



ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ อัตราการปล่อยน้ำและกำลังการผลิตพลังงาน
ไฟฟ้าของเขื่อนน้ำจืด 2 สาธารณรัฐประชาชนธิปไตยประชาชนลาว



ทองเพชร จันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวกรรมโยรา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



THE RELATIONSHIP OF RESERVOIR WATER LEVEL-DISCHARGE AND
ELECTRICAL POWER GENERATING OF NAM NGUM 2
HYDROPOWER PROJECT IN THE LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC
REPUBLIC OF LAO PDR

THONGPHET CHANHALOT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
บริษัทวิศวกรรมศาสตร์มหาបัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ อัตราการไหล และการผลิตพลังงานของเขื่อนไฟฟ้าน้ำเงิน 2
สามารถรักษาปริมาณน้ำได้ต่อไปนานๆ

ผู้วิจัย นายทองเพชร จันทร์

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แจ้งเรือง

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ ศรีวารมาศ

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีศักดิ์ วงศ์ศาลา

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ ศรีวารมาศ)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

.....
คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

.....
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ศรีรวมมาศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้เสียเวลาให้คำปรึกษาซึ่งแน่ช่วยเหลือและพิจารณาตรวจสอบแก้ไข ปรับปรุง และแก้ไขข้อบกพร่อง พร้อมข้อคิดเห็นต่างๆ ในทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์อย่างใกล้ชิด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร ทวีอุณิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีศักดิ์ วงศ์ไพศาล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา เจนศิริศักดิ์ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการค้นคว้าข้อมูลที่หลากหลายในการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ให้ความรู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการและประสบการต่างๆ ตลอดระยะเวลาของการศึกษาหลักสูตรนี้ ตลอดจนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่คอยให้ความช่วยแนะนำและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการศึกษา และขอกราบขอบพระคุณคณะผู้บริหาร สมาชิกสภาองค์การบริหารของกระทรวงพลังงานและเหมืองแร่ และเจ้าหน้าพนักงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งคณะผู้บริหารจัดการเขื่อนน้ำจม 2 ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลทุกๆ ด้านอย่างครบถ้วน

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งแก่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การศึกษาเหล่าเรียนในครั้งนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าความรู้ที่ได้รับจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีแห่งนี้ จะเป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่ล้ำค่าที่จะช่วยในการพัฒนาองค์กรให้แก่ประเทศของข้าพเจ้าในอนาคต

ท้ายที่สุดผู้ศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งแก่ สำนักงานความร่วมมือเพื่อการพัฒนาระหว่างประเทศ (สพร.) หรือ Thailand International Development Cooperation Agency (TICA) ที่ให้ทุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และที่อยู่เบื้องหลังของความสำเร็จคือคุณพ่อคุณแม่ ครอบครัวและเพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาที่เป็นกำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือสนับสนุนมาโดยตลอด หวังอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจค้นคว้าประกอบการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำ และแนวทางในการเพิ่มกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย เนื่องจากระดับในอ่างเก็บน้ำลดลง ของเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำต่อไป

ทองเพชร จันทร์
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ อัตราการปล่อยน้ำและกำลังการผลิตพลังไฟฟ้าของเขื่อนน้ำจืด 2 สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
 โดย : ทองเพชร จันทร์จน
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ศรีวรมาก
 คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ, พลังงานสูญเสีย, โรงไฟฟ้าพลังน้ำ, เขื่อนน้ำจืด 2

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ อัตราการปล่อยน้ำและกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเขื่อนน้ำจืด 2 สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวในช่วงปี ค.ศ. 2014 ถึง ปี ค.ศ. 2015 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความแปรเปลี่ยนตามระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำกับอัตราการไหลผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปรับการทำงานของกังหัน โดยปรับขนาดช่องเปิดของ Guide Vane ที่สัมพันธ์กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการผลิตและปรับแก้การสูญเสียเขตที่เกิดขึ้นจะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 ในช่วงเวลาที่ศึกษามีค่าประมาณร้อยละ 88 (ที่ระดับน้ำ 354 m.msl) โดยปี ค.ศ. 2014 ประสิทธิภาพสูงสุดและต่ำสุด มีค่าประมาณร้อยละ 91 (373 m.msl) และร้อยละ 83 (344 m.msl) และในปี ค.ศ. 2015 ประสิทธิภาพสูงสุดและต่ำสุด มีค่าประมาณร้อยละ 90 (371 m.msl) และร้อยละ 84 (344 m.msl) ตามลำดับ การผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ต่ำกว่าเฉลี่ยนั้น สามารถดำเนินการได้สองแนวทาง ได้แก่ การจัดหาปริมาณน้ำเพิ่มเพื่อเติมปริมาณน้ำในอ่างให้มีເheads สูงขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการที่จะปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ต้องจัดหน้าเพื่อยกระดับน้ำจาก 344 m.msl ไปยัง 354 m.msl ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำ 724.22 MCM ทั้งนี้ส่งผลให้ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมในปี ค.ศ. 2014 และ 2015 มีค่า 4,556.46 และ 2,728.43 MW ตามลำดับ การปรับการทำงานของกังหันโดยการเปิด Guide Vane เพิ่มขึ้นให้สัมพันธ์กับระดับน้ำเป็นอีกแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะยกระดับปริมาณน้ำที่จ่ายให้กับเครื่องผลิตจากระดับต่ำสุดประมาณร้อยละ 83 ถึง 84 ให้เพิ่มขึ้นไปที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 88 ต้องเปิด Guide Vane ในกังหันน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 46.16 ของขนาดเดิมทำให้เกิดปริมาณน้ำที่ปล่อยเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2014 มีค่า 285.28 MCM (ร้อยละ 5.83 ของความจุทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ) ได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 4,556.46 MW ระดับน้ำลดลงอยู่ที่ 350.75 m.msl สำหรับปี ค.ศ. 2015 นั้นทำการปล่อยน้ำ 168.003 MCM (ร้อยละ 3.44 ของความจุทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ) ได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม 2,728.43 MW และระดับน้ำจะลดลงอยู่ที่ 352.10 m.msl

นอกจากนี้จากการกำหนดค่าดัชนีการใช้น้ำต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือ WPI ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้านั่งหน่วย ผลการศึกษาพบว่าในช่วงฤดูหนาว ให้ค่า WPI ค่าดีที่สุด จากนั้นเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน ตามลำดับ โดยมีค่า WPI เท่ากับ 379.94, 4,350.79 และ 5,157.84 m³/kW เมื่อพิจารณาค่าระดับน้ำเฉลี่ยในอ่างของแต่ละฤดูกาลพบว่า ในช่วงฤดูหนาวนั้นจะมีค่าสูงสุด ฤดูร้อนรองลงมาและฤดูฝนมีค่าต่ำที่สุด ระดับน้ำดังกล่าวส่งผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยตรงทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบในเงื่อนไขที่ผลิตพลังงานไฟฟ้านั่งหน่วยเท่ากัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า คือระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ABSTRACT

TITLE : THE RELATIONSHIP OF RESERVOIR WATER LEVEL- DISCHARGE AND ELECTRICAL POWER GENERATING OF NAM NGUM 2 HYDROPOWER PROJECT IN THE LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF LAO PDR

AUTHOR : THONGPHET CHANHALOT

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : CIVIL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. KRIT SRIWORAMAS, Ph.D.

KEYWORDS : EFFICIENCY, ENERGY LOSSES, HYDRO POWER PLANT, NAM NGUM 2

The research investigated the higher efficiency of hydro-electric power generation by the use of the relationship between the water level, discharge, and electrical power capacity of Nam Ngum2 Dam in Lao People's Democratic Republic at a time when electrical power was below average in 2014 to 2015. The study found that the efficiency of power generation depended on changes in the water levels in the reservoir and discharge rates of water for hydropower generation. This had a direct relationship with the work of the turbine by adjustment of the size of the guide vane opening which related to the expected energy to be produced and the adjustment of head loss. This increased the production of electricity. The average performance of the Nam Ngum2 during the study period was approximately 88% (water level at 354 m.msl) in 2014 with the highest and lowest performances at approximately 91% (373 m.msl) and 83% (344 m.msl) respectively. In 2015 the highest and lowest efficiencies were approximately 90% (371 m.msl) and 84% (344 m.msl) respectively. To produce electricity more effectively, two approaches were implemented. The first approach involved the provision of water into the reservoir to increase the ability to release it to produce electricity. To raise the water level from 344 m.msl to 354 m.msl, the volume of 724.22 MCM was required to generate 4,556.46 and 2,728.43 MW of electrical power in 2014 and 2015respectively. The second approach to improve the efficiency of hydro-electrical power was the consideration of turbine operation by the use of the guide vane opening relative to the water level. To improve the efficiency from 83 to 84% to make an average of 88%, the guide vane opening in the turbine increased to 46.16% of its original size. By the use of this method, water released in 2014 was 285.28 MCM (5.83% of the total capacity of the reservoir) for an increased capacity of 4,556.46 MW of electricity and the water level dropped to 350.75 m.msl.

In 2015, the release of water was 168.003 MCM. (3.44% of the total capacity of the reservoir) for an electrical capacity of 2,728.43 MW and a decrease in the water level to 352.10 m.msl. The study indicated that during winter, the WPI (the amount of water used to produce one unit of electricity) was the best and the next values are the rainy season and summer in which are 379.94, 4,350.79 and 5157.84 m³/kW respectively. Consideration of the average water levels in the reservoir found that the highest was in winter, the second was in summer season and the last was in rainy. The water levels affected the hydro-electrical power generation directly when compared with the amount of water used for an electrical power unit. It was concluded that the water levels in the reservoir resulted in significantly higher efficiency of hydro-electrical power generation.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 สมมติฐานและขอบเขตการวิจัย	5
1.4 วิธีการดำเนินการศึกษา	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ	6
2.2 องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	7
2.3 เขื่อนน้ำจืด 2	11
2.4 ทฤษฎีการคำนวน	23
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การรวบรวมข้อมูล	37
3.2 การคำนวนปริมาตรน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานจริง	37
3.3 เอดเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า	37
3.4 ข้อมูล ปริมาณน้ำ และอัตราการไหล	39
3.5 การคำนวนกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าจริง	39
3.6 การคำนวนกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี	39
3.7 การคำนวนประสิทธิภาพรวม	40
3.8 การศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	40
3.9 การคำนวนกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มน้ำช่วงที่กำลังผลิตลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยนิยามการสูญเสียในการผลิตพลังงาน	40
3.10 แนวทางเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า	41
3.11 การวิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษา	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 ข้อมูลการผลิตพลังงานจริงของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2	42
4.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานจริง	44
4.3 เยอดของน้ำ	45
4.4 อัตราการปล่อยน้ำรายวัน	46
4.5 กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจริง	47
4.6 กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี	48
4.7 ประสิทธิภาพรวมการผลิตพลังงาน	49
4.8 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	54
บทที่ 5 ผลการศึกษาการเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	
5.1 ทางด้านปริมาณพลังงานไฟฟ้า	61
5.2 การปรับแก้การสูญเสียจากการเปิด Guide vane ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	68
5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า	71
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	
6.1 ผลการศึกษา	74
6.2 แนวทางการเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	75
6.3 การวิเคราะห์ค่า WPI ของกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	75
6.4 ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารอ้างอิง	78
ประวัติผู้วิจัย	89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รายละเอียดของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2	14
2.2	ข้อมูลเทคนิคของกังหันโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2	16
2.3	การออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2	16
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียกับการปล่อยน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้า	16
2.5	ขอบเขตสูงสุดของการดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2	22
2.6	ผลการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Rule Curve ที่ปรับขึ้นใหม่สำหรับการดำเนินงานในแต่ละช่วงเวลา	31
4.1	ตัวอย่างข้อมูลที่รวมรวมได้จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงรายวันของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2	43
4.2	สรุปผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง	47
4.3	สรุปผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงที่สัมพันธ์ระดับน้ำของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2	48
4.4	สรุปผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี	49
4.5	สรุปผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง	52
4.6	ค่าสูงสุด และต่ำสุดของประสิทธิภาพ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง และ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี	52
4.7	ตัวอย่างผลการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1	53
5.1	สรุปผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด	62
5.2	ตัวอย่างผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ปี ค.ศ. 2014	64
5.3	ตัวอย่างผลการคำนวณกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ปี ค.ศ. 2015	65
5.4	การเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ	69
5.5	การเปรียบเทียบค่า WPI ในแต่ละช่วงฤดูกาล ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	71
5.6	ค่า WPI ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับน้ำต่ำสุด (A2)	72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 เขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำใน สปป.ลาว ที่อยู่ในช่วงสัญญาสัมปทาน 25 โครงการ	2
1.2 พื้นที่อ่างเก็บน้ำของเขื่อนน้ำ 2 ใน สปป.ลาว	4
2.1 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ	8
2.2 ความสูงของหัวน้ำในระยະต่างๆ กัน	9
2.3 กังหันน้ำฟรานซิส	10
2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	11
2.5 ที่ตั้งของเขื่อนน้ำจี๊ม 2	12
2.6 แผนผังทั่วไปของเขื่อนน้ำจี๊ม 2	12
2.7 การออกแบบตัวเขื่อนน้ำจี๊ม 2	13
2.8 ตัวเขื่อนน้ำจี๊ม 2	13
2.9 แผนผังของโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำจี๊ม 2	14
2.10 โรงไฟฟ้า	15
2.11 Prototype Turbine Performance Chart	17
2.12 Prototype Turbine Performance At $H_{max}=159.5$ m	18
2.13 Prototype Turbine Performance At $H_{min}=130$ m	19
2.14 แผนผังของประตูน้ำเข้า	20
2.15 ระบบสายส่งของเขื่อนน้ำจี๊ม 2	21
2.16 เส้นโค้ง Area Capacity Curve ของเขื่อนน้ำจี๊ม 2	21
2.17 เส้นยอดกังหันแบบฟรานซิส	25
2.18 การหาพื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง	26
2.19 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม	27
2.20 แผนการดำเนินการซ่อมบำรุงในแต่ละช่วงระยะเวลาของโรงไฟฟ้าน้ำจี๊ม 2	29
2.21 ปริมาตรน้ำเก็บกักรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล ที่ระดับความเชื้อมั่นต่างๆ	33
2.22 ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำจี๊ม 2	36
3.1 ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพการ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเทียบกับ ความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำ และการสร้างโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม ^{ในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลง}	38
3.2 โมเดลการปล่อยน้ำสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงงานน้ำจี๊ม 2	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 ปริมาณการปล่อยน้ำสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง	45
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับประสิทธิภาพเฉลี่ยเครื่องที่ 1	50
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับประสิทธิภาพเฉลี่ยเครื่องที่ 2	50
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับประสิทธิภาพเฉลี่ยเครื่องที่ 3	51
4.5 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตทางทฤษฎี และกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 1	54
4.6 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตทางทฤษฎี และกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 2	54
4.7 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตทางทฤษฎี และกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 3	55
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำ กับประสิทธิภาพ เครื่องที่ 1	56
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำ กับประสิทธิภาพ เครื่องที่ 1	57
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำ กับกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 1	57
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำ กับกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 1	58
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและผลคูณของความสูงกับอัตราการปล่อยน้ำ เครื่องที่ 1	59
5.1 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเครื่องที่ 1	62
5.2 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น และกำลังการผลิตเฉลี่ยของ เครื่องที่ 1	66
5.3 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้ในสถานการณ์ A1 และ A2	67
5.4 ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับการเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ	68
5.5 การเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ กับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า	69
5.6 ระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ กับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า	70

ตัวอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
MOU	Memorandum of Understanding	-
PDA	Project Development Agreement	-
CA	Concession Agreement	-
CFRD	Concrete Face Rock fill Dam	-
ICOLD	International Commission oh Large Dam	-
USBR	United States Department of the Interior Bureau of Reclamation	-
η_{total}	ประสิทธิภาพรวมของการผลิตพลังงานไฟฟ้า	%
η_t	ประสิทธิภาพของกังหัน	%
η_g	ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	%
γ	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีค่าเท่ากับ 9810 N/m ³	N/m ³
E_{act}	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง	kWh
E_g	พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้	kWh
E_{loss}	ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	kWh
H_1	ระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ	m.msl
H_2	ระดับน้ำที่ท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า	m.msl
H_{gross}	ความสูงแตกต่างระหว่างระดับน้ำด้านบนและระดับน้ำท้ายของโรงไฟฟ้า	m
H_n	ความสูงสุทธิ	m
H_{loss}	การสูญเสีย	m
P_{act}	กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง	W
P_{th}	กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านทฤษฎี	W
P_1	กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	kW
P_2	กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงในช่วง (a,b)	kW
Q_1	อัตราการปล่อยน้ำเฉลี่ย	m ³ /s
Q_2	อัตราการปล่อยน้ำรายวัน	m ³ /s
T	ระยะเวลาการผลิตพลังงานไฟฟ้า	hr
V_{act}	ปริมาตรน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า	m ³

บทที่ 1 บทนำ

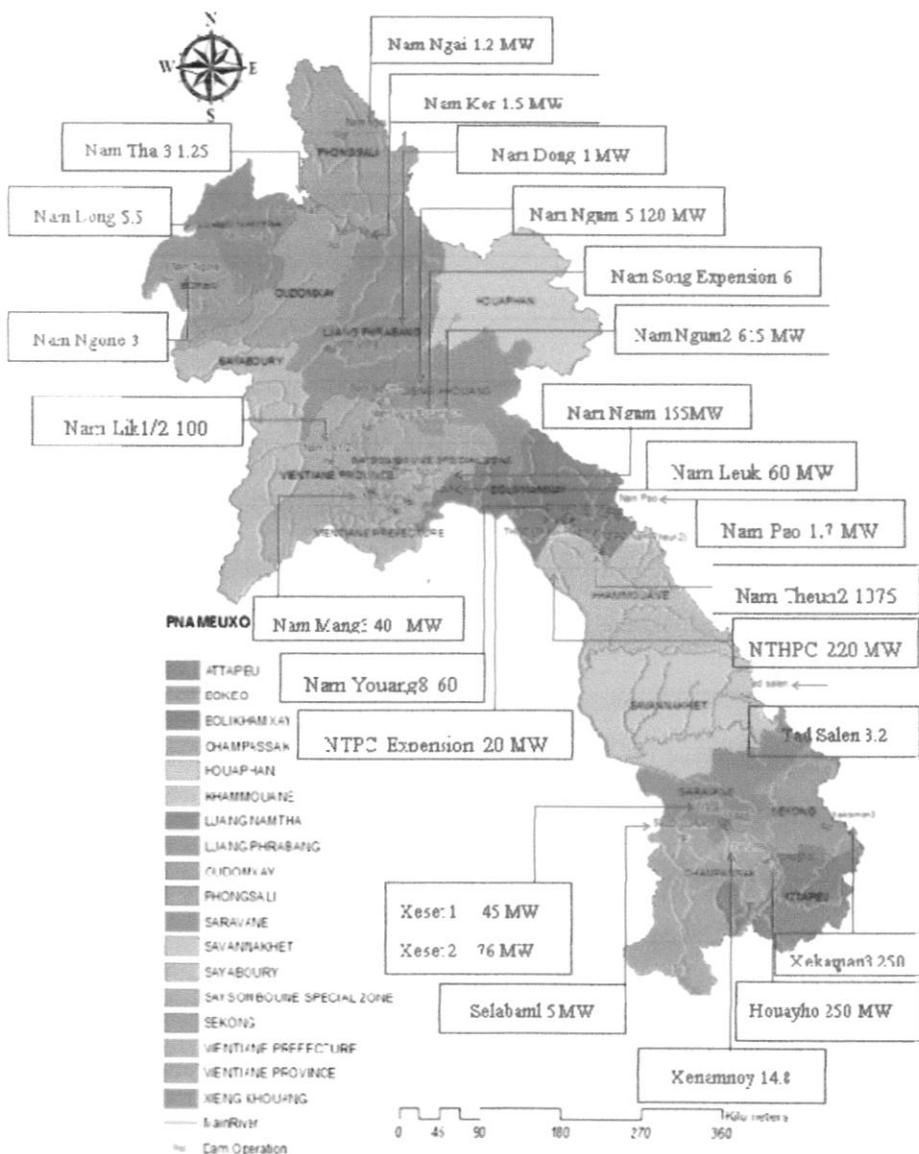
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัจจุบัน

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประชาชนมีมากขึ้น ตามการพัฒนาเศรษฐกิจ ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การเกษตร การสื่อสาร และการท่องเที่ยว ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอ กับความต้องการจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง การผลิตพลังงานไฟฟ้ามาจากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ น้ำมัน แสงอาทิตย์ ลม ถ่านหินและพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น ประเทศไทยทั้งหลายทั้งประเทศและที่กำลังพัฒนาต่างเห็นถึงความจำเป็นที่จะจัดการแหล่งพลังงานเหล่านี้ เพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศและสอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภูมิประเทศที่หลากหลาย มีแม่น้ำและลำธารที่ไหลลงสู่ทะเล แม่น้ำแม่เจ้า แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำแม่กลอง เป็นต้น ประเทศไทยมีภูมิประเทศที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการผลิตพลังงานจากแม่น้ำ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำแม่เจ้า แม่น้ำแม่สาย ฯลฯ ประเทศไทยมีภูมิประเทศที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น การผลิตพลังงานจากแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำแม่เจ้า แม่น้ำแม่สาย ฯลฯ ฯล..

การพัฒนาแหล่งพลังงานน้ำขนาดใหญ่ใน สปป.ลาว เกิดขึ้นครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1971 โดยการสร้างเขื่อนน้ำเข้ม 1 มีกำลังการผลิต 155 MW ปี ค.ศ. 1998 ได้สร้างเขื่อนเทินหินบูรณ์ มีกำลังการผลิต 500 MW และปี ค.ศ. 2009 ได้สร้างเขื่อนน้ำเทิน 2 มีกำลังการผลิต 1,088 MW นอกจากนี้ยังมีแหล่งพลังงานน้ำขนาดกลาง และขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วประเทศ [1]

สปป.ลาว มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำรวมทั้งสิ้นประมาณ 2,973.15 MW ซึ่งปัจจุบันมีทั้งหมด 87 โครงการ ที่อยู่ในแผนการพัฒนา ซึ่งโครงการที่อยู่ในช่วงบันทึกความเข้าใจ (Memorandum of Understanding) ประกอบไปด้วย 37 โครงการ โดยที่โครงการที่อยู่ในช่วงสัญญาพัฒนาโครงการ (Project Development Agreement) มี 25 โครงการ และโครงการที่อยู่ในช่วงสัญญาสัมปทาน (Concession Agreement) มี 26 โครงการ [2] ดังแสดงในภาพที่ 1.1

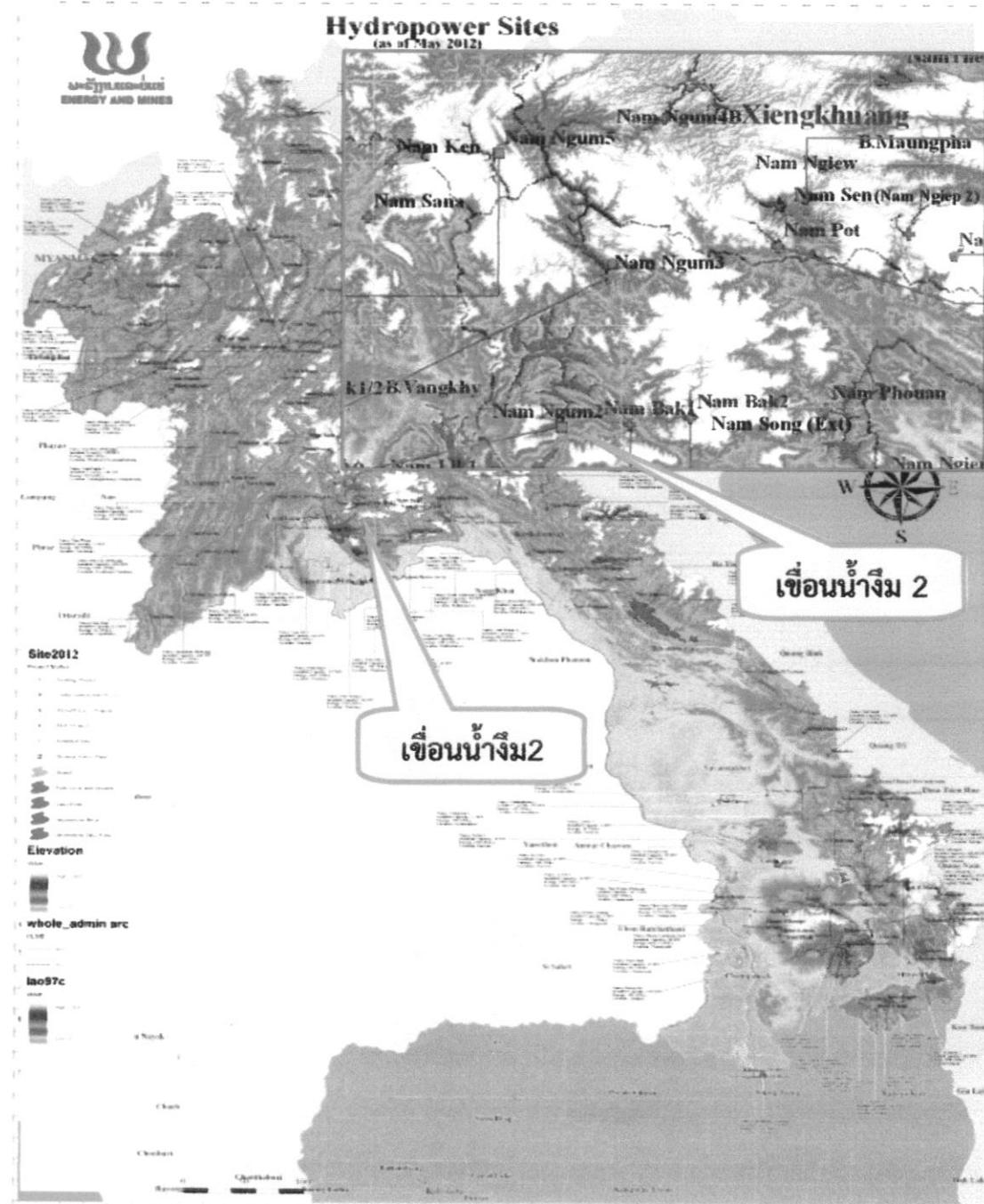


ภาพที่ 1.1 เขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำใน สปป.ลาว ที่อยู่ในช่วงสัญญาสัมปทาน 25 โครงการ [3]

สปป.ลาว มีการผลิตไฟฟ้าจากเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำกระจายอยู่ทั่วประเทศ มีทั้งโครงการที่กำลังศึกษา โครงการที่กำลังก่อสร้าง โครงการที่เพิ่งก่อสร้างสำเร็จและโครงการที่ดำเนินการผลิตมานานซึ่ง การพัฒนาและปรับปรุงโรงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม นับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความต่อเนื่องให้กับโครงการโดยมีการใช้เงินลงทุนน้อยกว่าการเริ่มโครงการใหม่เนื่องจากโครงการเดิม มีตัวเขื่อน อาคารโรงไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้าอยู่แล้วการศึกษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เป็นแนวทางปรับปรุงโรงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เช่นการลดการสูญเสียของอุปกรณ์ การลดการสูญเสียในระบบห่อและกังหันน้ำ การวิเคราะห์ผลกระทบด้านท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า การเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและการปรับการทำงานของกังหันเป็นต้น

โดยทั่วไปประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กสร้างใหม่มีค่าประมาณ 70 % ถึง 75 % ต่ำกว่า ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพประมาณ 80 % ถึง 90% [3]

ในงานศึกษานี้ได้เลือกโรงไฟฟ้าน้ำริม 2 เป็นเชื่องภาคกลางของ สปป.ลาว ตั้งอยู่คุ่นน้ำริม บ้านห้วยหม้อ อำเภอริม จังหวัดเวียงจันทน์ ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ห่างจากเขื่อนไฟฟ้าน้ำริม 1 ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 35 km ห่างจากครหลงเวียงจันทน์ ไปทางทิศเหนือในแนวตรงประมาณ 90 km โรงไฟฟ้าน้ำริม 2 เป็นโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีขนาดกำลังผลิต 615 MW สามารถผลิตพลังงานได้ทั้งหมด 2,218 GWh ต่อปี ตัวเขื่อนเป็นแบบเขื่อนปิดกั้นลำน้ำให้มีระดับสูงขึ้นมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ประมาณ 107 km² สามารถเก็บกักน้ำได้สูงสุด 4,890 MCM ความสูง 182 m เป็นเขื่อนที่ใหญ่อับดับที่ 2 ของ สปป.ลาว พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดส่งขายให้กับประเทศไทยและเป็นเขื่อนที่สร้างรายได้เข้าประเทศไทยเป็นอันดับต้นๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างรายได้เข้าประเทศไทยได้อย่างต่อเนื่อง จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเขื่อนไว้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะสามารถใช้ในการวางแผนการดำเนินงานของเขื่อนได้ การศึกษานี้ใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 2014 และปี ค.ศ. 2015 มาทำการศึกษาประสิทธิภาพ ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย และหาแนวทางการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2 ผลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับศึกษาแนวโน้มและการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำได้



ภาพที่ 1.2 พื้นที่อ่างเก็บน้ำของเขื่อนน้ำ 2 ใน สปป.ลาว [3]

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำเงิน 2
- 1.2.2 เพื่อหาแนวทางการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำเงิน 2

1.3 สมมติฐานและขอบเขตการวิจัย

1.3.1 โรงไฟฟ้าน้ำริม 2 ตั้งอยู่ลุ่มน้ำริม บ้านห้วยหม้อ อำเภอร่ม จังหวัดเวียงจันทน์ สปป.ลาว โดยใช้ข้อมูลที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2014 ถึงปี ค.ศ. 2015

1.3.2 พิจารณาเงื่อนไขการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากผลการศึกษาออกแบบเชื่อน้ำริม 2

1.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำเพิ่มเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า ยังไม่มีการพิจารณาด้านสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำ

1.3.4 ประสิทธิภาพที่ลดลงเป็นผลรวมของความสูญเสียในทุกๆ ส่วนรวมกันทั้งระบบ

1.3.5 การคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม จะพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาที่ลดลง กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

1.3.6 ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 343 ถึง 375 m.msl

1.4 วิธีการดำเนินการศึกษา

1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เก็บข้อมูลทางด้านเทคนิค ศึกษาระบรมข้อมูลระดับน้ำ อัตราการปล่อยน้ำ และการผลิตพลังงานจริง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015

1.4.3 การคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง เพื่อหาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของระบบ

1.4.4 คำนวณกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

1.4.5 หาแนวทางการเพิ่มกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.4.6 วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2

1.5.2 ทราบแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เขื่อน คือโครงการก่อสร้างทางชลศาสตร์ชนิดหนึ่งที่สร้างขวางแม่น้ำหรือทางน้ำธรรมชาติเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้นทำให้เกิดอ่างเก็บน้ำหรือปริมาณรักษากักในลำน้ำ หรือเป็นอาคารทดน้ำจากแม่น้ำหรือดักตะกอนต่างๆที่用来กับแม่น้ำ

ในการสร้างเขื่อนแต่ละแห่ง จะต้องลงทุนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้คุ้มต่อการลงทุน จึงควรจะสร้างเป็นเขื่อนเอนกประสงค์ ซึ่งเป็นเขื่อนที่สร้างแล้วทำให้เกิดประโยชน์ตั้งแต่ 2 ประการขึ้นไป โดยคณะกรรมการเขื่อนใหญ่ของโลก (International Commission on Large Dams) เรียกชื่อย่อว่า ICOLD ได้แบ่งวัตถุประสงค์หลักของเขื่อนไว้ 6 ข้อ คือ (1) การชลประทาน (2) การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ (3) การบรรเทาอุทกภัย (4) การสัญจรทางน้ำ (5) การอุปโภคบริโภค และ (6) การพักผ่อนหย่อนใจ ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากเขื่อนทางด้านอื่นๆ อิกเซ่น การประมง การไล่น้ำเสีย และการผลักดันน้ำเค็มที่เกิดจากน้ำทะเลหมุนเข้ามาในแม่น้ำเป็นต้น [4]

ในบทนี้นำเสนอยละเอียดเกี่ยวกับ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนน้ำจืด 2 ทฤษฎีการคำนวณ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อประเทศเป็นอย่างมาก ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังน้ำ จะอาศัยน้ำในแหล่งปริมาณน้ำตามธรรมชาติ โดยการก่อสร้างเขื่อนปิดกั้นลำน้ำให้มีระดับสูงเพื่อการสมมูล้งานในรูปของพลังงานศักย์แล้วเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานจนที่กังหันน้ำ สำหรับขั้บเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้

การจำแนกประเภทของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โดยทั่วไปจะแบ่งตามขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า และตามลักษณะการบังคับน้ำเพื่อการผลิต สำหรับการจำแนกประเภทตามขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังน้ำสามารถแยกได้ 5 ประเภท ดังนี้ [5]

- (1) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ มีขนาดกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า 100 MW ขึ้นไป
- (2) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดกลาง มีขนาดกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า 15-100 MW
- (3) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก มีขนาดกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า 1-15 MW
- (4) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมาก มีขนาดกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า 0.1-1 MW
- (5) โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดจิ๋ว มีขนาดกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า ต่ำกว่า 100 kW

การจำแนกตามลักษณะการบังคับน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ [6]

- (1) โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดทั้งปี (Run off river Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้ไม่มีอ่างเก็บน้ำ การผลิตไฟฟ้าอาศัยน้ำที่ไหลตามธรรมชาติของลำน้ำ กำลังการผลิตติดตั้งมักจะคิดจากอัตราการไหลของน้ำประจำปีในช่วงที่ต่ำสุดเพื่อที่จะสามารถเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

(2) โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก (Regulating Pond Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กที่สามารถบังคับน้ำได้ในช่วงสั้นๆ การผลิตไฟฟ้าจะสามารถควบคุมให้สอดคล้องกับความต้องการได้ดีกว่าแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดทั้งปี

(3) โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (Reservoir Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้มีเขื่อนขนาดใหญ่กันขวางลำน้ำ เพื่อเก็บกักน้ำในถყำฟุและนำไปใช้ในถูกแล้ง โรงไฟฟ้าแบบนี้สามารถควบคุมการใช้น้ำในการผลิตเสริมในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงตลอดทั้งปี

(4) โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้สามารถสูบน้ำกลับขึ้นไปไว้ในอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าอีก ประโยชน์ของโรงไฟฟ้าชนิดนี้คือการสะสมพลังงานที่เหลือใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ เช่น เวลากลางคืน นำไปสะสมไว้ในรูปของการเก็บน้ำในอ่างเพื่อสามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่งในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง

2.2 องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำประกอบด้วยส่วนเล็กๆ 4 ส่วน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ หัวน้ำ กังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 อ่างเก็บน้ำ

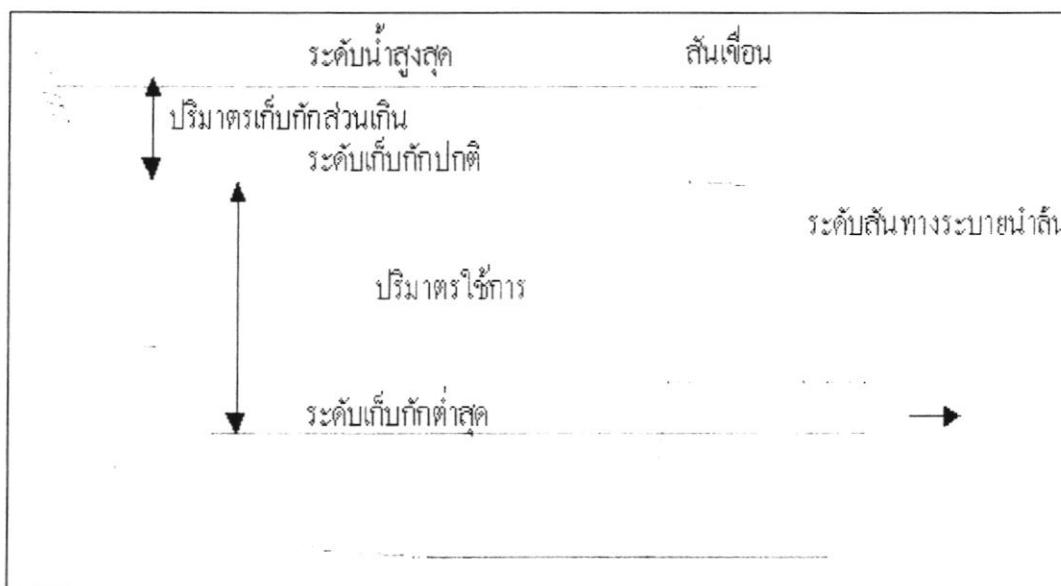
อ่างเก็บน้ำคือ กลไกที่มีนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลตามลำน้ำธรรมชาติเพื่อวัตถุประสงค์อย่างโดยย่างหนักหรือเพื่อulatoryอย่าง

อ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท [4] คือ

(1) อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ เป็นอ่างเก็บเพื่อทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์อย่างโดยย่างหนัก เช่น เพื่อการเกษตร อุปโภคบริโภคหรือเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำจะง่ายที่สุด

(2) อ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ เป็นอ่างเก็บเพื่อทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับหลายวัตถุประสงค์พร้อมกัน เช่น เพื่อการเกษตร อุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรมและการคมนาคม ดังนั้น การบริหารจัดการน้ำย่อมมีความ слับซับซ้อนและยุ่งยากมากกว่าอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์

อ่างเก็บน้ำประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน [5] คือ ตัวอ่างเก็บน้ำ ทางระบายน้ำล้น และอาคารทางออก



ภาพที่ 2.1 การแบ่งปริมาตรอ่างเก็บน้ำ [4]

ระดับเก็บกักปกติ คือ ระดับน้ำสูงสุดที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ จะมีระดับสูงขึ้นไปถึงได้ในระหว่างมีการใช้งานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งในกรณีไม่มีประตุน้ำเหนือสันฝาย ระดับเก็บกักปกติก็คือระดับสันฝายน้ำล้น ส่วนในกรณีมีประตุน้ำเหนือสันฝาย ระดับกักเก็บปกติจะเป็นระดับสูงสุดของประตุน้ำเหนือสันฝายซึ่งระดับกักเก็บปกตินี้บางครั้งจะเรียกว่า ระดับน้ำเต็มอ่างเก็บน้ำ

ระดับเก็บกักต่ำสุด คือระดับน้ำต่ำสุดที่อ่างเก็บน้ำจะลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้หรือระบายนอกในสภาพการใช้งานปกติ ซึ่งระดับเก็บกักต่ำสุดนี้จะกำหนดที่ระดับทางออกของอาคารชลศาสตร์ตัวที่อยู่ต่ำสุดหรือในกรณีของอ่างเก็บน้ำที่ใช้ผลิตกระแสพลังงาน ระดับเก็บกักต่ำสุดจะกำหนดจากความสูงน้ำต่ำสุดที่ทำให้กั้งหันน้ำสามารถใช้งานได้

ระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำ คือระดับน้ำสูงสุดที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะสูงขึ้น ในระหว่างเกิดน้ำหลอกที่ออกแบบ บางครั้งจะเรียกว่า ระดับน้ำสูงสุด

ปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน คือปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำส่วนที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักปกติ และระดับน้ำสูงสุด ซึ่งเป็นปริมาตรน้ำที่ควบคุมไม่ได้ จะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดน้ำหลอกในอ่างเก็บน้ำ เท่านั้นและจะค้างอยู่ในอ่างเก็บน้ำเพียงชั่วคราว เพื่อช่วยอน้ำท่วม และจะระบายนอกจากอ่างเก็บน้ำ ต่อไป ซึ่งเป็นปริมาตรน้ำที่ไม่ได้นำมาใช้งาน

ปริมาตรเก็บกักใช้การ คือปริมาตรของน้ำในอ่างเก็บน้ำที่อยู่ระหว่างระดับเก็บกักปกติกับ ระดับเก็บกักต่ำสุด ในอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ ซึ่งสามารถแบ่งปริมาตรเก็บกักใช้การ ได้เป็นปริมาตรเก็บกักน้ำสำหรับใช้ และปริมาตรเก็บกักสำหรับควบคุมน้ำท่วม หรือปริมาตรเก็บกักสำหรับ雷霆น้ำท่วม ซึ่งจะต้องพิจารณาในแผนการดำเนินการของอ่างเก็บน้ำ ปริมาตรเก็บกักใช้การนี้ บางครั้งจะเรียกว่าปริมาตรเก็บกักใช้ในชีวิต ซึ่งสามารถนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ตามความต้องการได้

ระดับสัมฤทธิ์ทางร่างกายน้ำล้น คือทางระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในกรณีที่น้ำมีระดับสูงมาก เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วมล้นตัวเขื่อน

2.2.2 หัวน้ำ

การใช้เครื่องกังหันน้ำจะต้องคำนึงถึงการผลิตและหัวน้ำ จากภาพที่ 2.2 แสดงความสูงหัวน้ำเครื่องกังหันน้ำ Francis ในระยะต่างๆกัน [8] เช่น

2.2.2.1 หัวน้ำรวม (Gross Head) คือความสูงแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และระดับน้ำท้ายของโรงไฟฟ้า

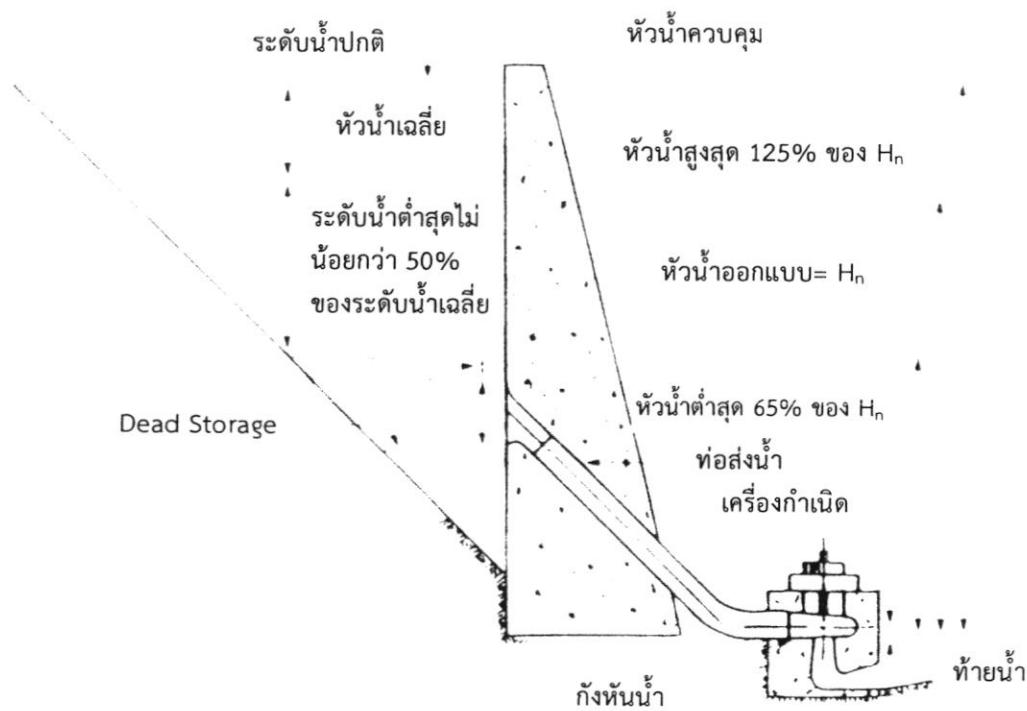
2.2.2.2 หัวน้ำสุทธิ (Net Head) คือหัวน้ำรวมที่หักค่าสูญเสียทางด้านคลาสตร์ทั้งหมดแล้ว

2.2.2.3 หัวน้ำออกแบบ (Design Head) คือหัวน้ำสุทธิที่เครื่องกังหันน้ำเดินเครื่องด้วยประสิทธิภาพสูงสุดในความเร็วที่ออกแบบโดยปกติ หัวน้ำออกแบบจะมีค่าใกล้กับหัวน้ำเฉลี่ย

2.2.2.4 ระดับน้ำควบคุม (Rated Head) คือหัวน้ำที่เครื่องกังหันน้ำเดินเครื่องให้กำลังไฟฟ้าเท่าที่ออกแบบในขณะที่บานประตูเครื่องกังหันน้ำเปิดให้น้ำไหลผ่านเต็มที่

2.2.2.5 หัวน้ำต่ำสุด (Minimum Head) คือความสูงแตกต่างของระดับน้ำต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำ และระดับน้ำท้ายของโรงไฟฟ้าเมื่อเปิดเดินเครื่องกังหันน้ำทุกเครื่องเต็มที่

2.2.2.6 หัวน้ำเฉลี่ย (Weight Average Head) คือความสูงแตกต่างของระดับน้ำเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำ และระดับน้ำท้ายของโรงไฟฟ้า ซึ่งค่าระดับน้ำดังกล่าวเป็นผลจากการเดินเครื่องกังหันน้ำในระยะยาว



ภาพที่ 2.2 ความสูงของหัวน้ำในระยะต่างๆ กัน [7]

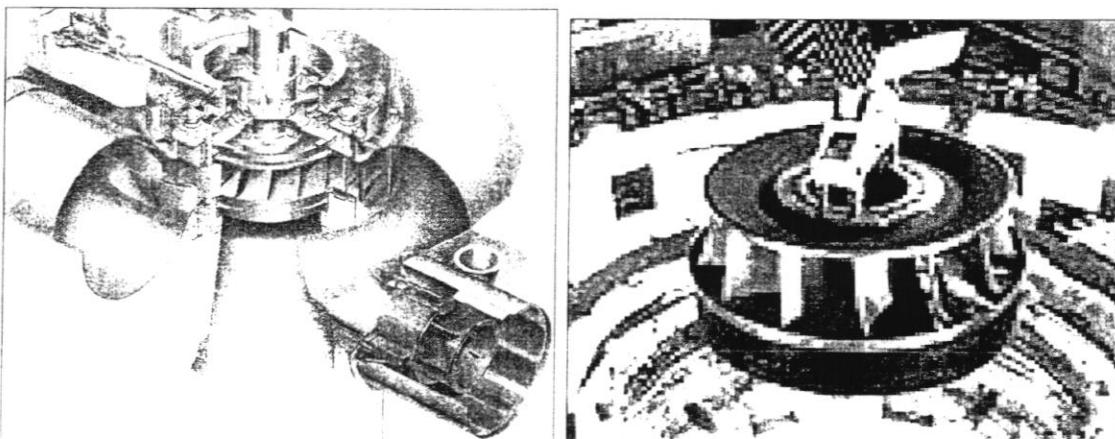
2.2.3 กังหันน้ำ

กังหันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโรงไฟฟ้า เพราะกังหันจะเป็นตัวรับแรงกระทำจากต้นกำลังมาเป็นพลังงานกลเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้าออกมาน้ำที่กังหันน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ [7] คือ

2.2.3.1 กังหันแบบแรงกระแทก เป็นกังหันที่หมุนโดยอาศัยแรงฉีดของน้ำจากห้องส่งน้ำที่รับจากที่สูงหรือหัวน้ำสูงให้ลงมาตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉีดกระแทกกังหันให้หมุน และต่อแกนกับเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้าออกไป กังหันแบบแรงกระแทกแบ่งออก เป็น 3 ชนิดคือ แบบแบนกี ใช้กับหัวน้ำต่ำ แบบเทอร์โบ ใช้กับหัวน้ำปานกลางและแบบเพลตัน ใช้กับหัวน้ำสูง

2.2.3.2 กังหันแบบแรงสะท้อน เป็นกังหันที่หมุนโดยใช้แรงดันของน้ำที่เกิดจากความต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของกังหันกระทำต่อใบพัด ระดับด้านท้ายน้ำจะอยู่สูงกว่าระดับบนของปลายหัวปล่อยน้ำออกเสนอ กังหันชนิดนี้เหมาะสมกับอ่างเก็บน้ำที่มีความสูงแบบปานกลางและต่ำ กังหันน้ำประเภทนี้นิยมแบ่งออกได้อีก 3 แบบ คือ กังหันพรมน้ำ กังหันเดเรียซและกังหันคาปาน

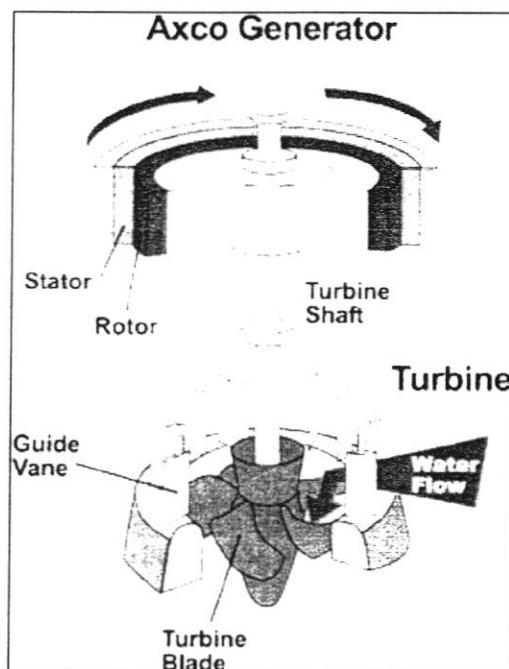
สำหรับกังหันพรมน้ำ เป็นกังหันแบบที่ใช้การไหลของปริมาณน้ำในใบพัดเป็นแบบแรก และน้ำไหลออกนานกับแกน ซึ่งแสดงว่ามีการเปลี่ยนทิศทางการไหลในขณะที่ผ่านใบพัด กังหันแบบพรมน้ำ มีทั้งแบบแกนนอนและแกนตั้ง เป็นกังหันที่นิยมใช้งานกันมาก มีช่วงการทำงานของความสูงตั้งแต่ 30 ถึง 250 เมตร มีประสิทธิภาพสูง



ภาพที่ 2.3 กังหันน้ำพรมน้ำ [8]

2.2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมใช้กันทั่วไปในโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นแบบซิงโครนัส โดยใช้การเหนายน้ำแรงเคี้ยวไฟฟ้ากระแสสลับและการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวด ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น ขดลวด Stator, Rotor และเครื่องกระตุุนสนามแม่เหล็ก [7]



ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [9]

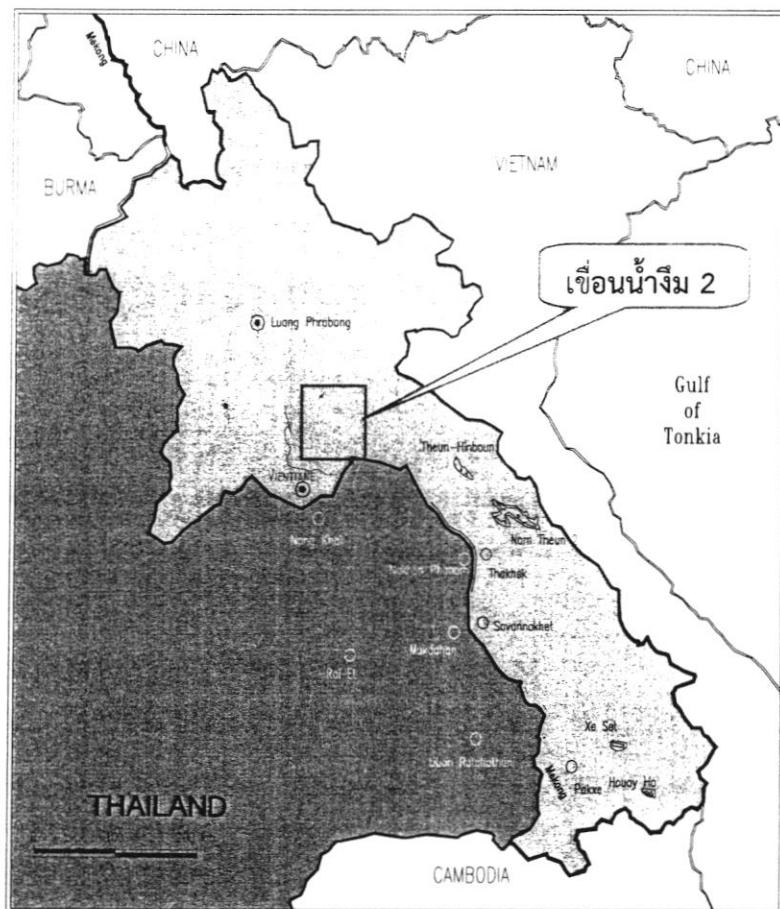
2.3 เขื่อนน้ำจืด 2

ในหัวข้อนี้นำเสนอเกี่ยวกับเขื่อนน้ำจืด 2 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลเทคนิคและเกณฑ์การผลิตพลังงานของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 ดังนี้

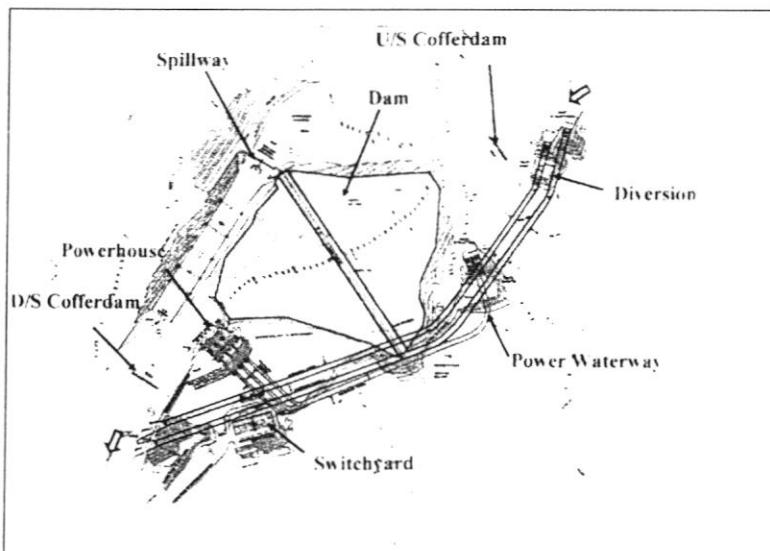
2.3.1 ข้อมูลพื้นฐาน

โครงการเขื่อนไฟฟ้าน้ำจืด 2 ตั้งอยู่ร่องน้ำจืด บ้านห้วยหม้อ อำเภอร่ม จังหวัดเวียงจันทน์ (ภาพที่ 2.5) ห่างจากเขื่อนไฟฟ้าน้ำจืด 1 ไปทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 35 km และห่างจากนครหลวงเวียงจันทร์ไปทางทิศเหนือในแนวตรงประมาณ 90 km ตัวเขื่อนตั้งอยู่ร่องน้ำจืด ห่างจากอ่างเก็บน้ำของเขื่อนไฟฟ้าน้ำจืด 1 ประมาณ 2 ถึง 3 km ที่ระดับน้ำเต็มอ่างเก็บน้ำที่ 375 m.msl สามารถเก็บกักน้ำได้ 4,886 MCM ความสูงของอ่างเก็บสูงสุดที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า 30 m สามารถเก็บกักน้ำได้ 2,617 MCM ระดับน้ำต่ำสุดอยู่ที่ 343 m.msl ระดับน้ำที่ปากท่อทางเข้า อยู่ที่ 320 m.msl และระดับน้ำท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า อยู่ที่ 206.2 m.msl [10]

อุโมงค์ระบายน้ำ อุโมงค์ส่งน้ำ โรงไฟฟ้าและระบบควบคุมกระแสไฟฟ้า (Indoor GIS) ตั้งอยู่ฝั่งซ้าย ส่วนทางระบายน้ำล้นตั้งอยู่ฝั่งขวาของร่องน้ำจืด โรงไฟฟ้าตั้งอยู่ด้านล่างของอ่างเก็บน้ำ ห่างจากตัวเขื่อน 2 ถึง 3 m (ภาพที่ 2.6) ระบบสายส่ง 500 kV ถึงจุดเชื่อมต่อของระบบสายส่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



ภาพที่ 2.5 ที่ตั้งของเขื่อนน้ำจม 2 [11]



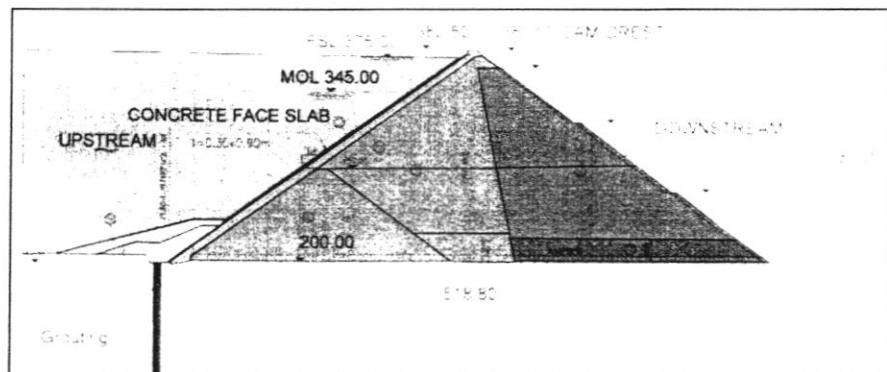
ภาพที่ 2.6 แผนผังทั่วไปของเขื่อนน้ำจม 2 [10]

2.3.2 ข้อมูลเทคนิค

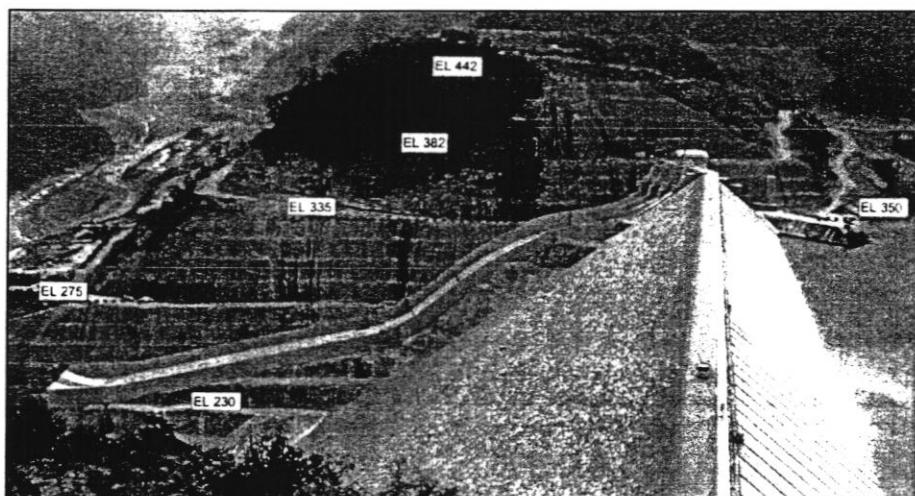
ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับ ตัวเขื่อน โรงไฟฟ้า กังหัน ประตูเข้าและระบบสายส่งของเขื่อนไฟฟ้าน้ำจืด 2 ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

2.3.2.1 ตัวเขื่อน

ตัวเขื่อนของโครงการเขื่อนไฟฟ้าน้ำจืด 2 มีโครงสร้างเป็นเขื่อนหินทึบ ฉบับหน้าด้วยคอนกรีตหรือที่เรียกว่า Concrete Face Rock fill Dam หรือ CFRD ความสูงของสันเขื่อน 182 m หรือเหนือระดับน้ำทะเล 381 m.msl ความกว้างของสันเขื่อน 9 m ความยาวของสันเขื่อน 485 m ความกว้างของฐานเขื่อนตามล่างน้ำจืด 518.8 m ดังแสดงในภาพที่ 2.7 และภาพที่ 2.8 ทางระบายน้ำลัน 3 ช่องทางกว้างช่องทางละ 15 m สูง 17 m อุโมงค์ระบายน้ำ จำนวน 2 อุโมงค์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.70 m ความยาวของอุโมงค์ที่ 1 ด้านใน 1,100 m อุโมงค์ที่ 2 ด้านนอก 1,200 m [10]



ภาพที่ 2.7 การออกแบบตัวเขื่อนน้ำจืด 2 [10]



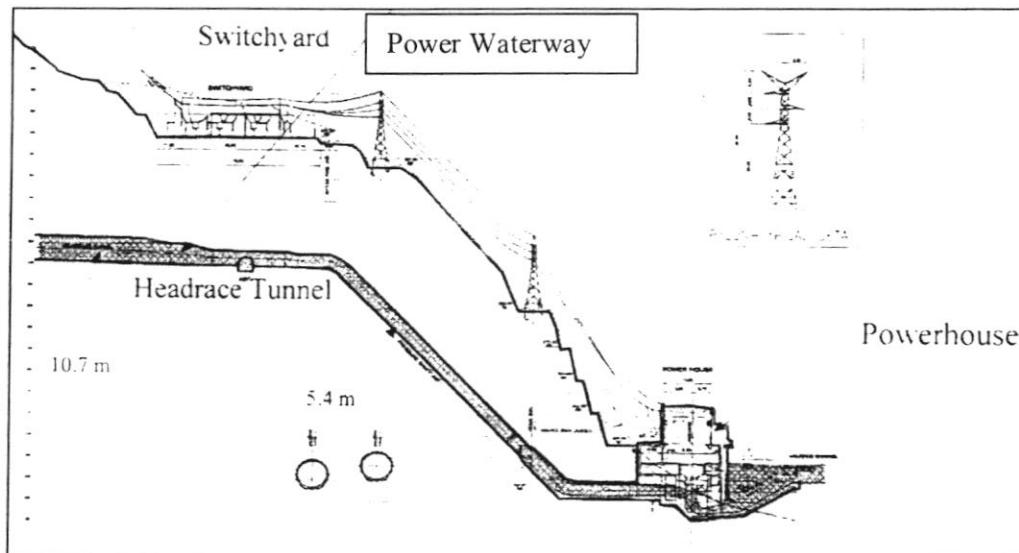
ภาพที่ 2.8 ตัวเขื่อนน้ำจืด 2 [10]

2.3.2.2 โรงไฟฟ้า

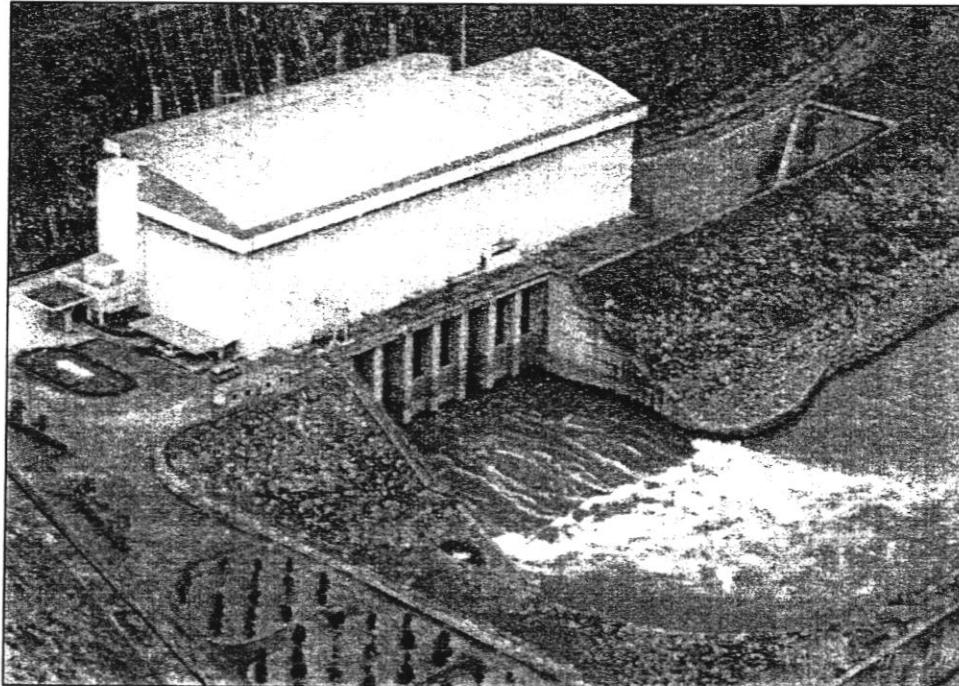
อาคารสำหรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ออกแบบให้ติดตั้งกังหันแบบฟรานซิส 3 ชุด ชุดละ 205 MW และติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 ชุด ชุดละ 2,218 MVA สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 615 MW พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 2,220 GWh ต่อปี อ่างเก็บน้ำรับน้ำได้เต็มที่ 4,886 MCM ที่ระดับน้ำเต็มเขื่อนสูงสุด 375 m.msl พื้นผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำที่สามารถเก็บน้ำได้ประมาณ 107 km^2 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ภาพที่ 2.9 และภาพที่ 2.10

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของโรงไฟฟ้าน้ำจึ่ง 2 [10]

รายการ	หน่วย
กำลังติดตั้ง	3x205 MW
ชนิดของกังหัน	Francis, แนวตรง
จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	3
ระดับท้ายน้ำ	206.20 m.msl
ระดับสูงสุดของท้ายน้ำ	216.50 m.msl
ความสูงของน้ำสุทธิสูงสุด	166.6 m
ความสูงของน้ำสุทธิต่ำสุด	130 m
อัตราการไหล	3x149.50 m^3/s
การผลิตพลังงานต่อปี	2,220 GWh ต่อปี



ภาพที่ 2.9 แผนผังของโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำจึ่ง 2 [10]



ภาพที่ 2.10 โรงไฟฟ้า [12]

2.3.2.3 กังหันของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2

โรงไฟฟ้าน้ำรัม 2 ประกอบด้วย เครื่องกังหันแบบฟランชิส แนวตรง 3 เครื่อง ที่เชื่อมต่อกับอุโมงค์แรงดัน โดยมี MIV (Main Inlet Vault) ด้านน้ำเข้า เป็นตัวเปิด-ปิด และทางน้ำออกของกังหันทั้ง 3 เครื่องจะไหลผ่าน Draft tube ที่สามารถปิดด้วยประตูเพื่อป้องกันน้ำด้านนอก ไม่ให้ไหลเข้าได้

เครื่องกังหันของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2 ออกแบบโดยบริษัท Toshiba, Tokyo, Japan มีกำลังผลิต 209.2 MW เมื่อทำการดำเนินงานจะมีความเร็ว 214.3 rpm ที่ความสูงสุทธิ 154.5 m

ความสูงสุทธิที่สูงที่สุดที่ 166.6 m สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ถึง 218.3 MW และที่ความสูงต่ำสุดที่ 130 m สามารถผลิตพลังงานได้ถึง 159.5 MW

ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 96.32 % เมื่อความสูงอยู่ที่ 161.48 m และมีอัตราการไหล ที่ $131.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

สำหรับการออกแบบเบื้องต้นทั้งหมดของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2 ความสมมั่นใจระหว่าง การสูญเสียกับการปล่อยน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และลักษณะเฉพาะการทำงานของกังหัน (Turbine Characteristics) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.4 และภาพที่ 2.11 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลเทคนิคของกังหันโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2 [10]

รายการ	หน่วย
ชนิดของกังหัน	Francis VF-IRS, แนวตระหง่าน
ความเร็ว	214.3 rpm
ความสูงสุทธิ	154.5 m
กำลังผลิตติดตั้ง	209.2 MW
ความสูงของน้ำสุทธิที่สูงที่สุด	166.6 m
กำลังไฟฟ้าที่ความสูงสุทธิที่สูงที่สุด	218.3 MW
ความสูงของน้ำสุทธิที่ต่ำที่สุด	130 m
กำลังไฟฟ้าที่ความสูงสุทธิที่ต่ำที่สุด	159.5 MW

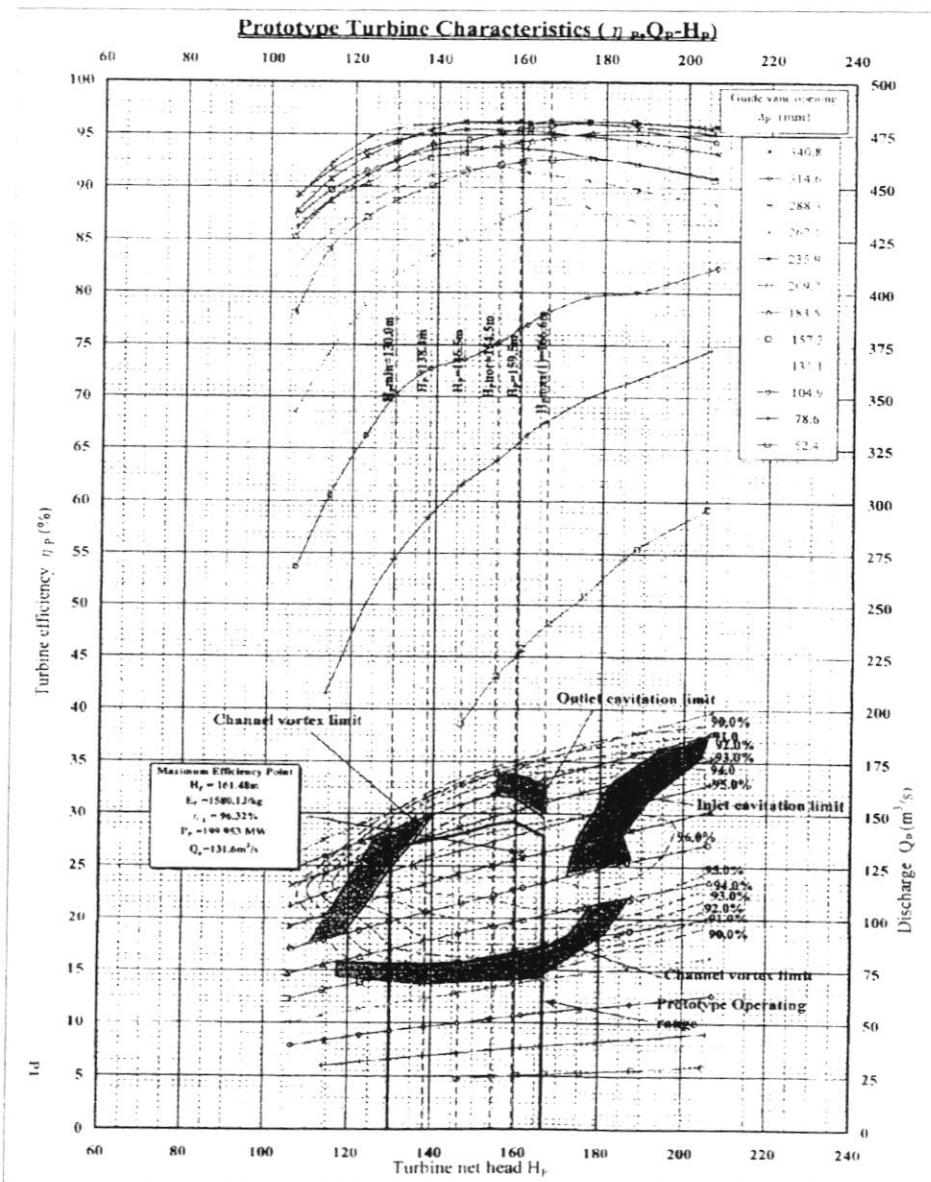
ตารางที่ 2.3 การออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2 [13]

ระดับน้ำ ด้านบน (m.msl)	ระดับท้าย น้ำ (m.msl)	ความ สูงสุทธิ (m)	อัตราการ ไหล (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ กังหัน (%)	กำลัง ผลิต กังหัน (MW)	ประสิทธิ ภาพ เครื่อง กำเนิด (%)	กำลัง ผลิต เครื่อง กำเนิด (MW)	การ สูญเสีย (m)
375	212.0	159.5	146.16	95.55	218.3	98.0	213.90	3.49
370	212.0	154.5	144.65	95.52	209.2	98.0	205.00	3.48
362	212.0	146.5	140.09	95.46	192.0	98.0	188.16	3.47
354	212.1	138.4	136.97	94.74	176.0	98.0	172.48	3.46
345	211.5	130.0	133.25	92.85	159.5	98.0	156.31	3.45

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียกับการปล่อยน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า [13]

ชนิด	การผลิต 1 เครื่อง			การผลิต 2 เครื่อง			การผลิต 3 เครื่อง				
	อัตราการไหล (m ³ /s)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
การสูญเสีย (m)	1	1.59	3.58	3.66	3.77	3.89	4.04	4.21	4.41	4.63	

โดยมีลักษณะเฉพาะการทำงานของกังหัน (Turbine Characteristics) ดังนี้



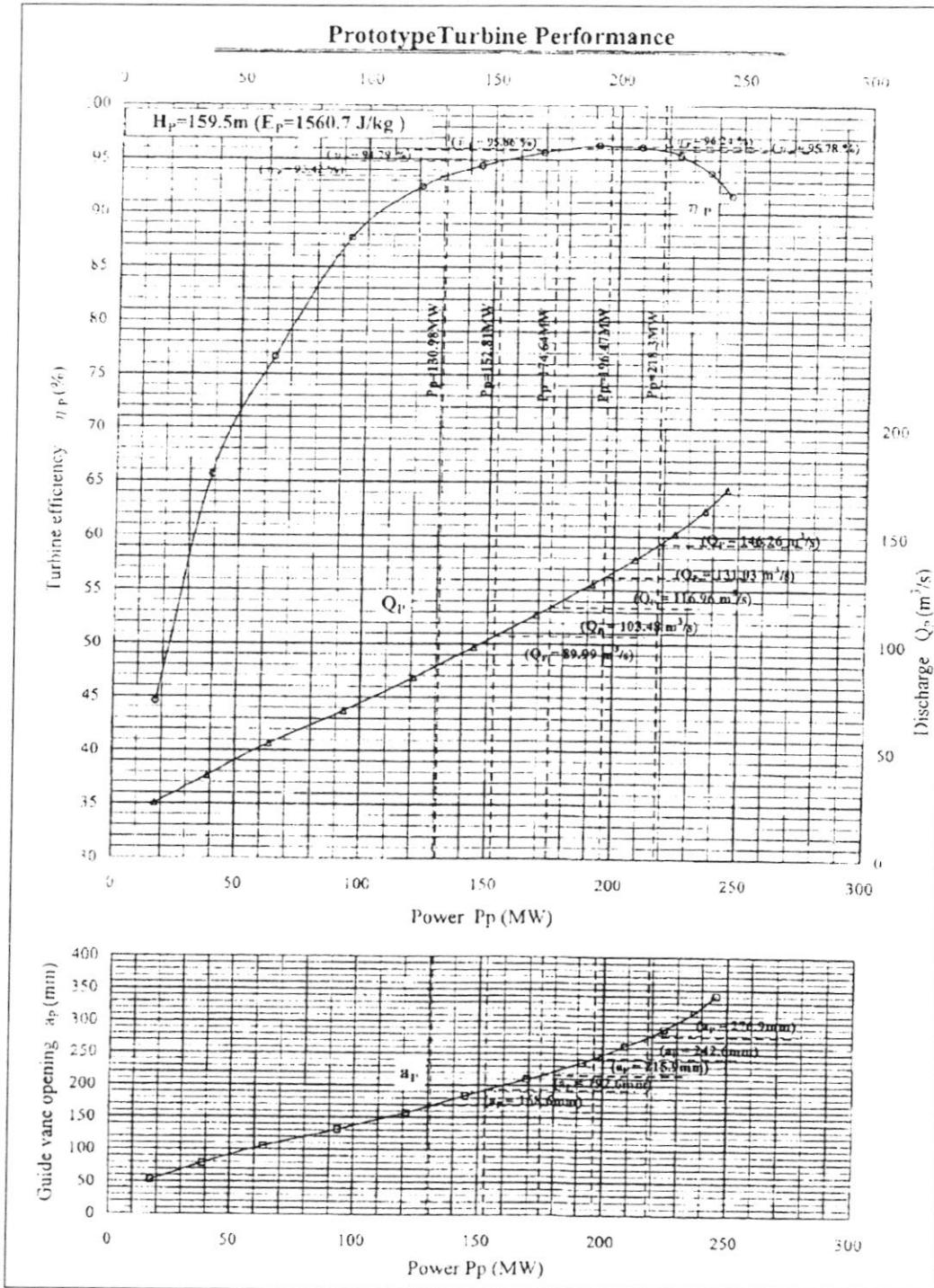
ภาพที่ 2.11 Prototype Turbine Performance Chart [17]

จากภาพที่ 2.11 แกน X คือความสูงหัวของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Turbine net head) แกน Y ด้านซ้าย คือ ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Turbine Efficiency) และแกน Y ด้านขวา คือ อัตราการไหลที่ปล่อยเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า (Discharge)

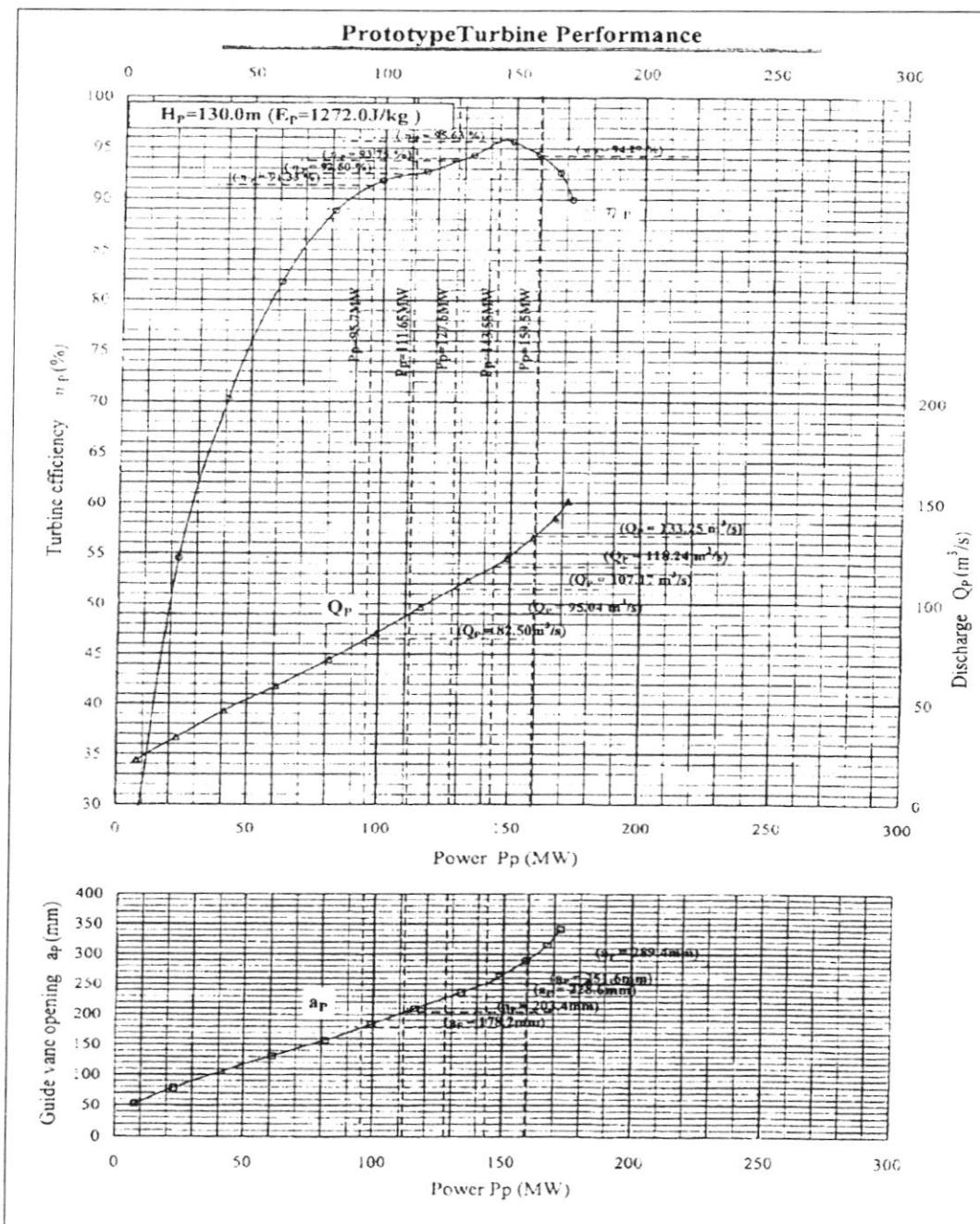
2.3.2.4 การปรับกังหันเพื่อรักษาเสถียรภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

จากลักษณะเฉพาะการทำงานของกังหัน (Turbine Characteristics) และการออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 แสดงให้เห็นว่าการปล่อยปริมาณน้ำเข้าในการผลิตกระแสไฟฟ้าก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพเปลี่ยน การปรับการทำงานของกังหันเป็น

อีกครึ่งหนึ่งที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ ดังแสดงลักษณะการปล่อยปริมาณน้ำเข้าในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2 ในภาพที่ 2.12 และในภาพที่ 2.13 ดังนี้



ภาพที่ 2.12 Prototype Turbine Performance At $H_{max}=159.5$ m [17]

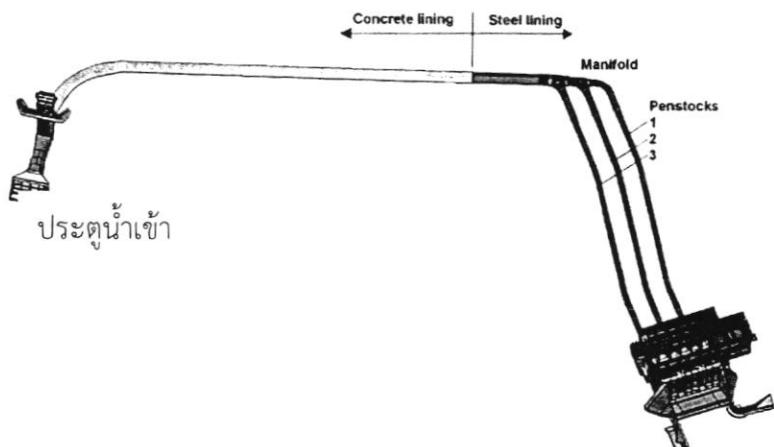


ภาพที่ 2.13 Prototype Turbine Performance At $H_{\min}=130 \text{ m}$ [17]

จากภาพที่ 2.12 และภาพที่ 2.13 คือการเปิดน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ณ $H_{\text{net}} = 159.5 \text{ m}$ และ $H_{\text{net}} = 130 \text{ m}$ (รูปด้านล่าง) แกน X คือ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า (Power) แกน Y คือ การเปิดน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (Guide vane opening) และ(รูปด้านบน) แกน X คือ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า (Power) แกน Y ด้านข้ายคือ ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า (Turbine efficiency) และแกน Y ด้านขวาคือ การปล่อยน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (Discharge)

2.3.2.5 ประตูน้ำเข้า

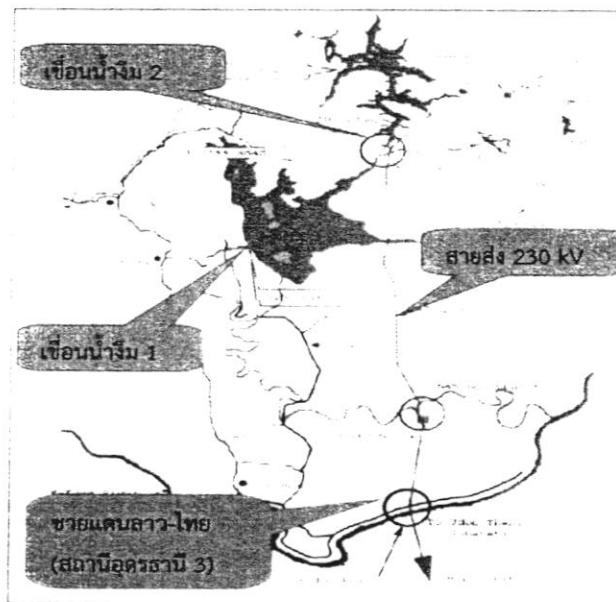
ประตูน้ำเข้าของเขื่อนไฟฟ้าน้ำจีม 2 ตั้งอยู่ด้านซ้ายของตัวเขื่อนที่ระดับ 320 m.msl อุโมงค์สำหรับส่งน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟออกแบบเป็นหนึ่งอุโมงค์ตันทางมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.70 m และแยกออกเป็น 3 อุโมงค์ปลายทาง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ละ 5.35 m ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 แผนผังของประตูน้ำเข้า [10]

2.3.2.6 ระบบสายส่ง

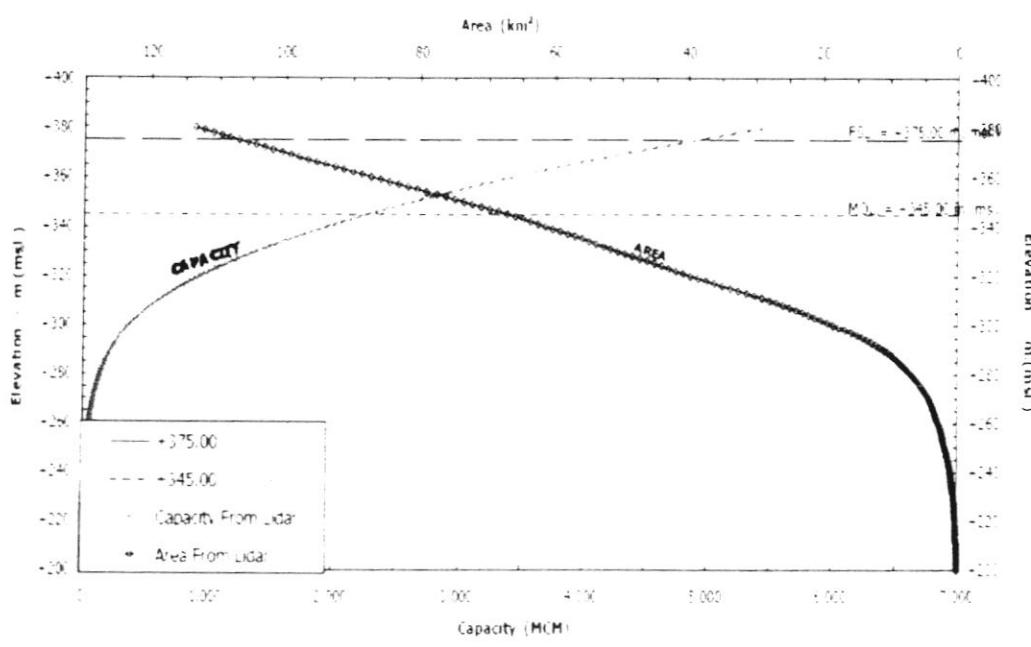
ระบบสายส่งมี 2 ช่วง คือ ระบบสายส่ง 230 kV วิ่งครู่จาก Switchyard ของเขื่อนน้ำจีม 2 ถึงสถานีนาบง 68 km ระบบสายส่ง 500 kV วิ่งครู่จากสถานีนาบง ถึงสถานีจุดเชื่อมต่อชายแดนลาว-ไทย 27 km และจากจุดเชื่อมต่อชายแดนลาว-ไทย ถึงสถานีอุตรารานี 3 อีก 80 km ซึ่งดำเนินการโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ระบบสายส่งของเขื่อนน้ำเข้ม 2 [10]

2.3.2.7 เส้นโค้ง Area Capacity Curve ของเขื่อนน้ำเข้ม 2

เส้นโค้ง Area Capacity Curve ของเขื่อนน้ำเข้ม 2 ที่จัดทำโดยบริษัท LIDAR เพื่อหาปริมาตรน้ำที่จะมาเติมในอ่างเก็บน้ำ เพื่อเพิ่มกำลังงานการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกำหนดความจุของน้ำอยู่ที่กำลังงานการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นหลัก ดังแสดงในภาพที่ 2.16 ดังนี้



ภาพที่ 2.16 เส้นโค้ง Area Capacity Curve ของเขื่อนน้ำเข้ม 2 [13]

จากภาพที่ 2.16 แกน X ด้านล่าง คือ ความจุของอ่างเก็บน้ำ แกน X ด้านบน คือ พื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ และแกน Y คือ ระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำ เส้นกราฟสีชมพู คือ เส้นความจุของอ่างเก็บน้ำเทียบกับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และเส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำเทียบกับระดับน้ำในอ่างเก็บ

2.3.3 เกณฑ์การผลิตพลังงานของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2

การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อส่งขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จะปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ระบุไว้ในสัญญาการซื้อ-ขายไฟฟ้า โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญที่เกี่ยวโยงกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถสรุปได้ดังนี้ [10]

2.3.3.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าหลัก ให้ทำการผลิตภายใน 16 ชั่วโมงต่อวัน 6 วันต่ออาทิตย์ จากวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์

2.3.3.2 การผลิตพลังงานไฟฟ้าสำรอง ให้ทำการผลิตเพิ่มขึ้น 2 ชั่วโมงต่อวัน 6 วันต่ออาทิตย์ จากวันจันทร์ถึงวันเสาร์และเพิ่มอีก 8 ชั่วโมงในวันอาทิตย์

2.3.3.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน ให้ทำการผลิตเพิ่มข้ามที่ยังเหลืออยู่ในแต่ละวัน

2.3.3.4 จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าหลัก ในแต่ละเดือนจะต้องไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน

2.3.3.5 จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยในแต่ละปีการผลิตพลังงานไฟฟ้าหลัก จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมงต่อวัน

2.3.3.6 ขอบเขตกำหนดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะต้องไม่น้อยกว่า 641.7 MW ที่ระดับน้ำ +375 m.msl และจะต้องไม่น้อยกว่า 451.1 MW ที่ระดับน้ำ +345 m.msl ซึ่งเขตกำหนดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละระดับของอ่างเก็บน้ำที่ยกมา ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 ขอบเขตสูงสุดของการดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 [14]

ระดับน้ำควบคุมออกแบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด			
ระดับน้ำ (m.msl)	พลังงาน (MW)	ระดับน้ำ (m.msl)	พลังงาน (MW)
345	468.3	361	561.6
347	479.7	363	573.6
349	491.4	365	585.6
351	502.8	367	597.3
353	513.9	369	609.3
355	525.6	371	620.4
357	537.3	373	631.2
359	549.6	375	641.7

เนื่องจากอัตราค่าราคาไฟฟ้าในช่วงการผลิตพลังงานไฟฟ้าหลักสูงมาก ด้วยเหตุนี้การใช้น้ำในการผลิตช่วงพลังงานไฟฟ้าหลักจึงมีความสำคัญมากกว่าในแต่ละช่วง

2.4 ทฤษฎีการคำนวณ

2.4.1 ประสิทธิภาพรวม

การหาประสิทธิภาพรวมจะหาได้จากการหารส่วนของพลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าและกำลังของน้ำที่ให้แก่กันหันน้ำโดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

ประสิทธิภาพรวมจะหาได้จากการหารส่วนระหว่างกำลังที่ผลิตได้จริงกับกำลังของน้ำที่ให้กับกันหันน้ำหรือกำลังการผลิตทางทฤษฎีดังสมการที่ 2.1 [15]

$$\eta_{total} = \frac{P_{act}}{P_{th}} \quad (2.1)$$

เมื่อ	η_{total}	คือ ประสิทธิภาพรวมของการผลิต, เปอร์เซ็นต์ (%)
	P_{act}	คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง, วัตต์ (W)
	P_{th}	คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านทฤษฎี, วัตต์ (W)

2.4.2 การคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าทางทฤษฎี

หลักการของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ [15] คือการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำจากสถานะพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ จากนั้นเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านกันหันและความต่างระดับน้ำด้านบน และด้านท้ายของอ่างเก็บน้ำสุทธิ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$P_{th} = \gamma Q_2 H_{gross} \quad (2.2)$$

เมื่อ	P_{th}	คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านทฤษฎี, วัตต์ (W)
	P_{act}	คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง, วัตต์ (W)
	Q_2	คือ อัตราการไหลรายวัน, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)
	H_{gross}	คือ ความสูงแตกต่างระหว่างระดับน้ำด้านบนและระดับน้ำท้ายของโรงไฟฟ้า, เมตร. (m)
	γ	คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีค่าเท่ากับ $9,810 N/m^3$

2.4.3 การคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าจริง

การคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 [15]

$$P_{act} = \frac{E_{act}}{T} \quad (2.3)$$

เมื่อ E_{act} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง, กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

P_{act} คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง, วัตต์ (W)

T คือ ระยะเวลาการผลิตพลังงานไฟฟ้า, ชั่วโมง (hr)

ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (E_{act}) ได้จากการวัดโดย Energy meter ในแต่ละวัน

2.4.4 การคำนวณความสูงสุทธิ

ความสูงสุทธิ คือความสูงของน้ำก่อนเข้าหัวน้ำ ซึ่งเป็นความสูงที่มีผลต่อการผลิตพลังงาน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามการเปิดหัวน้ำเพื่อป้องกันน้ำเข้าในการผลิตพลังงาน ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้ [15]

$$H_n = H_{gross} - H_{loss} \quad (2.5)$$

$$\text{และ } H_{gross} = H_1 - H_2 \quad (2.6)$$

เมื่อ H_n คือ ความสูงสุทธิ, เมตร. (m)

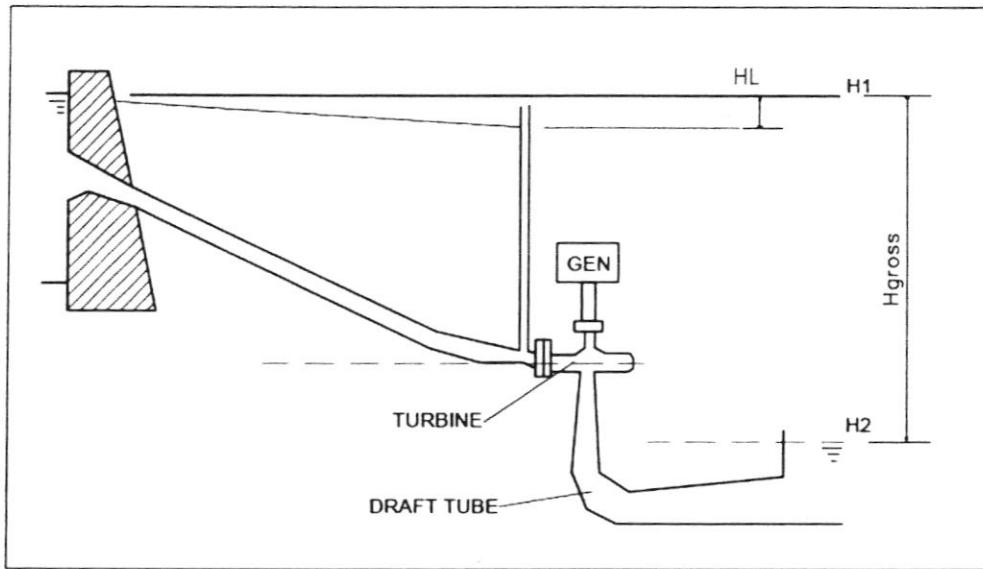
H_{gross} คือ ความสูงแตกต่างระหว่างระดับน้ำด้านบนและระดับน้ำท้ายของโรงไฟฟ้า, เมตร. (m)

H_{loss} คือ การสูญเสีย, เมตร. (m)

H_1 คือ ระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ, เมตร ร.ท.ก (m.msl)

H_2 คือ ระดับน้ำที่ท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า, เมตร. ร.ท.ก (m.msl)

ดังแสดงในภาพที่ 2.17 ดังนี้



ภาพที่ 2.17 เส้นเชื่อกังหันแบบฟรานซิส [15]

2.4.5 การคำนวณอัตราการไฟล

การคำนวณอัตราการไฟลรายวันสามารถคำนวณได้จากจำนวนชั่วโมงที่มีความต้องการไฟฟ้าติดต่อกันในรอบวัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการสมการที่ 2.7 [11]

$$Q_2 = \frac{Q_1}{T} \times 24 \quad (2.7)$$

โดยที่ Q_1 คำนวณมาจากสมการ

$$Q_1 = \frac{\sum V_{act}}{T_1} \quad (2.8)$$

$$\text{จะได้ } Q_1 = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{24}$$

กำหนดให้ค่า $T_1 = 24$ ชั่วโมง

เมื่อ Q_1 คือ อัตราการไฟลเฉลี่ยในรอบวัน, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)

Q_2 คือ อัตราการไฟลรายวัน, ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)

$\sum V$ คือ ผลรวมของปริมาตรน้ำที่ปล่อยจริงในรอบวัน, ลูกบาศก์เมตร (m^3)

T คือ ระยะเวลาที่ทำการผลิตจริงในรอบวัน, ชั่วโมง (hr)

T_1 คือ ระยะเวลาในหนึ่งวัน คิดเป็น 24 ชั่วโมง, ชั่วโมง (hr)

ซึ่งอัตราการไฟลเฉลี่ยในรอบวัน (Q_1) ได้จากการเก็บรวบรวมในแต่ละวัน

2.4.6 การคำนวณปริมาตรรั้น้ำ

เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบวันหนึ่งๆ จะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในจำนวนที่แตกต่างกัน ซึ่งในรอบวันหนึ่งอาจมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเพียงแค่ 4 หรือ 5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการหาอ่างเก็บน้ำที่เพียงพอกับความต้องการในการดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด สำหรับการหาปริมาตรรั้น้ำที่ใช้เข้าในการผลิต active storage capacity ใช้เฉพาะโรงไฟฟ้าที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าวสามารถคำนวณได้ดังนี้ [11]

$$V_{act} = Q_2 \times T \times 3600 \quad (2.9)$$

เมื่อ V_{act} คือ ปริมาตรรั้น้ำที่ใช้ผลิตพลังงานจริง, ลูกบาศก์เมตร (m^3)

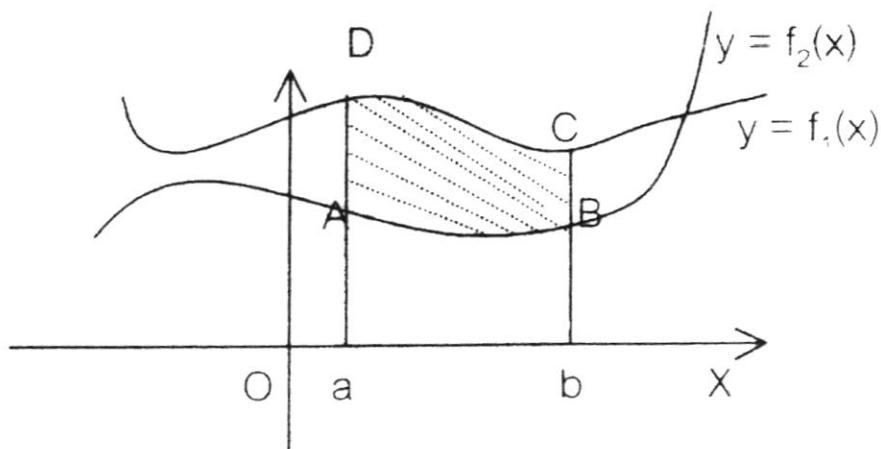
Q_2 คือ อัตราการไหลรายวัน, ลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ (m^3/s)

T คือ ระยะเวลาที่ทำการผลิตในรอบวัน, ชั่วโมง (hr)

2.4.7 การคำนวณกำลังไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังผลิตลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

การคำนวณกำลังไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังผลิตลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักเกณฑ์การหาพื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง กำหนดให้แกน x คือ เวลา (t) ที่ใช้ในการผลิตพลังงาน กำหนดให้แกน y คือ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจริง (P_{act}) และกำหนดให้พื้นที่ (A_a^b) คือ ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่ม (E_{loss}) ของโรงไฟฟ้าดังนี้

หลักเกณฑ์การหาพื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง กำหนดให้ $y=f_1(x)$ และ $y=f_2(x)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง บนช่วง $[a,b]$ และกราฟของ f_1 กับ f_2 ไม่ตัดกันในช่วง $[a,b]$ และถ้า $f_1(x) > f_2(x)$ สำหรับ x ใดๆ ที่ $x \in (a,b)$ จะได้กราฟของ f_1 จะอยู่เหนือกราฟของ f_2 สมมุติให้กราฟของ f_1 และ f_2 มีลักษณะดังภาพที่ 2.18 [16]



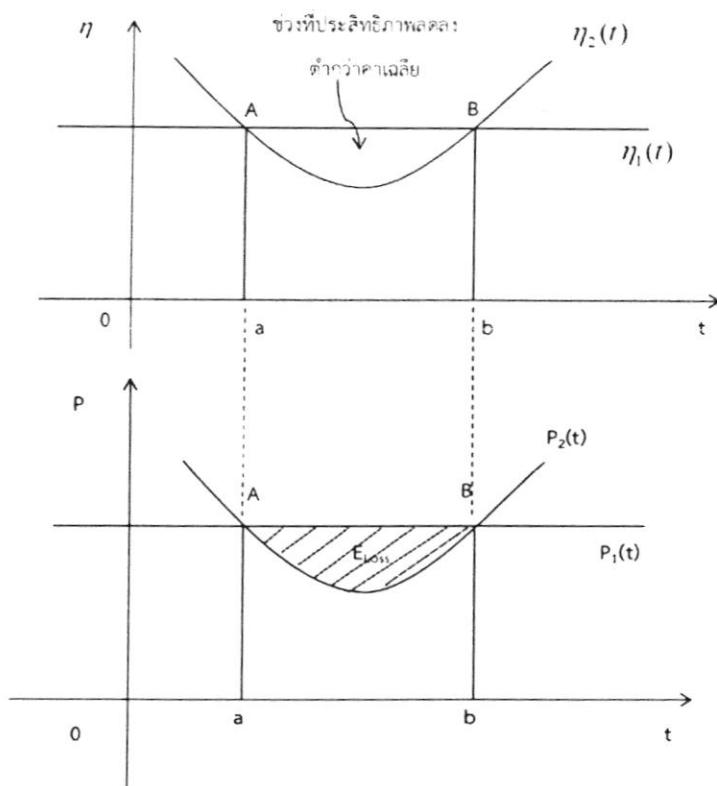
ภาพที่ 2.18 การหาพื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง [16]

กำหนดให้ A_a^b เป็นพื้นที่บริเวณที่ล้อมรอบด้วยกราฟ $y=f_1(x)$, $y=f_2(x)$, $x=a$ และ $x=b$ จะได้

$$A_a^b = \int_a^b f_1(x)dx - \int_a^b f_2(x)dx \quad (2.10)$$

$$A_a^b = \int_a^b [f_1(x) - f_2(x)]dx \quad (2.11)$$

จากภาพที่ 2.18 $y=f_1(x)$ คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมด $y=f_2(x)$ คือ เส้นช่วงกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย และพื้นที่ ABCD เป็นพื้นที่ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่ม (E_{loss}) และในทำนองเดียวกันพื้นที่บริเวณที่มีความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่ม E_{loss} ที่ล้อมรอบด้วยกราฟ $P_1(t)$ และ $P_2(t)$ $t=a$ และ $t=b$ จะหาได้จากการอินทิเกรตระหว่างสมการเชิงเส้นของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย P_1 ลบกับสมการเชิงเส้นของกำลังการผลิตไฟฟ้าจริง P_2 ตามระยะเวลาที่ทำการผลิตจริง t ดังแสดงในภาพที่ 2.19 และสมการที่ 2.12 ดังนี้



ภาพที่ 2.19 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม [16]

$$E_{loss} = \int_a^b [P_1(t) - P_2(t)] dt \quad (2.12)$$

เมื่อ η_1 คือ ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการผลิตพลังงาน, ร้อยละ (%)

η_2 คือ ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจริง, ร้อยละ (%)

E_{loss} คือ ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วง (a,b), กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

P_1 คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย, กิโลวัตต์ (kW)

P_2 คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงในช่วง (a,b), กิโลวัตต์ (kW)

t คือ เวลาที่ใช้เข้าในการผลิตพลังงาน, ชั่วโมง (hr)

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

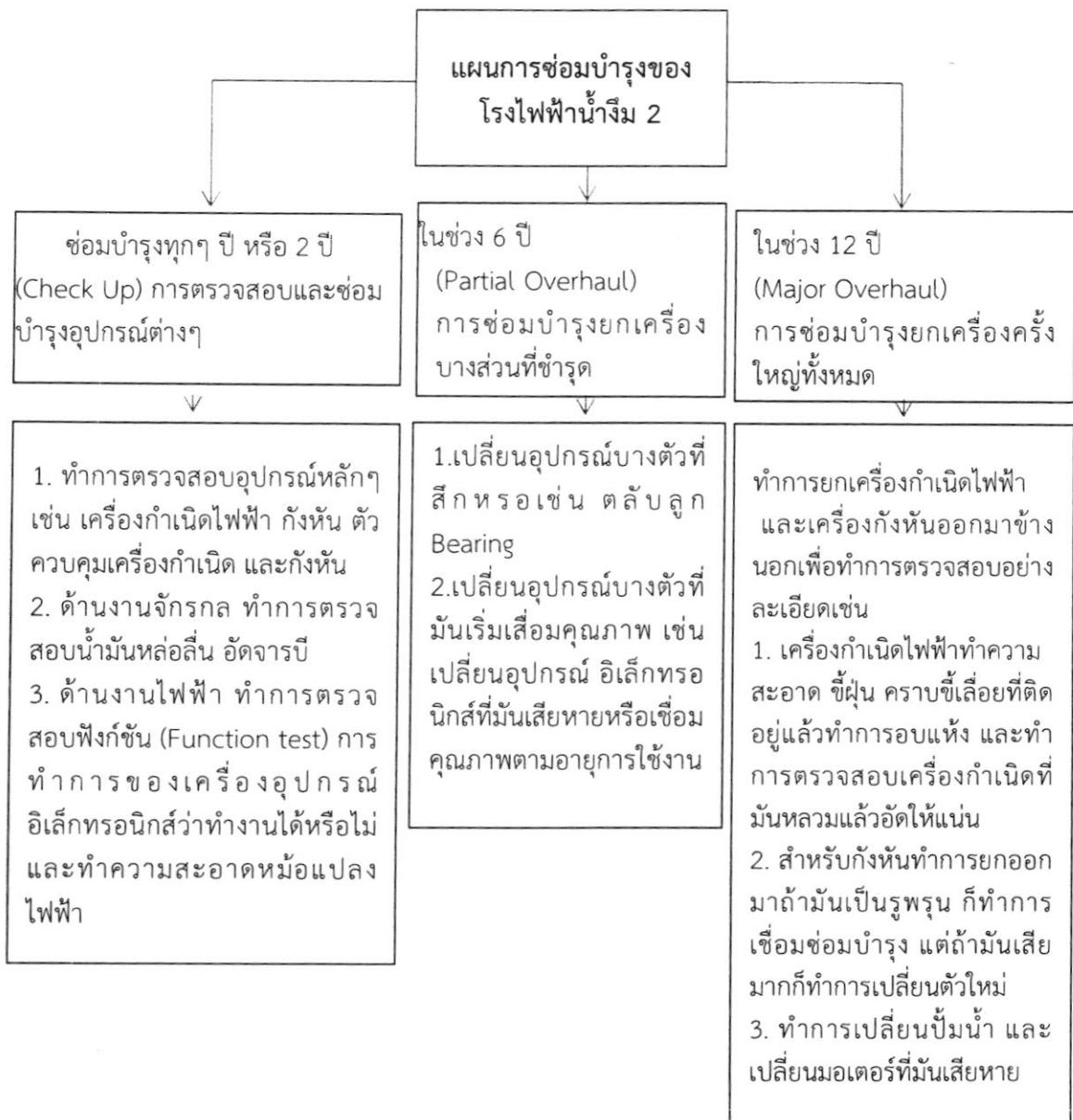
2.5.1 การศึกษาประสิทธิภาพและความมั่นคงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำ

Toshiba Corporation, 2010 แผนการดำเนินการซ่อมบำรุงเพื่อการรักษาประสิทธิภาพ และความมั่นคงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำเง่า 2 ที่ได้ทำการปฏิบัติในปัจจุบัน โดยมีขั้น การซ่อมบำรุงในแต่ละช่วงระยะเวลา เช่น [17]

(1) ทำการซ่อมบำรุงทุกๆ ปี หรือ 2 ปี ซึ่งเป็นการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงไฟฟ้า หรือเรียกว่า Check Up

(2) ในช่วง 6 ปี จะมีการซ่อมบำรุงยกเครื่องบางส่วนที่ชำรุด หรือเรียกว่า Partial Overhaul

(3) และในช่วง 12 ปีจะมีการซ่อมบำรุงยกเครื่องครั้งใหญ่ทั้งหมด หรือเรียกว่า Major Overhaul โดยรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2.20 ดังนี้



ภาพที่ 2.20 แผนการดำเนินการซ่อมบำรุงในแต่ละช่วงระยะเวลาของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 [18]

วรุฒิ เมฆมาสิน (2553) [18] ได้ศึกษาประสิทธิภาพและความมั่นคงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากระดับน้ำ ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงของโรงไฟฟ้า ประกอบกับใช้โปรแกรม HEC-3 สำหรับการคำนวนพลังงานที่ผลิตได้ pragkwawaplongjungfaenleiyiphefai ที่ผลิตได้จากโปรแกรมคำนวนมีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้จริงอยู่ 0.35 GWh คิดเป็น 0.02 % ดังนั้นการคำนวนประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีความใกล้เคียงกับค่าจริง ณ ปัจจุบัน เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าในการพัฒนาประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ของผู้ผลิตเครื่องกังหันน้ำ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงกังหันน้ำหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันน้ำให้สูงขึ้นประมาณ 93 % ในกรณีโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันน้ำได้อีกประมาณ 4.5 % นั้นแสดงถึงความสามารถผลิต

พลังงานไฟฟ้าเพิ่มได้เฉลี่ยปี 63.15 GWh คิดเป็นจำนวนเงิน 189.45 ล้านบาทต่อปี (คิดราคาขายไฟฟ้าน่วยละ 3 บาท) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาและปรับปรุงการใช้งานของเครื่องกังหันน้ำหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และพิจารณาปรับปรุง stay vane เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันน้ำ

วันคำ แสงเมือง (2551) [19] ได้ศึกษาประสิทธิภาพและการสูญเสียของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าโรงไฟฟ้าน้ำดงและโรงไฟฟ้าน้ำกอก ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การสูญเสียกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า การวิเคราะห์ท่อส่งน้ำและคลองท้ายน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้าน้ำดงโดยทำการทดสอบและวัดกำลังของไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิด วัดอัตราการไหลผ่านกังหัน วัดเขตของน้ำ เก็บข้อมูลทางด้านเทคนิคและการเดินเครื่อง จากการวิเคราะห์ พบว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำมีค่าสูงสุดเมื่อเปิดหัวฉีดอยู่ในช่วง 60 ถึง 70 % ทั้ง 3 เครื่อง และเมื่อเครื่องกังหันจ่ายโหลดเต็มพิกัด (หัวฉีดเปิด 100 %) พบว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำมีค่า 75 % จากการวิเคราะห์แสดงสูญเสียและกำลังสูญเสียจะเห็นได้ว่า การสูญเสียภายนอกและการสูญเสียที่หัวฉีดจะมีค่ามากกว่าการสูญเสียอื่นๆ

อริยา ฤทธิมา และคณะ (2554) [20] ได้ประยุกต์แบบจำลองที่ดีที่สุดและอาศัยแนวคิดสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ ที่เหมาะสมรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน สำหรับนำมาใช้ประกอบการวางแผนปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด ในขณะเดียวกันสามารถตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานและอุบกปริโภคให้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ โดยศึกษาโครงการเขื่อนอุบลรัตน์ ที่จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย

บรรหาร พลอยสุข (2553) [21] ได้ศึกษาการบริหารจัดการน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยทฤษฎี Max Min Ant System (MMAS) ซึ่งทำการควบคุมการผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณเท่าเดิมโดยใช้ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาน้อยกว่าเดิม เท่ากับเป็นการประหยัดน้ำเพื่อทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว ผลที่ได้จากการวิจัย ได้ทำการจำลองโปรแกรมการทำงานของ MMAS ผ่านคอมพิวเตอร์ในการตัดสินใจควบคุมการปล่อยน้ำผ่านเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับระบบเดิม ซึ่งให้ความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ใช้น้อยลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

สกุณ พงศ์สุรนະ (2544) [22] ได้ศึกษาการปรับ Rule Curve ของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ สำหรับความต้องการน้ำที่เปลี่ยนไปในลุ่มน้ำแม่เจ้าพระยา ให้เกิดความขาดแคลนน้ำน้อยที่สุด โดยใช้วิธี Dynamic Programming มาประยุกต์ในการจัดการอ่างเก็บของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ในการศึกษาได้พิจารณาการดำเนินงานเป็นรายเดือน และพิจารณาความต้องใช้น้ำเป็น 4 ประเภท คือ การชลประทาน การผลิตไฟฟ้า การรักษาสภาพท้ายน้ำ และอุบกปริโภค-อุตสาหกรรม โดยไม่คำนึงถึงการป้องกันภัยน้ำท่วม จากการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่าง Rule Curve ที่ใช้งานในปัจจุบันของ กฟผ. และ Rule Curve ที่ปรับขึ้นใหม่ พบว่าการดำเนินงานโดยใช้ Rule Curve ที่ปรับขึ้นใหม่ ให้ผลการดำเนินงานที่สามารถลดปริมาณความขาดแคลนน้ำในลุ่มน้ำเจ้าแม่พระยา อีกทั้งยังตอบสนองความต้องการตามวัตถุประสงค์อื่นๆ ในสภาวะน้ำน้อยได้ดีและเหมาะสม ดังแสดงในตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Rule curve ที่ปรับขึ้นใหม่สำหรับการดำเนินงานในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ผลการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ Rule Curve ที่ปรับขึ้นใหม่สำหรับการดำเนินงานในแต่ละช่วงเวลา [22]

ผลการดำเนินงาน	ตัวอย่าง										ตัวอย่าง	
	1 ก.	1 ช.	1 อ.	2 ก.	2 ช.	4 ก.	4 ช.	8 ก.	8 ช.	1 ว.		
ก. ปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา	29.31	23.38	20.41	22.20	22.24	23.30	23.32	23.31	23.30	23.17	23.00	25.17
ก. ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา	23.30	23.26	23.26	23.30	23.30	23.30	23.30	23.30	23.30	23.29	23.42	23.42
1. ปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2. ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3. ปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
4. ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
5. ปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6. ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7. ปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8. ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
9. ปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10. ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

□ แบบการดำเนินงาน Rule Curve คือการปรับขึ้นใหม่โดยไม่คำนึงถึงช่วงเวลา Rule Curve ทั่วไป
■ แบบการดำเนินงาน Rule Curve ที่ปรับขึ้นใหม่โดยคำนึงถึงช่วงเวลา Rule Curve ที่ปรับ

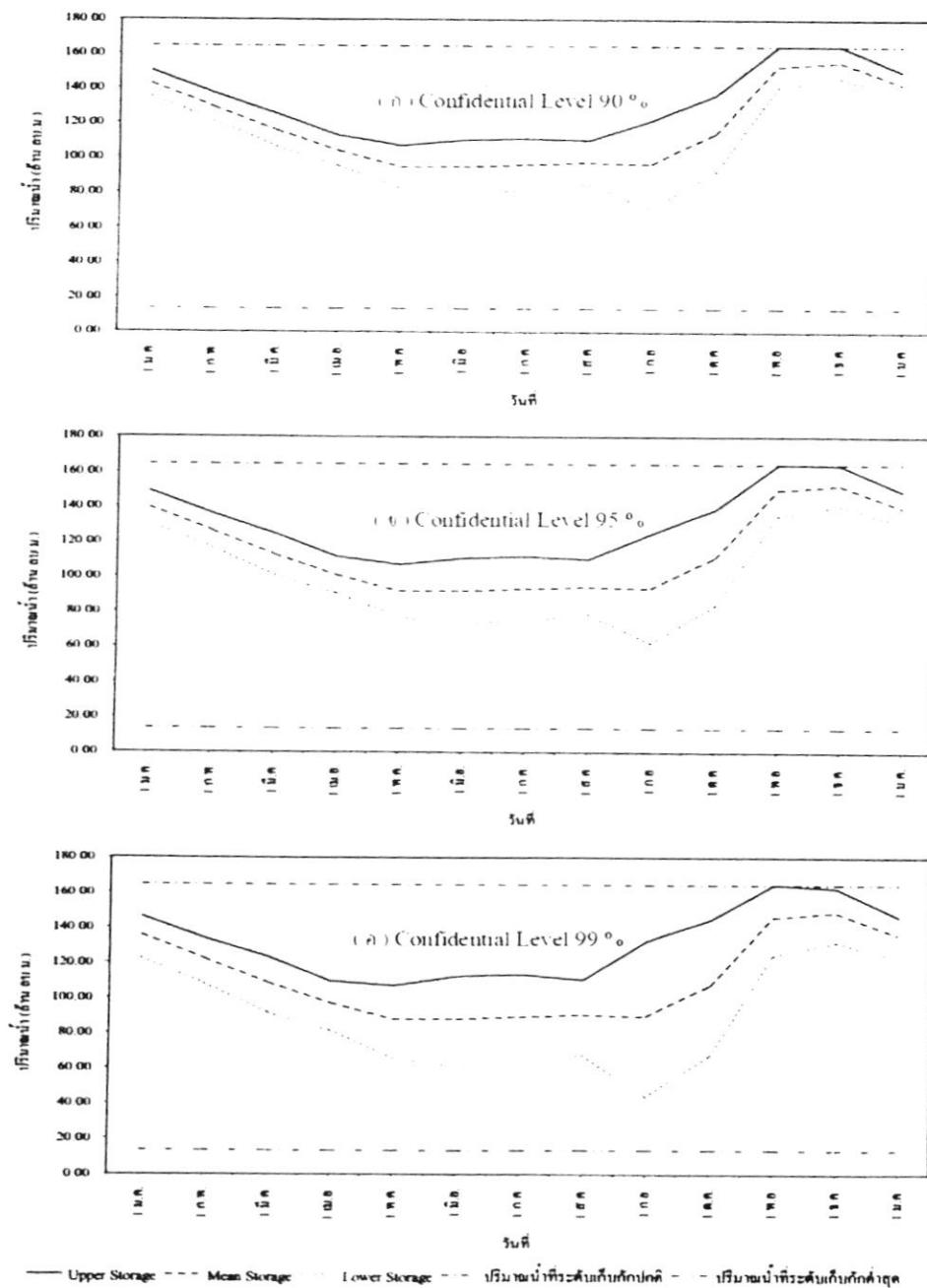
ราชวินิชี มาทอง และคณะ (2541) [23] ได้ศึกษาต้นแบบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำบนพื้นฐานของทฤษฎีกลศาสตร์ของไฮล์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ (1) การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของแม่น้ำ (2) ศึกษาข้อมูลทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไฮล์ และเครื่องจักรกลหมุนแบบใบจักร เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของใบจักร ท่อลดขนาด (3) ศึกษาและออกแบบใบจักร ท่อลดขนาด โดยอ้างอิงทฤษฎีของกลศาสตร์ของไฮล์และเครื่องจักรกลหมุนแบบใบจักร โดยออกแบบให้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำกับค่ากระแสไฟฟ้า (4) ศึกษาและทดลองการเดินเครื่องต้นแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (5) เสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพของต้นแบบ

S.Soares et. al. (2003) [24] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของน้ำท้ายโรงไฟฟ้าและการเพิ่มขึ้นของน้ำท้ายโรงไฟฟ้าและการสูญเสียที่อยู่ในท่อส่งน้ำความดันมาเป็นตัวแปรต้น ให้ประสิทธิภาพของการผลิตเปลี่ยนไปทุกชั่วโมงในแต่ละวัน ซึ่งได้ทำการศึกษาจากโรงไฟฟ้า 9 แห่ง ในประเทศไทย พบว่าประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น 2.5%

กระทรวงพลังงานแห่งประเทศไทยและบริษัท Electric Power Development จำกัด ประเทศไทยปูน (1966) [25] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของกังหันน้ำในโครงการน้ำพุ ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพตามเขต 3 กรณี (เขตต่ำ เอคปกติและเขตสูง) เห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุด อยู่ที่ตำแหน่งการเปิดครึ่งบังคับทิศทาง 80% ทั้ง 3 กรณี และการวิเคราะห์ เอคท์ให้ผลและการสูญเสีย เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ตามอัตราการไหลเพิ่มขึ้น

สรวิชญ์ กุลศิลารัตน์ (2547) [26] ได้ศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเป็นเครื่องมือศึกษาความเหมาะสมสมบูรณ์ต้นของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เขียนขึ้นด้วย Visual Basic มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาการคำนวณที่ยุ่งยาก และใช้เวลานาน แม้ว่าจะทำการคำนวณใหม่ทั้งหมดก็ทำได้อย่างรวดเร็ว ข้อมูลที่นำมาเข้าคือ ข้อมูลทางอุทกศาสตร์ ลักษณะของเครื่องกังหันน้ำ และข้อกำหนดของการลงทุน

เฉลิมพล ทองน้อย (2547) [27] ได้ศึกษาการสังเคราะห์กราฟการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำโดยวิธีทางสถิติ เพื่อสร้างกราฟการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำลำปาว โดยใช้ข้อมูลรายวัน ที่มีการบันทึกอยู่แล้วได้แก่ ข้อมูลระดับน้ำ การระเหย ปริมาณน้ำที่ไหลล้นทางระบายน้ำและข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อวัดถุประสงค์ต่างๆ เป็นข้อมูลในการคำนวณ หาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ พบว่าวิธีการศึกษานี้จะทำให้ได้กราฟปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สามารถสร้างได้ง่ายและสะดวก ใช้โปรแกรมสเปรชีตช่วยในการจัดทำ โดยการทดลองสร้างกราฟปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการศึกษา รายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Confidential Level) เปรียบเทียบกับเกณฑ์เก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำลำปาว และปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำลำปาว รายวัน พบว่าในกรณีที่ควบคุมปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์เก็บกักน้ำต่ำสุดมีแนวโน้ม ที่จะสามารถลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างลงได้ แต่ในกรณีที่ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้อยหรือไม่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ โอกาสที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำมีค่อนข้างสูง แต่ถ้าในการควบคุมปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยใช้กราฟการเก็บกักน้ำต่ำสุด (Lower Storage) ของกราฟปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการศึกษาแล้ว มีแนวโน้มว่าสามารถลดปริมาณน้ำที่ไหลล้นอ่างได้ เช่นกัน และในกรณีที่ไม่มีน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโอกาสที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำมีน้อยกว่าการใช้เกณฑ์เก็บกักน้ำต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำลำปาว ดังนั้นอาจสรุปได้ว่ากราฟปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากการศึกษาสามารถลดค่าความเสี่ยงของการปฏิบัติงานลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ปริมาณรน้ำเก็บกกรายเดือนอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ [27]

Jacek S.K and Joseph M.T (2000) [28] ทำการศึกษาเรื่อง Runner แบบใหม่ ที่ใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics) เข้ามาช่วยในการคำนวณและออกแบบสามารถทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้ 10 ถึง 30 % และได้ทำการศึกษาผลที่ได้จากการเปลี่ยน Runner ของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ชื่อว่า Salmon Falls Power Station เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Francis Turbine ในแนวตั้ง การออกแบบ Runner แบบใหม่ โดยอาศัยหลักการคำนวณทาง

คณิตศาสตร์และใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics) ช่วยในการคำนวณออกแบบ Runner แบบใหม่ ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาคือ Runner แบบใหม่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบเก่าประมาณ 25 % อีกทั้งจากการศึกษาพบว่าการสูญเสียของพลังงานส่วนใหญ่แล้วจะเกิดขึ้นที่ Runner มากที่สุด

Young G.K. (1967) [29] ได้การพัฒนาแนวคิดสำหรับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้น (Linear) เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนและปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเห็นว่าการตัดสินใจเชิงเส้นมีความเหมาะสมในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ มากกว่าเกณฑ์การปฏิบัติงานที่มีความซับซ้อน หลังจากนั้นได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ประยุกต์ใช้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงเส้น ในการบริหารจัดการอ่างเก็บอย่างต่อเนื่อง จำกัดถึงปัจจุบัน

กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว อาทิ เช่น อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำ ความสูงของน้ำสุทธิ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับวิธีการหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำหรือการหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

(1) วิธีการหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำตามมาตรฐานของ IEC 60041: Field Acceptance Test to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-turbines ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือต่างๆ ในการวัดค่า พารามิเตอร์ที่สำคัญ อาทิ (1) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยใช้ Power Meter หรือ Wattmeter (2) ความสูงของน้ำสุทธิ ก่อนที่จะไหลเข้ากังหันน้ำ (3) ความสูงของน้ำที่ห้ายน้ำ (4) อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำ (5) ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (6) เบอร์เซ็นต์การเปิด Guide Vane หรือ Needle (7) Power Factor ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (8) ความถี่ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำได้แก่ข้อที่ (1) ถึง (4) โดยเงื่อนไขการทำงานต้องเป็นไปตามข้อที่ (5) ถึง (8) เครื่องมือวัดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการตรวจดัดต้องมีความแม่นยำสูง และต้องผ่านการสอบเทียบเครื่องมือวัดก่อนที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ยิ่งไปกว่านั้นราคากลุ่มอุปกรณ์มีราคาสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ [30]

(2) วิธีการหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำตามมาตรฐานของ IEC 60193: Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-turbines Model Acceptance tests เป็นวิธีที่สามารถหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำโดยการสร้างแบบจำลองของกังหันน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าของจริง ซึ่งสามารถนำขนาดสอบหาประสิทธิภาพในห้องทดลองได้ทำให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิ การไหลของน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำ ความสูงของน้ำสุทธิรวมถึงความสูงของน้ำที่ห้ายน้ำอยู่ในสภาพที่ถูกควบคุมทำให้มีความแม่นยำในการตรวจดัดสูง แล้วจึงวัดกำลังงานที่ได้จากแบบจำลองกังหันน้ำก็จะสามารถหาประสิทธิภาพกังหันน้ำได้ โดยทั่วไปวิธีการหาประสิทธิภาพแบบนี้จะใช้ในขั้นตอนการออกแบบของผู้ผลิตกังหันน้ำ เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำให้ได้ตามที่ต้องการ [31]

(3) วิธีหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำของ United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR) ที่ระบุไว้ในหนังสือ Selecting Hydraulic Reaction Turbine สำหรับหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบแรงสะท้อน โดยมีเงื่อนไขว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุด จะต้องไม่มากกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ [32]

2.5.2 การจัดการการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ

ราธุร วุฒิวนิชย์ (2538) [33] กล่าวว่า การวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำหมายถึง การศึกษาความต้องการการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ และการศึกษาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเวลา ต่างๆ แล้วนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบกับข้อมูลอื่นๆ ของอ่างเก็บน้ำในการกำหนดปริมาณน้ำที่จะส่งจากอ่างเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เพื่อให้การใช้น้ำเกิดประโยชน์สูงสุดหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนน้ำและการเหล้นอ่างให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำมีวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) เพื่อกำหนดขนาดพื้นที่เพาบลูกสูงสุดที่จะทำการเพาบลูกได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำในระหว่างฤดูกาลเพาบลูก

(2) เพื่อหาปริมาณน้ำที่ควรส่งจากอ่างในแต่ละเดือน

(3) เพื่อหาปริมาณน้ำที่ควรเก็บกักไว้ในอ่างในแต่ละเดือน

(4) เพื่อหาปริมาณน้ำที่จะเหล้นอ่าง และช่วงเวลาที่จะมีน้ำเหล้นอ่าง

(5) เพื่อหาช่วงเวลาที่วิกฤตต่อการขาดแคลนน้ำในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

2.5.3 การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

ราธุร วุฒิวนิชย์ (2538) [33] กล่าวว่า การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operations) หมายถึงการเก็บกักน้ำในอ่างและการส่งน้ำจากอ่าง เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยมีการวางแผนการล่วงหน้าว่าควรจะเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใดและมีการปฏิบัติการตามแผนที่วางไว้ตระหน้าให้สภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ถ้าสภาพในอนาคตต่างจากที่คาดคะเนไว้ในตอนวางแผนการปฏิบัติการอาจต้องจากแผนที่วางไว้ เพื่อลดสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำเหล้นอ่าง

วีระพล แต้สมบัติ (2538) [34] กล่าวว่า ภารกิจการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ และใช้เป็นแนวทางเพื่อลดภัยธรรมชาติในการวิเคราะห์ระหว่างเงื่อนไขทางอุทกวิทยา และความต้องการน้ำ

ภารกิจการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำมีหลายแบบแต่ละแบบจะบอกปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างหรือไม่เก็บกักปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างในช่วงเวลาต่างๆ ของปีซึ่งเรียกว่าโคงภารกิจการปฏิบัติงาน หรือบางประเภทจะแบ่งปริมาตรอ่างออกเป็นโซนต่างๆ แต่ละโซนจะมีนโยบายการปล่อยน้ำต่างกันออกไป [33]

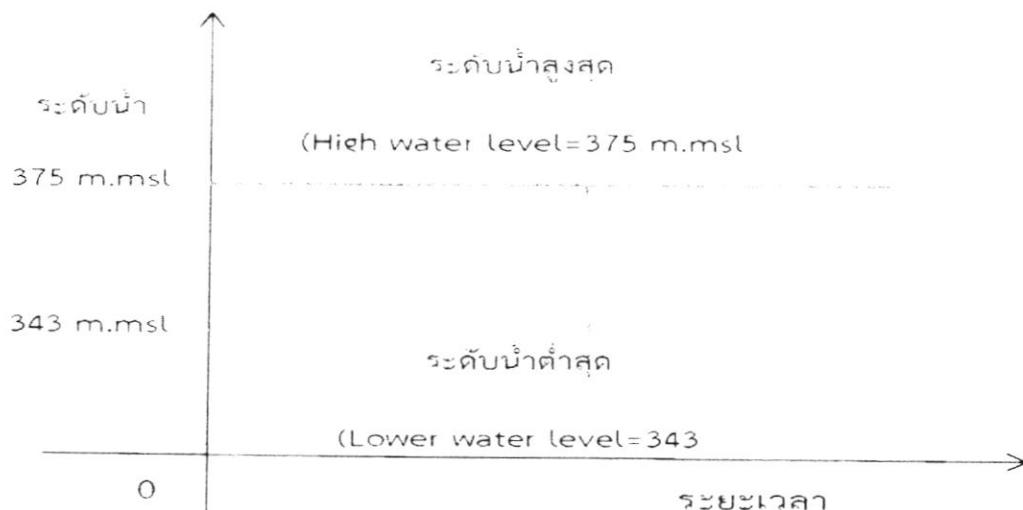
2.5.4 นโยบายการจัดการอ่างเก็บน้ำ

นโยบายการจัดการอ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งออกได้ 3 เขต ตามลักษณะ และวิธีการในการบริหารการจัดสรรน้ำ ดังนี้ [33]

(1) ช่วงระดับต่ำสุดและระดับวิกฤตต่ำสุด เป็นการดำเนินงานในภาวะแห้งแล้งและเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำต้นทุนอยู่อย่างจำกัด ซึ่งหากไม่เพียงพอสำหรับความต้องการตลอดฤดูกาล ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำควรลดลงตามปริมาณน้ำที่มีอยู่

(2) ช่วงระหว่างระดับวิกฤตต่ำสุดและระดับวิกฤตสูงสุด เป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำต้นทุนอยู่อย่างเพียงพอ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างจะเท่ากับความต้องการน้ำในช่วงเวลานั้น

(3) ช่วงระหว่างระดับวิกฤตสูงสุดและระดับสูงสุด เป็นช่วงการดำเนินงานในภาวะน้ำท่วม มีปริมาณน้ำในอ่างค่อนข้างมาก ซึ่งถ้าอยู่ในช่วงฤดูน้ำหลากจะต้องเหลือปริมาณกักเก็บส่วนหนึ่งไว้สำหรับปริมาณน้ำจากพายุฝนที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องรักษาระดับน้ำในอ่างไว้ที่ระดับวิกฤตสูงสุดโดยการปล่อยน้ำส่วนเกินไปด้านท้ายน้ำ ดังแสดงระดับเก็บกักน้ำสูงสุดและระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดของเขื่อนน้ำจืด 2 ในภาพที่ 2.22 ดังนี้



ภาพที่ 2.22 ปริมาตรน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำจืด 2 [33]

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยอดของน้ำ อัตราการปล่อยน้ำ และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ การสร้างโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย และหาแนวทางเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ในบทนี้จะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินวิจัย ตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล และขั้นตอนการคำนวณหาค่าต่างๆ ที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า สมการคำนวณ และการวิเคราะห์อย่างเป็นลำดับ สำหรับขั้นตอนการดำเนินการได้มีการนำเสนอในภาพผังงาน (Flowchart) ดังแสดงในภาพที่ 3.1

3.1 การรวบรวมข้อมูล

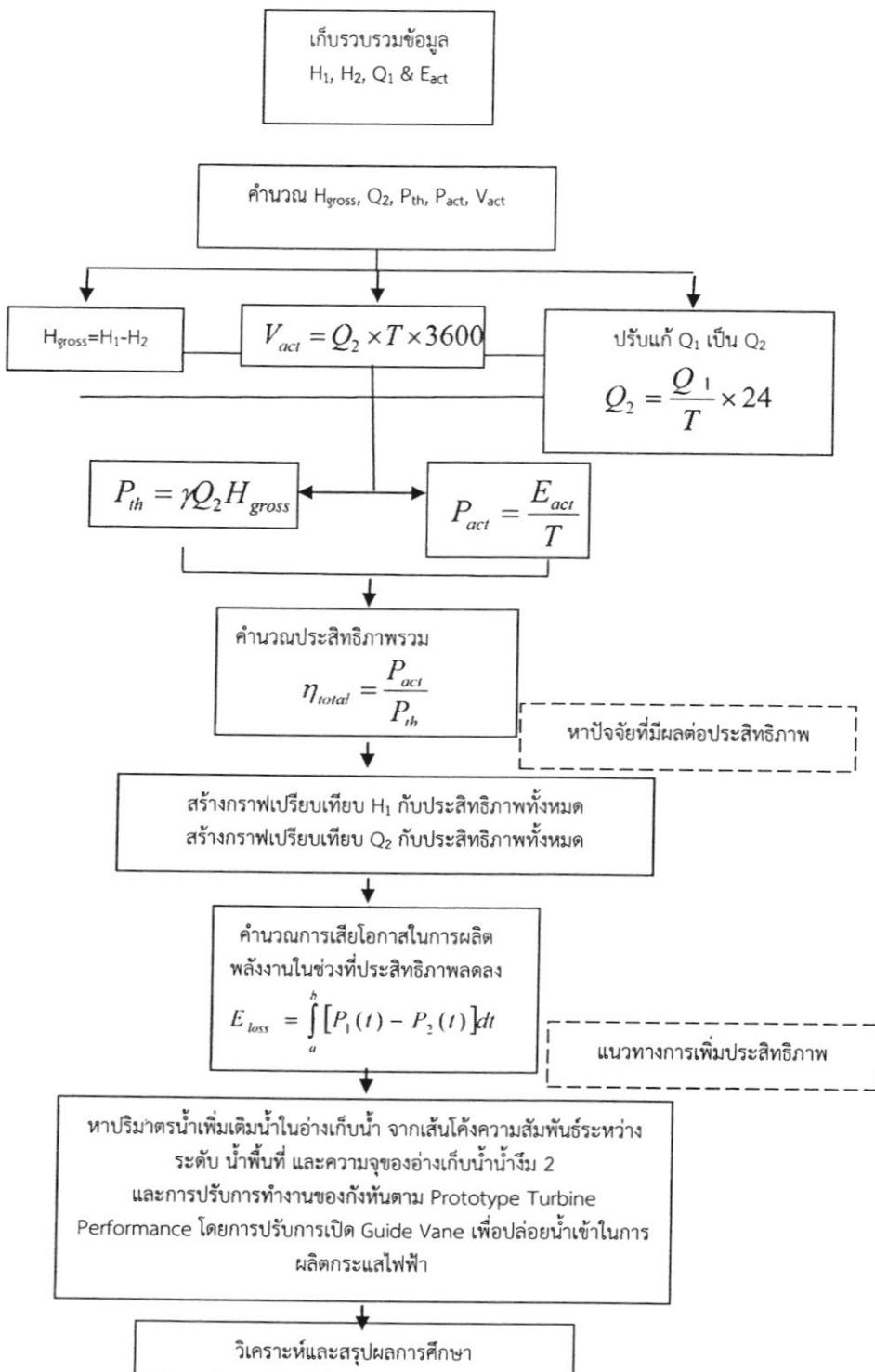
รวบรวมข้อมูลระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ (H_1) ข้อมูลระดับน้ำที่ท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า (H_2) รายวัน ข้อมูลอัตราการปล่อยน้ำเฉลี่ย (Q_1) และ ข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงรายวัน (E_{act}) ของโรงไฟฟ้าน้ำร่ม 2 เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 ที่ได้จากบริษัทไฟฟ้าน้ำร่ม 2 มาทำการเรียบเรียงแยกออกเป็นแต่ละเครื่องและทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าน้ำร่ม 2 ดังแสดงในภาพที่ 2.17

3.2 การคำนวณปริมาตรน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานจริง

รวบรวมข้อมูลอัตราการปล่อยน้ำรายวัน (Q_2) เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 และแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 3 เครื่อง และทำการคำนวณหาปริมาตรน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (V_{act}) รายวัน โดยใช้ระยะเวลา (T) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงรายวัน เข้าในการคำนวณ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.9 เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การบริหารจัดการการปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

3.3 เหตุเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

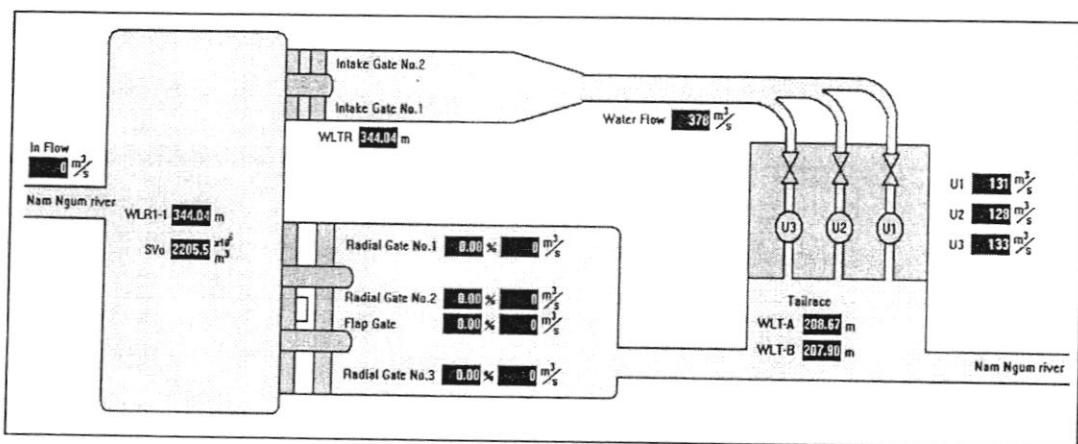
รวบรวมข้อมูลระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ (H_1) และข้อมูลระดับน้ำที่ท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า (H_2) รายวัน ดังแสดงในภาพที่ 2.17 ที่ใช้เข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) ของโรงไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 โดยแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 3 เครื่อง และทำการคำนวณหาความสูงของน้ำ (H_{gross}) โดยคำนวณจากสมการที่ 2.6 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เข้าในการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี (P_{th})



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการคำนวนประสิทธิภาพการ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเทียบกับความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำ และการสร้างโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลง

3.4 ข้อมูล ปริมาณน้ำและอัตราการไหล

รวบรวมข้อมูลอัตราการปล่อยน้ำเฉลี่ย (Q_1) รายวัน ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ที่ใช้เข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) ของโรงไฟฟ้าน้ำจีน 2 ทำการเรียบเรียงข้อมูล โดยตัดข้อมูลวันที่ไม่ได้ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้า $Q_1=0$ ออก เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 และแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าห้องหมุด 3 เครื่อง และทำการคำนวณอัตราการปล่อยน้ำรายวัน (Q_2) โดยใช้ระยะเวลา (T) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงรายวัน เข้าในการคำนวณ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.7 เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่ใช้เข้าในการคำนวณหากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี (P_{th})



ภาพที่ 3.2 โมเดลการปล่อยน้ำสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าน้ำจีน 2 [14]

3.5 การคำนวณกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง

รวบรวมข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) รายวัน ที่ได้มาจากการวัดโดยเครื่องวัด Energy meter ของโรงไฟฟ้าน้ำจีน 2 (จากหัวข้อ 3.1) ในแต่ละปี ทำการเรียบเรียงจัดแจงข้อมูล เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 และแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าห้องหมุด 3 เครื่อง และทำการคำนวณหากำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (P_{act}) รายวัน โดยใช้ระยะเวลา (T) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงรายวัน เข้าในการคำนวณ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.3 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เข้าในการคำนวณประสิทธิภาพ

3.6 การคำนวณกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี

จากข้อมูลในหัวข้อ 3.2 และหัวข้อ 3.3 ใช้ข้อมูลที่ได้มาเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับใช้เข้าในการคำนวณกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี (P_{th}) โดยคำนวณจากสมการที่ 2.2 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เข้าในการคำนวณประสิทธิภาพ

3.7 การคำนวนประสิทธิภาพรวม

จากข้อมูลในหัวข้อ 3.5 และหัวข้อ 3.6 ใช้ข้อมูลกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ และข้อมูล กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี มาเป็นข้อมูลในการคำนวนหาประสิทธิภาพรวม (η_{total}) ของการ ผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ซึ่งสามารถคำนวนได้จากการสมการที่ 2.1

3.8 การศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ

ในที่นี้จะได้ทำการสร้างกราฟ เพื่อแสดงให้ถึงสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิต พลังงานไฟฟ้าลดลง และหาแนวทางการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยกราฟดังนี้

- (1) กราฟแสดงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง กับกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (P_{act} กับ P_{avg}) (เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน)
- (2) กราฟวิเคราะห์ความแปรเปลี่ยนของพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับ H_{gross}, Q_2 และ $H_{gross} * Q_2$ (เพื่อสนับสนุนสมการ $P = \eta H Q$)
- (3) กราฟแสดงเปรียบเทียบกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี กับกำลังการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าจริง (P_{th} กับ P_{act}) (เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียรวม)
- (4) กราฟประสิทธิภาพจริงกับเวลา (เพื่อวิเคราะห์ช่วงการสร้างโอกาส หาวิธีการเพิ่มกำลังการ ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้เท่ากับกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย) ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ การปล่อยน้ำต่างๆ

3.9 การคำนวนกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังการผลิตลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย นิยามการสูญเสียโอกาสในการผลิตพลังงาน

ในช่วงจังหวะที่ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงจากค่าเฉลี่ย ปริมาณน้ำที่อยู่ในช่วงเวลา ดังกล่าว มีปริมาณที่เพียงพอต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มอีกได้หรือไม่ หากปริมาณน้ำดังกล่าว สามารถปล่อยน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขาดของน้ำแปรเปลี่ยนไปตามสภาพการปล่อยน้ำนั้น เพื่อให้ได้ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่ากำลังการผลิตเฉลี่ย โดยไม่ขัดแย้งกับภาระการผลิตไฟฟ้าที่มี อยู่เดิม จะเรียกพลังงานที่ได้เพิ่มน้ำนั่นว่า พลังงานส่วนที่ยังจะได้เพิ่มเติม โดยวิธีการกำหนดการผลิต พลังงานไฟฟ้าที่ได้มานี้ จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และหากอยู่ในวิสัยที่ ดำเนินการได้ ก็จะไม่ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว นำค่า ประสิทธิภาพรวมของโรงไฟฟ้าที่หาได้จากการสมการที่ 1 ในหัวข้อ 3.7 เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ และความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำ พบร่วมประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลง ตามความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยที่ประสิทธิภาพลดลง เมื่อความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาวิเคราะห์กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม จึงทำการคำนวนหากำลังการผลิต พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าเฉลี่ย ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง ในปี ค.ศ.2014 และปี ค.ศ. 2015 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่โรงไฟฟ้าน้ำร่ม 2 ทำการผลิตพลังงาน อย่างเป็นปกติ โดยใช้หลักการการหาพื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง โดยคำนวนจากการสมการที่ 2.12

3.10 แนวทางการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า

3.10.1 การเพิ่มค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ค่าระดับน้ำและประสิทธิภาพรวม สามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม ในช่วงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยได้ จากราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ และрафเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า และระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ แสดงให้เห็นว่าช่วงที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง ประสิทธิภาพและกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าก็ลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในลักษณะเฉพาะการทำงานของกังหัน (Turbine Characteristics) และการออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2 ในภาพที่ 2.11 และตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความแปรเปลี่ยนตามความสูงของน้ำ เมื่อความสูงของน้ำเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพ และกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นการเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะเป็นการเพิ่มกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง จากเส้นโค้ง Area Capacity Curve ของเขื่อนน้ำจีม 2 ดังแสดงในภาพที่ 2.16 สามารถนำมาใช้หาปริมาณน้ำที่จะมาเติมในอ่างเก็บน้ำ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

3.10.2 การปรับกังหันเพื่อรักษาเสถียรภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การปรับการทำงานของกังหันจะทำให้เกิดการสูญเสีย (Loss) ต้องปรับแก้ Loss โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Guide vane Opening กับประสิทธิภาพ จาก Turbine Characteristics และการออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2 ดังแสดงในภาพที่ 1 และตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการปล่อยปริมาณน้ำเข้าในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าแปรเปลี่ยน ดังนั้นการปรับการทำงานของกังหัน จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ จาก Prototype Turbine Performance ณ ความสูงของน้ำต่ำสุดที่ 130 m สามารถนำมาใช้เข้าในการปรับการทำงานของกังหันโดยการเปิด Guide vane สำหรับปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ดังแสดงลักษณะการปล่อยปริมาณน้ำเข้าในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2 (Prototype Turbine Performance) ในภาพที่ 2.13

3.11 การวิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการวิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษา ในแนวทางดังต่อไปนี้

3.11.1 ปริมาณน้ำที่ต้องจัดหาเพิ่มในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย เนื่องจากน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง และค่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสมที่ผลิตได้จริงตลอดช่วงเวลาที่มีข้อมูล

3.11.2 การปล่อยน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย เนื่องจากน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง หากค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียไป และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มจากการปล่อยน้ำเพิ่มขึ้น โดยยอมให้ระดับน้ำลดลงต่ำกว่าระดับน้ำต่ำสุด

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำในบหนี้จะกล่าวถึงผลของการคำนวณหาค่าต่างๆ ของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าน้ำรึม 2 ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้า จริงของโรงไฟฟ้าน้ำรึม 2 ปริมาตรน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง ความสูงของน้ำ (H_{gross}) อัตราการปล่อยน้ำรายวัน (Q_2) กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี (P_{th}) กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (P_{act}) การคำนวณประสิทธิภาพ และเส้นกราฟแสดงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าน้ำรึม 2

รวบรวมข้อมูลระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ (H_1) ข้อมูลระดับน้ำที่ท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า (H_2) รายวัน ข้อมูลอัตราการปล่อยน้ำ (Q_1) และ ข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) รายวัน ของโรงไฟฟ้าน้ำรึม 2 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 ที่ได้จากการลงเก็บข้อมูลภาคสนามของโรงไฟฟ้าน้ำรึม 2 ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลที่รับรวมมาได้จากการผสานผลพัฒนาในพัฒนาระบบของโรงไฟฟ้าเขื่ม 2

Date	Forebay at 08:00	Tailrace at 08:00	UNIT1 Turb. Flow (Avg)	UNIT2 Turb. Flow (Avg)	UNIT3 Turb. Flow (Avg)	Release	Unit1 Gen. Energy	Unit2 Gen. Energy	Unit3 Gen. Energy	Gen. Energy	DP. Energy	Rain Fall	Spillway
	H ₁ (m.msl)	H ₂ (m.msl)	Q ₁ (cms)	Q ₂ (cms)	Q ₃ (cms)	Q _{total} (MCM.)	E _{act1} (kWh).	E _{act2} (kWh).	E _{act3} (kWh).	E _{total} (MWh)	(MWh)	mm.	MCM.
1-Apr-15	367.64	208.17	121	110	122	30.44	4,057,086	3,673,747	4,070,648	11.80	11,612.57	0	0.00
2-Apr-15	367.35	208.24	131	129	131	33.80	4,370,666	4,322,996	4,377,605	13.07	12,852.41	0	0.00
3-Apr-15	367.05	208.22	122	122	122	31.59	4,065,130	4,066,002	4,074,363	12.21	12,007.50	0	0.00
4-Apr-15	366.82	207.76	134	134	95	31.42	4,470,342	4,467,235	3,163,100	12.10	11,898.54	0	0.00
5-Apr-15	366.57	207.15	108	40	96	21.02	3,575,717	1,323,957	3,175,136	8.07	7,946.67	0	0.00
6-Apr-15	366.34	208.75	117	113	109	29.31	3,889,089	3,763,237	3,635,454	11.28	11,088.50	0	0.00
7-Apr-15	366.03	208.26	132	132	132	34.21	4,384,902	4,384,084	4,389,132	13.15	12,934.44	0	0.00
8-Apr-15	365.68	208.90	138	137	138	35.65	4,555,092	4,553,412	4,558,023	13.66	13,430.77	0	0.00
9-Apr-15	365.33	208.87	139	139	140	36.09	4,588,765	4,590,911	4,595,510	13.77	13,535.72	0	0.00
10-Apr-15	365.04	208.90	135	134	135	34.89	4,443,645	4,438,353	4,449,764	13.33	13,105.71	28.8	0.00
11-Apr-15	364.73	208.31	124	121	118	31.29	4,051,641	3,963,864	3,876,938	11.89	11,696.05	1.8	0.00

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 เป็นตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) รายวันของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2 ความหมายของคำว่า “Fore bay” คือ ระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ (H_1) “Tailrace” คือ ระดับท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า (H_2) “UNIT Turb. Flow (Avg)” คือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ปล่อยเข้ากังหันแต่ละเครื่องเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า “Release” คือ ปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง “Unit Gen. Energy” คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง “Gen. Energy” คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงทั้งหมด (E_{total}) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง “DP. Energy” คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบวัน “Rainfall” คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในอ่างเก็บน้ำ “Spillway” คือ ปริมาณน้ำฝนที่ปล่อยผ่านทางระบายน้ำล้นเมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุด ส่วนมากใช้งานในช่วงน้ำหลาก

จากข้อมูลที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้ทั้งหมด มาทำการคำนวนหาค่าต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสาเหตุ และช่วงที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

4.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานจริง

รวบรวมข้อมูลการปล่อยอัตราการปล่อยน้ำรายวัน (Q_2) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 และแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 3 เครื่อง และทำการคำนวนหาปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (V_{act}) รายวัน โดยใช้ระยะเวลา (T) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) รายวัน เข้าในการคำนวน โดยคำนวนจากสมการที่ 2.9 ดังนี้

$$V_{act} = Q_2 \times T \times 3600$$

ยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015

ซึ่ง $Q_2 = 121 \text{ m}^3/\text{s}$

$T = 24 \text{ hr}$

แทนค่าใส่สมการจะได้

$$V_{act} = 121 \times 24 \times 3600$$

$$V_{act} = 10.46 \text{ MCM}$$

จากการคำนวนที่ได้ทั้งหมดที่แสดงในตารางที่ 4.6 นำค่าปริมาณน้ำที่ได้มาสร้างเป็นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ (V_{act}) ที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง กับระยะเวลา (T) ของการผลิต พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่วันเริ่มดำเนินการผลิตพลังงานถึงปัจจุบัน (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015) ทั้ง 3 เครื่อง เพื่อวิเคราะห์การบริหารจัดการการปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ดังนี้



ภาพที่ 4.1 ปริมาณการปล่อยน้ำสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

จากภาพที่ 4.1 แกน X คือระยะเวลา (T) ทั้งหมดที่ใช้เข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) แกน Y คือ ปริมาณน้ำที่ปล่อยสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (V_{act}) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีแผนการบริหารจัดการให้มีดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเท่าๆ กันตามการจัดลำดับความสำคัญ (Priority) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องเพื่อทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีการทำงานอย่างสม่ำเสมอและเท่าๆ กันซึ่งไม่ได้ดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงเครื่องใดเครื่องหนึ่งเท่านั้น จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟการปล่อยเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะอยู่ติดๆ กันเกือบจะเป็นเส้นเดียวกันก็ว่าได้

4.3 เสดชของน้ำ

รวบรวมข้อมูลระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ (H_1) และข้อมูลระดับน้ำที่ท้ายน้ำของโรงไฟฟ้า (H_2) รายวัน ที่ใช้เข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) ของโรงไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึง วันที่ 14 กันยายน ค.ศ.2015 โดยแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 3 เครื่อง และทำการคำนวณหาความแตกต่างความสูงของระดับน้ำ (H_{gross}) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านทฤษฎี (P_{th}) โดยคำนวณจากสมการที่ 2.6 ดังนี้

$$H_{gross} = H_1 - H_2$$

ยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015

$$\text{ซึ่ง } H_1 = 367.64 \text{ m.msl}$$

$$H_2 = 208.17 \text{ m.msl}$$

แทนค่าใส่สมการจะได้

$$H_{gross} = 367.64 \text{ m.msl} - 208.17 \text{ m.msl}$$

$$H_{gross} = 159.47 \text{ m}$$

4.4 อัตราการปล่อยน้ำรายวัน

รวบรวมข้อมูลอัตราการปล่อยเฉลี่ย (Q_1) รายวันที่ใช้เข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) ของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2 ทำการเรียบเรียงข้อมูลเพื่อใช้เข้าในการคำนวน โดยตัดข้อมูลวันที่ไม่ได้ทำการผลิต พลังงานไฟฟ้า $Q_1=0$ ออก ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 และ แยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าห้องหมุด 3 เครื่อง และทำการคำนวนอัตราการ ปล่อยรายวัน (Q_2) โดยใช้ระยะเวลา (T) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) รายวันเข้าในการ คำนวน โดยคำนวนจากสมการที่ 2.7 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เข้าในการคำนวนหากำลังการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าทางทฤษฎี (P_{th}) ดังนี้

$$Q_2 = \frac{Q_1}{T} \times 24$$

$$\text{ซึ่ง } Q_1 = \frac{\sum V}{T_1} \text{ จะได้ } Q_1 = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{24}$$

$$\text{โดยกำหนดให้ค่า } T_1 = 24 \text{ ชั่วโมง ในหนึ่งวัน}$$

ยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015

$$Q_1 = \frac{141 + 128 + 135 + \dots + 121}{24}$$

$$Q_1 = \frac{2,885 \times 3,600}{24 \times 3,600} = 121 \text{ m}^3/\text{s}$$

แทนค่าใส่สมการจะได้

$$Q_2 = \frac{121 \times 3,600}{24 \times 3,600} \times 24$$

$$Q_2 = 121 \text{ m}^3/\text{s}$$

เพราะฉะนั้นในวันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 ได้ทำการผลิต พลังงานไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง $T_2 = 24 \text{ hr}$

4.5 กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง

รวบรวมข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงรายวันในแต่ละปี ทำการเรียบเรียงจัดแจงข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ค.ศ. 2015 และแยกข้อมูลออกเป็นแต่ละเครื่อง ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 3 เครื่อง และทำการคำนวณหากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (P_{act}) รายวัน โดยใช้ระยะเวลา (T) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (E_{act}) รายวันเข้าในการคำนวณ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.3 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เข้าในการคำนวณประสิทธิภาพดังนี้

$$P_{act} = \frac{E_{act}}{T}$$

ยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015

ซึ่ง $E_{act} = 4,057,086 \text{ kWh}$

$T = 24 \text{ hr}$

แทนค่าใส่สมการจะได้

$$P_{act} = \frac{4,057,086}{24}$$

$$P_{act} = 169,045.25 \text{ kW}$$

ซึ่งผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่องดังแสดงในตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ปี ค.ศ.2014		ปี ค.ศ.2015	
	P_{act} (kW)	P_{act} (kW)	P_{act} (kW)	P_{act} (kW)
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
เครื่องที่ 1	359,895.80 (27/9/2014)	62,183.75 (30/4/2014)	218,298.7 (13/8/2015)	4,947.37 (11/8/2015)
เครื่องที่ 2	214,747.60 (26/9/2014)	20,331.04 (30/5/2014)	207,070.80 (14/9/2015)	1,255.21 (11/8/2015)
เครื่องที่ 3	212,545.20 (25/1/2014)	58,112.54 (6/4/2014)	206,351.80 (8/9/2015)	2,879.71 (11/8/2015)

จากผลการคำนวณสามารถสรุปค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง และระดับน้ำด้านของอ่างเก็บน้ำ (H_1) ของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2 โดยแยกออกเป็นแต่ละเครื่องในแต่ละปี เพื่อแสดงให้เห็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยผลที่ได้จะแสดงในตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงที่สัมพันธ์ระดับน้ำของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2

เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า	ปี ค.ศ.	ค่าสูงสุด			ค่าต่ำสุด			ค่าเฉลี่ย	
		กำลังผลิตจริง P_{act} (kW)	ประสิทธิภาพ	ระดับน้ำ ด้านบน H_1 (m.msl)	กำลังผลิตจริง P_{act} (kW)	ประสิทธิภาพ	ระดับน้ำ ด้านบน H_1 (m.msl)	กำลังผลิตจริง P_{act} (kW)	ระดับน้ำ ด้านบน H_1 (m.msl)
เครื่องที่ 1	2014	359,895.80	0.91	374.77	62,183.75	0.87	343.09	167,289.90	362.76
	2015	218,298.70	0.88	374.06	4,947.37	0.88	344.19	162,803.50	361.64
เครื่องที่ 2	2014	214,747.60	0.91	374.77	20,331.04	0.84	343.09	165,571.20	361.76
	2015	207,070.80	0.90	374.06	1,255.21	0.88	344.27	160,952.40	362.28
เครื่องที่ 3	2014	212,545.20	0.89	374.77	58,112.54	0.85	343.09	164,327.30	362.37
	2015	206,351.80	0.90	374.06	2,879.71	0.88	344.27	161,221.20	360.91

4.6 กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี

จากข้อมูลในหัวข้อ 4.3 และหัวข้อ 4.4 ใช้ข้อมูลที่ได้มาเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับใช้เข้าในการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี โดยคำนวณจากสมการที่ 2.2 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เข้าในการคำนวณประสิทธิภาพดังนี้

$$P_{th} = \gamma Q_2 H_{gross}$$

ยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015

$$\text{ซึ่ง } Q_2 = 121 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{gross} = 159.47 \text{ m}$$

แทนค่า入สมการจะได้

$$P_{th} = 9,810 \times 121 \times 159.47$$

$$P_{th} = 189,448.92 \text{ kW}$$

ซึ่งผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่องดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ปี ค.ศ.2014		ปี ค.ศ.2015	
	P _{th} (kW)	P _{th} (kW)	P _{th} (kW)	P _{th} (kW)
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
เครื่องที่ 1	395,401.50 (27/9/2014)	58,186.25 (6/4/2014)	245,802.20 (13/8/2015)	5,565.21 (11/8/2015)
เครื่องที่ 2	238,933.80 (3/1/2014)	2,397.34 (30/5/2014)	228,472.50 (14/9/2015)	1,413.74 (11/8/2015)
เครื่องที่ 3	238,146.88 (25/1/2014)	66,288.132 (6/4/2014)	227,993.28 (8/9/2015)	3,246.37 (11/8/2015)

4.7 ประสิทธิภาพรวมการผลิตพลังงานไฟฟ้า

จากข้อมูลในหัวข้อ 4.6 และหัวข้อ 4.7 ใช้ข้อมูลกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงและข้อมูลกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎีมาเป็นข้อมูลในการคำนวณหาประสิทธิภาพรวมของการผลิตพลังงานไฟฟ้า (η_{total}) ในแต่ละวัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\eta_{total} = \frac{P_{act}}{P_{th}}$$

ยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องที่ 1 วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015

ซึ่ง $P_{act} = 169,045.25 \text{ kW}$

$P_{th} = 189,448.92 \text{ kW}$

แทนค่าใส่สมการจะได้

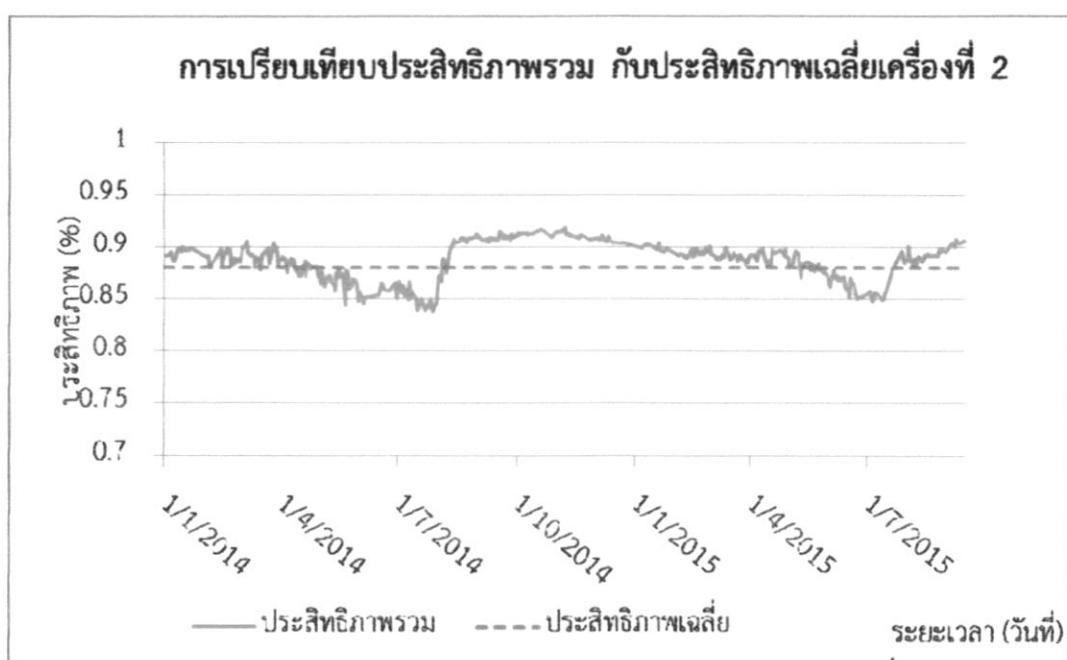
$$\eta_{total} = \frac{169,045.25}{189,448.92}$$

$\eta_{total} = 0.89$

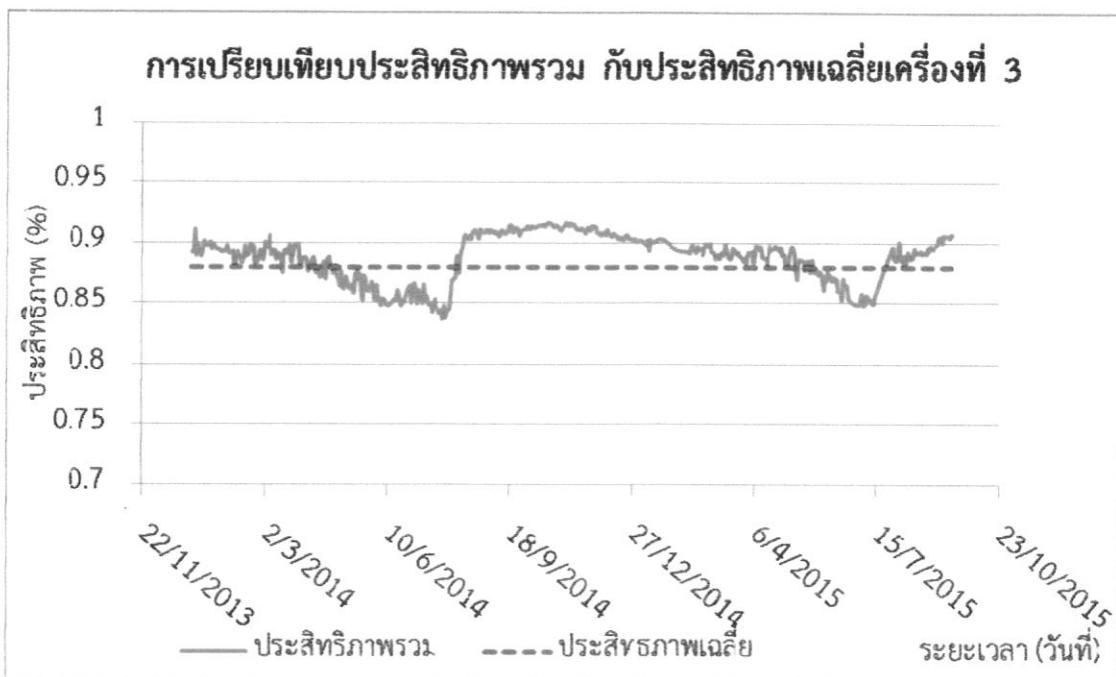
จากการคำนวณประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาสร้างเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพรวม และประสิทธิภาพเฉลี่ยของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำรัม 2 เพื่อแสดงให้เห็นถึงช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละปีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และทำการคำนวณหาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม ในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ 0.88 ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 ดังนี้



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับประสิทธิภาพเฉลี่ยเครื่องที่ 1



ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับประสิทธิภาพเฉลี่ยเครื่องที่ 2



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับประสิทธิภาพเฉลี่ยเครื่องที่ 3

จากภาพที่ 4.2 ภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 เส้นกราฟสีแดง คือประสิทธิภาพเฉลี่ย และเส้นกราฟสีน้ำเงิน คือประสิทธิภาพรวม จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน ถึง เดือนพฤษจิกายน ของแต่ละปี ประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม ของแต่ละปี และประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง เท่ากับ 0.88 ซึ่งค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ได้จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 เพื่อคำนวณหาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดดังนี้

ปี ค.ศ. 2014 จะอยู่ในช่วงวันที่ 21 เมษายน ถึง วันที่ 5 สิงหาคม

ปี ค.ศ. 2015 จะอยู่ในช่วงวันที่ 23 พฤษภาคม ถึง วันที่ 27 กรกฎาคม

ซึ่งรายละเอียดผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่องดังแสดงในตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการคำนวณประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

เครื่อง กำเนิด ไฟฟ้า	ปี ค.ศ.2014				ปี ค.ศ.2015				ประสิทธิ ภาพ เฉลี่ย	
	ค่าสูงสุด		ค่าต่ำสุด		ค่าสูงสุด		ค่าต่ำสุด			
	η_{total}	ระดับน้ำ (m.msl)	η_{total}	ระดับน้ำ (m.msl)	η_{total}	ระดับน้ำ (m.msl)	η_{total}	ระดับน้ำ (m.msl)		
เครื่อง ที่ 1 (7/11/2014)	0.91	373.45	0.83 (16/7/2014)	344.82	0.90 (8/9/2015)	370.45	0.84 (8/7/2015)	344.25	0.88	
เครื่อง ที่ 2 (7/11/2014)	0.91	373.45	0.83 (27/7/2014)	348.61	0.90 (13/9/2015)	371.55	0.84 (4/7/2015)	344.33	0.88	
เครื่อง ที่ 3 (2/11/2014)	0.91	373.77	0.83 (25/7/2014)	347.93	0.90 (13/9/2015)	371.55	0.84 (3/7/2015)	344.43	0.88	

และจากตารางที่ 4.5 ณ ประสิทธิภาพสูงสุด และต่ำสุดในปี ค.ศ.2014 และปี ค.ศ.2015 จะมีค่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าสูงสุดและต่ำสุดของประสิทธิภาพ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงและกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี

เครื่องกำเนิด ไฟฟ้า	ปี ค.ศ.2014			ปี ค.ศ. 2015			
	กำลังผลิต ทางทฤษฎี (kW)	กำลังผลิต จริง (kW)	ประสิทธิ ภาพ	กำลังผลิต ทางทฤษฎี (kW)	กำลังผลิต จริง (kW)	ประสิทธิ ภาพ	
เครื่อง ที่ 1	ค่าสูงสุด	219,643.80	201,459.90	0.91	201,718.80	183,190.50	0.90
	ค่าต่ำสุด	174,430.30	146,088.40	0.83	43,363.00	36,766.93	0.84
เครื่อง ที่ 2	ค่าสูงสุด	218,683.10	200,864.70	0.91	200,033.90	181,464.7	0.90
	ค่าต่ำสุด	150,649.00	126,270.00	0.83	38,463.91	32,623.20	0.84
เครื่อง ที่ 3	ค่าสูงสุด	186,051.00	170,495.60	0.91	196,351.30	178,054.10	0.90
	ค่าต่ำสุด	174,807.30	146,371.80	0.83	185,122.60	156,994.20	0.84

ส่วนผลการคำนวณค่าต่างๆ ทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ได้บันทึกลงในตารางตัวอย่างที่ 4.7 และเครื่องกำเนิดเครื่องที่ 2 และเครื่องที่ 3 ก็ทำการคำนวณในลักษณะเดียวกัน โดยมีรายละเอียดการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

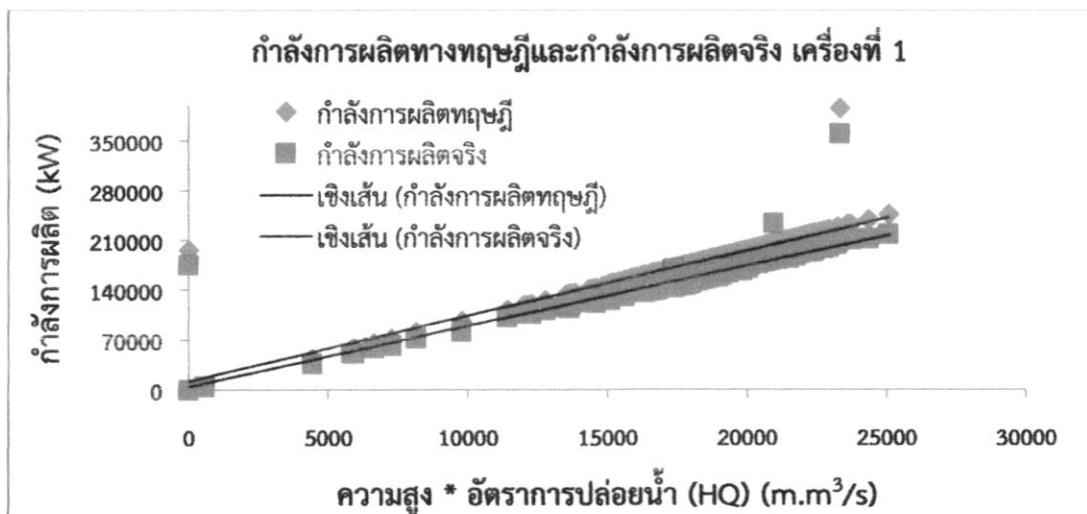
โครงการที่ 4.7 ตัวอย่างผลกระทบการดำเนินการตามมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่

วันที่	ตัวจริง			ทฤษฎี			ประสิทธิภาพ (P _{act} /P _{th})				
	พลังงาน จริง	เวลา ทำการ จริง	กำลังผู้ผลิตจริง	ระดับน้ำ ต้นบัน ถางเก็บน้ำ	ระดับท้าย น้ำ	ความสูง	ปริมาณ น้ำที่ ปล่อย เหลือ	ปริมาณน้ำที่ ปล่อย รายวัน	กำลังผู้ผลิต ทฤษฎี		
E _{act} 1 (kWh)	T (hr.)	P _{act} 1 (kW)	H ₁ (m.msl)	H ₂ (m.msl)	H _{gross} (m) (m.msl)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)	V (MCM)	P _{th} 1 (kW)	η ₁ (%)	
1/4/2015	4,057,086	24.00	169,045.25	367.64	208.17	159.47	121	121.10	10.46	189,448.92	0.89
2/4/2015	4,370,666	24.00	182,111.08	367.35	208.24	159.11	131	130.80	11.30	204,161.67	0.89
3/4/2015	4,065,130	24.00	169,380.42	367.05	208.22	158.83	122	121.77	10.52	189,732.55	0.89
4/4/2015	4,470,342	24.00	186,264.25	366.82	207.76	159.06	134	134.30	11.60	209,558.84	0.89
5/4/2015	3,575,717	19.50	183,370.10	366.57	207.15	159.42	108	132.68	9.31	207,494.79	0.88
6/4/2015	3,889,089	19.88	195,595.42	366.34	208.75	157.59	117	141.10	10.10	218,139.45	0.90
7/4/2015	4,384,902	24.00	182,704.25	366.03	208.26	157.77	132	132.00	11.40	204,299.53	0.89
8/4/2015	4,555,092	24.00	189,795.5	365.68	208.90	156.78	138	137.60	11.88	211,630.42	0.90
9/4/2015	4,588,765	24.00	191,198.54	365.33	208.87	156.46	139	139.00	12.01	213,347.29	0.90

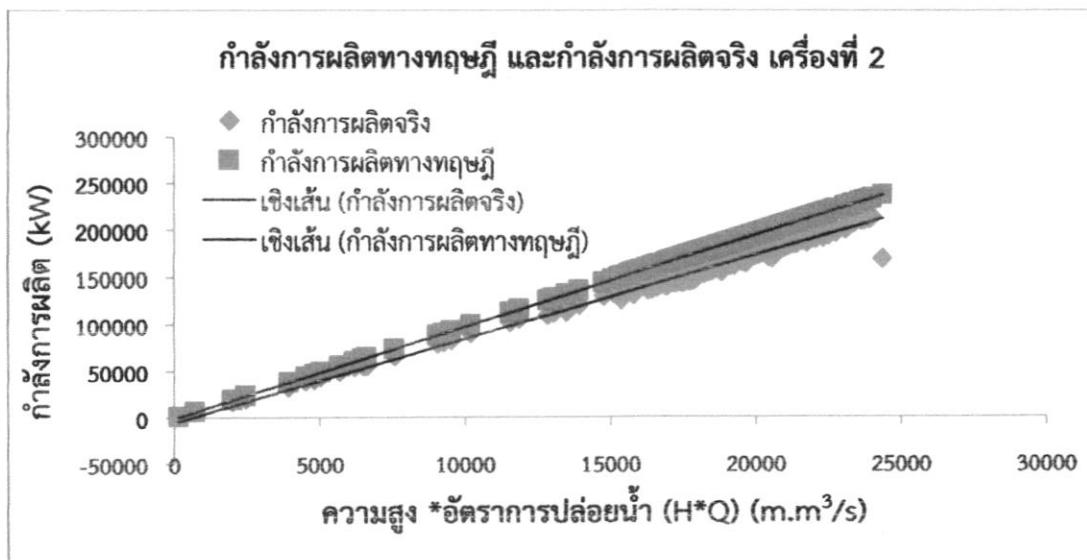
4.8 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ

จากการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าน้ำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์เพื่อแสดงให้เห็นถึงสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง และหาแนวทางในการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยกราฟดังนี้

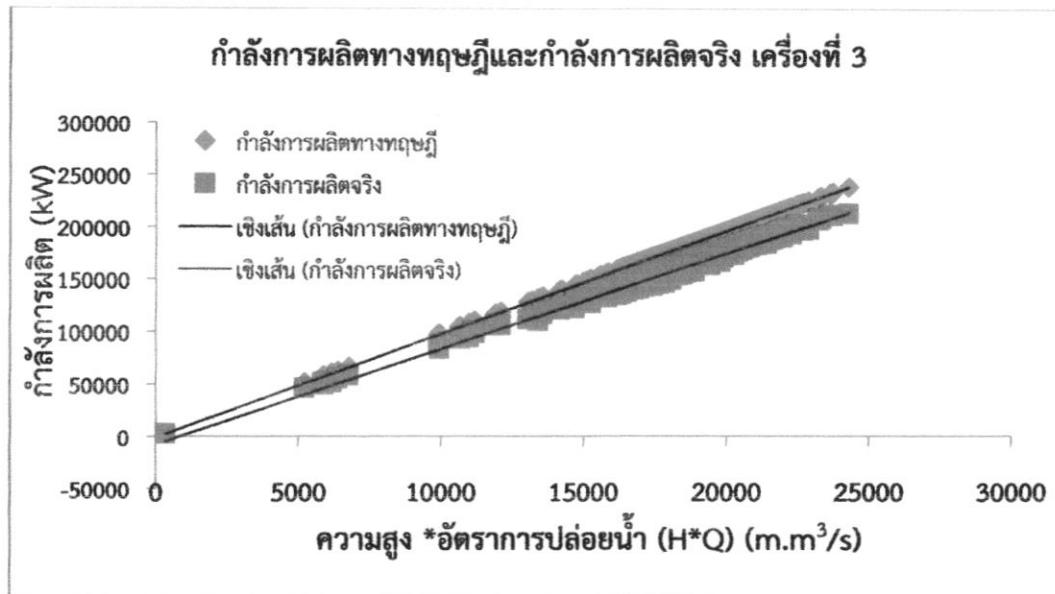
4.8.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังการผลิตทางทฤษฎี กับกำลังการผลิตจริง



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตทางทฤษฎีและกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 1



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตทางทฤษฎีและกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 2

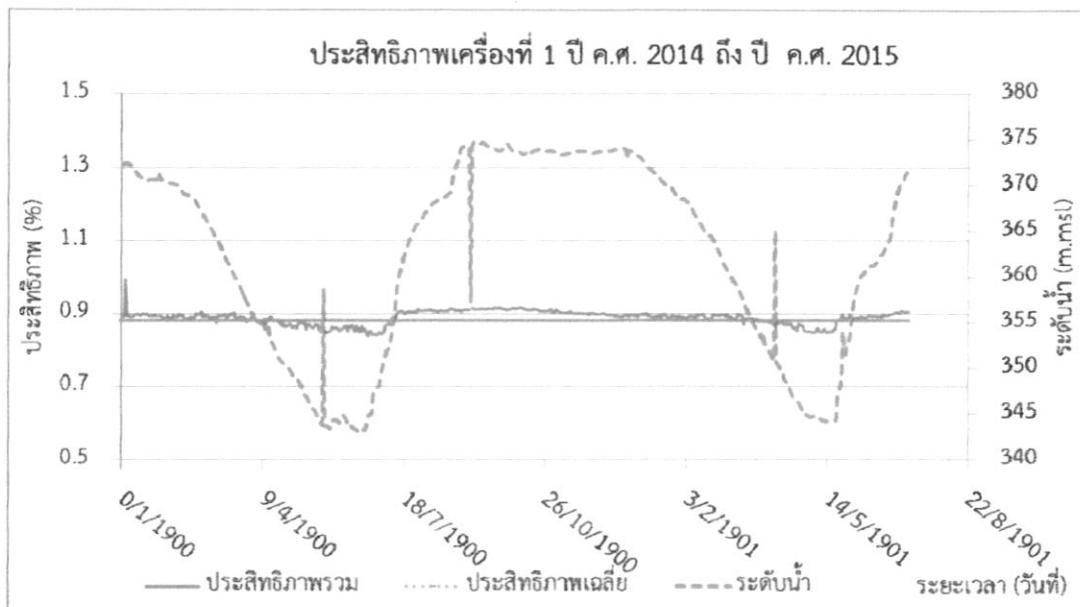


ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตทางทฤษฎีและกำลังการผลิตจริง เครื่องที่ 3

จากภาพที่ 4.5 ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 เส้นกราฟการเปรียบเทียบกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าห้อง 3 เครื่อง เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี และเส้นกราฟสีแดง คือ เส้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าน้ำจม 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังของน้ำในภาพแบบพลังงานจนน์ เมื่อปล่อยลงมาผ่านกังหันเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของโรงไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจะมีค่าต่ำกว่ากำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎีอย่างเห็นได้ชัดเจนและเส้นแนวโน้มของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้การนำเสนอบนการคำนวณกระซับจะแสดงผลการคำนวณตัวแทนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 1 เป็นตัวแทนแต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาและวิเคราะห์ในภาพรวมจะพิจารณาหักหมวดเพื่อสรุปผลการศึกษา

4.8.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับประสิทธิภาพ

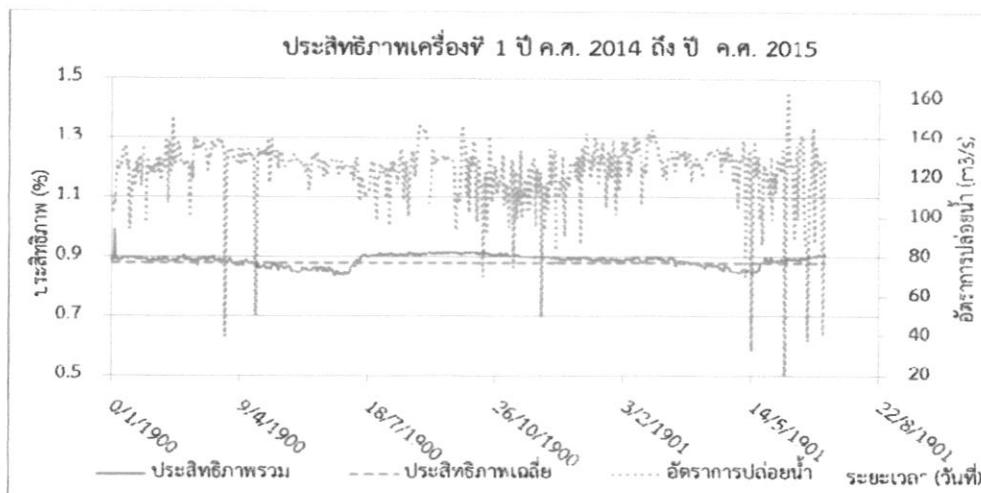
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำ กับประสิทธิภาพดังแสดงในภาพที่ 4.11 ดังนี้



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำกับประสิทธิภาพเครื่องที่ 1

จากภาพที่ 4.8 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นความสูงของน้ำ เส้นกราฟสีแดง คือ เส้นประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 และเส้นกราฟสีเขียวคือ เส้นประสิทธิภาพเฉลี่ยจากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความแปรเปลี่ยนตามระดับในอ่างเก็บน้ำ เมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงไปด้วย

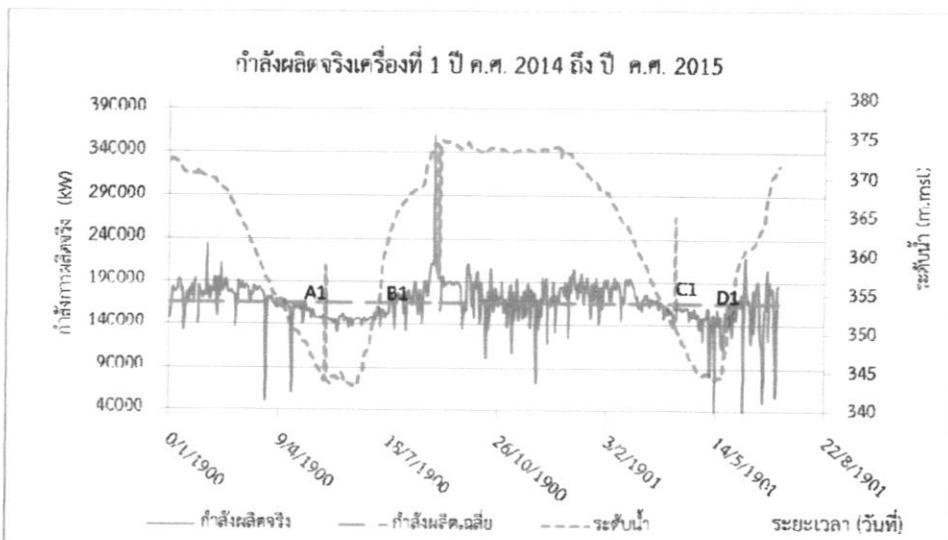
4.8.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำกับประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำกับประสิทธิภาพเครื่องที่ 1

จากภาพที่ 4.9 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับอัตราการปล่อยน้ำของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้าห้อง 3 เครื่อง เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นอัตราการปล่อยน้ำเส้นกราฟสีแดง คือ เส้นประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของโรงไฟฟ้าน้ำจม 2 และเส้นกราฟสีเขียวคือ เส้นประสิทธิภาพเฉลี่ยจากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าก้มีความแปรเปลี่ยนตามอัตราการปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎี

4.8.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ กับกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง

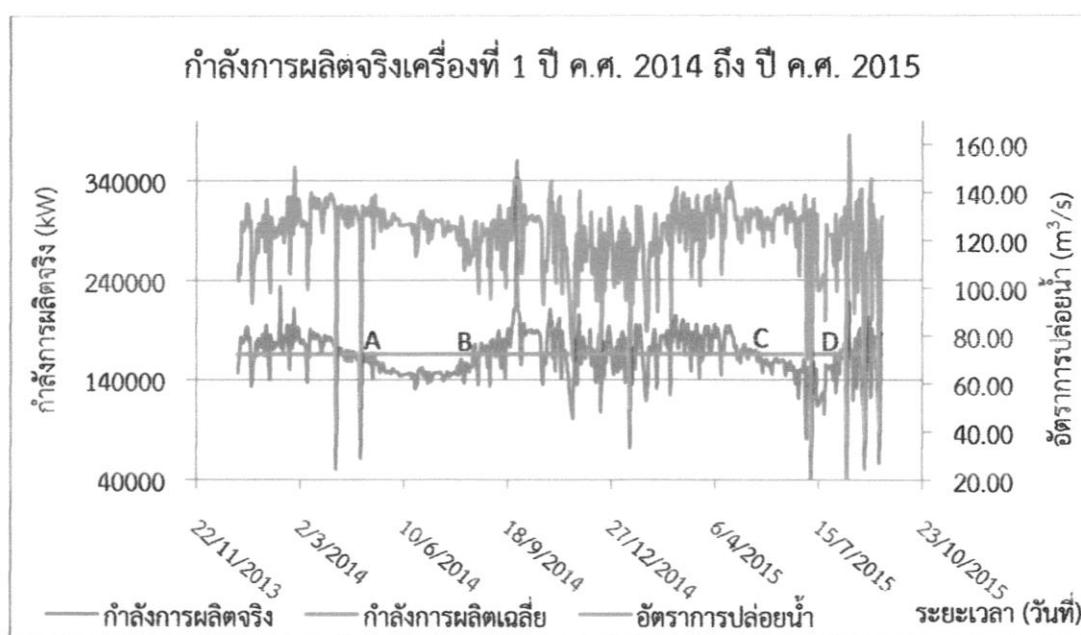


ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำ กับกำลังการผลิตจริงเครื่องที่ 1

จากภาพที่ 4.10 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง กับ ความสูงของน้ำในอ่างเก็บน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นความสูง ของน้ำ เส้นกราฟสีแดง คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง ของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 และเส้นกราฟ สีเขียวคือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงเฉลี่ยจากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิต พลังงานไฟฟ้าจริงก็มีความแปรเปลี่ยนตามระดับในอ่างเก็บน้ำ เมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงจะทำ ให้กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงไปด้วย

4.8.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำ กับกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำ กับกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ดังนี้



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยน้ำ กับกำลังการผลิตจริงเครื่องที่ 1

จากภาพที่ 4.11 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง กับ อัตราการปล่อยน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นอัตราการปล่อยน้ำ เส้นกราฟสีแดง คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 และเส้นกราฟสีเขียวคือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงเฉลี่ยจากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง ก็มีความแปรเปลี่ยนตามอัตราการปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อปล่อยน้ำน้อยลงจะทำให้ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงก็ลดลงไปด้วย

4.8.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับผลคูณของความสูงของน้ำ กับอัตราการปล่อยน้ำ (η_{total} กับ $H_{gross} * Q_2$)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับผลคูณของความสูงของน้ำ กับอัตราการปล่อยน้ำดังแสดงในภาพที่ 4.15 ดังนี้



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและผลคูณของความสูงกับอัตราการปล่อยน้ำ เครื่องที่ 1

จากภาพที่ 4.12 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับผลคูณของความสูง กับ อัตราการปล่อยน้ำ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นผลคูณของความสูง กับ อัตราการปล่อยน้ำ เส้นกราฟสีแดง คือ เส้นประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าน้ำจม 2 และเส้นกราฟ สีเขียวคือ เส้นประสิทธิภาพเฉลี่ยจากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมีความแปรเปลี่ยนตามค่า ความสูงของน้ำ และอัตราการปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อค่าความสูงของน้ำหรือค่าอัตรา การปล่อยน้ำน้อยลงจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงตามไปด้วย

จากภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพจุด ABCD คือ จุดที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยโดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2014 และช่วงที่ 2 คือ ช่วง ที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2015 ดังนี้

1 จุด A คือ วันที่ 21/4/2014

จุด B คือ วันที่ 5/8/2014

2 จุด C คือ วันที่ 23/5/2015

จุด D คือ วันที่ 27/7/2015

จากการนำเสนออิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง โดยภาพรวมพบว่า มีช่วงการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าการผลิตเฉลี่ย ดังนั้นเพื่อให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่เพิ่มขึ้น ในแต่ละช่วงเวลาดังกล่าว จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ และดำเนินการศึกษาเพื่อหามาตรการในการสร้างโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม โดยที่ไม่เกิดการขัดแย้งกับกฎการปล่อยน้ำที่มีอยู่ โดยจะทำการนำเสนอในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 5

ผลการศึกษาการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การศึกษาเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพต่างกว่าค่าเฉลี่ยนั้น เป็นการศึกษาเพื่อสร้างโอกาสที่จะได้พัฒนาไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้กำลังการผลิตต้องกล่าวจะต้องไม่ขัดแย้งกับกฎหมายที่การดำเนินงานของโรงไฟฟ้าเดิม หากปริมาณน้ำที่มีเหลืออยู่ในช่วงเวลาดังกล่าว น้ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มได้ ก็จะทำให้ไม่เกิดการสูญเสียโอกาสในการดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังจะได้นำเสนอเป็นลำดับดังนี้

5.1 ทางด้านปริมาณพลังงานไฟฟ้า

5.1.1 กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง

ในการศึกษาระบบนี้จะกำหนดแนวทางการศึกษาเป็น 2 สถานการณ์ ได้แก่ A1 และ A2 โดยที่ A1 คือ สถานการณ์ การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบที่เคยดำเนินการผลิตเป็นพื้นฐานเดิม (Base line) และ A2 คือ สถานการณ์ การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบที่ประยุกต์แนวทางการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ผลที่ได้จากการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ปี. ค.ศ. 2014 ถึงวันที่ 14 กันยายน ปี.ค.ศ. 2015 ซึ่งในปี ค.ศ. 2014 มี 158.38 GW เวลาการทำงานจริง 13,375.30 hr และปี ค.ศ. 2015 มี 102.38 GW เวลาการทำงานจริง 9,642.17 hr โดยรายละเอียดการคำนวณของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องตลอดเวลาที่ทำการศึกษา มีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสมทั้งหมด ดังนี้

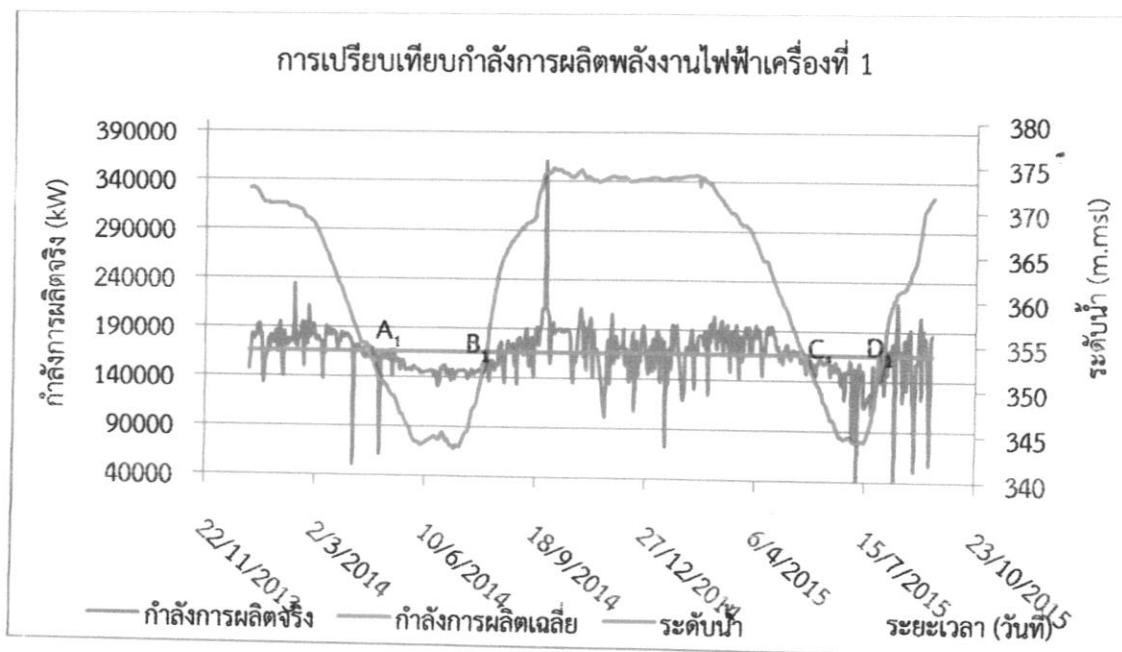
- (1) มีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสมทั้งหมดเท่ากับ 91.56 GW
- (2) มีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสมทั้งหมดเท่ากับ 79.24 GW
- (3) มีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสมทั้งหมดเท่ากับ 89.95 GW

โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าห้องหมด

เครื่อง กำเนิด	กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (GW)			เวลาการทำงานจริง (hr)		
	ปี 2014	ปี 2015	ห้องหมด	ปี 2014	ปี 2015	ห้องหมด
เครื่องที่ 1	53.37	38.19	91.56	4,359.47	3,633.25	7,992.72
เครื่องที่ 2	46.46	32.79	79.25	3,698.73	3,159.93	6,858.67
เครื่องที่ 3	58.56	31.39	89.95	5,317.10	2,848.98	8,166.08
ห้องหมด	158.38	102.38	260.76	13,375.30	9,642.17	23,017.47

จากการผลการคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้ห้องหมดนำมาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ (H_1) ระยะเวลาที่ทำการผลิตพลังงานจริง (T) และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง (P_{act}) เพื่อแสดงให้เห็นว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะมีความแปรเปลี่ยนไปตามแต่ละช่วงฤดูกาลและระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอย่างไร ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ดังนี้



ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเครื่องที่ 1

จากภาพที่ 5.1 เส้นกราฟการเปรียบเทียบระหว่างกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงและกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ เส้นกราฟสีแดง คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 และเส้นกราฟสีเขียวคือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย และจุด ABCD คือ จุดที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย จุด AB คือ จุดที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่า

ค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2014 ซึ่งจะอยู่ในช่วงวันที่ 21/4/2014 ถึง วันที่ 5/8/2014 และ จุด CD คือ จุดที่ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งจะอยู่วันที่ 23/5/2015 ถึง วันที่ 27/7/2015 ส่วนเครื่องที่ 2 และเครื่องที่ 3 ให้ผลในลักษณะเดียวกัน เพื่อใช้ข้อมูลในส่วนนี้ เข้า ในการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้น

5.1.2 การผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับน้ำต่ำสุด

สถานการณ์ A2 คือกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเพิ่มขึ้น จนถึงค่าเฉลี่ย และยอมให้ ระดับน้ำลดลงถึงระดับน้ำต่ำสุดที่ 343 m.msl

การคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นจนถึงค่าเฉลี่ย จะ คำนวณจากระดับน้ำเฉลี่ยที่ 354 m.msl โดยการปล่อยน้ำเพิ่มขึ้น จนให้กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ ผลิตได้ ถึงกำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 165,576.58 kW ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งผลที่ได้จากการ คำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าห้องหมุด ห้อง 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 จุด AB คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่า ค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2014 ซึ่งจะอยู่ในช่วงวันที่ 21/4/2014 ถึง วันที่ 5/8/2014 และช่วงที่ 2 จุด CD คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งจะอยู่ช่วงวันที่ 23/5/2015 ถึง วันที่ 27/7/2015 จะสูญเสียปริมาตรน้ำ และได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังนี้

(1) จุด AB คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2014 จะสูญเสียปริมาตรน้ำไปประมาณ 285.28 MCM คิดเป็น 5.83 % ของความจุห้องหมุดของอ่าง เก็บน้ำ ได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 4,556.46 MW และระดับน้ำจะลดลงอยู่ที่ 350.75 m.msl

(2) จุด CD คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2015 จะสูญเสียปริมาตรน้ำไปประมาณ 168.003 MCM คิดเป็น 3.44 % ของความจุห้องหมุดของอ่าง เก็บน้ำ ได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 2,728.43 MW และระดับน้ำจะลดลงอยู่ที่ 352.10 m.msl

โดยมีรายละเอียดังแสดงในตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3 ดังนี้

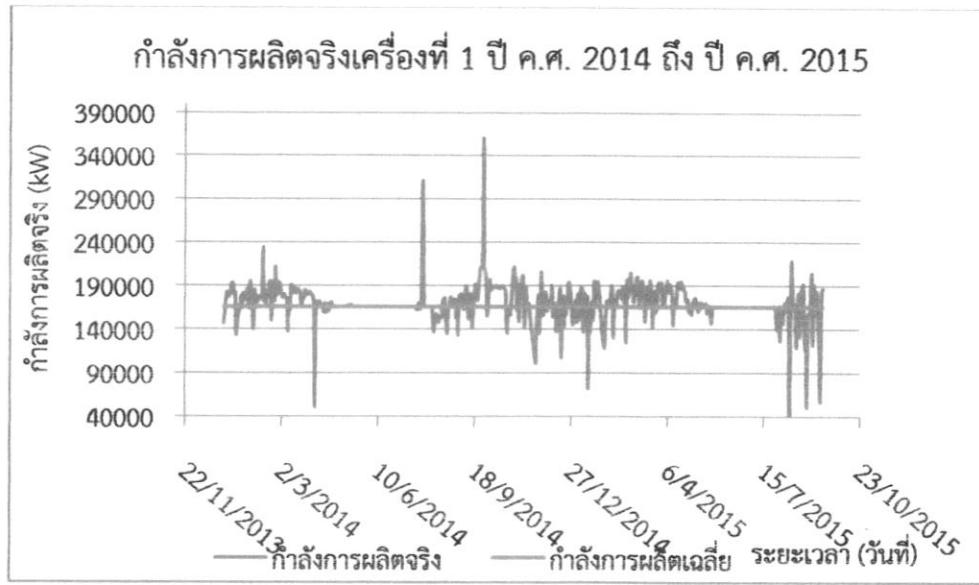
ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลง
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ปี ค.ศ. 2014

ลำดับ	วันที่	ปริมาตรน้ำที่ปล่อย หั้งหมด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่า ค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
1	21/4/2014	3.31	54,454.59	354.00
2	22/4/2014	0.46	7,658.02	353.96
3	23/4/2014	0.68	11,331.49	353.96
4	24/4/2014	0.42	6,860.12	353.95
5	25/4/2014	0.33	5,422.34	353.94
6	26/4/2014	0.17	2,348.29	353.94
7	27/4/2014	0.65	10,684.89	353.94
8	28/4/2014	0.98	16,086.42	353.93
9	29/4/2014	8.94	147,068.51	353.92
10	30/4/2014	16.06	263,962.05	353.82
11	1/5/2014	0.25	1,234.73	353.63
12	2/5/2014	3.04	49,941.50	353.63
13	3/5/2014	0.76	12,502.19	353.60
14	4/5/2014	1.33	21,797.68	353.59
15	5/5/2014	0.84	13,774.30	353.57
16	6/5/2014	0.60	9,903.44	353.56
17	7/5/2014	1.30	21,280.11	353.56
to	to	to	to	to
105	5/8/2014	0.77	12,316.212	350.76
รวม		285.281	4,556,462.76	
			4,556.46 MW	

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างผลการคำนวณกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลง
ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ปี ค.ศ. 2015

ลำดับ	วันที่	ปริมาณรน้ำที่ปล่อย ห้องหมุด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่า ค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
1	23/5/2015	0.77	10,238.19	354.00
2	24/5/2015	1.18	19,534.53	353.99
3	25/5/2015	1.03	16,869.42	353.98
4	26/5/2015	0.59	9,454.88	353.97
5	27/5/2015	1.74	28,532.09	353.96
6	28/5/2015	1.09	17,956.19	353.94
7	29/5/2015	1.93	31,696.41	353.93
8	30/5/2015	2.58	42,390.58	353.91
9	31/5/2015	2.35	38,691.82	353.88
10	1/6/2015	1.23	20,274.33	353.85
11	2/6/2015	1.27	20,912.38	353.84
12	3/6/2015	0.80	13,181.58	353.820
13	4/6/2015	1.38	22,758.59	353.81
14	5/6/2015	0.53	8,686.73	353.79
15	6/6/2015	1.11	18,239.88	353.79
16	7/6/2015	1.71	28,148.38	353.78
17	8/6/2015	1.28	21,030.56	353.76
to	to	to	to	to
57	27/7/2015	1.92	31,201.46	352.11
รวม		168.003	2,728,432.66	
			2,728.43 MW	

จากผลที่ได้ในตารางตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3 นำข้อมูลที่ได้มารังเรียงเป็นสันกราฟ
เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานจริง ดังแสดงในภาพที่ 5.2 ดังนี้



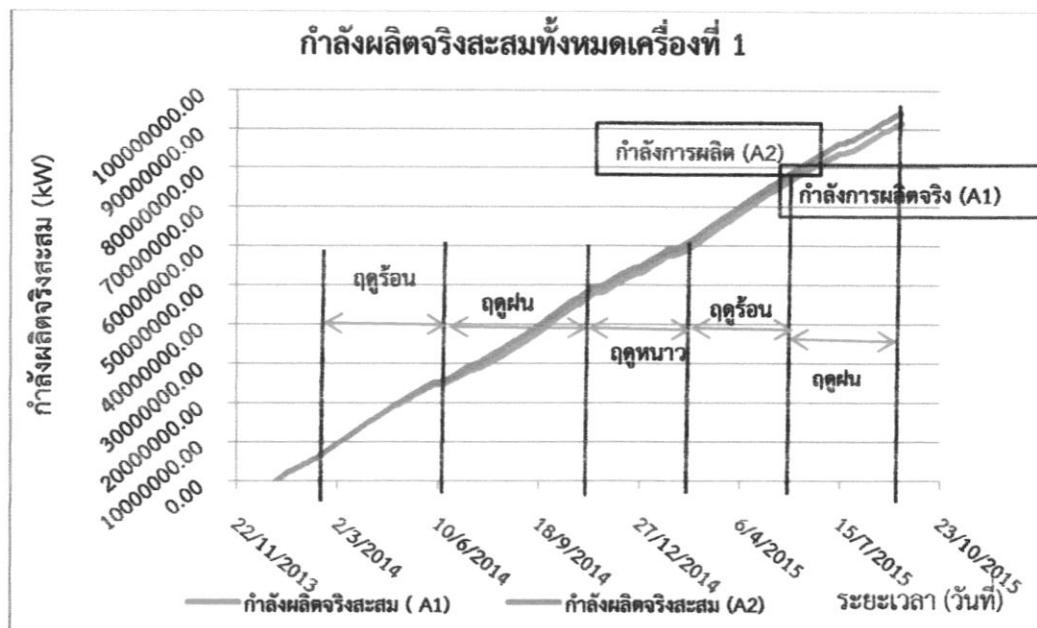
ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น และกำลังการผลิตเฉลี่ยของเครื่องที่ 1

- หมายเหตุ: (1) ช่วงฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ จนสิ้นสุด เดือนพฤษภาคม
 (2) ช่วงฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ เดือนมิถุนายน จนสิ้นสุด เดือนกันยายน
 (3) ช่วงฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ เดือนตุลาคม จนสิ้นสุด เดือนมกราคม

จากภาพที่ 5.2 เส้นกราฟการเปรียบเทียบระหว่างกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เส้นกราฟสีแดง คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโรงไฟฟ้าน้ำจืด 2 และเส้นกราฟสีเขียวคือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะเพิ่มขึ้นไปถึงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเนื่องจากการปล่อยน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

จากการคำนวณที่ได้ทั้ง 2 สถานการณ์ A1 และ A2 นำค่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกันในภาพแบบกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสม เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของการผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงฤดูกาล

ดังแสดงในภาพที่ 5.3 ดังนี้



ภาพที่ 5.3 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้ในสถานการณ์ A1 และ A2

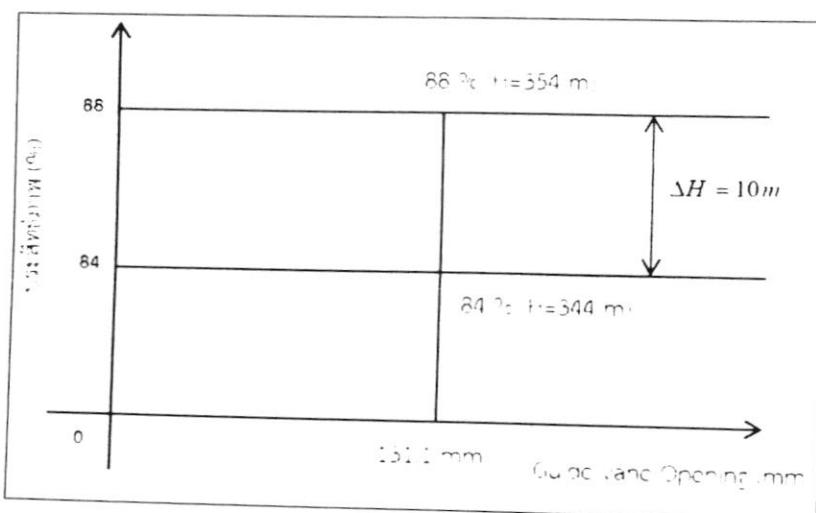
จากภาพที่ 5.3 เส้นกราฟการเปรียบเทียบระหว่างกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสม (A1) และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสมที่เพิ่มขึ้น (A2) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เส้นกราฟสีน้ำเงิน คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสม (A1) และเส้นกราฟสีแดง คือ เส้นกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสมที่เพิ่มขึ้น (A2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสม (A2) ที่ได้เนื่องจากการปล่อยน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง จะมีค่าสูงกว่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงสะสม (A1) เมื่อเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละฤดูกาลจะเห็นได้ดังนี้

- (1) การผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงฤดูร้อนจะต่ำ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูแล้งระดับในอ่างเก็บน้ำต่ำลงและความต้องการใช้ไฟฟ้ามีมากขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น
- (2) การผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงฤดูฝนจะเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากระดับในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้น และความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่มาก ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยลง
- (3) การผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงฤดูหนาวจะสูงขึ้น เนื่องจากระดับในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้น และความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่มาก ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยลง

5.2 การปรับแก้การสูญเสียจากการเปิด Guide vane ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อการเปิด/หีบานของกังหัน Loss มีผลต่อประสิทธิภาพ

การปรับการทำงานของกังหันจะทำให้เกิดการสูญเสีย (Loss) ต้องปรับแก้ Loss โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Guide vane Opening กับประสิทธิภาพ จาก Turbine Characteristics และการออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2 ดังแสดงในภาพที่ 2.11 และตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าการปล่อยปริมาณน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพแปรเปลี่ยน ดังนั้นการปรับการทำงานโดยการเปิด Guide vane ของกังหัน จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ ดังแสดงลักษณะการปล่อยปริมาณน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าน้ำริม 2 ในช่วงที่ยอดของน้ำต่ำสุด เท่ากับ 130 m ดังแสดงในภาพที่ 2.13 จากข้อมูลที่ได้นำมาสร้างเป็นกราฟการปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริง เพื่อนำไปใช้เข้าในการเปิด Guide vane ของกังหัน สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย อันเนื่องมาจากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง

จากผลการคำนวนประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 90 % อยู่ที่ระดับน้ำ 373 m.msl ประสิทธิภาพต่ำสุด เท่ากับ 84 % อยู่ที่ระดับน้ำ 344 m.msl และประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 88 % อยู่ที่ระดับน้ำ 354 m.msl ที่ได้สามารถนำมาใช้ในการปรับการทำงานของกังหันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากประสิทธิภาพต่ำสุด ให้ถึงประสิทธิภาพเฉลี่ย ดังแสดงผลการคำนวนในตารางที่ 5.4 และภาพที่ 5.4 ดังนี้

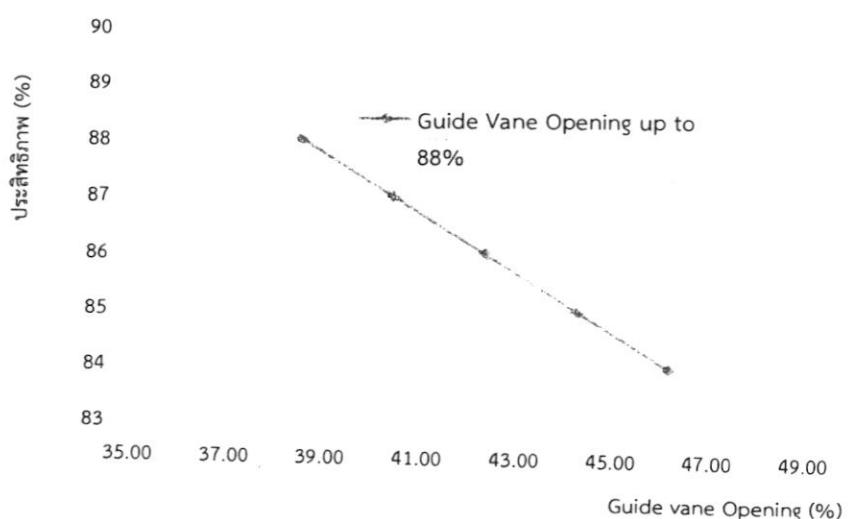


ภาพที่ 5.4 ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับการเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ

ตารางที่ 5.4 การเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ

ประสิทธิภาพ (%)	ΔH (%)	ระดับน้ำ (m.msl)	ΔH (m)	Guide Vane Opening up to 88% (mm)	Guide Vane Opening up to 88% (%)
88	0	354.00	10	131.10	38.47
87	1	351.50	7.5	137.65	40.39
86	2	349.00	5	144.20	42.31
85	3	346.55	2.5	150.75	44.23
84	4	344.00	0	157.30	46.16

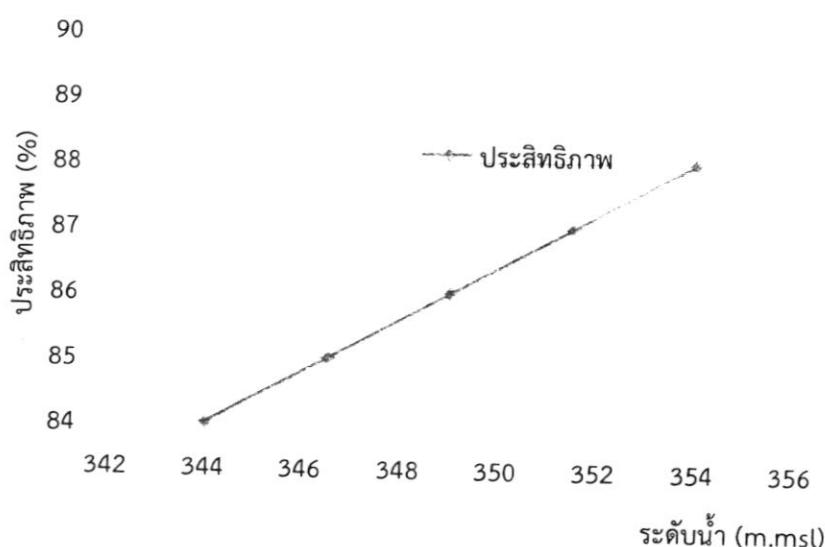
จากตารางที่ 5.4 นำมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ กับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ กับประสิทธิภาพ การผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากผลการคำนวณที่ได้ หากต้องการให้ประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 84 % ซึ่งเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำอยู่ที่ 38.47 % ให้กับไปที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 88 % ต้องเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำเพิ่มขึ้นที่ 46.16 % ดังแสดงใน ภาพที่ 5.5 ดังนี้



ภาพที่ 5.5 การเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำ กับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยการคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะมาเติมในอ่างเก็บน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้ง 2 ปี มีค่าเท่ากับ 88 % อยู่ที่ระดับน้ำ 354 m.msl และประสิทธิภาพต่ำสุดในปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ 83 % อยู่ที่ระดับน้ำ 344 m.msl ดังนั้นหากต้องการให้ประสิทธิภาพกลับมาที่ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย ต้องเพิ่มน้ำจากที่ระดับ 344 m.msl ไปยังระดับน้ำ 354 m.msl เมื่อใช้กราฟเส้นโค้งความจุอ่างเก็บน้ำของเขื่อนน้ำเริ่ม 2 (ภาพที่ 2.16) พบว่า ที่ระดับน้ำ 354 m.msl มีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำประมาณ 2,926.71 MCM ที่ระดับน้ำ 344 m.msl มีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำประมาณ 2,202.49 MCM ดังนั้นต้องการปริมาณน้ำประมาณ 724.22 MCM เพื่อให้ประสิทธิภาพที่ 83 % กลับมา ยังค่าเฉลี่ยที่ประสิทธิภาพ 88 %

ในปี ค.ศ. 2015 ที่ต้องการปริมาณน้ำประมาณ 724.22 MCM เท่ากับปี ค.ศ. 2014 เนื่องจาก ประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 84 % อยู่ที่ระดับน้ำ 344 m.msl มีเท่ากัน ดังแสดงใน ภาพที่ 5.6 ดังนี้



ภาพที่ 5.6 ระดับน้ำด้านบนของอ่างเก็บน้ำ กับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

จากภาพที่ 5.5 และภาพที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพมีความแปรเปลี่ยนตามค่าระดับน้ำและการปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า เมื่อค่าระดับน้ำเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และอีกสาเหตุหนึ่งประสิทธิภาพมีความแปรเปลี่ยนตามการเปิด Guide Vane ของกังหัน หากต้องการให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ต้องเปิด Guide Vane ของกังหันเพิ่มขึ้น

5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

5.3.1 ทางด้านการปล่อยน้ำ

การศึกษานี้ได้กำหนดดัชนีการใช้น้ำต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือ WPI (Water Power Index) เพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้านึงหน่วย สำหรับใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในสถานการณ์ต่างๆ แสดงในสมการที่ 5.1

$$WPI = \frac{W}{P}$$

เมื่อ WPI คือ ดัชนีการใช้น้ำต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า, ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลวัตต์ (m^3/kW)

W คือ ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า, ลูกบาศก์เมตร (m^3)

P คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า, กิโลวัตต์ (kW)

การวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงฤดูกาล ดังแสดงในภาพที่ 5.3 หากค่า WPI มีค่ามาก หมายถึงต้องใช้น้ำมากขึ้นจึงจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน แต่ถ้าหากค่า WPI มีค่าน้อย หมายถึงใช้น้ำน้อยต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย ดังนั้นที่การผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากัน ค่า WPI ที่มีค่าน้อยกว่าจะมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งการวิเคราะห์ครั้งได้ใช้ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ดังนี้

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่า WPI ในแต่ละช่วงฤดูกาล ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1

ฤดู	ปี ค.ศ. 2014				ปี ค.ศ. 2015			
	ปริมาตร น้ำ ทั้งหมด (MCM)	ระดับ น้ำเฉลี่ย (m.msl)	WPI (m^3/kW)	กำลังผลิต จริง (MW)	ปริมาตรน้ำ ทั้งหมด (MCM)	ระดับน้ำ เฉลี่ย (m.msl)	WPI (m^3/kW)	กำลังผลิต จริง (MW)
หนา	161.79	371.30	918.48	8,477.54	64.91	373.84	379.94	4,104.28
ร้อน	902.73	358.71	5,436.77	19,464.94	900.12	365.14	5,157.84	19,890.08
ฝน	635.65	357.14	3,923.02	16,592.35	652.16	354.34	4,350.79	14,204.01

จากตารางที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าช่วงฤดูร้อน และ ฤดูฝนดังแสดงการวิเคราะห์ดังนี้

(1) ค่า WPI ช่วงฤดูหนาว จะมีค่าน้อยทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงนี้น้อย เนื่องจากค่าระดับน้ำในอ่างเก็บยังสูง และความต้องใช้พลังงานมีน้อย ค่า WPI ในช่วงฤดูหนาวปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ $918.48 m^3/kW$ สามารถผลิตพลังงานได้ $8,477.54 MW$ ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด 161.79 MCM

(2) ค่า WPI ช่วงฤดูร้อน จะมีค่าสูงกว่าค่า WPI ฤดูกาล อื่นๆ ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงนี้มากขึ้น ประกอบกับความต้องการใช้ไฟฟ้าก็มีมากขึ้น และค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจึงต่ำลง เพราะเป็นช่วงที่ใช้น้ำ และไฟฟ้ามากกว่าฤดูอื่นๆ ค่า WPI ในช่วงฤดูร้อน ปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ $5,436.77 \text{ m}^3/\text{kW}$ สามารถผลิตพลังงานได้ $19,464.94 \text{ MW}$ ปริมาตรน้ำที่ใช้ทั้งหมด 902.73 MCM

(3) ค่า WPI ช่วงฤดูฝนค่า จะมีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูร้อน ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงนี้น้อยเนื่องจากความต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามีน้อย และค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็ยังสูง แต่ถ้าเบริญบเทียบกับช่วงฤดูหนาว ช่วงฤดูฝนจะเห็นได้ว่าระดับน้ำจะต่ำกว่า เพราะเป็นช่วงฤดูฝนต้องการพร่องน้ำเพื่อรับกับปริมาณน้ำจำนวนมากที่จะไหลเข้ามาในช่วงฤดูฝน ซึ่งค่า WPI ในช่วงฤดูฝนปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ $3,923.02 \text{ m}^3/\text{kW}$ สามารถผลิตพลังงานได้ $16,592.35 \text{ MW}$ ปริมาตรน้ำที่ใช้ทั้งหมด 635.65 MCM สำหรับปี ค.ศ. 2015 ดังแสดงรายละเอียดผลการคำนวณในตารางที่ 5.5 ข้างบน

หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำต่ำ (H ต่ำ) ต้องเพิ่ม Q จึงจะได้เท่ากัน ทำให้ค่า WPI สูง

หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูง (H สูง) ต้องลด Q จึงจะได้เท่ากัน ทำให้ค่า WPI ต่ำ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ มีอิทธิพลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลที่ได้จาก ค่า WPI ที่เปลี่ยนแปลงไป

5.3.2 การวิเคราะห์ค่า WPI กับการผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับน้ำต่ำสุด

จากการคำนวณที่ได้ในหัวข้อ 5.1.2 มาวิเคราะห์ค่า WPI ของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าเฉลี่ย และยอมให้ระดับน้ำลดลงจนถึงระดับน้ำต่ำสุด (A2) ในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ในปี ค.ศ. 2014 ค่า WPI มีค่าเท่ากับ $62.61 \text{ m}^3/\text{kW}$ (ช่วงวันที่ 21/4/2014 ถึง วันที่ 5/8/2014) และปี ค.ศ. 2015 มีค่าเท่ากับ $61.57 \text{ m}^3/\text{kW}$ (ช่วงวันที่ 23/5/2015 ถึง วันที่ 27/7/2015) ดังแสดงในตารางที่ 5.6 ดังนี้

ตารางที่ 5.6 ค่า WPI ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับน้ำต่ำสุด (A2)

ปี ค.ศ. 2014			ปี ค.ศ. 2015		
ปริมาตรน้ำทั้งหมด (MCM)	WPI (m^3/kW)	กำลังผลิตจริง (MW)	ปริมาตรน้ำทั้งหมด (MCM)	WPI (m^3/kW)	กำลังผลิตจริง (MW)
285.28	62.61	4,556.46	168.003	61.57	2,728.43

จากตารางที่ 5.6 ค่า WPI ของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จนถึงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (A2) ในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ในปี ค.ศ. 2014 และปี ค.ศ. 2015 จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เพราะเป็นช่วงฤดูร้อนกรริวเข้าสู่ช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงจนถึงระดับน้ำต่ำสุด ประกอบกับเป็นช่วงที่มีความต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่ม

กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ในช่วงที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง ต้องทำการเปิด Guide vane เพิ่มขึ้นเพื่อลอยน้ำเข้าในการผลิตกำลังไฟฟ้ามากขึ้น จนถึงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย ซึ่งค่า WPI ของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จนถึงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (A2) ในปี ค.ศ. 2014 มีค่าเท่ากับ $62.61 \text{ m}^3/\text{kW}$ ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพิ่มเท่ากับ 285.28 MCM สามารถผลิต พลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 4,556.46 MW และค่า WPI ในปี ค.ศ. 2015 มีค่าเท่ากับ $61.57 \text{ m}^3/\text{kW}$ ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพิ่มเท่ากับ 168.003 MCM สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 2,728.43 MW เมื่อเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับช่วงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าปกติในช่วง A1 จะเห็นได้ว่า การใช้น้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วง A2 จะมีค่ามากกว่า เพราะต้องทำการปล่อยน้ำมากขึ้น เพื่อให้กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และทำให้ปริสಥิภพเพิ่มขึ้นไปด้วย อีกทั้งยังเป็นช่วงฤดูร้อนกรร华เข้าสู่ช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงจนถึงระดับน้ำต่ำสุด ประกอบกับ เป็นช่วงที่มีความต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเพื่อห้ามเหตุ และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า และการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่แห่งอื่นๆ ดังนี้

6.1 ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเขื่อนน้ำจืด 2

6.1.1 ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับยอดของน้ำในอ่างเก็บน้ำ และอัตราการปล่อยน้ำ (H^*Q) เพื่อการผลิตพลังงาน ดังนั้นหากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพ และค่า WPI สูงขึ้น ซึ่งช่วงที่ระดับน้ำลดลงจะอยู่ในช่วงฤดูร้อนที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น เพราะต้องปล่อยน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้น เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นการสูญเสียก็จะเพิ่มขึ้น และการสูญเสียที่เครื่องกังหันน้ำเป็นการสูญเสียจากการเปลี่ยนพลังงานน้ำเป็นพลังงานกล ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยตามอัตราการปล่อยน้ำ และมุมสัมผัสของน้ำที่เข้ากังหัน เนื่องจากการเปิด Guide vane ของกังหัน มี Loss ซึ่งทำงานได้ดังเส้นกราฟที่สร้างขึ้น ถ้าเปิด Guide vane มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในส่วนนี้ลดลง เพราะเหตุนี้ จึงจะได้แนวทางในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม ทำให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สามารถสรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพได้ดังนี้

- (1) ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้ง 2 ปี มีค่าเท่ากับ 88 % อุyuที่ระดับน้ำ 354 m.msl
- (2) ในปี ค.ศ. 2014 ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 91 % อุyuที่ระดับน้ำ 373 m.msl ประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 83 % อุyuที่ระดับน้ำ 344 m.msl
- (3) และในปี ค.ศ. 2015 ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 90 % อุyuที่ระดับน้ำ 371 m.msl ประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 84 % อุyuที่ระดับน้ำ 344 m.msl
- (4) ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน และประสิทธิภาพต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม

6.1.2 การศึกษาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม

จากผลการศึกษาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการศึกษาความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย จะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 จุด AB คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2014 ซึ่งจะอยู่ในช่วงวันที่ 21/4/2014 ถึง วันที่ 5/8/2014 และช่วงที่ 2 จุด CD คือ ช่วงที่กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งจะอยู่ช่วงวันที่ 23/5/2015 ถึง วันที่ 27/7/2015 ผ่านการศึกษาความสามารถในการผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าเพิ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในปี ค.ศ. 2014 มี 4556.46 MW และในปี ค.ศ. 2015 มี 2728.43 MW โดยมีรายละเอียดดังนี้

- (1) เครื่องที่ 1 ปี ค.ศ. 2014 มี 1436.11 MW และปี ค.ศ. 2015 มี 1084.85 MW
- (2) เครื่องที่ 2 ปี ค.ศ. 2014 มี 1432.74 MW และปี ค.ศ. 2015 มี 830.91 MW
- (3) เครื่องที่ 3 ปี ค.ศ. 2014 มี 1687.11 MW และปี ค.ศ. 2015 มี 812.67 MW

6.2 การวิเคราะห์ค่า WPI ของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า

จากการพิจารณาค่า WPI ของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่า ค่า WPI ในฤดูหนาว ซึ่งมีค่าระดับน้ำเยือกสูงสุด ให้ค่า WPI ที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระดับน้ำมีอثرผลต่อกำลังการผลิต พลังงานไฟฟ้ามากกว่า แสดงการวิเคราะห์ดังนี้

ค่า WPI ช่วงฤดูหนาว จะมีค่าน้อยทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงนี้น้อย เนื่องจากค่าระดับน้ำในอ่างเก็บยังสูง และความต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามีน้อย ค่า WPI ในช่วงฤดูหนาวปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ $918.48 \text{ m}^3/\text{kW}$ และในปี ค.ศ. 2015 เท่ากับ $379.94 \text{ m}^3/\text{kW}$

(1) ค่า WPI ช่วงฤดูร้อน จะมีค่าสูงกว่าแต่ละฤดูกาล ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงนี้มากขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้ามีมากขึ้น และค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็ต่ำลง เพราะเป็นช่วงฤดูแล้ง ค่า WPI ในช่วงฤดูร้อน ปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ $5,436.77 \text{ m}^3/\text{kW}$ และในปี ค.ศ. 2015 เท่ากับ $5,157.84 \text{ m}^3/\text{kW}$

(2) ค่า WPI ช่วงฤดูฝน จะมีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูร้อน ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงนี้น้อย เนื่องจากความต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามีน้อย และค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำก็ยังสูง แต่ถ้าเปรียบเทียบกับ ค่า WPI ในช่วงฤดูร้อน จะเห็นได้ว่าระดับน้ำจะต่ำกว่า เพราะเป็นช่วงฤดูฝน ต้องการพร่องน้ำเพื่อร่องรักบปริมาณน้ำจำนวนมากที่จะไหลเข้ามาในช่วงฤดูฝน ซึ่งค่า WPI ในช่วงฤดูฝนปี ค.ศ. 2014 เท่ากับ $3,923.02 \text{ m}^3/\text{kW}$ และในปี ค.ศ. 2015 เท่ากับ $4,350.79 \text{ m}^3/\text{kW}$

จากการวิเคราะห์ค่า WPI ดังนี้การใช้น้ำต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าค่า WPI ของ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงฤดูหนาว ต่ำที่สุด ช่วงฤดูฝนจะอยู่ในระดับกลาง และช่วงฤดูร้อน จะ แบ่งที่สุด เพราะใช้น้ำเป็นจำนวนมากในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

6.3 แนวทางการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า ok

ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความแปรเปลี่ยนตาม ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ การปล่อยน้ำเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยการปรับการทำงานของกังหันการ เปิด Guide Vane จะช่วยให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ สำหรับ ประสิทธิภาพเพื่อน้ำเข้ม 2 พบร้าทั้งในปี ค.ศ. 2014 และปี ค.ศ. 2015 ในช่วงที่ประสิทธิภาพต่ำสุด คือประมาณ 83 ถึง 84 % ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพกลับไปที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 88 % มี 2 กรณีดังนี้

(1) การหาน้ำมาเติมเพื่อเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ หากต้องการให้ประสิทธิภาพกลับไปที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 88 % ต้องเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปในอ่างเก็บน้ำประมาณ 724.22 MCM

(2) การปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยการเปิด Guide Vane ของกังหัน

การปรับการทำงานของกังหัน โดยการเปิด Guide Vane เพิ่มขึ้น หากต้องการให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะต้องปล่อยน้ำเพิ่มขึ้น และยอมให้ระดับน้ำลดลงจนถึงระดับน้ำต่ำสุด โดยใช้เกณฑ์กำหนดการปล่อยจาก Prototype Turbine Performance ที่ระดับน้ำต่ำสุดของโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2

จากผลการคำนวณที่ได้ หากต้องการให้ประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 84 % ซึ่งเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำอยู่ที่ 38.47 % ให้กับไปที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 88 % ต้องเปิด Guide Vane ของกังหันน้ำเพิ่มขึ้นที่ 46.16 % ซึ่งปริมาตรน้ำที่ปล่อยเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2014 มีประมาณ 285.28 MCM คิดเป็น 5.83 % ของความจุทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ และได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 4,556.46 MW ทำให้ระดับน้ำลดลงอยู่ที่ 350.75 m.msl และในปี ค.ศ. 2015 มีประมาณ 168.003 MCM คิดเป็น 3.44 % ของความจุทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ และได้กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 2,728.43 MW ทำให้ระดับน้ำจะลดลงอยู่ที่ 352.10 m.msl

จากการที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพ และการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าน้ำจีม 2 และเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่แห่งอื่นๆ ต่อไป

6.4 ข้อเสนอแนะ

6.4.1 จากวิธีการศึกษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่แห่งอื่นๆ ได้ หากนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะทำให้สามารถติดตามการเสื่อมสภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ได้ ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อที่จะรักษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ดี และสามารถยืดอายุการใช้งานได้มากขึ้น

6.4.2 วิธีการในการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นจนถึงค่าเฉลี่ยในช่วงที่ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เนื่องจากระดับในอ่างเก็บน้ำลดลง ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการคำนวณหากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นจนถึงค่าเฉลี่ย ในช่วงที่ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาตรน้ำ ที่จะมาเติมน้ำในอ่างเก็บน้ำในช่วงที่ระดับน้ำลดลง สำหรับเป็นข้อมูลในการสร้างอ่างเก็บน้ำสำรองที่มีขนาดพื้นที่ที่เหมาะสม สำหรับเก็บกักน้ำในปริมาตรน้ำดังกล่าวได้ ซึ่งการออกแบบเชื่อมไฟฟ้าขนาดใหญ่ควรจะคำนึงถึงการศึกษาขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างอ่างเก็บน้ำสำรองเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพอีกทางหนึ่ง

6.4.3 การปรับการทำงานของกังหันก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิต พลังงานไฟฟ้ามีความแปรเปลี่ยนตามการเปิด Guide Vane ของกังหัน หากต้องการให้ประสิทธิภาพ เพิ่มขึ้น ต้องเปิด Guide Vane ของกังหันเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยใช้เกณฑ์กำหนดการปล่อยจาก Prototype Turbine Performance ที่ระดับน้ำต่ำสุดของโรงไฟฟ้าน้ำจม 2 ซึ่งผลจากการศึกษาใน ครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ในช่วงที่ระดับน้ำลดลงทำให้ประสิทธิภาพ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง ไปด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถปล่อยน้ำเข้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ โดยการเปิด Guide Vane ของกังหันเพิ่มขึ้น ซึ่งในปี ค.ศ. 2014 ทำให้สูญเสีย ปริมาตรน้ำ คิดเป็น 5.83 % และในปี ค.ศ. 2015 ทำให้สูญเสียปริมาตรน้ำ คิดเป็น 3.44 % ของความ จุทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำ แต่สามารถทำให้กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยได้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัฐวิสาหกิจไฟฟ้าลาว. สกิติไฟฟ้า.เวียงจันทน์: กระทรวงพลังงานและเหมืองแร่, 2555.
- [2] Department of Energy business (DEB). *The Development of Hydro Power Project in Lao PDR*. Vientiane: Ministry of Energy and Mines, 2014.
- [3] ฝ่ายควบคุมประสิทธิภาพการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. การทดสอบประสิทธิภาพเขื่อนห้วยกุ่ม. นนทบุรี: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2525.
- [4] กีรติ ลีวัจันกุล. วิศวกรรมชลศาสตร์. กรุงเทพฯ: ชีเอ็ดยูเคชั่น, 2542.
- [5] Electricity Generating Authority of Thailand Efficiency Division. *Chulabhorn Turbine Runner Efficiency Test Report*. Bangkok: Electricity Generating Authority of Thailand Efficiency Division, 2001.
- [6] พีรวัส ช่วงชิด. รายงานปัจจัยและวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาโรงไฟฟ้าขนาดเล็กแม่น้ำ. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.
- [7] วัฒนา ถาวร. โรงต้นกำลังไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [8] นิรนาม. (2015) “ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ”, โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ.
http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=1724&pageid=3&read=true&count=true,15 ตุลาคม, 2557.
- [9] Tavitta. (2552) “โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ”, โรงไฟฟ้า. www.tavitty4.blogspot.com. ตุลาคม, 2557.
- [10] Nam Ngum 2 Hydropower Company Limited. *Basic Design Report*. Champasack: Nam Ngum 2 Hydropower Project, 2009.
- [11] Japan International Cooperation Agency (JICA). *Small-Hydro Visual Guide*, , Vientiane: Ministry of Energy and Mines, 2005.
- [12] Nam Ngum 2 Hydropower Company Limited. *POYRY Engineering Balanced Sustainability Completion*. Champasack: Nam Ngum 2 Hydropower Project, 2011.
- [13] TEAM of Consulting Engineering Management Co., Ltd., *RULE CURVES AND RISERVOIR SIMULATION STUDIES*. Champasack:Nam Ngum 2 Hydropower Project, 2009.
- [14] Nam Ngum 2 Hydropower Company Limited. *Annual Operation and Maintenance Report*. Champasack:Nam Ngum 2 Hydropower Project, 2013.
- [15] โครงการศูนย์เรียนวิชาญเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าพลังน้ำ. (2546) “*Basic Hydro Power plant*”, *Hydropower*. <http://energy.gov/eere/water/hydropower-basics>. ตุลาคม, 2557.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [16] ศรีวุฒิ แวงเจริญ. อินทิกรัลการประยุกต์: คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2542.
- [17] Toshiba Corporation. Operation and Maintenance Manual Hydraulic Turbine and Main Inlet Valve for Nam Ngum 2 Hydroelectric Power Project. Champasack:Nam Ngum 2 Company Limited,2010.
- [18] วรุตม์ เมฆมาสิน. การศึกษาประสิทธิภาพและความมั่นคงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต:มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.
- [19] วันคำ แสงเมือง. การศึกษาประสิทธิภาพและการสูญเสียของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำดงและโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำగอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต:มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2551.
- [20] อาริยา ฤทธิมา และคณะ. “การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเขื่อนอุบลรัตน์”, ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเหล็กน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 4. น. 212-220. คณวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554.
- [21] บรรหารพลอย. การบริหารจัดการน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยทฤษฎี Max Min Ant System (MMAS). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553.
- [22] ไสวณ พงศ์สุรนະ. การปรับ Rule Curve ของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ สำหรับความต้องการน้ำที่เปลี่ยนไปในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาในเกิดความขาดแคลนน้ำหน้อยที่สุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2544.
- [23] ราชินี มาทอง, เกศสุดา นุ่มมีชัย และเกษรา เทพยุทธ. ต้นแบบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังน้ำบนพื้นฐานของทฤษฎีกลศาสตร์ของไฮโล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต:มหาวิทยาลัยนาเรศวร, 2541.
- [24] S.Soares, T. Ohishi, M. Cicoga. “Minimum loss predispatch model for hydroelectric power systems”, Journal of the IEEE Transactions on Power Systems. 12(3): 1220-1228; August, 2003.
- [25] กระทรวงพลังงานแห่งประเทศไทยและบริษัท Electric Power Development Co. Ltd Tokyo. (1966). “Test Result of Hydraulic Turbine Efficiency”, Turbine. <http://www.hydroworld.com/articles/hr/print/volume-29/issue-5/articles/efficiency-testing.html>. October, 2015.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [26] สรวิชญ์ กุลศิลารัตน์. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องมือศึกษาความหมายสมเบื้องต้นโครงการไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.
- [27] เฉลิมพล ทองน้อย. ศึกษาการสังเคราะห์การประดิษฐ์การอ่างเก็บน้ำโดยวิธีทางสถิติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.
- [28] Jacek S.K and Joseph M.T. “Practical Implementation of Computation Fluid Dynamics in the Design of Hydraulic Turbine-Virtual Hydraulic Laboratory”, In International Techno-Scientific Conference-Hydraulic Turbo machines in Hydro Power and Other Industrial Application.p. 1-10. Czorsztyn:Norcan Hydraulic Turbine Inc., 2000.
- [29] Young G.K. “Finding Reservoir Operating rule”, Journal of the Hydraulics Division. 96: 297-321; June, 1967.
- [30] International standard. Test to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic turbine. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 1991.
- [31] International standard. Hydraulic turbine, Storage Pump and Pump-Turbine Model Acceptance Test. Switzerland: International Electro technical Commission, 1999.
- [32] United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. Selecting Hydraulic Reaction Turbine.U.S. Washington DC: Government printing office, 1976.
- [33] วรรณา ภูมิวนิชย์. การจัดการน้ำขั้นสูง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538.
- [34] วีระพล แต่สมบัติ. หลักอุทกวิทยา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528.
- [35] สุรัตน์ นันตะสุคันธ์. ระบบไฟฟ้ากำลังเล็ก 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537
- [36] P. J. Pritchard. Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics, Washington DC: John Wiley & Sons, INC, 1998.
- [37] Udai. (2006) “Small Hydro power for sustainable Energy, waterloo”, Power Energy. <http://www.sswm.info/content/hydropower-small-scale>. March, 2016.

ภาคผนวก

ตารางที่ ผ.1 ผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2014

ลำดับ	วันที่	ปริมาณน้ำที่ปล่อยห้วยหมด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
1	21/4/2014	3.31	54,454.59	354.00
2	22/4/2014	0.47	7,658.02	353.96
3	23/4/2014	0.69	11,331.50	353.96
4	24/4/2014	0.42	6,860.12	353.95
5	25/4/2014	0.33	5,422.34	353.94
6	26/4/2014	0.17	2,348.30	353.94
7	27/4/2014	0.65	10,684.90	353.94
8	28/4/2014	0.98	16,086.42	353.93
9	29/4/2014	8.94	147,068.51	353.92
10	30/4/2014	16.06	263,962.05	353.82
11	1/5/2014	0.25	1,234.73	353.63
12	2/5/2014	3.04	49,941.50	353.63
13	3/5/2014	0.76	12,502.19	353.60
14	4/5/2014	1.33	21,797.68	353.59
15	5/5/2014	0.84	13,774.30	353.57
16	6/5/2014	0.60	9,903.44	353.56
17	7/5/2014	1.30	21,280.11	353.56
18	8/5/2014	0.32	5,184.90	353.54
19	9/5/2014	1.34	22,045.55	353.54
20	10/5/2014	0.44	40.66	353.52
21	11/5/2014	3.69	60,427.42	353.52
22	12/5/2014	1.50	24,591.77	353.48
23	13/5/2014	0.33	5,455.42	353.46
24	14/5/2014	1.33	21,798.98	353.46
25	15/5/2014	1.52	24,842.87	353.44
26	16/5/2014	1.45	23,733.42	353.42
27	17/5/2014	1.32	21,655.46	353.41

ตารางที่ ผ.1 ผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2014 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	ปริมาณน้ำที่ปล่อยห้วยแม่น้ำ V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
28	18/5/2014	3.18	52,128.34	353.39
29	19/5/2014	4.89	80,035.98	353.36
30	20/5/2014	1.73	28,396.40	353.30
31	21/5/2014	1.46	23,920.50	353.28
32	22/5/2014	1.99	32,549.09	353.26
33	23/5/2014	3.17	51,827.05	353.24
34	24/5/2014	3.00	49,141.09	353.20
35	25/5/2014	3.19	52,188.05	353.17
36	26/5/2014	3.19	52,151.25	353.13
37	27/5/2014	2.84	46,452.75	353.10
38	28/5/2014	3.24	52,966.02	353.07
39	29/5/2014	3.22	52,644.82	353.03
40	30/5/2014	10.74	175,440.10	352.99
41	31/5/2014	2.52	41,198.52	352.87
42	1/6/2014	2.97	48,431.12	352.84
43	2/6/2014	3.13	51,141.26	352.81
44	3/6/2014	3.22	52,451.90	352.77
45	4/6/2014	3.01	49,095.03	352.73
46	5/6/2014	3.30	53,761.10	352.70
47	6/6/2014	2.36	38,542.51	352.66
48	7/6/2014	1.05	17,183.93	352.64
49	8/6/2014	1.71	27,936.73	352.62
50	9/6/2014	1.43	23,328.59	352.60
51	10/6/2014	1.23	20,119.15	352.59
52	11/6/2014	2.25	36,591.16	352.57
53	14/6/2014	1.02	16,638.59	352.55
54	15/6/2014	1.92	31,342.59	352.54

ตารางที่ ผ.1 ผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2014 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	ปริมาณรั้น้ำที่ปล่อยทั้งหมด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
55	16/6/2014	3.31	53,894.27	352.51
56	17/6/2014	3.72	60,491.07	352.48
57	18/6/2014	4.22	68,635.70	352.43
58	19/6/2014	3.42	55,605.93	352.39
59	20/6/2014	3.80	61,736.63	352.35
60	21/6/2014	3.48	56,607.78	352.30
61	22/6/2014	1.39	22,540.20	352.26
62	23/6/2014	3.38	54,936.72	352.25
63	24/6/2014	2.91	47,356.65	352.21
64	25/6/2014	3.01	48,843.05	352.18
65	26/6/2014	2.41	39,145.71	352.14
66	27/6/2014	2.64	42,860.09	352.11
67	28/6/2014	2.28	37,025.51	352.08
68	29/6/2014	3.46	56,117.21	352.06
69	30/6/2014	3.18	51,526.27	352.02
70	1/7/2014	3.04	49,258.39	351.98
71	2/7/2014	3.26	52,817.19	351.95
72	3/7/2014	5.12	82,991.82	351.91
73	4/7/2014	3.35	54,321.33	351.85
74	5/7/2014	3.13	50,684.92	351.81
75	6/7/2014	4.61	74,743.74	351.78
76	7/7/2014	3.81	61,727.35	351.73
77	8/7/2014	3.76	60,945.84	351.68
78	9/7/2014	3.43	55,484.58	351.64
79	10/7/2014	3.30	53,426.53	351.60
80	11/7/2014	3.26	52,734.74	351.56
81	12/7/2014	1.48	23,956.12	351.53

ตารางที่ ผ.1 ผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2014 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	ปริมาณรัตน์ที่ปล่อยห้องหมุด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
82	13/7/2014	1.80	29,048.37	351.51
83	14/7/2014	0.97	15,608.27	351.49
84	15/7/2014	3.16	51,149.30	351.48
85	16/7/2014	3.32	53,735.54	351.44
86	17/7/2014	3.66	59,074.81	351.40
87	18/7/2014	4.46	72,067.55	351.36
88	19/7/2014	1.30	20,961.42	351.31
89	20/7/2014	1.01	16,260.84	351.30
90	21/7/2014	3.53	56,938.12	351.28
91	22/7/2014	3.17	51,121.65	351.24
92	23/7/2014	2.93	34,657.63	351.21
93	24/7/2014	3.84	61,993.94	351.18
94	25/7/2014	3.38	54,490.67	351.13
95	26/7/2014	3.44	55,469.18	351.09
96	27/7/2014	5.66	91,248.78	351.05
97	28/7/2014	3.27	52,721.46	350.99
98	29/7/2014	3.10	49,933.14	350.95
99	30/7/2014	2.95	47,550.58	350.92
100	31/7/2014	3.36	54,117.79	350.88
101	1/8/2014	2.27	36,550.02	350.84
102	2/8/2014	3.60	58,001.95	350.82
103	3/8/2014	1.06	17,015.99	350.78
104	4/8/2014	0.77	12,436.06	350.77
105	5/8/2014	0.77	12,316.21	350.76
รวม	285.28	4,556,462.76		

ตารางที่ ผ. 2 ผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2015

ลำดับ	วันที่	ปริมาตรน้ำที่ปล่อยทั้งหมด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
1	23/5/2015	0.78	10,238.19	354.00
2	24/5/2015	1.19	19,534.53	353.99
3	25/5/2015	1.03	16,869.42	353.98
4	26/5/2015	0.60	9,454.88	353.97
5	27/5/2015	1.73	28,532.09	353.96
6	28/5/2015	1.09	17,956.19	353.94
7	29/5/2015	1.93	31,696.41	353.93
8	30/5/2015	2.58	42,390.58	353.90
9	31/5/2015	2.35	38,691.82	353.88
10	1/6/2015	1.23	20,274.33	353.85
11	2/6/2015	1.27	20,912.38	353.83
12	3/6/2015	0.80	13,181.58	353.82
13	4/6/2015	1.39	22,758.60	353.81
14	5/6/2015	0.53	8,686.73	353.80
15	6/6/2015	1.11	18,239.88	353.79
16	7/6/2015	1.71	28,148.38	353.78
17	8/6/2015	1.28	21,030.56	353.76
18	9/6/2015	0.97	15,908.82	353.74
19	10/6/2015	0.87	14,228.13	353.73
20	11/6/2015	0.95	15,587.42	353.72
21	12/6/2015	1.49	24,518.55	353.71
22	13/6/2015	15.72	258,117.22	353.69
23	14/6/2015	0.70	11,523.67	353.51
24	15/6/2015	1.69	27,682.14	353.51
25	16/6/2015	2.67	43,785.81	353.49
26	17/6/2015	1.93	31,696.62	353.46
27	18/6/2015	1.41	23,147.06	353.43
28	19/6/2015	2.88	47,266.36	353.42
29	20/6/2015	2.80	45,952.44	353.39

ตารางที่ ผ. 2 ผลการคำนวณกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มในช่วงที่ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปี ค.ศ. 2015 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	ปริมาณรั้น้ำที่ปล่อย ทั้งหมด V (MCM)	กำลังผลิตที่ต่ำกว่า ค่าเฉลี่ย ΔP_{act} (kW)	ระดับน้ำ H_1 (m.msl)
30	21/6/2015	2.31	37,842.44	353.35
31	22/6/2015	4.42	72,411.20	353.33
32	23/6/2015	3.17	51,900.65	353.28
33	24/6/2015	3.01	49,283.15	353.24
34	25/6/2015	3.62	59,269.66	353.21
35	26/6/2015	2.70	44,177.16	353.17
36	27/6/2015	1.00	16,332.06	353.13
37	29/6/2015	1.84	30,161.50	353.12
38	30/6/2015	2.44	39,898.95	353.10
39	1/7/2015	1.25	5,386.40	353.07
40	2/7/2015	14.02	229,192.92	353.06
41	3/7/2015	6.52	106,519.94	352.90
42	4/7/2015	13.03	212,688.75	352.83
43	5/7/2015	8.08	131,645.49	352.68
44	6/7/2015	3.96	64,547.97	352.58
45	7/7/2015	1.73	28,153.16	352.54
46	8/7/2015	7.91	128,809.65	352.52
47	9/7/2015	1.40	22,783.89	352.43
48	10/7/2015	0.47	7,638.07	352.41
49	11/7/2015	1.55	25,213.83	352.41
50	12/7/2015	3.95	64,262.14	352.39
51	13/7/2015	2.67	43,410.18	352.35
52	14/7/2015	3.16	51,304.23	352.32
53	20/7/2015	8.45	137,368.48	352.28
54	21/7/2015	3.71	60,214.61	352.18
55	22/7/2015	0.83	13,470.58	352.14
56	23/7/2015	2.18	35,333.32	352.13
57	27/7/2015	1.92	31,201.46	352.11
รวม	168.003	2,728,432.66		

สันักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายทองเพชร จันทร์เจริญ
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2545-2550 มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว สาขาวิชาศิวกรรมไฟฟ้า คณะศิวกรรมศาสตร์
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2551 - ปัจจุบัน กระทรวงพลังงานและเหมืองแร่ นครหลวงเวียงจันทน์ สาธารณรัฐ ประชาธิปไตย ประชาชนลาว
ตำแหน่ง	วิชาการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กระทรวงพลังงานและเหมืองแร่ นครหลวงเวียงจันทน์ สาธารณรัฐ ประชาธิปไตย ประชาชนลาว โทรศัพท์ +856 20 58359446