

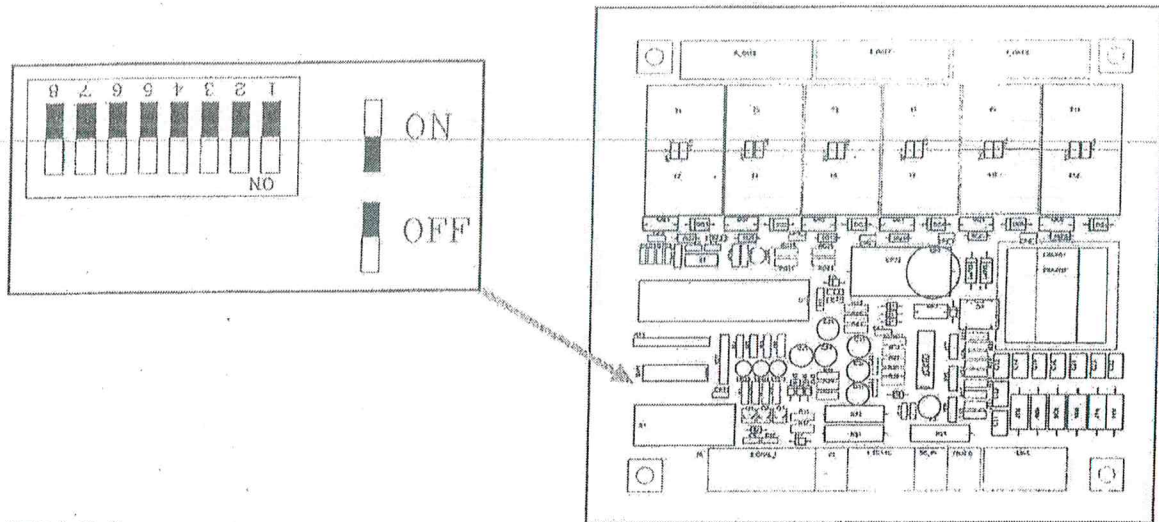
4. An occasionally over speed power plant

- a. A loosen ballast wire. Check the wiring to the ballast

5. An occasionally under speed power plant

- b. Overloaded load on the customer.
- c. Frequency protections malfunction.

7. SETUP SWITCH



SW-8-7: I - parameter

SW-8	SW-7	I	
OFF	OFF	1	: default
OFF	ON	2	
ON	OFF	3	
ON	ON	4	

Note: decrease parameter I if hunting occurs after receiving an unexpected generator load.

SW-6-5: P - parameter

SW-6	SW-5	P	
OFF	OFF	1	
OFF	ON	2	: default
ON	OFF	3	
ON	ON	4	

Note: move position P to a smaller parameter if the generator frequency is not stable

SW-4 : 'OFF' setting nominal frequency ELC 50Hz (default).

'ON' setting nominal frequency ELC 60Hz (optional).

SW-3 : 'OFF' Disable DROOP, for an isolated operation.

'ON' Enable DROOP, for parallel/isolated operation (droop=2Hz).

RENERCONSYS

Small Hydro Power Engineering

SW-2 : 'OFF' Enable ballast load, (default setup).

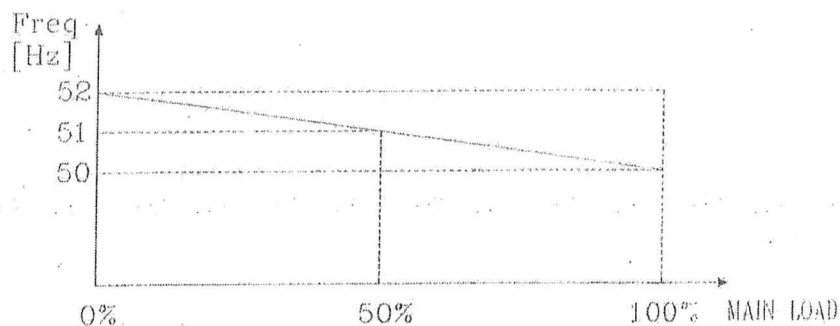
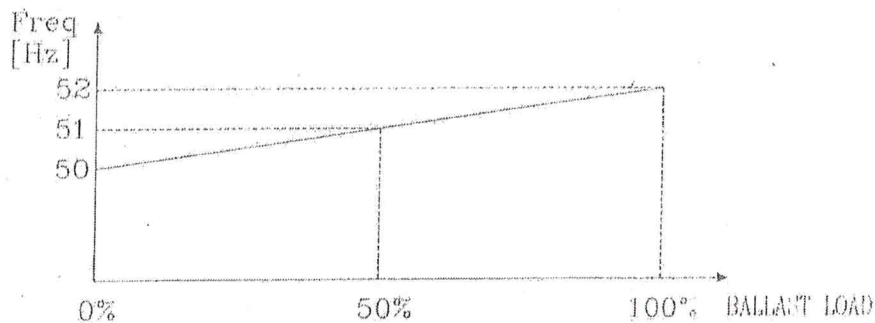
'ON' Disable ballast load (Setting freq from nominal freq +2Hz) for auto synchronizer.

SW-1 : 'OFF' Fixed Setting Frequency

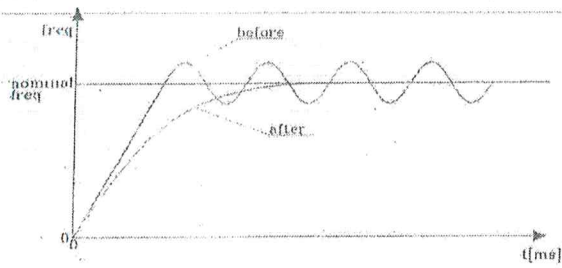
'ON' Setting Frequency from an external analog signal (48...52Hz or 58...62Hz) for an auto-synchronizer.

SW-3: DROOP

Droop is used for the parallel with the work of others or isolated work. Of working with isolated droop, Ballast load can be monitored remotely from the unit by adding one indicator Ballast (Ballast remote indicator). From the graph below looks at the Ballast zero frequency generator 50 Hz and when the Ballast full 100% increase to the frequency of 52 Hz. And also to the main load, without load (power to enter all Ballast) frequency generator 52 Hz when the main load and the increased frequency of reduced until 50 Hz.



SW-8, 7, 6, 5: PI-PARAMETER SETTING

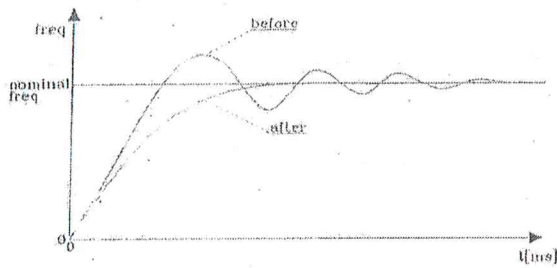


Setting P (Proportional):

Increase P when ballast response is too slow, but decrease P when the generator frequency is oscillated

Setting I (Integrator):

Decrease I when the generator frequency is oscillated after varying load



8. WEEKLY CHECK FORM

1. GENERATOR PROBLEM

- 1.1 Power Wire Connection Yes No
- 1.2 Cleanliness of the Generator Box Yes No
- 1.3 Scorched of bolts on the generator terminal Yes No

2. PANEL ELC

- 2.1 Generator Wire Connection Yes No
- 2.2 Load Wire Connection Yes No
- 2.3 Ballast Wire Connection Yes No
- 2.4 Contactor Wire Connection Yes No
- 2.5 Wire Circuit Breaker Connection Yes No
- 2.6 SCR/TRIAC Wire Connection Yes No
- 2.7 Fuse Yes No
- 2.8 Fan Cycle Yes No
- 2.9 Cleanliness of the Generator Box Yes No
- 4.10 Others..... Yes No

3. GROUNDING

- 3.1 Ground Wire Connection Yes No
- 3.2 Ground T-junction Wire Yes No

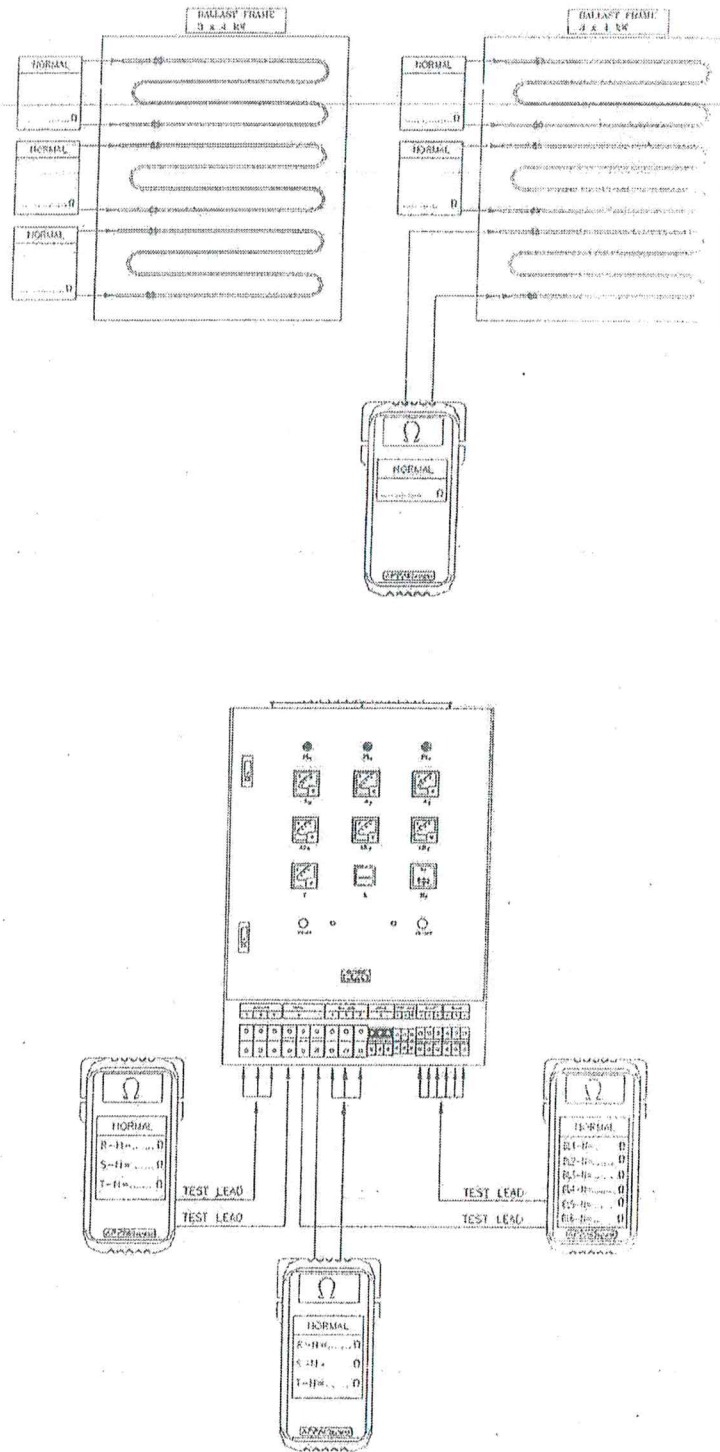
4. TRANSMISION LINE

- 4.1 Stay Tightness Yes No
- 4.2 Wire Flexibility Yes No
- 4.3 Mast Inclines Yes No
- 4.4 Plants that will damage the transmission Yes No
- 4.5 Mast Foundations Yes No
- 4.6 Mast Pain Yes No
- 4.7 Others, Yes No

9. APPENDIXES

1. *A FEW IMPORTANT MEASUREMENT POINT*
2. *POWER PLANT OPERATING PROCEDURE*
3. *DLC MAIN CHART COMPONENTS*
4. *POWER PLANT SINGLE LINE DIAGRAM*
5. *POWER HOUSE WIRING DIAGRAM*
6. *DLC PANEL & COMPONENT LAYOUT*
7. *DLC PANEL WIRING DIAGRAM*

APPENDIX: A FEW IMPORTANT MEASUREMENT POINT



APPENDIX : POWER PLANT OPERATING PROCEDURE

RUNNING THE GENERATOR

Make sure all conditions as follows:

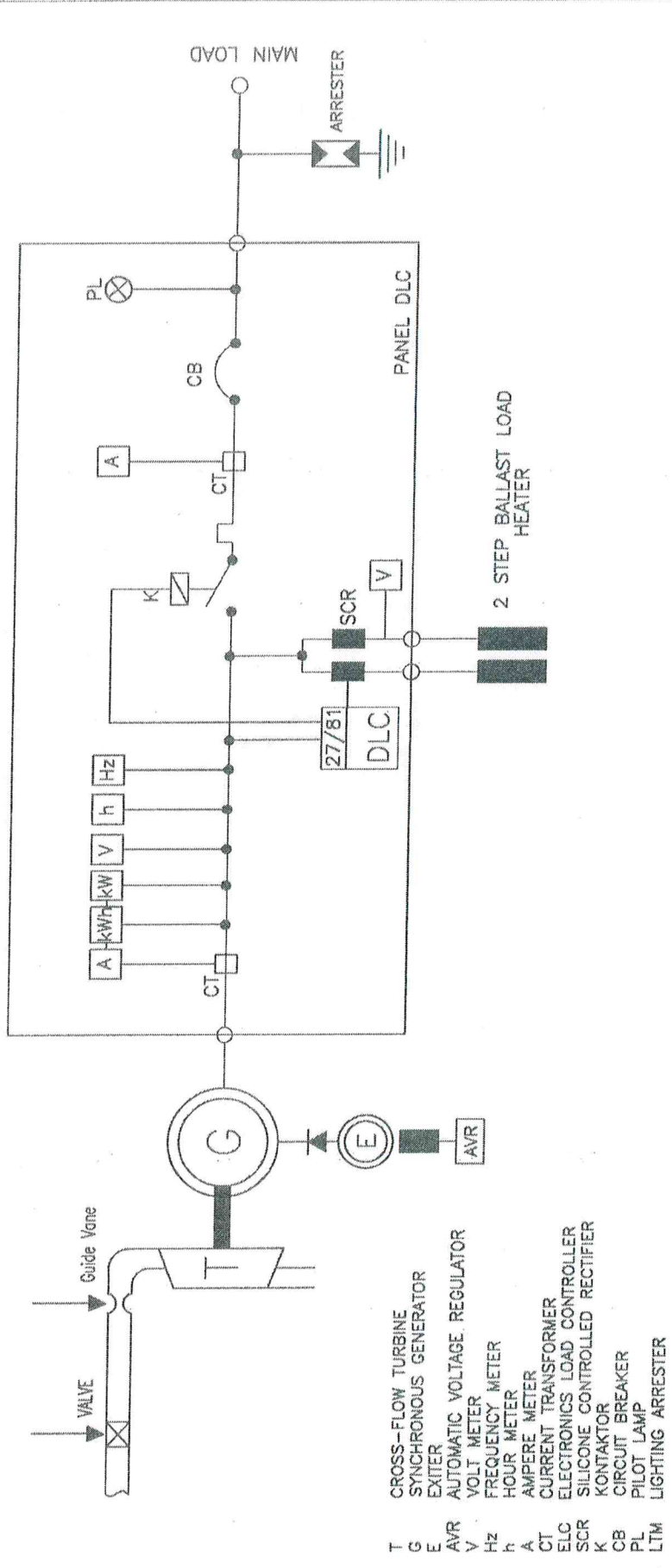
- Bypass VALVE on OPEN position
 - VALVE on OPEN position
 - PRESSURE GAUGE reach red line (gross head)
 - All Circuit Breaker are on OFF position
 - Make sure all mechanical tools save
2. Open turbine valve slowly until PHASE VOLT (V) is 220V, hold a few minute as DLC need more time to start.
 3. Add the turbines opening valve slowly/gently, notice the conditions as follows:
 - PHASE VOLT (V_{PH}) on position 220 - 230V.
 - On switch gear panel, Ready Lamp is ON
 - Green LED on main board is ON
 - Frequency meter is 48 – 52 Hz.
 - Ballast voltage increase from first position
 - Hour meter was turn
 - Rotary fan was turn
 4. Add the turbines opening valve slowly/gently until the optimum position. And the ballast ampere indicates appropriate with the capacity of the power plant
 5. On switch gear panel, press Push Button ON:
 - Contactor will connected
 - ON pilot lamp on the switch gear panel is ON
 6. On the switch gear panel, set each circuit Breaker to ON position:
 - Ampere meter on the switch gear panel will pointed according to the load
 - Ballast ampere is decrease from first position
 - Ballast voltage is decrease from first position
 - Pilot lamp in each load is ON

RENERCONSYS

Small Hydro Power Engineering

RUNNING OFF GENERATOR

1. On the panel, press OFF Push Button
 - Contactor will released
 - Pilot lamp turned off
 - Load Ampere meter on Zero position
2. Close valve turbine slowly until close position then close valve until CLOSE position and close bypass VALVE
3. On DLC Panel Main board, green led lamp was off.



- T CROSS-FLOW TURBINE
- G SYNCHRONOUS GENERATOR
- E EXCITER
- AVR AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR
- V VOLT METER
- Hz FREQUENCY METER
- h HOUR METER
- A AMPERE METER
- CT CURRENT TRANSFORMER
- ELC ELECTRONICS LOAD CONTROLLER
- SCR SILICONE CONTROLLED RECTIFIER
- K KONTAKTOR
- CB CIRCUIT BREAKER
- PL PILOT LAMP
- LTM LIGHTING ARRESTER

Jm. Nama Bagian		Pos. Bahan		Dimensi		No. ID		Ket. rancangan	
Digambar	Diperiksa	Paraf	Disahkan	Paraf	Nama File	Tanggal	Stela	Stela	Stela
Ajik	Ajik	Ajik	Ajik	Ajik	DLC 3864.dwg	DEC 2012			

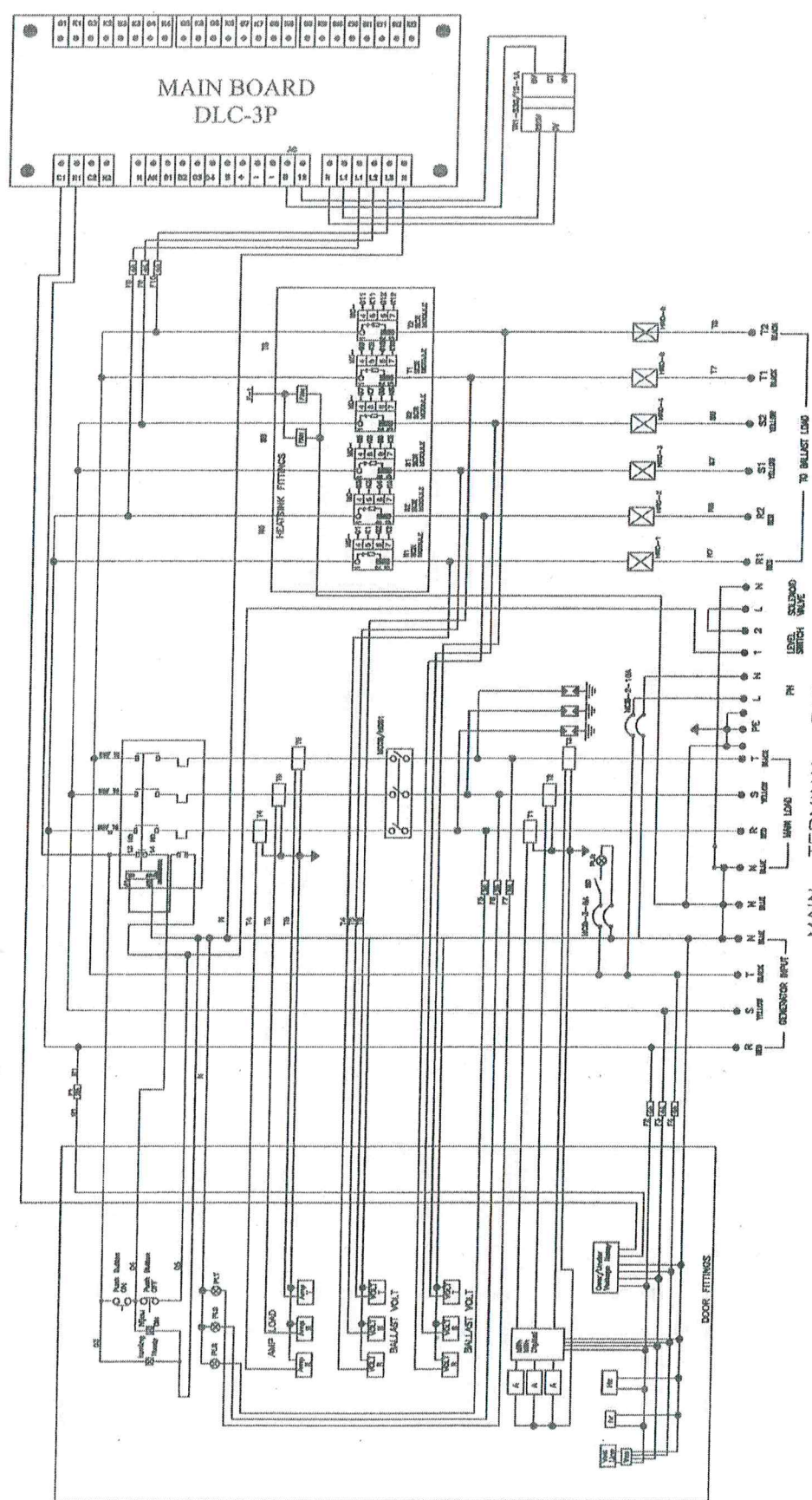
RENERCONSYS
LAYOUT COMPONENT

No. ID. **49**

SINGLE LINE DIAGRAM

No. Catatan Revisi

Tanggal Paraf Diperiksa

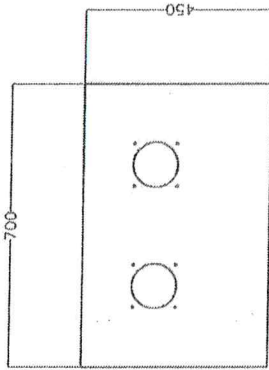


Jm	Nama Bagian	Post (Bahan)	Dimensi	No. ID	Keterangan
Dipinbar	Dipinbar	Paraf	Nama File	Tanggal	Skala
Ajib	Ajib	Ajib	DLC3P.kiv.dwg	DEC 2014	Skala

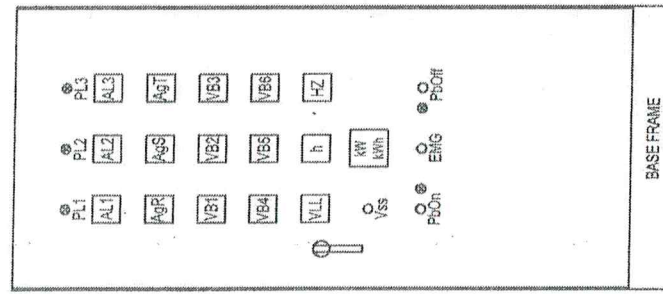
RENERCONSYS No. ID:
 PANEL WIRING DIAGRAM
 LAYOUT COMPONENT

FORMAT Lembar (A/L) Lembar

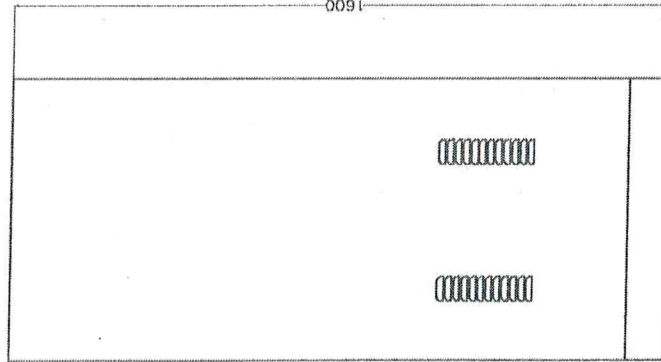
No. Catatan Revisi Tanggal Paraf Diperiksa



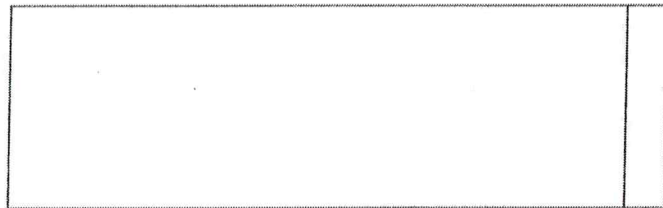
TOP VIEW



FRONT VIEW



BACK VIEW

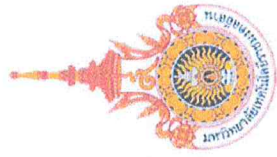


SIDE VIEW

Jml. Dipambar A. Jir	Nama Bagian Diperiksa A. Jir	Paraf A. Jir	Disahkan A. Jir	Pos Bahan Diperiksa A. Jir	Paraf A. Jir	Dimensi Nama File DLC Okki.dwg	No. ID Tanggal DEC 2012	Keterangan Skala Skala

ภาคผนวก ค

เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

อรรถกฤษณ์ พรวัฒนกีวี, จำลอง ปราบแก้ว

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความ

เรื่อง “โปรแกรมเลือกใช้กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดเพลตันขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์”

ระหว่างวันที่ 3-6 กรกฎาคม 2561 ณ โรงแรม มุกดาหาร แกรนด์ จังหวัดมุกดาหาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์
นายกสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลไทย

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม
หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล



โปรแกรมเลือกใช้กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดเพลตันขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์
Programing for the Selection Hydropower Pelton Turbine Type with a Generating
Capacity up to 100 Kw

อรรถกฤษณ์ พรวัฒนภวี^{1*}, จำลอง ปรวบแก้ว^{2*}

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

*ติดต่อ: E-mail: attrakit.p@gmail.com , เบอร์โทรศัพท์: (662) 3298231, เบอร์โทรสาร: (662) 3264198

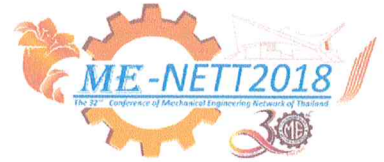
บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโปรแกรม MAT LAB สำหรับใช้ในการประเมินขนาดใบพัดและกำลังของกังหันน้ำชนิดเพลตันที่ใช้ผลิตไฟฟ้าจากฝาย ขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ โดยโปรแกรมจะคำนวณหาขนาดของใบพัดกังหันน้ำที่เหมาะสมกับการใช้งานและแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เทียบกับอัตราการไหลที่เสดต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เทียบกับเสดที่อัตราการไหลต่างๆ จากนั้นนำผลที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง จากกรณีศึกษาโครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากฝายที่บ้านปียมิตร 2 จังหวัดยะลา ของกองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายใน (กรอมน.) จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ที่อัตราการไหล 0.040 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เสดสุทธิ 70 เมตร ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ 80% จำนวนหัวฉีด 2 หัว ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที จะได้ข้อมูลเพื่อนำไปผลิตที่ ใบพัดกว้าง 82.14 มิลลิเมตร ยาว 81.36 มิลลิเมตร ท้องใบลึก 30.92 มิลลิเมตร ขนาดวัดผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตของใบพัด 341.35 มิลลิเมตร จำนวนใบพัด 26 ใบ ขนาดหัวฉีด 32.54 มิลลิเมตร และสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 21.97 กิโลวัตต์ โดยเมื่อติดตั้งและทดสอบพบว่า กังหันน้ำสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 25.63 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพกังหันน้ำ 92.84% ผลที่ได้จากการทดสอบมีค่ามากกว่าการคำนวณด้วยโปรแกรม คิดเป็น 16.7% ซึ่งอาจเกิดจากการติดตั้งที่แม่นยำและการเผื่อค่าในการผลิตชิ้นงานจริง

คำหลัก: กังหันน้ำ, เพลตัน

Abstract

Determination of runner dimensions and Pelton turbines power for a generating capacity up to 100 kilowatts (kW) by the Matrix Laboratory (MAT LAB) software has developed. The program functions were 1) calculate the dimensions of runner, 2) examine relationship between the power (P) and flows (Q) at total heads and examine relationship between the power (P) and Head (H) at total flow. In addition, the outputs of this program were compared with actual values at working sites of the Internal Security Operations Command at the Ban Piyamite II, Yala province in Thailand at a flow rate of 0.04 m³/s, total head 70 meters with 2 jet nozzles at speed 1,000 rpms. The results of the program testing have showed that the power turbine has generated 21.97 kW at 80% of turbine efficiency. The dimensions of blade were width 82.14 mm. x height 81.36 mm. x depth 30.92 mm. of jet nozzle



diameter at 32.54 mm. and Pitch Circle Diameter (P.C.D.) 341.35 mm. in 26 pieces of blade. However, the turbine at working sites has produced the maximum power 25.63 kW at 92.84% of turbine efficiency. There is a 16.67 percent error in the calculating program. It may be cause by the high accuracy installation at working site or estimation of safety factors in runner manufacturing.

Keywords: Hydro power turbine, Pelton

1. บทนำ

โลกกำลังเข้าสู่สภาวะขาดแคลนพลังงาน ดังนั้นจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นเพื่อมาทดแทน พลังงานน้ำ หรือ Hydroelectric power เป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งพลังงานนี้เป็นพลังงานที่ได้มาจากการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของน้ำ เมื่อน้ำไหลลงมาตามแรงดึงดูดของโลก จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์นี้จะกระทำกับใบพัดกังหันน้ำส่งผลให้แปรเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ซึ่งกังหันน้ำได้เชื่อมต่อกับเครื่องผลิตกระแสไฟ (Generator) ดังนั้น พลังงานจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า โครงการลักษณะนี้เรียกว่า Hydroelectric power plant หรือ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

ปัจจุบันพลังงานน้ำมีผู้ค้นคว้าศึกษาพลังงานด้านนี้เพื่อพัฒนาให้ง่ายต่อผู้ที่สนใจและผู้ใช้งาน เช่น Bilal Abdullah Nasi [4] ได้ศึกษาขั้นตอนกระบวนการออกแบบของ Micro Hydroelectric power plant โดยประมวลผลผ่านโปรแกรม MAT LAB แสดงเป็นกราฟสมรรถนะของเครื่องกังหันน้ำ, Prashant. N. Pakale [5] ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการออกแบบกังหันน้ำชนิด ครอสโฟล์, Maddela Veda Ratna Prakash [6] ได้ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุที่จะนำมาผลิตใบพัดกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน ด้วยวิธี CFD ผ่านโปรแกรม CATIA V5 โดยเลือกใช้วัสดุ Structural, Maraging steel และ Low carbon steel จากผลการทดลองพบว่า Maraging steel มีคุณภาพและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิด, D.Agar [7] ได้ศึกษาและสร้างชุดทดลองจากวัสดุที่ทำได้ง่ายและราคาต่ำ จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหล และนำค่าที่ได้มา

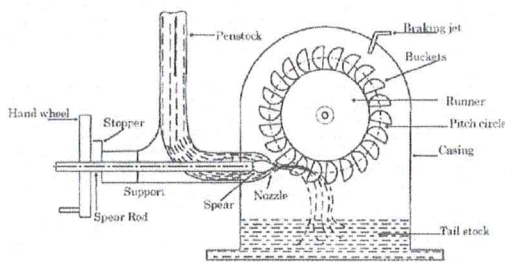
สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ สามารถสรุปได้ว่า ขณะอัตราการไหลเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบก็จะเพิ่มขึ้นด้วยส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันดีขึ้นตามไป โดยการทดลองที่อัตราการไหล 0.171 ลิตรต่อวินาที กังหันน้ำประสิทธิภาพ 47%, David Kilama Okot [8] ได้ศึกษาทฤษฎีและความเป็นไปได้เกี่ยวกับเทคโนโลยี ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก สามารถสรุปได้ว่า พลังงานด้านนี้เป็นพลังงานที่นำเอาหลักธรรมชาติมาประยุกต์ซึ่งส่งผลกระทบต่อธรรมชาติน้อยมาก และค่าบำรุงรักษาต่ำเหมาะสมที่จะพัฒนาต่อไป, มณฑล ใจกุล และ จำลองปราบแก้ว [9] ได้ศึกษา การเพิ่มขึ้นตอน (Stage) ของกังหันน้ำตามแนวแกนโดยผ่านชุดทดลอง วิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Design FOIL พบว่า มุมใบพัดและทิศทางของใบบังคับมีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำ โดยจากชุดทดลองพบว่าที่ใบพัดทำมุม 65 องศา และมุมใบบังคับทิศทาง ทำมุม 30 ถึง 40 องศา จะส่งผลให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุดและเมื่อทดสอบหาประสิทธิภาพระหว่างกังหันน้ำขั้นตอนเดียวกับหลายขั้นตอนพบว่าแบบหลายขั้นตอนส่งผลให้กังหันน้ำได้ประสิทธิภาพมากกว่า, กิตติพร ไ้ชีวิ [10] ได้ศึกษาวิธีการออกแบบโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากในประเทศไทย โดยออกแบบที่ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที เหนือสูง 50 เมตร กังหันน้ำชนิด เทอร์โบ จำนวน 2 หัวฉีด ออกแบบประสิทธิภาพ กังหันน้ำ 75% ที่กำลังผลิต 70 กิโลวัตต์ เมื่อทดสอบติดตั้ง สามารถผลิตได้ 69.5 กิโลวัตต์ คิดเป็นประสิทธิภาพ 72%, กิตติพร ไ้ชีวิ [11] ได้ศึกษาสมรรถนะ เครื่องกังหันน้ำ ชนิด เทอร์โบ 2 หัวฉีด ที่ อัตราการไหล 80 ลิตรต่อวินาที เหนือสูง 47 เมตร ที่

กำลังผลิต 25 กิโลวัตต์ ด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop เมื่อทดสอบติดตั้ง สามารถผลิตได้ 28 กิโลวัตต์ คิดเป็นประสิทธิภาพ 85%, ยอดขาย เต็มเป็น [12] ได้ ศึกษาพัฒนากังหันน้ำขนาดเล็กโดยวิเคราะห์ผ่านวิธี CFD ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Fluent และสร้างชุดทดลองโดย กังหันน้ำที่ใช้เป็นชนิด Kaplan ผลจากกราฟการ เปรียบเทียบหลังทดสอบมีความสอดคล้องกันดี โดย ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 80% มีอัตราการไหล 1,600 ลิตร ต่อวินาที เฮดสุทธิ 13 เมตร กำลังผลิต 155 กิโลวัตต์ เป็น ต้น

2. ทฤษฎี

2.1 กังหันน้ำชนิดเพลตัน

กังหันน้ำชนิดเพลตัน เป็นกังหันน้ำประเภท อิมพัลส์ โดยพลังงานจากการไหลถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ โดยไหลผ่านหัวฉีด(Nozzle) แล้วเข้ากระทบกับใบพัด (Blade) เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ดังรูปที่ 1 สำหรับ กังหัน น้ำ ชนิด นี้ จะ เลือก ใช้ เฮด สุทธิ ในช่วง $50 \leq H_n \leq 100$ เมตร



รูปที่ 1 แสดงกังหันน้ำชนิด เพลตัน[6]

2.2. สมการคำนวณสมรรถนะ กังหันน้ำเพลตัน

กำลังผลิตของกังหันน้ำ [3]

$$P_t = \rho g H_n Q \eta_t \quad (1)$$

- เมื่อ P_t คือ กำลังผลิตของกังหันน้ำ (Kw)
- ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
- g คือ ความเร่งแรงดึงดูดของโลก (m/s)
- H_n คือ เฮดสุทธิ (m)
- Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
- η_t คือ ประสิทธิภาพกังหันน้ำ

ความเร็วจำเพาะของกังหันน้ำ [1]

$$N_s = \frac{N \sqrt{P_t}}{H_n^{1.25}} \quad (2)$$

- เมื่อ N_s คือ ค่า Specific speed
- N คือ ความเร็วรอบของกังหันน้ำ (rpm)

การคำนวณประสิทธิภาพของระบบ [10]

$$\eta_{overall} = \frac{P_{ee}}{\rho g Q H_n} \quad (3)$$

$$\eta_{overall} = \eta_i \eta_g \dots \dots \eta_n \quad (4)$$

- เมื่อ $\eta_{overall}$ คือ ประสิทธิภาพของระบบ
- P_{ee} คือ กำลังผลิตที่สามารถจ่ายได้ (Kw)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตของใบพัด กังหันน้ำชนิดเพลตัน [4]

$$D_1 = \frac{40.8 \sqrt{H_n}}{N} \quad (5)$$

- เมื่อ D_1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตใบพัด (m)

ขนาดของหัวฉีด [4]

$$D_e = 1.178 \sqrt{\frac{Q}{K \sqrt{g H_n}}} \quad (6)$$

- เมื่อ D_e คือ ขนาดของหัวฉีด (m)
- K คือ จำนวนหัวฉีด

ความกว้างของใบพัด [4]

$$B_2 = 1.68 \sqrt{\frac{Q}{K \sqrt{H_n}}} \quad (7)$$

- เมื่อ B_2 คือ ความกว้างของใบพัด (m)

โดยอัตราส่วน $(D_1/B_2) > 2.7$ เสมอหากไม่เป็นไปตาม ข้อมูลเราจะต้องคำนวณ D_1 ใหม่

ความยาวของใบพัด [3]

$$A = 1.35 \sqrt{\frac{Q}{K \sqrt{H_n}}} \quad (8)$$

- เมื่อ A คือ ความยาวของใบพัด (m)



ความลึกของใบพัด [3]

$$E = 0.513 \sqrt{\frac{Q}{K\sqrt{H_n}}} \quad (9)$$

เมื่อ E คือ ความลึกของใบพัด (m)

จำนวน ใบพัด [3]

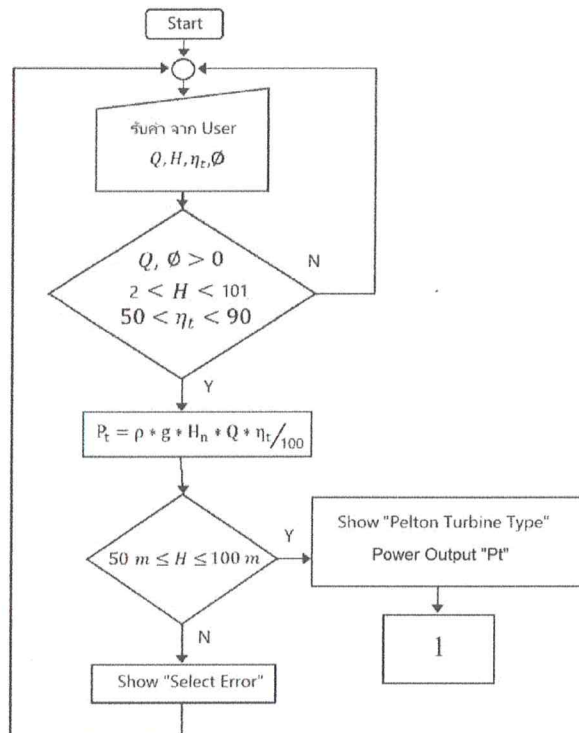
$$Z = \frac{D_1}{D_j} + 15 \quad (10)$$

เมื่อ Z คือ จำนวนของใบพัด ($Pcs.$)

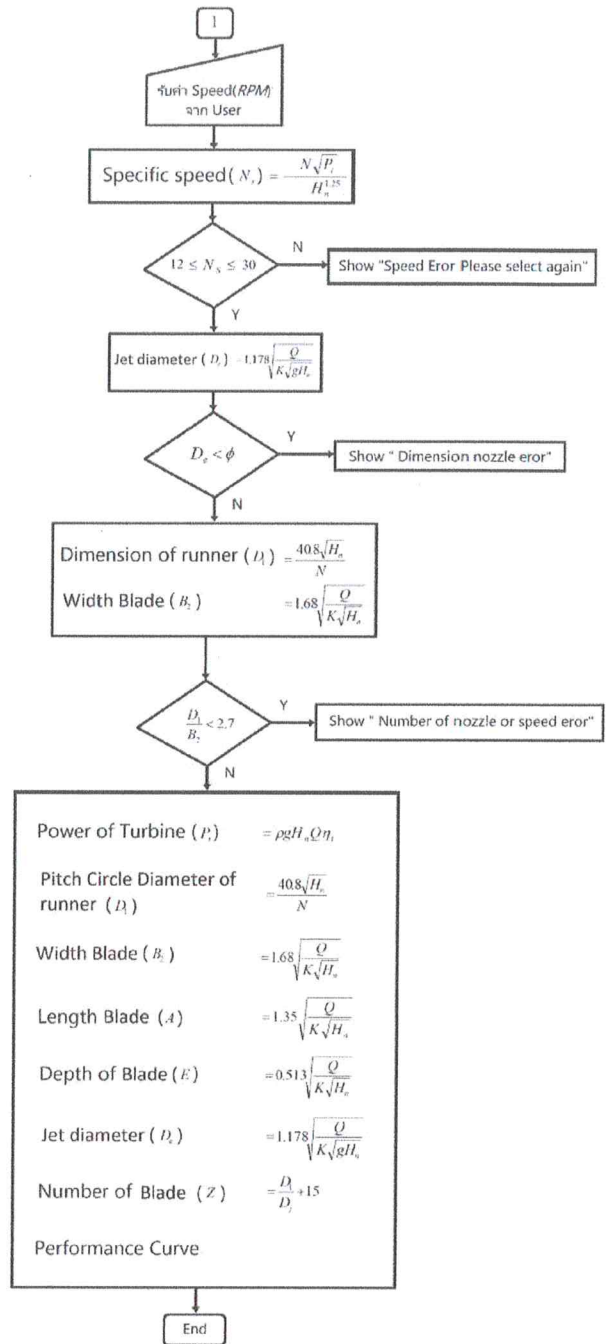
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

เขียนโปรแกรมด้วย MAT LAB จากทฤษฎี โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

- 3.1. โปรแกรมรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน ได้แก่ อัตราการไหล, เหน็ดสุทธิ, ประสิทธิภาพ, ขนาดท่อชักน้ำ
- 3.2. หลังจากโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นเสร็จสิ้น ก็ จะแสดงคำสั่งขอข้อมูลความเร็วรอบที่ผู้ใช้งานเลือก
- 3.3. หลังจากโปรแกรมปฏิบัติขั้นตอนที่ 3.2 โปรแกรมจะ แสดงข้อมูลใบพัดของกังหันน้ำ โดยขั้นตอนการ ดำเนินการต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้จาก รูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 แสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรม ชนิดเพลตัน

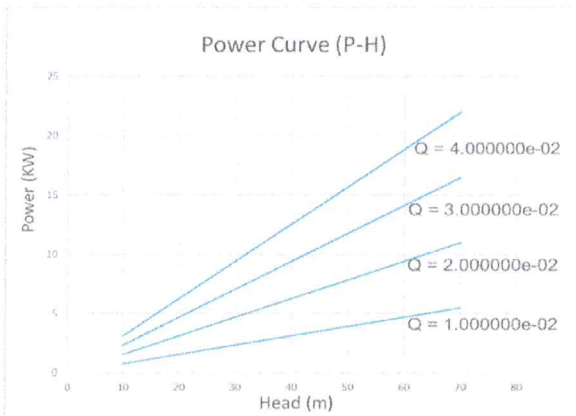


รูปที่ 3 แสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรม ชนิดเพลตัน (ต่อ)
กรณีศึกษา โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากฝายที่ บ้านปียมิตร 2 จังหวัดยะลา จากการสำรวจ สามารถสรุป ข้อมูลโครงการ ดังนี้ อัตราการไหล $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$, เหน็ดสุทธิ 70 m , ประสิทธิภาพ 80% ท่อชักน้ำ $\phi 300 \text{ mm}$, ความเร็วรอบที่ $1,000 \text{ rpm}$, จำนวนหัวฉีด 2 หัว โดย

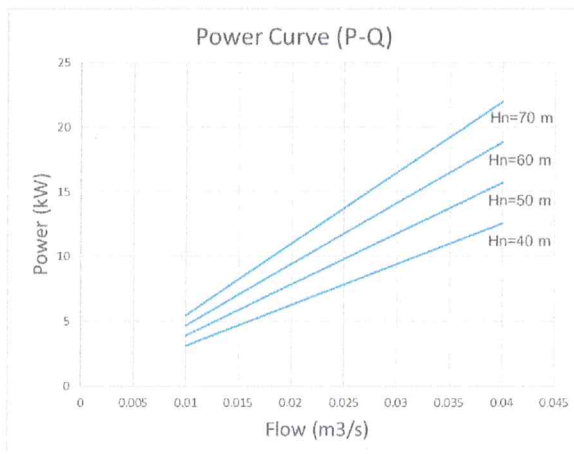
โปรแกรมจะคำนวณค่าต่างๆดังตารางที่ 1 และแสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4 และ 5

ตารางที่ 1 แสดงค่าการออกแบบจากโปรแกรม

No	Detail	Design	Unit
1	Power	21.97	Kw
2	Type	Pelton	-
3	Pitch circle diameter (D_1)	341.35	mm
4	Jet diameter (D_e)	32.54	mm
5	Width blade (B_2)	82.14	mm
6	Length Blade (A)	81.36	mm
7	Depth of blade (E)	30.92	mm
8	Number of blade (Z)	26	Pcs.



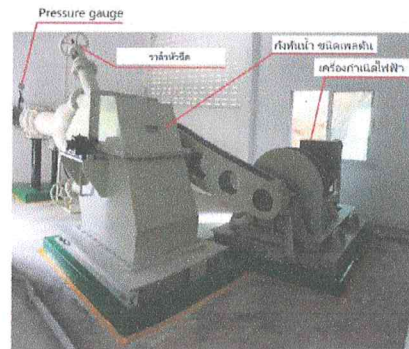
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับเฮดที่อัตราไหลต่างๆ



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับอัตราไหลที่เฮดต่างๆ

จากนั้นนำค่าที่ได้มาผลิตกังหันน้ำและนำไปติดตั้งที่สถานที่จริง

กังหันน้ำ ชนิดเพลตัน ที่อัตราการไหล 0.040 m^3/s เฮดสุทธิ 70 m ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประสิทธิภาพ 87.3% และอุปกรณ์ส่งกำลังประสิทธิภาพ 99%



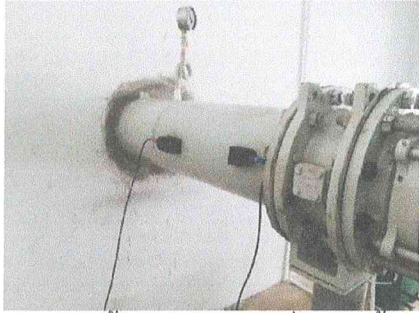
รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งโครงการไฟฟ้าพลังน้ำบ้านปียมิตร 2



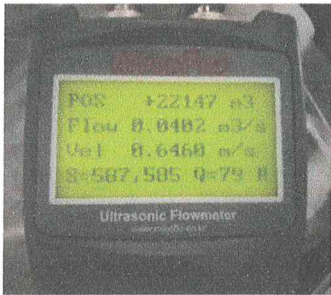
รูปที่ 7 ใบพัดกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน

4. การทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำ ชนิดเพลตัน โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากฝายที่บ้านปียมิตร 2 จังหวัดยะลา

การทดสอบทำโดยปล่อยน้ำให้ไหลผ่านวาล์วปรับอัตราการไหล (Butterfly valve) โดยแบ่งการปล่อยน้ำออกเป็น 4 รูปแบบ ตามลักษณะเข็มชี้ของตัวเรือนวาล์วได้แก่ 25%, 50%, 75% และ 100% และค่อยๆ เปิดวาล์วหิวฉืด ทั้ง 2 หัว ขณะเดียวกันก็ทำการวัดอัตราการไหล ด้วย Flow Meter ชนิด Ultrasonic ยี่ห้อ MAXIFLO รุ่น MU-HA-CSML ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ที่หน่วย m^3/s และเฮดสุทธิที่เกจวัดแรงดัน จากนั้นพิจารณาที่ตู้ควบคุมซึ่งจะแสดงกำลังการผลิตไฟฟ้าที่พร้อมจ่าย โดยสามารถสรุปข้อมูลได้ ดังตารางที่ 2



รูปที่ 8 การติดตั้ง Flow Meter ที่ ท่อชักน้ำ



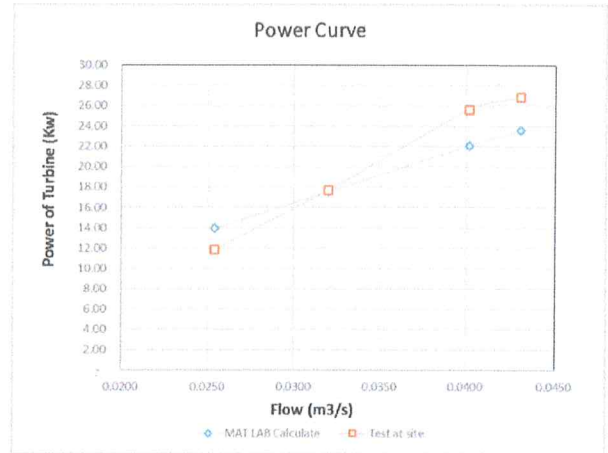
รูปที่ 9 หน้าจอแสดงผลการวัดอัตราการไหลของ Flow Meter ยี่ห้อ MAXIFLO



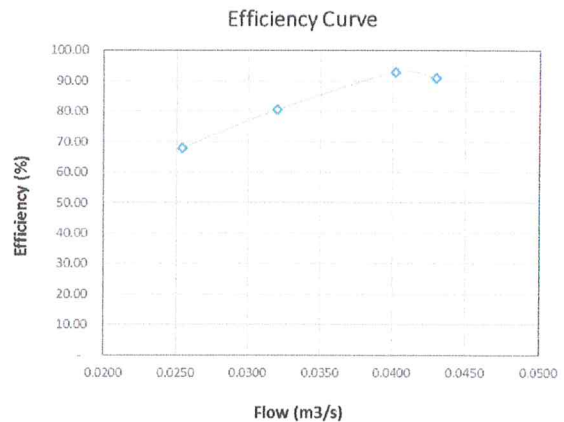
รูปที่ 10 หน้าจอแสดงผลการกำลังผลิตที่ตู้ควบคุม ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลการวัดอัตราการไหลเทียบกับกำลังผลิต โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากฝายที่บ้านปียมิตร 2

Valve open	H_n	Q	P_{test}	P_{MATLAB}	P_{EE}	η_i
25%	70.0	0.0254	11.87	13.95	10.26	68.06
50%	70.0	0.0320	17.70	17.58	15.3	80.56
75%	70.0	0.0402	25.63	22.08	22.15	92.84
100%	70.0	0.0430	27.26	23.62	23.56	92.32

นำค่าจาก ตารางที่ 2 มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ ของ เสด 70 m. ที่อัตราการไหล ต่างๆ เปรียบเทียบกับ โปรแกรม จะได้ดังนี้



รูปที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้า กับอัตราการไหลจากโปรแกรมและผลจากการวัดค่าจริง ที่ เสด 70 เมตร



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลระหว่างอัตราการไหลกับ ประสิทธิภาพกังหันน้ำ โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจาก ฝายที่บ้านปียมิตร 2

5. สรุป

กรณีศึกษาจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจาก ฝายที่บ้านปียมิตร 2 สามารถสรุปได้ดังนี้ กังหันน้ำที่ใช้ เป็นชนิด เพลตัน โดยจากรูปที่ 11 และ 12 กราฟแสดง ประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันน้ำที่ 92.84% ที่อัตราการ ไหล 0.0402 m^3/s เสดสุทธิ 70 m กำลังผลิต 25.63 Kw. ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการออกแบบ คิดเป็น 16.7% อาจเกิดจากการติดตั้งที่แม่นยำและค่าเผื่อจาก การผลิตจริง

ผลการศึกษางานวิจัยนี้ อ้างอิงผลจาก โครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากฝายที่บ้านปียมิตร 2 มี



ความสอดคล้องกัน โดยโปรแกรมเลือกใช้กังหันน้ำชนิดเพลตันขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินขนาดใบพัดและกำลังของกังหันน้ำเพื่อนำมาผลิตและใช้งานและตัวโปรแกรมยังสามารถต่อยอดพัฒนาต่อไปเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ยิ่งขึ้นต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท กรีนเอ็นจิเนียริง แอนด์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด ที่ได้สนับสนุนด้านข้อมูลและการทดสอบต่างๆในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Harvery A, Brown A, Hettiara
- [2] THE EBARA PUMP SYSTEM ENGINEERING HANDBOOK
- [3] N.S. Govinda Rao. Fluid Flow Machines, TATA McGraw-Hill Publishing LTD.
- [4] B.A. Nasir. Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant. TMREES 14, Energy Procedia 50 (2014) 19 - 29
- [5] Prashant. N. Pakale. STUDY ON POWER GENERATION BY USING CROSS FLOW WATER TURBINE IN MICRO HYDRO POWER PLANT. International Journal of Research in Engineering and Technology, p-ISSN: 2321-7308.
- [6] Maddela Veda Ratna Prakash. Design and analysis of pelton turbine buckets. International Journal of Research. Volume 04, p-ISSN: 2348-6848, 2017
- [7] D.Ager. On the use of a laboratory – scale Pelton wheel water turbine in renewable energy education. Renewable Energy 33(2008) 1517 - 1522
- [8] David Kilama Okot. Review of small hydropower technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews 26 (2013) 515 – 520.
- [9] Monton Jaikuson. Study on multistage axial flow turbine. ME-NETT 21, 2007
- [10] Kitiporn Posew. Study and development of micro hydro power electric plant in Thailand. RMUTT Journal ISSN 2229-1547. Vol.4 No.2 (2014)
- [11] Kitiporn Posew. The study of 2 Jet turgo performance and it design for rural area in Thailand. RMUTT Journal ISSN 2229-1547.Vol.3 No.2 (2013) : 51-60
- [12] Yodchai Tiaple, Testing and Numerical Simulation of Small Hydro Turbine. ME-NETT 21, 2007

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย อรรถกฤษณ์ พรวัฒนกวี
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 21 เดือน เมษายน พ. ศ. 2529 ที่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	8/44 หมู่ที่ 3 แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210
ประวัติการศึกษา	2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิชา วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ปทุมธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2551-2553 ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล ฝ่าย วิศวกรรม ซ่อมบำรุงและพัฒนา บริษัท สยามลูบริแค้นท์ อินดัสทรี จำกัด อำเภอเมือง จังหวัด ปทุมธานี พ.ศ. 2553-2555 ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรมเครื่องสูบน้ำ บริษัท ดับเบิลยูพีไอแอล ไทยแลนด์ จำกัด อำเภอเมือง จังหวัด นนทบุรี พ.ศ. 2555-ปัจจุบัน ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมงานผลิตและงาน ติดตั้ง แผนก Hydropower Turbine & Pump Turbine บริษัท บางกอก วอเตอร์เวิร์ก จำกัด อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี